

Albert Einstein

VON DER CHEMIE
ZUR PHILOSOPHIE

491/Ch 1

ALWIN MITTASCH / Von der Chemie zur Philosophie



ALWIN MITTASCH

ALWIN MITTASCH

VON DER CHEMIE
ZUR PHILOSOPHIE

Ausgewählte Schriften und Vorträge

J. EBNER-VERLAG, ULM-DONAU

Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. US-W-1097
der Nachrichtenkontrolle der amerikanischen Militärregierung



1988. 3162
(B 5181)

1.—3. Tausend, Februar 1948

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten
Copyright by J. Ebner-Verlag, Ulm-Donau
Einbandentwurf: Edith Schenk, Kirchheim
Druck und Bindearbeiten: J. Ebner'sche Buchdruckerei, Ulm

Vorwort des Herausgebers

Die fruchtbare Kritik des überkommenen mechanistischen Weltbildes und der einseitig übertriebenen mechanistischen Kausalität ist in den exakten Wissenschaften erwacht. Bevor es zum „Umsturz im Weltbild der Physik“ mit seinen weitreichenden theoretischen und praktischen Folgen kam, boten schon die Erscheinungen der Katalyse den Chemikern genügend und begründeten Anlaß, an dem Totalitätsanspruch der mechanistischen Kausalität zu zweifeln und die Ursachenforschung elastisch den Erscheinungen anzupassen. Die Bemühungen der Chemiker trafen sich hier mit denen der Biologen und Ärzte.

Alwin Mittasch, der als junger Volksschullehrer in Leipzig bei Wilhelm Ostwald und Max Bodenstein Chemie studierte, den die „katalytische Welle“, die am Ende des 19. Jahrhunderts in die Laboratorien drang, erfaßte, ging nach beendetem Studium in die Technik. Denn gerade in der Fabrik und ihrem Laboratorium boten sich ihm besondere Möglichkeiten, das katalytische Phänomen nach vielen Seiten hin und systematisch zu studieren und zu eigenen schöpferischen Leistungen zu kommen. Technische Probleme, vor allem das, durch Bindung des Luftstickstoffs Brot für Millionen zu sichern, trieben ihn zur umfassenden experimentellen Erforschung der Katalyse.

Auf die eigenartige Gesetzmäßigkeit der Katalysatoren, nicht nur Reaktionen auszulösen und zu beschleunigen, sondern auch zu lenken und in eine bestimmte Richtung zu steuern, auf das Phänomen der Mehrstoff-

oder ganzheitlichen Katalyse stieß Mittasch, als er in systematischen Untersuchungen die Fundamente zu katalytischen Verfahren legte, die seinen Namen als den eines Entdeckers in der technischen Welt berühmt machten und die in allen Chemieländern der Erde für die Produktion synthetischen Ammoniaks und anderer synthetischer Produkte übernommen und erprobt wurden.

In einer Fülle von Abhandlungen und Arbeiten hat der technische Entdecker Mittasch die Entwicklung der präparativen und technischen Katalyse befruchtet. Sie sind in diesem Band nicht veröffentlicht. Nur eine Auslese ist getroffen unter den Arbeiten des Forschers Mittasch, die dem katalytischen Gedanken im Ursachendenken und in seiner Bedeutung für Chemie, Biologie und Philosophie Ausdruck verleihen.

Die grundlegenden theoretischen Werke: „Von Davy und Döbereiner bis Deacon“ 1932 zusammen mit Erich Theis; „Über katalytische Verursachung im biologischen Geschehen“ 1935; „Katalyse und Determinismus. Ein Beitrag zur Philosophie der Chemie“ 1938; „Kurze Geschichte der Katalyse in Praxis und Theorie“ 1939; „Julius Robert Mayer's Kausalbegriff“ 1940 sind der wissenschaftlichen Welt und darüber hinaus breiteren Kreisen bekannt.

Aber über diese Werke hinaus weisen die in diesem Band vorgelegten Abhandlungen und Vorträge auf die Fruchtbarkeit und Reichweite des von Mittasch entwickelten katalytischen Denkens, das Theorie und Praxis, Chemie und Biologie, exakte Wissenschaft und Philosophie verbindet, erkenntnistiftend sich für Ärzte und Juristen, für Historiker und Psychologen auswirkt und auf eine überraschende Art Aufschluß über For-

men des Wirkens in der toten und lebendigen Natur gibt, die im fiktiven mechanistischen Denken keinen Platz fanden, aber im Licht der Katalyse in seiner Eigenart und schöpferischen Bedeutung erkannt werden.

Verlag und Herausgeber hoffen, durch diese Publikation den Kreis der Freunde des Forschers Mittasch in aller Welt zu erweitern, des Gelehrten, der in seltener Weise in seinem Lebenswerk den Beweis liefert, wie Philosophie und exakte Erkenntnis, Theorie und schöpferisch tätiges Leben innig miteinander und für wechselseitige Befruchtung verbunden sein können.

Und gerade diese Besinnung ist heute von nicht zu unterschätzendem Wert, in einer Zeit, in der um die Sicherung der Eigengesetzlichkeit und der Auswirkung schöpferischer Geister gerungen wird.

Oberammergau, im Juni 1947

HERMANN SCHÜLLER

Vorwort des Verfassers

Mehrfacher Anregung folgend, will ich in diesem Werke Abhandlungen über den katalytischen Gedanken zusammenfassen, die im Laufe der letzten Jahrzehnte niedergeschrieben wurden.

Vorausgeschickt seien einige Worte über „Katalyse“ in rein chemischer Bedeutung und den „katalytischen Gedanken“ in allgemeinem Sinne. Der katalytische Gedanke, als Auslösungs- und Steuerungsgedanke, reicht weiter als die Katalyse strengen Sinnes, die eine bestimmte Form von stofflicher Auslösung, Beschleunigung und Richtungsgebung ist. Knüpft die Geschichte der Katalyse im engeren Sinne an Namen an wie Humphry Davy, Döbereiner, Kuhlmann, Schönbein, Deacon, Wilhelm Ostwald, so steht im Eingange einer allgemeinen Auslösungslehre hinsichtlich des Wirkens in der Natur Robert Mayer (1876). In diesem erweiterten Sinn der „Auslösung“ ist das Wort „Katalyse“ beispielsweise gebraucht, wenn Nernst in seiner Theoretischen Chemie (7. Auflage, 1913, S. 777) sagt: „Der Stromschluß in einem galvanischen Element bedeutet zugleich wohl den einfachsten und anschaulichsten Fall einer chemischen Katalyse“.

Meine eigenen Veröffentlichungen, von der Leipziger Doktordissertation an, hatten es zunächst lediglich mit der Katalyse im engeren Sinne zu tun; erst im letzten Jahrzehnt hat sich der Rahmen erweitert. In den zu bietenden Abhandlungen soll der ganze Umkreis des katalytischen Gedankens durchschritten werden; zunächst wird die rein chemische Katalyse, später der

allgemeine Auslösungsbegriff im Vordergrund stehen, und auch in den letzten Ausläufern wird „katalytische Kraft“ im allgemeinen Sinne hie und da hervorleuchten.

Das Sammelwerk zerfällt in drei Unterteile. Der I. Teil enthält Katalyse-Aufsätze, die bereits in verschiedenen Zeitschriften veröffentlicht wurden; meine speziellen Untersuchungen zur Ammoniakkatalyse (siehe Bibliographie) sind indessen weggelassen worden. Der II. Teil bringt Aufsätze über das Wirken in der Natur, und im III. Teil sind vorwiegend wissenschaftsgeschichtliche Abhandlungen (über Schopenhauer, Robert Mayer, Nietzsche) zusammengefaßt.

Redaktionell sei bemerkt, daß aus praktischen Gründen die Anmerkungen mitunter Kürzung oder Streichung erfahren haben; alles Wesentliche aber ist stehen geblieben.

Heidelberg, im Sommer 1947

ALWIN MITTASCH

Erster Teil:

DER KATALYTISCHE GEDANKE

Zur Einführung:

Mein katalytischer Lebensweg

„Katalytisch“ heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Größenbeziehung steht. Eine Lawine stürzt in das Tal, der Windstoß oder der Flügelschlag eines Vogels ist die „katalytische Kraft“, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt.

Robert Mayer 1845

Katalyse: ein Wort, das heutzutage in weiten Kreisen auch außerhalb der chemischen Wissenschaft verstanden wird, in der Bedeutung einer zauberisch anmutenden *Hervorlockung, Beschleunigung und Lenkung stofflicher Umsetzung durch eine bestimmte Substanz einfacher oder zusammengesetzter Art*. Es ist das zweite Jahrhundert ihrer Entwicklung, in welchem gegenwärtig die Wissenschaft und Praxis der Katalyse steht: sowohl der rein chemischen und technischen, wie auch der biochemischen, als Ferment- oder Enzymlehre u. dergl. Darf ich kurz berichten, wie ich selber der Katalyse begegnet bin, und was mir aus dieser Begegnung erwachsen ist?

Im Sommer 1895, also vor nunmehr reichlich fünfzig Jahren, mag es gewesen sein, daß ich zum ersten Male das Wort „Katalyse“ vernommen habe, und zwar aus dem Munde von Wilhelm Ostwald bei Gelegenheit einer Vorlesung über *Energetik*, die ich (damals Leipziger Volksschullehrer) als Hörer besuchte, und die für mich den Anstoß gab, mein Lebenssteuer herumzuwerfen, indem ich zum Chemiestudium überging und der Pädagogik nach Beendigung des Studiums Lebewohl sagte.

Mein gesamtes Chemiestudium erledigte ich in Ostwalds Physikalisch-chemischem Institut in Leipzig, das dazumal durchaus im Zeichen der *Katalyse* stand; in Ostwalds „Lebenslinien“ ist die damalige fruchtbare Epoche, mit Studierenden aus allen Gebieten der Welt, eingehend geschildert. Schon in meiner Doktorarbeit über Bildung und Zersetzung von Nickelcarbonyl, unter sachkundigster Leitung durch Max Bodenstein ausgeführt (veröffentlicht 1903), konnte ich interessante Fälle von Katalyse und Auto-

katalyse im heterogenen System beobachten. Auch eine Leipziger Assistentenarbeit über die langsame Zersetzung von Schießbaumwolle segelte im katalytischen Fahrwasser.

Eine neue Periode katalytischer Betätigung begann mit meiner Anstellung als Chemiker der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik Ludwigshafen a. Rh., März 1904. Eine glückliche Fügung machte mich sogleich zum Mitarbeiter von Carl Bosch, der eben das Problem der technischen Stickstoffbindung aufgegriffen hatte. Die Bildung von Bariumcyanid, Titanitrid, Silicium- und Aluminiumnitrid und manches andere mehr wurde in den nächsten Jahren gründlich untersucht, und überall und immer wieder tauchten willkommene Fälle von Katalyse als Ermöglichung, Beschleunigung und Lenkung von Reaktionen auf.

Einen Vorstoß in Neuland bedeutete es dann, als Carl Bosch von der Firma den Auftrag erhielt, die vielversprechenden Versuche von Fritz Haber zur *katalytischen Bildung von Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff unter Hochdruck* (1904—1908) unter dem Gesichtspunkte industrieller Anwendung weiterzuführen. Von 1909 an habe ich, bald zusammen mit guten Mitarbeitern (Hans Wolf und Georg Stern), das Gebiet katalytischer Möglichkeiten für eine Ammoniakbildung aus den Elementen experimentell durchstreift. Hunderte, ja Tausende von Versuchen wurden in kleinen „Kontaktöfen“ unter Drucken von 50 bis 200 Atmosphären und bei Temperaturen bis 600° ausgeführt, und schon bald wurden befriedigende Erfolge erzielt, die sich kurz in folgenden Sätzen niederlegen lassen:

1. Molybdän und Eisen können durch bestimmte Kultur zu vorzüglichen Katalysatoren gemacht werden, Eisen aber nur in reiner, d. h. schwefel- und phosphorfreier Form.

2. Die katalytische Wirkung, vor allem von Eisen, kann durch bestimmte Zusätze erhöht (aktiviert) und vor allem dauerhaft gemacht werden; als vorzüglicher Aktivator-Zusatz erwies sich eine Beigabe von einigen Prozent Tonerde und ein wenig Kali. Monatelang kann ein derartiger Eisen-Mischkatalysator — am besten auf dem Wege oxydierender Schmelzung und nachheriger Zerkleinerung gewonnen — im Kontaktapparat fortlaufend aus einem Wasserstoff-Stickstoff-Gemisch Ammoniak erzeugen.

Auf die technische Verfolgung dieser weittragenden Erfindung brauche ich hier nicht einzugehen. Statt dessen seien die wichtigsten *andersartigen Katalysen* verzeichnet, die ich in den nächsten Jahren (bis 1914) ebenfalls unter Carl Bosch verwirklichen konnte. Mit Christoph Beck gelang es mir, die katalytische *Ammoniakoxydation*, die bisher nur mit Platin ertragreich gelungen war, mit einem leicht zugänglichen Eisen-Mangan-Wismut-Katalysator zu verwirklichen, und dieser Kontakt ist es gewesen, der es Deutschland ermöglicht hat, in den Kriegsjahren 1915 bis 1918 genügende Mengen *Salpetersäure* für Munitionszwecke zu erzeugen.

Schon vorher hatte ich mit Christian Schneider ein anderes entwicklungsfähiges Thema aufgegriffen. Das Gasgemisch Kohlenoxyd-Wasserstoff, aus dem Sabatier mittels Nickelkontakt *Methan* herzustellen gelehrt hatte, wurde mit neuartigen Katalysatoren und bei höheren Drucken einer thermischen Behandlung ausgesetzt: das Ergebnis war die Gewinnung *flüssiger Kohlenwasserstoffe* als einer Art künstlichen Erdöles, neben einer wässerigen Schicht, die Aldehyde, Säuren, Ester usw. enthielt. Konnte die letztere Reaktion in den Kriegsjahren keine nützliche Verwendung finden, so ist diese katalytische Neuerung späterhin der Ausgangspunkt für zwei bedeutsame Entwicklungen geworden:

Erstens die katalytische Gewinnung von *Methanol*, praktisch durchgeführt 1923 durch Matthias Pier und Karl Winkler in der BASF.

Zweitens die ungefähr gleichzeitig gelungene Darstellung von flüssigen und festen Kohlenwasserstoffen aus Kohlenoxyd-Wasserstoff bei gewöhnlichem Druck, verwirklicht von Franz Fischer in Mülheim a. d. Ruhr.

Waren die Kriegsjahre mit ihren wechselnden Anforderungen mannigfach auch durch katalytische Fortschritte gekennzeichnet, so brachte es die spätere starke Entwicklung des *Forschungslaboratoriums Oppau*, das ich begründete und von Anfang an leitete, mit sich, daß die eigene katalytische Betätigung mehr und mehr schwand, an ihre Stelle aber die Anregung und Beaufsichtigung zahlreicher, darunter auch katalytischer Arbeiten trat, die von den

Akademikern des Laboratoriums — in der Hochkonjunktur vor 1930 gegen 150 an der Zahl — ausgeführt wurden.

Es ist hier nicht der Ort, die mannigfachen katalytischen Arbeiten: anorganische, organische und biochemische, praktisch gerichtete wie theoretisch aufklärende, aufzuzählen, die von 1919 bis 1933 unter meiner Leitung im Ammoniaklaboratorium Oppau ausgeführt worden sind. Nur sei bemerkt, daß die Chemie der Stickstoffdüngemittel sowie die großindustrielle Verwertung der Kohle im Vordergrund stand, und daß auch eine gewisse Rückkehr zu meinem einstigen Ausgangspunkte sich einstellte — in eindringlicher Bearbeitung von Metallcarbonylen.

Nach Ruhestandsbeginn (Januar 1934) und nach Überwindung einer durch Schicksalserlebnisse herbeigeführten Müdigkeitsperiode tat sich die Frage auf: Was nun? Gewisse äußere Anregungen begegneten sich mit einem inneren Drange: das Gebiet der Katalyse, das ich bisher vorwiegend im einzelnen verfolgt (und auch teilweise in Veröffentlichungen behandelt) hatte, sollte nunmehr in einer *umfassenderen Schau erforscht und dargestellt werden* — wobei ich im Anfange allerdings nicht ahnen konnte, wie weit nicht nur in das Gebiet der Biologie, sondern auch in den Bereich der Naturphilosophie und ihrer Geschichte mich mein Dämon führen würde.

Schon vor meinem Übertritt in den Ruhestand habe ich mit Erich Theis ein Buch veröffentlicht: *Von Davy und Döbereiner bis Deacon — ein halbes Jahrhundert Grenzflächenkatalyse* (1932). Den Beginn meiner Arbeiten von 1934 an machte die kleine historische Arbeit „*Berzelius und die Katalyse*“ (1935), durch das Jahrhundert-Gedenken von Berzelius' Aufstellung der „katalytischen Kraft“ veranlaßt. Daran schlossen sich vier Schriften: *Katalytische Verursachung im biologischen Geschehen* (1935), *Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie* (1936), *Katalyse und Determinismus* (1938), *Kurze Geschichte der Katalyse in Praxis und Theorie* (1939).

Die zweite Schrift war eine Erweiterung des Vortrages, den ich über dieses Thema bei der Naturforschertagung in Dresden 1936 gehalten hatte.

In jene Jahre fallen zwei für mich wichtige Begegnungen: Einerseits wurde ich auf ein Studium von Schopenhauer geführt, mit dem Hintergedanken, ob ihm, dem für allen Naturwissenschafts-Fortschritt aufgeschlossenen Philosophen, wohl irgendwie die Katalyse bekannt geworden sein möchte. (Tatsächlich ist das nicht der Fall.) Sodann und vor allem aber lernte ich Robert Mayers Aufsatz „Über Auslösung“ von 1876 kennen, der eine Art Offenbarung für mich bedeutete. Zeigte mir jener Aufsatz doch, daß meine Scheidung von „*Anstoßkausalität*“ (z. B. bei der Katalyse) und „*Erhaltungskausalität*“ (in allen Naturwirkungen mit energetischer Äquivalenz) schon von Robert Mayer als zwingendes Gebot erkannt worden war.

Die Persönlichkeit Robert Mayers, die mir zum ersten Male 1895 bei Wilhelm Ostwald begegnet war, gewann von da stärkste Macht über mich, und eine große Anzahl von Aufsätzen, neben der größeren Schrift „*Julius Robert Mayers Kausalbegriff*“ (1940) legt Zeugnis hiervon ab.

Ein glücklicher Zufall ließ mich weiter entdecken, daß schon auf eine andere Persönlichkeit Robert Mayers Auslösungsaufsatz mit der Macht leuchtender Offenbarung gewirkt hatte: auf Friedrich Nietzsche 1881. Von hier stammt meine Beschäftigung mit der Naturphilosophie Friedrich Nietzsches, in welcher ich noch jetzt stehe.

Und noch ein glücklicher Zufall ist zu nennen: Von Fräulein Grete Ostwald, der verdienten Hüterin des Ostwald-Archivs in Großbothen, wurde mir ein ungedruckter Aufsatz von Wilhelm Ostwald (1914) „*Julius Robert Mayer über Auslösung*“ unterbreitet, der mich zur Beschäftigung mit Ostwalds Auslösungslehre angeregt hat. Nach menschlichem Ermessen stehe ich jetzt am Ende meiner selbstgewählten Aufgabe, den katalytischen Gedanken von Berzelius *gedanklich* so weit zu verfolgen, als es gegenwärtig möglich ist. Wie weit mir dies gelungen ist, mögen andere beurteilen. Das Licht, das mir auf meinem Wege geleuchtet hat, sei nun weiter gereicht!

Bemerkungen zur Katalyse

(Vortrag, gehalten vor der Deutschen Chemischen Gesellschaft
am 21. Oktober 1925.)*

Ich bin der ehrenvollen Aufforderung gern gefolgt, an dieser bedeutsamen Pflegestätte chemischer Forschung über Katalyse zu sprechen, über ein Gebiet, das mich mit einer zunehmenden Zahl von Mitarbeitern seit zwei Jahrzehnten in einem Forschungslaboratorium der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik beschäftigt. Eine Systematik oder auch eine durchgeführte Theorie der katalytischen Vorgänge werden Sie von einem Manne der Technik, der sich mit der Ausarbeitung katalytischer Reaktionen für die Zwecke der industriellen Praxis befaßt, nicht erwarten; andererseits will ich auch nicht eine übersichtliche Darstellung der Entwicklung der Katalyse in der chemischen Industrie geben. Statt dessen sollen Ihnen nur zwanglose Bemerkungen geboten werden, und zwar teils wissenschaftlicher, teils technisch-praktischer Art, davon ausgehend, wie man in der chemischen Praxis die Katalyse sieht, und wie man dort von ihr in bestimmten Fällen Gebrauch macht. Dabei wird, meiner eigenen Betätigung entsprechend, eine bestimmte Form der Katalyse, nämlich die Oberflächen-Katalyse oder noch genauer die *durch feste Körper katalytisch verursachte Reaktion von Gasen*, im Vordergrund stehen

Es ist bekannt, daß der Name „Katalyse“ von Berzelius (1835) stammt, und daß dieser unter einem *katalytischen* Vorgang einen solchen verstand, bei dem ein Körper durch seine bloße Gegenwart eine Reaktion hervorruft, die ohne ihn nicht stattfindet, und es ist ferner bekannt, daß W. Ostwald 1901 die Katalyse definiert hat als die *Beschleunigung eines an sich stattfindenden chemischen Vorganges durch die Gegenwart eines scheinbar unbeteiligten Körpers*¹. Sie wissen ferner auch, daß die Kenntnis katalytischer Vorgänge in viel frühere Zeiten zurückreicht als die eingehende Beschäftigung mit den Wesen dieser Vorgänge; es seien nur einige Namen genannt: Parmentier (1781), Clement und Désormes (1806), Thénard (1818), H. Davy, Döbereiner, Dulong (1823), Mitscherlich (1834). Immerhin waren die genannten Forscher größtenteils sich schon dar-

* Ber. D. Chem. Ges. 59 (1926), 13—36.

über klar, daß hier etwas ganz Besonderes, nämlich eine *Wirkung lediglich durch Berührung oder „Kontakt“* vorliegt. Von Döbereiners Schriften ist zu sagen, daß sie geradezu eine Fundgrube zahlreicher katalytischer Fälle und *katalytischer Gesichtspunkte* sind. Es wird nicht allgemein bekannt sein, daß bei Döbereiner, soweit ich sehen kann, die ersten Angaben über eine *Ammoniak-Katalyse* aus den *Elementen* zu finden sind². Es heißt da³, daß, wenn man Platinschwamm, der mit Wasserstoff gesättigt ist, mit Luft zusammenbringt, der Sauerstoff sich mit dem absorbierten Wasserstoff verbindet; genügt der Sauerstoff nicht zur Bindung des gesamten Wasserstoffs, so soll sich der Überschuß mit dem *Stickstoff* zu Ammoniak verbinden. Wie wir heute wissen, entsteht unter den von Döbereiner benutzten Versuchsbedingungen kein Ammoniak. Vermutlich hat Döbereiner seinen Irrtum später selbst erkannt; jedenfalls ist er auf die Angelegenheit nicht zurückgekommen.

Aus der Zeit von Berzelius sind weiter die Namen Liebig und Kuhlmann hervorzuheben. Von Liebig ist kurz zu sagen, daß er im *Sireit* mit Berzelius eigenartige Gesichtspunkte für die *Übertragungs-Katalyse* (Mitschwingung) entwickelt hat. Kuhlmann andererseits ist durch seine *katalytische Herstellung* von Stickoxyd aus Ammoniak und Luft-Sauerstoff mittels Platins bekannt geworden⁴. Auch Schönbein darf nicht vergessen werden, der den *katalytischen Vorgängen* mit großer Liebe und hervorragendem Spürsinn nachgegangen ist, so daß noch eine spätere Zeit oft und in glücklichster Weise auf seine Arbeiten zurückgegriffen hat.

Betrachten wir den *neueren Zustand der katalytischen Forschung*, wie er von ungefähr 1900 ab durch Männer wie Ostwald, Nernst, Haber, Bodenstein, Bredig, Sabatier, Willstätter, Heinrich Goldschmidt, Paal, Wieland, Ipatiew, Baker und viele andere herbeigeführt wurde, und wie er sich gegenwärtig im In- und Ausland in den Arbeiten weiterer hervorragender Chemiker sowie in zahlreichen industriellen *Auswirkungen* darstellt, so wird es sich bei der Überfülle des Stoffes empfehlen, einige wenige Momente herauszugreifen, die den Fortschritt gegenüber der älteren Zeit vor 1900 zu kennzeichnen geeignet sind. So möchte

ich, jedoch immer mit dem eingangs gekennzeichneten Vorbehalt subjektiver praktischer Einschätzung, folgende Sätze aufstellen:

I. Der Kreis nicht nur der katalytischen Reaktionen, sondern auch der *Kreis der Katalysatoren* selbst hat sich im Laufe der Zeit gewaltig erweitert.

II. Eine besonders hervorragende Rolle spielen heute *Stoff-Gemische als Katalysatoren*.

III. Die Katalyse ist aus dem Bereich qualitativer Feststellungen immer mehr in das *Stadium quantitativer Messungen* gelangt, die eine exakte Theorie der Katalyse zu begründen und neue Fortschritte herbeizuführen geeignet sind.

I.

In der Katalyse, d. h. namentlich in der *Katalyse von Gas-Reaktionen durch feste Körper* hat lange Zeit das *Platin*, das zuerst von H. Davy und von Döbereiner benutzt worden war, als Katalysator schlechthin gegolten, während andere Stoffe nur gelegentlich für katalytische Vorgänge geprüft und verwendet wurden. Wie anders heute, wo uns aus der Fülle der Elemente nur wenige katalytisch unbrauchbar erscheinen! Alle jeweils in fester Form vorliegenden Elemente und Verbindungen (Oxyde, Nitride, Sulfide, Chloride, Silikate und sonstige Salze) können so an sich für die Herbeiführung von Gas-Katalysen in Betracht kommen. Freilich gilt dies nicht in dem Sinne, daß alle Kontaktmassen bei allen Reaktionen wirksam wären — so leicht macht uns Chemikern die Natur die Arbeit nicht —, sondern es gilt hier bekanntlich in hohem Maße die Regel der *spezifischen katalytischen Wirkung*, wonach die Wirkung der einzelnen Stoffe individuell ausgeprägt ist⁵, so daß in der Regel jede Reaktion ihre eigenen und vor allem jede Reaktion ihre eigenen besten Katalysatoren hat⁶. In welcher Weise chemische Reaktion und Katalysator im Einzelfall einander zugeordnet sind, darüber kann man bekanntlich bisher kaum je etwas Bestimmtes vorausagen, vielmehr ist man durchaus auf den Versuch angewiesen, und man kann aus dem schon Bekannten nur insofern vielfach eine Erleichterung der experimentellen Arbeit

entnehmen, als für einzelne Teilgebiete gewisse empirische Regeln gelten. So stehen bekanntlich für katalytische Oxydationen bestimmte Metalle und Oxyde wie Platin, Eisenoxyd, Kobaltoxyd, Kupferoxyd, Manganoxyd, Vanadinoxid usw. im Vordergrund, für Hydrogenisationen andere Katalysatoren wie Palladium und Nickel, während für Hydrationen oder Chlorierungen u. dgl. wieder andere Stoffe verwendet werden. Auch im einzelnen bestehen gewisse besondere, wenn auch nicht sehr zuverlässige Regeln. Dabei ist es immer gut, sich von vorgefaßten Meinungen nach Möglichkeit freizuhalten, und eine neue katalytische Erfindung kommt vielfach dadurch zustande, daß man den Zaun der Vorurteile durchbricht und für einen bestimmten katalytischen Zweck Substanzen verwenden lernt, die bisher für diesen Zweck unbeachtet blieben; es sei beispielsweise an die Benutzung von Osmium und Uran für die Ammoniak-Katalyse durch Haber⁷ hingewiesen.

Das Resultat der Entwicklung ist also gewesen, daß das *Platin aus seiner beherrschenden Stellung verdrängt worden* ist, und wenn man insbesondere den Weg der katalytischen Praxis verfolgt, von Davy und Döbereiner über Deacon und Clemens Winkler bis zu Knietsch, Sabatier, Normann, Haber, Bosch und den von diesen und zahlreichen anderen Forschern angeregten und geschaffenen mannigfachen katalytischen Industriezweigen unserer Tage, so zeigt sich deutlich, wie neben dem Platin und Palladium die verschiedensten anderen Elemente des Periodischen Systems nebst ihren Verbindungen zur Geltung gelangen. Will man dabei heute die Elemente in bezug auf ihren katalytischen Wert vergleichen, so wird man vielleicht, namentlich sofern man die anorganische Großindustrie im Auge hat, den Metallen der Eisengruppe, insbesondere dem *Eisen* selbst den ersten Preis zuerkennen. Tatsächlich ist es wohl das Eisen, das von allen Metallen in der technischen Katalyse verhältnismäßig die größte Zahl wichtiger Anwendungsfälle aufweist. Dabei kommt es allerdings sowohl beim Eisen wie auch bei jedem sonstigen katalysierenden Stoff sehr darauf an, daß der Katalysator in der geeignetsten physikalischen und chemischen Form verwendet wird, und der Eingeweihte weiß, wieviel Mühe und

Sorgfalt bei beliebigen Katalysen, z. B. zur Hydrogenation oder Oxydation, sowohl im Laboratorium wie im Fabrikbetrieb darauf verwendet wird, jeweils diese geeignetste und wirksamste Form mit oder ohne Verwendung von Trägersubstanzen zu finden.

II.

Sehr weit zurück zu verfolgen ist die Beobachtung, daß es bei der Tauglichkeit eines Stoffes für katalytische Zwecke außerordentlich stark auf die *Reinheit des Stoffes* ankommt, und insbesondere von Knetsch, Bredig und Bodenstern ist die schädliche Wirkung gewisser kleinster Verunreinigungen auf katalytische Vorgänge in epochemachenden Arbeiten festgestellt worden. Diese Erscheinung der *Vergiftung der Kontaktwirkung*, wie man auf Grund biologischer Analogie die Hemmung oder Aufhebung der Katalyse durch Fremdstoffe bezeichnet, ist natürlich gerade technisch von ausschlaggebender Bedeutung, da man hier oft monate- und jahrelang die katalytische Wirkung mit dem gleichen Kontakt unverändert weiterführen möchte; und es gibt Fälle, wo die Auffindung und Überwindung eines Kontaktgiftes für eine bestimmte Reaktion gleichbedeutend ist mit der Schaffung der Möglichkeit, diese Katalyse im großtechnischen Maßstab auszuführen. Es sei an die zuerst von uns in der *Badischen Anilin- und Soda-Fabrik* gemachte Beobachtung erinnert, daß reines Eisen durch die Gegenwart sehr geringer Schwefelmengen für die Ammoniak-Katalyse untauglich wird, so daß also bei der praktischen Durchführung dieser Katalyse Schwefel in elementarer oder gebundener Form völlig ferngehalten werden muß⁸.

Jüngerem Datum als die Kenntnis der Kontaktgifte ist die planmäßige Beschäftigung mit dem *positiven Gegenstück zu der Erscheinung der Kontaktvergiftung*, nämlich mit der Erscheinung, daß ein *Katalysator durch die Gegenwart bestimmter Fremdstoffe, die an sich für die fragliche Reaktion gar nicht katalytisch wirksam zu sein brauchen, in seiner Wirksamkeit verstärkt* oder, wie wir sagen, „*aktiviert*“ wird. Derartige Abweichungen von der Additivität der Wirkung von Stoff-Gemischen bei der Katalyse sind

in einzelnen Fällen allerdings schon länger bekannt, so bei M. Traube (1884), Price (1898) und Brode⁹ (1901). Eine eigentliche systematische Weiterverfolgung dieser Erscheinung, insbesondere in der Richtung einer zielbewußten Anwendung auf die Durchführung von Gasreaktionen in der Technik, findet sich aber zuerst bei der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik in Arbeiten, die von 1910 ab ausgeführt wurden. Es war dies bei den Versuchen über den möglichen Ersatz der von Haber mit so großem Erfolg für die Ammoniak-Synthese verwendeten Metalle Uran und Osmium durch das billige *Eisen*. Auf Veranlassung von Carl Bosch wurde dieser Ersatz, der für die Entwicklung der geplanten neuen Industrie von der allergrößten Bedeutung war, von uns eingehend studiert, und ich habe dabei, abgesehen von der schon erwähnten Beobachtung der Notwendigkeit des Fernhaltens von Kontaktgiften wie Schwefel, als *grundlegendes positives Ergebnis* festgestellt, daß *das Eisen durch zahlreiche Beimengungen metallischer oder oxydischer Art in seiner katalytischen Wirkung in bezug auf Stärke und Dauerhaftigkeit verbessert wird*¹⁰.

Ähnliches gilt von anderen Metallen, die ein Stickstoff-Wasserstoff-Gemisch zu Ammoniak vereinigen können, z. B. Molybdän¹¹. Die Erscheinung der Aktivierung läßt sich durch folgendes Beispiel illustrieren: Es wird einerseits eine Lösung von Eisennitrat allein, andererseits eine solche unter Zusatz von 5% Aluminiumnitrat mit Ammoniak gefällt, der Niederschlag abgetrennt, getrocknet und in einen elektrisch geheizten Hochdruck-Ofen gefüllt; sodann wird bei 500° unter einem Druck von 100 Atmosphären ein reines Stickstoff-Wasserstoff-Gemisch übergeleitet. Nach dem anfänglichen Reduktionsstadium setzt in beiden Fällen eine Ammoniak-Bildung ein; diese ist im Falle des reinen Eisenoxyds geringfügig, schwankend und namentlich mit der Zeit rasch abnehmend, in dem Falle des tonerdehaltigen Eisens dagegen bedeutend und dabei praktisch konstant. Erst durch die Beobachtung dieser Aktivierungsfähigkeit war die Möglichkeit einer Durchführung der Hochdruck-Synthese des Ammoniaks mit Eisen im großtechnischen Dauerbetrieb gegeben¹², und es muß hervorgehoben werden, daß von dieser bei uns gefundenen Tat-

sache der vorzüglichen katalytischen Wirkung bestimmter Stoff-Gemische bei der Ammoniak-Synthese nicht nur in dem Oppauer und dem Merseburger Werk der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik Tag für Tag und Jahr für Jahr praktisch Gebrauch gemacht wird, sondern, soviel wir sehen, auch im Auslande da, wo von fremder Seite gegenwärtig technisch Ammoniak erzeugt wird, nachdem deutscher Patentbesitz nicht mehr im Wege stand.

Es ist vielleicht nicht allgemein bekannt, daß wir in der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik die wichtige Erscheinung einer günstigen *Beeinflußbarkeit von Katalysatoren für chemische Prozesse durch bestimmte Beimischungen* alsbald in verschiedenen andern Fällen geprüft und bestätigt haben. Zunächst geschah dies im Falle der *katalytischen Hydrogenisation* und Reduktion kohlenstoffhaltiger Verbindungen, wo festgestellt wurde, daß ähnlich wie beim Ammoniak das Eisen, so hier namentlich Nickel und Kupfer durch kleine Beimengungen, insbesondere von Magnesia, Tonerde, Chromoxyd, Thoroxyd usw. in ihrer Wirkung verstärkt und dazu dauerhafter gemacht werden können¹³. Ferner wurde bei uns von der Aktivierung des Katalysators durch Zusätze Gebrauch gemacht bei der katalytischen Wasserstoff-Gewinnung durch Einwirkung von Wasserdampf auf Kohlenoxyd, wo bestimmte Eisenoxyd-Gemische die besten Resultate geben¹⁴, und bei der katalytischen Ammoniak-Oxydation mittels Luft, wo sich zeigte, daß ein Gemisch von Eisenoxyd mit Wismutoxyd dieselben günstigen Resultate liefert wie ein guter Platin-Kontakt¹⁵; beide katalytischen Reaktionen werden seitdem im größten Umfange ausgeführt.

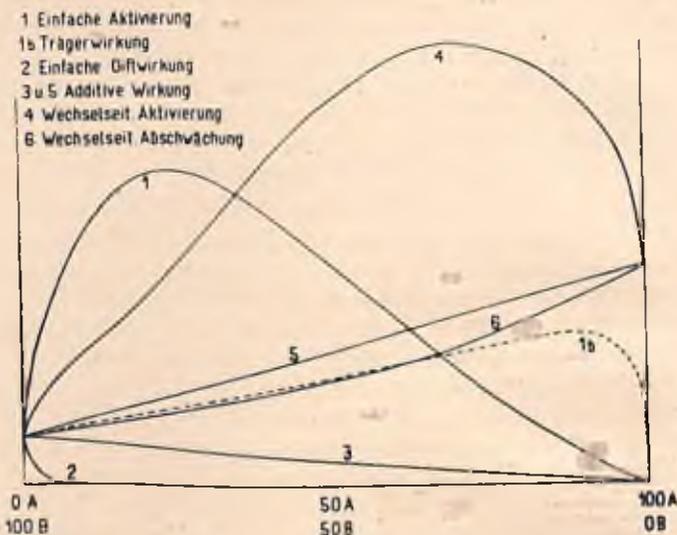
Von organisch-chemischen Katalysen, die in der BASF. mit aktivierten Kontaktmassen durchgeführt wurden, seien die katalytische Reduktion von Nitrobenzol zu Anilin und die Gewinnung von Cyclohexanon und Cyclohexanol genannt (Otto Schmidt)¹⁶.

Weiter hat sich die Verwendung von Misch-Katalysatoren auch bewährt bei einer Gruppe neuer Reaktionen, die wir auf Grund einer Anregung durch Professor Bosch 1913 beim Studium der Einwirkung von Katalysatoren auf Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemische unter Druck ge-

funden haben. Es gelang uns so die Gewinnung flüssiger Kohlenwasserstoffe einerseits und einer wäßrigen Lösung von Alkoholen usw. andererseits¹⁷; und wenn neuerdings in unserem Werke in Fortsetzung dieser Arbeiten vor allem die *katalytische Synthese des Methanols* verwirklicht worden ist, im Anschluß an Versuche, die an verschiedenen Stellen unseres Werkes ausgeführt wurden, so sind es auch hier wieder bestimmte Stoff-Gemische, die als Katalysatoren in der Regel praktisch am meisten befriedigen¹⁸.

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß auch hinsichtlich dieser negativen oder positiven Beeinflussung einfacher Katalysatoren durch Zusatzstoffe die *Regel der spezifischen Wirkung* gilt. Nur in beschränktem Maße lassen sich mitunter gewisse Regelmäßigkeiten feststellen; so zeigen beispielsweise Chlor und Schwefel bekanntlich für die meisten katalytischen Hydrogenisationen eine mehr oder minder ausgeprägte Giftwirkung, während z. B. Tonerde und Chromoxyd sehr allgemein als Zusatz günstig wirken.

Systematisch lassen sich die Verhältnisse hinsichtlich des Zusammenwirkens zweier Stoffe bei der Katalyse im Anschluß an Fig. 1 beschreiben. Es handelt sich hier um gut reproduzierbare, und zwar oft recht scharf ausgeprägte Erscheinungen. Tragen wir auf der Abszisse die möglichen Mischungsverhältnisse eines Stoffpaares in Gewichtsprozenten auf und auf der Ordinate die spezifische katalytische Wirkung des jeweiligen Gemisches in willkürlicher Einheit (also praktisch etwa die mit 1 g Katalysator-Substanz in der Zeit-Einheit unter bestimmten Bedingungen erzielte Ausbeute), so erhalten wir für eine bestimmte Reaktion je nach der Natur der verwendeten Stoffe verschiedene Kurven, die die Abhängigkeit der katalytischen Wirkung von der Zusammensetzung des Stoffpaares wiedergeben und die sich in bestimmte Typen scheiden. Die Additivität ist nur ein Grenzfall, in der Regel treten Verstärkungen oder Abschwächungen ein. Dabei ist die Form der Kurven wesentlich auch dadurch bestimmt, ob nur der eine der beiden Stoffe für sich allein katalytisch wirksam ist, oder ob dies für beide Stoffe gilt¹⁹. Natürlich spielt praktisch auch der Grad der Oberflächen-Entwick-



Stoffgemische als Katalysator

Fig. 1

lung (die Porosität bei körnigen Kontaktmassen) eine große Rolle, und es müssen streng genommen Kontaktmassen verglichen werden, die in dieser Beziehung nicht zu stark voneinander abweichen²⁰.

Es ist klar, daß zu dem zweiten Stoff des *Misch-Katalysators* noch ein dritter oder vierter kommen kann, der möglicherweise die Wirkung noch weiter beeinflusst, also etwa noch mehr verstärkt, und wenn man berücksichtigt, daß außerdem, abgesehen vom Mischungsverhältnis, auch die physikalische Beschaffenheit des Katalysators (Struktur und Verteilungsgrad je nach der Herstellungsweise) von hervorragendem Einfluß ist, so kann sich auch der in katalytischen Dingen Unerfahrene leicht ein Bild davon machen, wie groß die Mannigfaltigkeit ist, und wie wenig einfach es ist, für eine Reaktion aus der Fülle der Möglichkeiten den besten Katalysator zu finden. Dabei sind indes die

Wirkungen, die durch Misch-Katalysatoren erzielt werden²¹, manchmal so außergewöhnlich und hochbedeutsam, daß der Erfolg die Mühe des Suchens lohnt; und so nimmt es nicht wunder, wenn uns heute sowohl in der wissenschaftlichen wie in der Patentliteratur im In- und Ausland allenthalben neben den einfachen Katalysatoren auch besonders wirksame Zwei- und Mehrstoff-Katalysatoren begegnen.

Beiläufig sei erwähnt, daß neuerdings neben der Aktivierung des Katalysators durch Zusätze zuweilen eine eigenartige *Aktivierung des Mediums*, wenn man so sagen will, mit Erfolg unternommen wird. Ich erinnere an die in den Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer & Co., Leverkusen, im Jahre 1917 gefundene Tatsache, daß bei der Oxydation von verdünntem, gasförmigem Schwefelwasserstoff mittels Luft zu Schwefel mit aktiver Kohle als Katalysator die Reaktion, die zunächst immer noch ziemlich unbefriedigend verläuft, erst dann eine brauchbare Geschwindigkeit bei gewöhnlicher Temperatur erlangt, wenn dem Gas geringe Mengen Ammoniak beigemischt werden²². Da aber auch in diesem Falle die Reaktion immer noch an der Kohle, jetzt aber an der dauernd mit Ammoniak beladenen Kohle stattfindet, so ordnet sich offenbar auch dieser Fall grundsätzlich dem Gebrauch von Misch-Katalysatoren unter, nur daß hier der eine Bestandteil des Misch-Katalysators (das Ammoniak), weil mit den Abgasen flüchtig, dauernd ergänzt werden muß.

Ich fasse das bisher Gesagte kurz zusammen: Ein großer Fortschritt auf katalytischem Gebiet ist unzweifelhaft in der Erkenntnis der reichen Möglichkeiten gegeben, die die Verwendung von aktivierten Katalysatoren oder Misch-Katalysatoren in sich schließt, und diese Erkenntnis, die zuerst in Arbeiten unseres Werkes planmäßig durchgeführt wurde und die heute Allgemeingut ist, hat in den vergangenen 15 Jahren schon auf zahlreichen Gebieten reiche Früchte gezeitigt.

III.

Quantitative Messungen auf dem Gebiet der Katalyse und ihre Auswertung sind erst möglich geworden, nachdem der Begriff der Reaktionsgeschwindigkeit einerseits

(Wilhelmy, 1850), das Massenwirkungsgesetz andererseits (Guldberg und Waage, 1867) in der neueren physikalischen Chemie durchgeführt worden waren. Erst als in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts chemische Statik und Kinetik durch die Arbeit von Forschern wie Horstmann, van't Hoff, Le Chatelier, Arrhenius und andere genügend weit entwickelt waren, konnte auch die Katalyse der Messung zugänglich gemacht werden. In dieser Beziehung bahnbrechend vorgegangen zu sein ist vor allem das Verdienst von Wilhelm Ostwald. In seinem bekannten Katalyse-Vortrag von 1901 mit der schon erwähnten neuen Definition der Katalyse findet sich die Mitteilung, daß im Leipziger Institut für Physikalische Chemie, dem Ostwald vorstand, Arbeiten im Gange seien, die *Zwischenreaktions-Hypothese der Katalyse* messend zu prüfen. Diese Hypothese, die bis in die ersten Zeiten der Beschäftigung mit katalytischen Erscheinungen, nämlich bis Clément und Désormes, zurückreicht, gründet sich bekanntlich auf die Vorstellung, daß *der Katalysator nur scheinbar indifferent ist, daß vielmehr durch seine aktive Vermittlung ein neuer Reaktionsweg über Zwischenreaktionen und Zwischenverbindungen geschaffen wird, der gewissermaßen ein Umweg ist, aber trotzdem rascher zum Ziele führt*²³. An dieser Stelle setzte Ostwald ein, indem er erklärte, diese Hypothese könne erst dann Geltung beanspruchen, wenn Fälle bekannt würden, wo nachweislich die angenommenen Zwischenreaktionen in summa rascher verlaufen als die direkte Reaktion.

Hinsichtlich der weiteren Entwicklung der katalytischen Forschung, die zunächst im Ostwaldschen Institut ihre Hauptstätte besaß²⁴, ist bemerkenswert, daß man sich vorerst vorwiegend mit der *Katalyse im homogenen System* befaßte, und daß dementsprechend auch die Zwischenreaktions-Hypothese in erster Linie an katalytischen Vorgängen in Lösungen erprobt wurde.

Zum ersten Male ist eine solche quantitative Überprüfung der Zwischenreaktions-Hypothese wohl in einer von Federlin 1902 unter Leitung von Luther ausgeführten Untersuchung geleistet worden, und zwar für den Fall der Oxydation von phosphoriger Säure zu Phosphorsäure durch

Kaliumpersulfat in Gegenwart von Jodwasserstoff als Katalysator. Durch eingehende reaktionskinetische Messungen und Berechnungen wurde hier festgestellt, daß die beobachtete totale Umsetzungsgeschwindigkeit gleich ist einer Reaktionsgeschwindigkeit, die sich ergibt auf Grund der Annahme, daß die Reaktion in Stufen verläuft, indem zunächst Kaliumpersulfat mit dem Katalysator Jodwasserstoff unter Bildung von Jod reagiert und dieses dann die phosphorige Säure unter Rückbildung von Jod-Ion oxydiert. Der Katalysator Jodwasserstoff vermittelt also durch einen dauernden raschen Wechsel von aktiver Beteiligung an der Reaktion und Regenerierung die Oxydation von phosphoriger Säure durch Persulfat, und das Messungsergebnis, daß die beobachtete Totalgeschwindigkeit gleich der Resultante der für sich festgestellten Einzelgeschwindigkeiten der beiden angenommenen Zwischenreaktionen ist, beweist, daß *der Katalysator hier tatsächlich auf dem Wege der Ermöglichung von Zwischenreaktionen seine Leistung vollbringt*²⁵.

Diese Feststellungen an einem „Modell für Übertragungskatalyse“²⁶ haben Ostwald bekanntlich bewogen, seine ursprüngliche Zurückhaltung der Zwischenreaktions-Hypothese gegenüber aufzugeben, so daß er in seinem Nobelpreis-Vortrag 1909 die überragende Leistungsfähigkeit dieser Hypothese anerkennt, die denn auch weiterhin in keiner Weise erschüttert worden ist; im Gegenteil sind seitdem unzählige weitere katalytische Reaktionen in ähnlicher Weise in ihre Einzelvorgänge zergliedert worden, vielfach unter Ermittlung bestimmter intermediär entstandener labiler Zwischenverbindungen oder „Anlagerungsverbindungen“, so daß die Zwischenreaktions-Hypothese zur anerkannten Theorie geworden ist²⁷.

Das bisher Gesagte bezieht sich jedoch, wie schon angedeutet, zunächst ausschließlich auf *Vorgänge im homogenen System*, insbesondere in Lösungen, wo es kaum einem Zweifel unterliegt, daß die Katalyse durchweg auf dem Wege der Hervorbringung von Zwischenreaktionen sich vollzieht²⁸, und wo auch im übrigen, dank den Bemühungen zahlreicher Forscher wie Bredig, H. Goldschmidt, Noyes, Wegscheider, Skrabal, v. Euler, Abel, Bjerrum, Brönsted

und anderen, die Verhältnisse weitgehend geklärt worden sind. Anders verhält es sich bei der ebenso lange bekannten und für die chemische Industrie mindestens ebenso wichtigen *Katalyse im heterogenen System*, insbesondere bei der Katalyse von Gasen durch feste Kontaktmassen, einem Gebiet, auf dem vor allem reaktionskinetische Arbeiten von Bodenstein epochemachend gewesen sind. Hier ist eine solche restlose Auflösung des katalytischen Gesamtvorganges in eine Summe einzelner Teilvorgänge nicht so leicht zu geben, und sie liegt *in quantitativer Beziehung* in voller Schärfe wohl auch heute noch für keine Reaktion vor.

Was ist nun der Grund dafür, daß bei der heterogenen Katalyse die Durchführung der Zwischenreaktions-Theorie, d. h. die Prüfung ihrer Richtigkeit durch quantitative Zergliederung in Teilreaktionen mit der analogen Aufklärung der homogenen Katalyse nicht vollkommen Schritt gehalten hat? Der Grund liegt bekanntlich darin, daß hier komplizierte Verhältnisse dadurch entstehen, daß es sich um *Vorgänge an Grenzflächen verschiedener Phasen* handelt, also an Flächen beschränkter Ausdehnung, mit denen jeweils nur ein Teil der reagierenden Bestandteile in Berührung treten kann. Es ist darum zur Weiterführung der Reaktionen ein steter Platzwechsel der reagierenden und der entstehenden Stoffe, z. B. der Gase, vonnöten, der bekanntlich durch Diffusionsvorgänge vermittelt wird²⁰; demgemäß haben schon früh Nernst und ähnlich Stock, Bodenstein und Trautz darauf hingewiesen, daß bei der heterogenen Gas-Katalyse neben der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit die *Diffusionsgeschwindigkeit* eine maßgebende Rolle spielt, derart, daß sie bei sehr hoher chemischer Reaktionsgeschwindigkeit für das Tempo des Reaktionsfortschrittes allein bestimmend ist. Dazu kommt, daß an der Grenzfläche selbst ein eigenartiger, gegenwärtig viel erörterter Zustand herrscht, der durch den Begriff der *Adsorption* gekennzeichnet wird und der infolge der Ausbildung von *Oberflächen-Schichten mit spezifischen, noch wenig bekannten Eigenschaften* zahlenmäßig schwer zu bewältigen ist. Adsorptions-Geschwindigkeiten und Desorptions-Geschwindigkeiten wie auch Diffusions-Geschwin-

digkeiten, alles sowohl in bezug auf die reagierenden Stoffe wie auf die Reaktionsprodukte, treten in ausschlaggebender Weise zu den eigentlich chemischen Reaktions-Geschwindigkeiten hinzu, diese überlagernd und verschleiern²⁰, und machen das Bild trotz des Leitfadens der kinetischen Gastheorie sehr unübersichtlich, so daß einer erschöpfenden quantitativen Zerlegung solcher heterogenen Katalysen große Schwierigkeiten im Wege stehen³¹. Dennoch steht meines Erachtens fest, daß *auch hier die Zwischenreaktions-Hypothese die leistungsfähigste und zutreffendste Erklärungsmöglichkeit ist, sofern man sie weit genug faßt*, d. h. wenn man berücksichtigt, daß zu den chemischen Teilvorgängen mit ihren Geschwindigkeiten in weitem Umfange auch physikalische Teilvorgänge mit besonderen Geschwindigkeiten hinzukommen. Dabei werden je nach der Einstellung der einzelnen Forscher diejenigen hypothetischen Zwischenvorgänge, die für die Katalyse von wesentlicher Bedeutung sind, nicht durchaus einheitlich aufgefaßt. So hat man bekanntlich die katalytische Hydrogenisation mittels Nickels entweder mehr chemisch (mit Sabatier³²) als einen Vorgang gedeutet, der über labile Nickelhydride, unter Umständen unter Beteiligung von Sauerstoff, läuft (Schlenk, Willstätter, Waldschmidt) oder mehr physikalisch als einen Vorgang, bei dem die Adsorption die maßgebende Rolle spielt.

Bei näherem Zusehen muß man jedoch fragen, ob nicht der Begriff der Adsorption selbst die Möglichkeit gibt, zwischen den verschiedenen Auffassungen über das Wesen der heterogenen Katalyse zu vermitteln³³. Hier ist zunächst zu beachten, daß neuerdings (Eucken, Taylor) zwei Erscheinungsformen der Adsorption unterschieden werden: die sogenannte allgemeine oder *physikalische Adsorption*, die nur auf den Capillaritäts-Erscheinungen und den kritischen Eigenschaften der adsorbierten Gase beruht und gewissermaßen eine bloße Verdichtung (bzw. Verflüssigung) an der Grenzfläche darstellt — ihr sind auch Edelgase wie Argon unterworfen —, und eine *spezifische oder chemische Adsorption*, die keine derartige eindeutige Verknüpfung mit den physikalischen Eigenschaften der Stoffe erkennen läßt, sondern auf eine *Wechselwirkung zwischen den Va-*

lenzkraften des Adsorbens und der adsorbierten Stoffe hinweist, eine Wechselwirkung, die durch die Gitterstruktur und die chemischen Eigenschaften der beteiligten Stoffe bedingt ist, und die in einer Beeinflussung des interatomaren Aufbaus und damit der jeweiligen Reaktionsfähigkeit der adsorbierten Stoffe sich äußert. Diese von Fall zu Fall veränderliche „Affinitäts-Adsorption“, die sich von den sonstigen Affinitätsäußerungen im wesentlichen nur dadurch unterscheidet, daß sie sich auf Phasen-Grenzflächen beschränkt, ist es nun, die nach dem Urteil maßgebender Forscher die Grundlage der heterogenen Katalyse bildet. Damit wird schließlich die Frage, ob die Gas-Katalyse physikalisch oder chemisch zu interpretieren ist, im Grunde gegenstandslos, indem *Adsorptions-Theorie und Zwischenreaktions-Theorie* im gleichen Punkte ausmünden³⁴.

Die weitere Aufgabe der Forschung über die heterogene Gas-Katalyse besteht vor allem darin, möglichst zahlreiche derartige Katalysen unter Benutzung aller Hilfsmittel der Wissenschaft durchzuarbeiten, insbesondere auf Grund der Fortschritte, die auf dem Gebiet der Affinitäts-Erscheinungen und Molekularphysik durch Männer wie Nernst, Haber, N. Bohr, Lorenz, Eucken, Sommerfeld, Fajans, Kossel, Herzfeld, Grimm, Polanyi, Langmuir und andere erzielt worden sind; ich verweise auf neuere katalytische Arbeiten von Bodenstein, Trautz, O. Warburg, Taylor, Armstrong, Constable, Bancroft³⁵.

Dabei wird in der Regel die Anschauung von Langmuir zugrunde gelegt, daß die maßgebenden Adsorptionsvorgänge durch ungesättigte (gerichtete) Valenzen von Oberflächenteilchen verursacht und demgemäß auf eine monomolekulare Anlagerungs-Schicht beschränkt sind. Auf alle Fälle handelt es sich um Prozesse, bei denen die *chemische Affinität der in der Grenzfläche zusammenstoßenden Stoffe* eine wichtige Rolle spielt, sonst wäre die Tatsache der spezifischen Wirkung der Katalysatoren unverständlich, und es könnte beispielsweise auch nicht eintreten, daß zwei Stoffe, wie aktive Kohle und aktive Kieselsäure, die in bezug auf die ausgiebige Oberflächen-Entwicklung einander so ähnlich, in ihrem katalytischen Verhalten dagegen oft grundverschieden sind; hier können unmöglich

Anzahl und Größe der Poren und Capillarräume allein maßgebend sein, sondern außerdem, und zwar in erster Linie stofflich bedingte und stofflich differenzierte Kräfte, die irgendwie mit der Betätigung von Partial- oder Restvalenzen zusammenhängen.

Indes scheint vielfach die Katalysator-Oberfläche nicht durchaus an allen Punkten gleichmäßig wirksam zu sein, sondern *einzelne, durch nicht abgesättigte Valenzen topochemisch besonders ausgezeichnete Stellen* zu besitzen, von denen die katalytische Wirkung in erster Linie ausgeht. Als solche besonders aktive Stellen werden einerseits bestimmte Kristallflächen angesehen (Constable), andererseits Atome von ausgezeichneter Lage (Taylor, Armstrong), und es muß für die Aktivität eines Katalysators von der größten Bedeutung sein, daß durch die Herstellungsweise (z. B. auch durch Anwendung von Trägern und Aktivatoren) eine große Zahl solcher aktiver Punkte geschaffen und für die Dauer verbürgt ist. Hinsichtlich der aktiven Punkte aktiver Kohle vergl. auch Ruff.

Es ist unmöglich, diesen wichtigen Zusammenhängen hier im einzelnen nachzugehen; wesentlich ist, daß die heterogene Katalyse keinesfalls auf einer bloßen Verdichtung der Gase an der Oberfläche des Katalysators beruhen kann, sondern daß sie vielmehr irgendwie durch die Betätigung von Affinitäten bedingt ist. Dabei wird man in manchen Fällen geneigt sein, die Bildung stöchiometrisch formulierbarer Zwischenverbindungen (Adsorptionsverbindungen oder „halbchemischer Verbindungen“) anzunehmen, entsprechend den lockeren Anlagerungs- oder Molekularverbindungen, die man in der homogenen Katalyse, z. B. bei organischen Katalysen, regelmäßig voraussetzt. Allerdings werden in der heterogenen Katalyse derartige Zwischenverbindungen nur selten so sicher analytisch zu fassen sein, wie dies Bredig und Antropoff im Falle der Wasserstoffperoxyd-Zersetzung mit Quecksilber als Katalysator gelungen ist, indem sie hier ein Quecksilber-Peroxydat als Reaktionsvermittler nachweisen konnten³⁶. In vielen Fällen wird man von dem Versuch einer solchen stöchiometrischen Formulierung des an der Katalysator-Oberfläche entstehenden Zwischensystems von

vornherein absehen. Immer aber wird man, wie neuerdings stark betont wird, damit zu rechnen haben, daß bei katalytischen Hydrogenisationen, Oxydationen usw. der Katalysator zu *sämtlichen* reagierenden Stoffen in ein bestimmtes Verhältnis tritt. Als einen farbloseren Ausdruck, der unter diesen Gesichtspunkten alle Fälle der heterogenen Katalyse deckt, hat Rosenmund für die hypothetischen Zwischengebilde den Begriff des Komplexes (d. h. Anlagerungs- oder Adsorptions-Komplex) gewählt.

Wenn durch die Einführung eines Fremdkörpers im reagierenden System auf dem Wege der Bildung lockerer Zwischenverbindungen oder Adsorptionskomplexe neue, günstigere Reaktionsmöglichkeiten entstehen können — die mitunter zur Wirklichkeit werden³⁷ — so ist es auch klar, wie sich die Zwischenreaktions-Theorie mit der Katalyse, insbesondere der Oberflächen-Katalyse durch Stoff-Gemische abzufinden hat. Eine Beimischung weiterer Stoffe zum Einstoff-Katalysator kann, selbst wenn sie nur in Spuren geschieht, unter Umständen die Beschaffenheit der Grenzfläche und damit Art und Geschwindigkeit der Adsorptions- oder sonstiger Teilvorgänge des katalytischen Prozesses in günstigem oder ungünstigem Sinne, qualitativ und quantitativ, so sehr beeinflussen, daß die oben erwähnten starken Abweichungen von der Additivität bei der Verwendung von Misch-Katalysatoren zustande kommen. Eine „Erklärung“ der Aktivierungsvorgänge ist mit diesem allgemeinen Gesichtspunkt natürlich nicht gegeben, sie wird vielmehr im Einzelfalle erst durch genaue Untersuchung zu gewinnen sein³⁸.

Zur Veranschaulichung der allgemeinen Ausführungen über die Zwischenreaktions-Theorie möchte ich mit wenigen Worten auf einige Beispiele eingehen. Für die Ammoniak-Katalyse aus den Elementen gilt bekanntlich, daß nur solche feste Stoffe hier katalytisch wirksam sein können, die nicht nur den Wasserstoff, sondern vor allem auch den Stickstoff aktivieren³⁹, indem sie beide Gase an der Grenzfläche durch eine spezifische Art von Adsorption in einen besonders reaktionsfähigen Zustand bringen, in welchem die Reaktionsträgheit der Molekeln bis zu einem gewissen Grade überwunden ist, so daß sie sich mehr

oder minder der Aktivität freier Atome nähern. Dieser Forderung der Aktivierung sowohl des Wasserstoffs wie des Stickstoffs entspricht z. B. erhitztes poröses Eisen im reinen oder noch besser in dem besonderen, durch Zufügung bestimmter Fremdstoffe wie Tonerde herbeigeführten „aktivierten“ Zustande. Andererseits ist bemerkenswert, daß metallisches Nickel, das nur den Wasserstoff aktiviert, kein brauchbarer Ammoniak-Katalysator ist; wohl aber stellt einen solchen dar ein Nickel-Wolfram-Gemisch, in welchem die Gegenwart des Wolframs bestimmte Beziehungen zum Stickstoff vermittelt.

Während der Vorgang der katalytischen Ammoniak-Bildung aus den Elementen, wie auch die SO_2 -Katalyse, als Beispiele für die Fälle dienen können, wo man sich mit der Vorstellung einer durch stöchiometrische Formeln nicht erfassbaren, im Adsorptionsfeld durch Herabsetzung der Dissoziationswärme oder sonstwie bewirkten Steigerung der Reaktionsfähigkeit der Molekeln begnügt, kann als Repräsentant anderer Fälle der Katalyse, bei denen der Chemiker leicht die Annahme bestimmter labiler Zwischenverbindungen in der Oberflächenschicht vorziehen wird, die katalytische Ammoniak-Oxydation mittels Luft gelten; als Primärvorgang wird man hier die Bildung einer lockeren Additionsverbindung von Ammoniak und Sauerstoff mit Oberflächenteilchen des Katalysators ansehen können, an die sich in stetem Zyklus die Spaltung des Komplexes, z. B. in Stickoxyd, Wasser und Katalysator, anschließt. Doch sei nochmals hervorgehoben, daß zwischen beiden Vorstellungsweisen kein eigentlicher Widerspruch besteht.

Das Beispiel der katalytischen Ammoniak-Oxydation ist geeignet, zu zeigen, daß bei der Fülle der möglichen Zwischenreaktionen die Wirksamkeit eines Katalysators oft darauf hinausläuft, daß er eine Reaktionsauslese oder eine Reaktionslenkung bewirkt. Sind nämlich in einem System Teilreaktionen in sehr verschiedener Richtung möglich⁴⁰ — und das ist oft schon bei anorganischen, noch mehr aber bei organischen Reaktionen der Fall —, so wird ein bestimmter Katalysator durch Beschleunigung bestimmter Teilreaktionen etwa zu einem Produkt A als einzigem oder

doch hauptsächlichem Produkt führen, ein anderer Katalysator durch Beschleunigung bestimmter anderer Reaktionen oder auch durch Zurückhaltung gewisser Teilvorgänge hauptsächlich zu einem anderen Produkt B.

Im Falle der katalytischen Ammoniak-Oxydation heißt das, daß je nach der Natur des erhitzten Katalysators entweder vorwiegend eine Bildung von Stickoxyd und Wasser (z. B. mit durch Wismut aktiviertem Eisen) oder von Stickstoff und Wasser (z. B. mit Nickel) eintritt.

Auf die zahlreichen wichtigen Fälle der *selektiven* Katalyse, wie sie bei dem Studium von Hydrogenisations- und Oxydations-Katalysen in der organischen Chemie durch die verschiedensten Forscher sich ergeben haben, kann ich hier nicht eingehen. Tatsächlich handelt es sich bei organischen Katalysen fast immer um selektive Prozesse, d. h. um in bestimmte Richtung gelenkte Reaktionsverläufe, die in mehr oder minder großer Entfernung von dem endgültigen Gleichgewichtssystem haltmachen⁴¹.

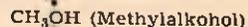
Als ein besonders lehrreiches Beispiel aus neuester Zeit für diese Erscheinung der Reaktionslenkung durch Katalysatoren möchte ich die gegenwärtig viel beachtete *katalytische Reaktion zwischen Kohlenoxyd und Wasserstoff* (s. S. 25) anführen. Je nach der Natur des Katalysators und den sonstigen Arbeitsbedingungen erhalten wir entweder hauptsächlich oder ausschließlich 1. Methan oder 2. Methylalkohol oder reichlich 3. höhere Alkohole, oft neben den verschiedensten sonstigen Verbindungen, wie Säuren, Ketonen, Aldehyden, Estern; oder schließlich auch vorwiegend 4. flüssige und sogar feste Kohlenwasserstoffe verschiedenster Art.

Genauer ist aus der Zusammenstellung auf Seite 37 ersichtlich.

Natürlich kann es sich bei dieser mit dem Katalysator veränderlichen Konkurrenz von Teilreaktionen sowohl um *parallel, d. h. vom gleichen Ausgangsgemisch im wesentlichen nebeneinander verlaufende Teilreaktionen* wie auch um *Stufenreaktionen* handeln, die aufeinander folgen; und ein sehr wichtiger Fall bzw. eine sehr wichtige Aufgabe der Reaktionslenkung wird dann oft darin bestehen, daß man einen Katalysator findet, der den Reaktionsverlauf

nur bis zu einer bestimmten Stufe beschleunigt, so daß er an einem Punkte abbricht, wo ein anderer Katalysator noch diese oder jene unerwünschte Folgereaktion anschließen würde.

Produkte aus Kohlenoxyd und Wasserstoff
(Hochdruck-Katalyse):



Abgeleitete Produkte:

- | | |
|---|--|
| I. Alkohole: | II. Äther und Ester: |
| (Aethylalkohol),
n-Propylalkohol, Sdp. 97°,
Isobutylalkohol Sdp. 108°,
Amylalkohol, Sdp. 128°, (iso)
Hexylalkohol, Sdp. 148°
Heptylalkohol, Sdp. 160—165°
Octylalkohol, Sdp. 180°
höher siedende Alkohole. | Dimethyläther,
Methylformiat usw. |
| | III. Aldehyde und Ketone: |
| | Isobutyraldehyd,
Aceton,
Methyl-äthyl-keton usw. |
| IV. Säuren, frei oder gebunden
(Ameisensäure),
(Essigsäure),
(Propionsäure),
Isobuttersäure,
Valeriansäure,
Capronsäure usw. | V. Kohlenwasserstoffe: |
| | Feste Paraffinkohlenwasserstoffe.
Flüssige Kohlenwasserstoffe.
Sdp. 20° bis über 300°.
Gasförmige Kohlenwasserstoffe,
insbesondere Methan. |

VI. Cyclische Verbindungen.

* Bei höheren Alkoholen scheint der Typus $\text{R}^n > \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ stark zu überwiegen.

So kann man hypothetisch annehmen, daß bei der Reaktion zwischen CO und H₂ in jedem Falle zunächst durch Anlagerung Formaldehyd oder etwas ähnliches gebildet wird. Als erstes *faßbares Produkt* tritt unter bestimmten Bedingungen *Methylalkohol* auf; doch kann man seine intermediäre Bildung hypothetisch auch in allen den Fällen annehmen, wo durch verschiedenartige Folgereaktionen andere Produkte, schließlich bis zum Methan entstehen (z. B. mit Nickel als Katalysator nach Sabatier). Da, wo diese Folgereaktionen nicht oder nur in geringem Maße auftreten, z. B. mit Zinkoxyd-Kombinationen unter gewissen Bedingungen, bleibt der Methylalkohol bestehen. Andererseits kann unter bestimmten Verhältnissen in bezug auf Katalysator, Berührungszeit und Temperatur vom Methylalkohol aus, wahrscheinlich unter abermaliger Beteiligung von Kohlenoxyd, ein Aufbau zu höheren Alko-

holen, Estern und dgl., ferner auch zu höher-molekularen Kohlenwasserstoffen stattfinden; die Verzweigung wird immer reicher und mannigfaltiger, und es kann so aus einem einfachen Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemisch durch ein Zusammen- oder Gegenspiel katalytischer Hydrierungen, Dehydratationen, Oxydationen und Kondensationen schließlich eine unübersehbare Fülle der verschiedensten Verbindungen entstehen.

Mit der Definition der Katalyse als einer *Beschleunigung an sich stattfindender Vorgänge* kommen wir in solchen verwickelten Fällen der selektiven Katalyse oder der Reaktionsauslese und Reaktionsverzweigung praktisch nicht sehr weit, da für die Annahme, daß die Bildung der verschiedenen Produkte auch im katalysator-freien Systeme freiwillig (obgleich außerordentlich langsam) stattfindet, jede Erfahrungsgrundlage fehlt. Man hat in diesem Zusammenhange die Wirkung des Katalysators als eine „Partialvergiftung“, d. h. eine Unterdrückung bestimmter Teilreaktionen gekennzeichnet (Rosenmund); besser noch erscheint mir die positive Formulierung, wonach *ein Katalysator, indem er aus der Fülle thermodynamisch möglicher Teilreaktionen einzelne fördert, andere nicht, ohne weiteres zu einer Reaktionslenkung oder Reaktionsauslese und damit zu ganz bestimmten Produkten oder Produktgemischen zu führen vermag*⁴². Die Theorie wird durch diese in präparativer und technischer Beziehung außerordentlich wichtige Reaktionslenkung, bei der die Mehrstoff-Katalysatoren eine bedeutsame Rolle spielen, vor eine schwierige und reizvolle Aufgabe gestellt, die man mehrfach in Einzelfällen schon zu lösen suchte (z. B. Langmuir, verschiedene Orientierung sowie bestimmte „sterische Hinderung“ am Adsorbens).

Aus den Ausführungen, die von mir zur Katalyse als zu einem der Messung zugänglichen chemischen Vorgange gemacht worden sind, und die erklärlicherweise nur sehr flüchtig und andeutend sein konnten, folgt ohne weiteres, daß zwar ein ungeheurer Fortschritt in der Behandlung der Katalyse seit den Tagen von Döbereiner und Berzelius zu verzeichnen ist, daß aber noch viel mehr zu tun übrig bleibt. Man kann sich zwar über die Natur der Teilvor-

gänge, die den Gesamtverlauf der Katalyse zusammensetzen, mehr oder weniger deutliche Vorstellungen machen, man ist auch im Besitz von Meßmethoden, die einen gewissen Einblick in diesen Verlauf gewähren, man kann aber bis heute wohl noch keine einzige heterogene Katalyse qualitativ und quantitativ erschöpfend in ihrem Mechanismus erfassen, d. h. rechnerisch völlig in ihre Teilvorgänge auflösen, und man ist noch weiter davon entfernt, auf Grund gewonnener Einblicke untrügliche Voraussagen zu machen, mit welchen Katalysatoren und mit welchen Reaktionsgeschwindigkeiten neue theoretisch mögliche Reaktionen katalytisch verwirklicht werden können. Wie weit man in absehbarer Zukunft zu tieferen Einblicken in bezug auf die *spezifische Natur und Wirkung des Katalysators* gelangen wird, kann dahingestellt bleiben. In quantitativer Beziehung, d. h. in bezug auf eine Vorausberechnung der *Reaktionsgeschwindigkeit* ist darauf hinzuweisen, daß noch gegenwärtig ja auch für nichtkatalytische Reaktionen nur erste Anfänge einer solchen theoretischen Berechnung (z. B. bei Trautz, Dushman) vorhanden sind; es ist also nicht verwunderlich, wenn auf dem Gebiete katalytischer Beschleunigungen gleichfalls erst ausnahmsweise derartige Berechnungen unternommen worden sind (v. Euler: reaktionsvermittelnde Ionen; Polanyi: Knallgas-Katalyse an Porzellan). Im großen und ganzen bleibt hier dem Versuch vorerst so gut wie alles überlassen.

Schluß

Nachdem wir in Kürze einige grundsätzliche Fortschritte, die auf dem Gebiet der Katalyse seit den Anfängen gemacht worden sind, uns vergegenwärtigt haben, können wir schließlich fragen, ob *ein Wesensunterschied zwischen katalytischen und nicht-katalytischen Reaktionen* besteht. Diese Frage, glaube ich, müssen wir in gewisser Beziehung mit „Nein“ beantworten⁴³.

Zur Begründung sei daran erinnert, daß auch bei nicht-katalytischen Reaktionen der Weg über Zwischenstufen und Zwischenverbindungen geht. Wir wissen ja, daß auch die nicht-katalytischen Vorgänge nicht so einfach verlaufen, als es nach der chemischen Reaktionsgleichung

erscheint. Schon die „einfache“ Knallgas-Vereinigung zu Wasser geht ja stufenweise vor sich, und durch zahlreiche reaktionskinetische Arbeiten neuester Zeit ist der Satz bestätigt worden, den vor Jahrzehnten Schönbein ausgesprochen hat, daß „jeder chemische Vorgang synthetischer und analytischer Art ein aus ‚verschiedenen Akten zusammengesetztes Drama, ein wirklicher processus‘ ist, d. h. einen Anfang, eine Mitte und ein Ende hat“⁴⁴. Wohlverstanden: *Jeder* chemische Prozeß, auch der nicht-katalytische, und die katalytische Reaktion unterscheidet sich von der nicht-katalytischen dann nur dadurch, daß hier unter dem Einfluß des Fremdstoffes die Glieder der Reaktionskette rascher durchlaufen werden, oder richtiger, daß neue Reaktionsstufen über neue labile Zwischengebilde zu einem rascheren Gesamtverlauf führen. Man könnte darnach sogar sich entschließen, zu sagen, daß eine katalytische Reaktion, sobald man ihren Reaktionsmechanismus genügend aufgeklärt hat, die grundsätzlich unterscheidenden Merkmale gegenüber den nichtkatalytischen Reaktionen und gleichzeitig das Geheimnisvolle und Rätselhafte, das mit dem Begriff der Katalyse verbunden erscheint, verloren habe.

So weit wollen wir jedoch nicht gehen, da als für die Katalyse charakteristisches Merkmal immer die *Vermittlung neuer Reaktionswege durch einen besonderen Stoff* bleibt, und da ferner, insbesondere bei der heterogenen Gas-Katalyse, durch die eigenartigen Verhältnisse in den Grenzflächen Erscheinungen bedingt sind, die bei „gewöhnlichen“ chemischen Reaktionen, z. B. in Lösungen, nicht existieren. Das darf man aber vielleicht sagen: Eine ganz besondere Rätselhaftigkeit der Katalyse ist im Grunde nicht vorhanden, sondern die katalytischen Erscheinungen sind im Lichte der Zwischenreaktions-Theorie und der Adsorptions-Theorie betrachtet kaum mehr, allerdings auch nicht minder rätselhaft und geheimnisvoll als jedes andere chemische Geschehen.

Dem entspricht es, daß es ein isoliertes theoretisches Studium der Katalyse nicht geben kann, sondern daß dieses Studium der Katalyse vielmehr eng verknüpft sein muß mit dem Studium der *Fragen der Reaktionsgeschwindigkeit*

überhaupt, und, sofern es sich um heterogene Gas-Katalysen handelt, auch mit der Untersuchung mehr „physikalischer“ Erscheinungen, insbesondere der Diffusion und der Adsorption mit ihren Gesetzmäßigkeiten. Das Verständnis, das wir der Katalyse entgegenbringen, wird also bestimmt durch unsere Kenntnisse auf reaktionskinetischem Gebiete überhaupt und kann jeweils nicht weiter reichen als diese. So ist denn die neueste Entwicklung der Theorie der Katalyse, wie sie sich z. B. in den Arbeiten von Forschern wie Haber, Bodenstein, Trautz, Herzfeld, Polanyi, Taylor, Langmuir, Lewis, Armstrong, Christiansen, Born und Franck und anderen zeigt, dadurch gekennzeichnet, daß die Katalyse durchaus im *Zusammenhang mit der fortschreitenden Erkenntnis über das Wechselspiel der Molekeln und Atome und schließlich auch der Elektronen und Ionen erforscht wird*. Auf diese Dinge einzugehen, würde aber den Rahmen meines Vortrages überschreiten; ich muß mich vielmehr mit der bloßen Bemerkung begnügen, daß geradezu eine ganz neue *Ära der katalytischen Forschung* damit angehoben hat, daß neben der kinetischen Gastheorie auch die neueren Forschungen über den Aufbau der Materie, insbesondere die neue Atom-Theorie sowie die Quanten-Theorie (mithin auch die Ergebnisse der Photochemie) zur Grundlage genommen werden. Von da aus kann man die heterogene Katalyse der Gasreaktionen etwa nach Haber definieren als einen „Vorgang, dessen erste Phase anscheinend eine elektrodynamische Verzerrung des Moleküls durch die Atomfelder an der Grenze des festen Kontaktstoffes gegen den Gasraum, also eine Erscheinung aus einem Gebiete der Molekularphysik darstellt“; oder nach Bodenstein als einen Vorgang, der dadurch verursacht ist, daß die an der Oberfläche adsorbierten Molekeln infolge der von dieser Oberfläche ausgehenden Kraftfelder deformiert werden, so daß sie nicht mehr die reaktionsträgen, normalen Gebilde wie im Gasraume darstellen. Wie Bodenstein hervorgehoben hat, erfährt so eine ältere, seinerzeit recht hypothetische Anschauung über das Wesen der Katalyse, nämlich die Vorstellung, die Raschig in einem 1906 gehaltenen Vortrage⁴⁵ im Sinne einer durch den Katalysator bewirkten Defor-

mation der Molekeln entwickelt hat, eine nachträgliche Rechtfertigung und Wiederauferstehung.

Mit dieser auf Atomphysik und Affinitätslehre aufbauenden neuen Phase der Entwicklung der katalytischen Theorie sich ausgiebig zu befassen, wird dem katalytischen Praktiker, der die Katalyse in erster Linie als eine Art Kunst zu betreiben hat, nicht immer möglich sein, auch ist eine ersprießliche Betätigung auf dem Gebiet der katalytischen Theorie gebunden. Dabei ist jedoch die lebhaftere neuere Entwicklung der Wissenschaft von der Katalyse auch vom industriellen Standpunkt aus sehr zu begrüßen, und zwar nicht nur darum, weil von ihr eine neue Befruchtung der katalytischen Praxis zu erwarten ist, sondern im besonderen auch deshalb, weil sie das Interesse neu zu beleben vermag, das in den chemischen Instituten der Hochschulen der Katalyse entgegenzubringen ist und das vorübergehend an manchen Orten etwas nachgelassen hatte. Dem Chemiestudierenden, der in Fabrikbetriebe überzutreten gedenkt, ist eine mehr als oberflächliche Beschäftigung mit der Katalyse dringend zu raten, nicht nur zur Vervollständigung seiner chemischen Ausbildung überhaupt, sondern auch mit Rücksicht darauf, daß die Bedeutung der Katalyse in der chemischen Industrie geradezu eine ungeheure ist, wobei diese Bedeutung, wie mir scheint, in Zukunft durchaus nicht abnehmen, sondern eher noch stark zunehmen wird. Hier liegt fürwahr ein Land der unbegrenzten Möglichkeiten bereit, das dem phantasiebegabten, verständnisvollen und ausdauernden Chemiker befriedigende, ja im Glücksfalle reiche Ernten verspricht.

Und blicken wir aus dem Laboratorium und dem Fabrikgebäude hinaus in die Welt, so zeigt sich, daß auch in der Natur kein Gebiet chemischen Geschehens existiert, wo die Katalyse nicht anzutreffen wäre: in der sogenannten leblosen Natur wie im Leben der Organismen — hier insbesondere in Form der wichtigen Enzym-Reaktionen⁴⁰ — gehen allenthalben katalytische Prozesse vor sich, so daß wir am Ende die Katalyse als eine unbedingte natürliche Notwendigkeit anzusehen haben, ohne die ein geregelter Ablauf des Geschehens überhaupt nicht denkbar ist. Eine Chemie ohne Katalyse ist schließlich gar nicht vorstellbar.

Beides ist in der Natur gleich bedingt und gleich notwendig: die chemischen Widerstände, die sich einem hemmungslosen augenblicklichen Ablauf aller Reaktionen entgegenstellen, wie die Katalysatoren, die in zahllosen Fällen chemische Widerstände zu überwinden vermögen.

Dieser universalen Bedeutung der Katalyse wird auch die Betätigung des mit ihr sich beschäftigenden Praktikers in Zukunft vielleicht eine noch weitergehende und vertiefere sein müssen. Man wird die in zahlreichen Erfolgen bewährten bisherigen Methoden zur Auffindung und Verwirklichung neuer katalytischer Durchdringung bisher unerschlossener Gebiete die Fortschritte der katalytischen Theorie als Mittel zur Erweiterung und zur Erleichterung der praktischen Forschung benutzen, und man wird, was hiermit eng zusammenhängt, bemüht sein, von der organischen Natur selbst immer mehr Lehre anzunehmen, wenn diese sich gegenüber den oft recht groben katalytischen Hilfsmitteln unserer technischen Praxis äußerst feiner, großenteils noch verborgener, dabei aber nicht minder wirksamer katalytischer Mittel bedient.

Zelttafel zur Entwicklung der katalytischen Forschung

- 1781 Parmentier: Verzuckerung von Stärke durch Säuren (1808 Döbereiner, 1811 Kirchoff).
- 1806 Clement und Desormes: Stickoxyde als Vermittler der SO_2 -Oxydation durch Luft.
- 1817 H. Davy: Einwirkung erwärmten Platins auf brennbare Gase und Dämpfe; schädliche Einflüsse dabei.
- Um 1818 Thénard: Zersetzung von H_2O_2 durch Platin.
- Um 1820 Döbereiner: Katalytische Wirkung von Platin bei gewöhnlicher Temperatur. Verschiedene Katalysen.
- 1823 Dulong und Thénard: Beeinflussung von Gasreaktionen durch Metalle (NO-Reduktion, Knallgas-Katalyse).
- 1834 Mitscherlich: Zerfall von Alkohol unter Einwirkung von H_2SO_4 in Äther und Wasser.
- 1834 Faraday: Katalyse von Gasgemischen.
- 1834 Berzelius: Name und Definition der Katalyse.
- Um 1839 Kuhlmann: Katalytische Ammoniak-Oxydation mittels Platins.
- Um 1860 Schönbein: Zahlreiche Katalysen.
- 1884 M. Traube: Erste „Aktivierungs“-Fälle.
- 1901 Ostwald: Vortrag über Katalysen; neue Definition. Weiterhin Arbeiten von Nernst, Haber, Bodenstein, Bredig, Sabatier, Willstätter und anderen.
- Nach 1919 Weiterentwicklung der Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit und der Katalyse (Trautz, Herzfeld, Polanyi, Lewis, Langmuir, Taylor, Christlansen, Born und Franck und andere).

Einige Daten zur Entwicklung der Katalyse in der Technik

- 1862 Deacon und Hurter: Katalytische Darstellung von Chlor aus Salzsäure und Luft.
- 1875 Clemens Winkler: SO_3 -Katalyse aus SO_2 und Luft mit Platin.
- 1882 Tollens und Loew (Fabrik Merklin): Katalytische Oxydation von Methylalkohol zu Formaldehyd.

- 1885 Chance und Claus: Katalytische H₂S-Oxydation zu Schwefel.
 1890 Badische Anilin- und Soda-Fabrik, R. Knietsch: SO₂-Kontaktprozeß mit Rdstgasen mittels Platins durchgeführt.
 1895 Badische Anilin- und Soda-Fabrik, Sapper: Katalytische Phthalsäure-Gewinnung aus Naphthalin und Schwefelsäure mittels Quecksilbers.
 1898 Verein Chem. Fabriken, Hasenbach und Clemm: Das Platin beim SO₂-Prozeß durch Eisenoxyd ersetzt.
 1901 Polzeniusz: Zusatz von Chlorid bei der Stickstoff-Aufnahme von Calciumcarbid.
 1902 Normann: Begründung der katalytischen Fett-Härtung.
 1903 W. Ostwald: Salpetersäure-Herstellung durch katalytische Oxydation von NH₃ mit Platin-Kontakt.
 1907 Raschig: Katalytische Herstellung von Hydrazin.
 1908 Haber: Katalytische Hochdruck-Synthese des Ammoniaks begründet.
 Um 1910 Grünstein (nach Wunderlich): Acetaldehyd aus Acetylen.
 1910-1914 Badische Anilin- und Soda-Fabrik: Aktivierte Kontaktmassen für die Ammoniak-Synthese; technische Durchführung der Hochdruck-Synthese durch C. Bosch.
 1913 Badische Anilin- und Soda-Fabrik: Katalytische Herstellung von Wasserstoff aus CO+H₂O.
 Katalytische CO-Reduktion von Nitrobenzol zu Anilin.
 1914 Badische Anilin- und Soda-Fabrik: Katalytische Ammoniak-Oxydation mit Eisenoxyd-Wismutoxyd.
 1916 Wohl, Gbs: Gewinnung von Phthalsäure, Anthrachinon usw. durch partielle katalytische Oxydation von Kohlenwasserstoffen.
 1917 Farbenfabriken vorm. F. Bayer: Katalytische Oxydation von Kohlenwasserstoffen.
 1917 Farbenfabriken vorm. F. Bayer: Katalytische Oxydation von H₂S mittels aktiver Kohle in Gegenwart von NH₃.
 1918 Lamb: CO-Oxydation bei gewöhnlicher Temperatur mittels „Hopcalit“ (Cu-Mn-Oxyd bzw. Cu-Mn-Co-Ag-Oxyd).
 1923 Badische Anilin- und Soda-Fabrik: Katalytische Methanol-Herstellung durchgeführt.
 1924-1925 Badische Anilin- und Soda-Fabrik: Blausäure-Herstellung aus Kohlenoxyd und Ammoniak bzw. aus Formamid.

Anmerkungen:

I W. Ostwald, Abhandlungen und Vorträge [1916], S. 79: „Ein Katalysator ist jeder Stoff, der, ohne im Endprodukt einer chemischen Reaktion zu erscheinen, ihre Geschwindigkeit verändert“. (Der besondere Fall der Autokatalyse ist hierbei nicht berücksichtigt). — 2 Den ersten Versuch einer Synthese des Ammoniaks überhaupt hat wohl der Herzoglich Braunschweig-Lüneburg. Bergrat und Chemieprofessor Georg Friedrich Hildebrandt ausgeführt, indem er Stickstoff-Wasserstoff-Gemische tagelang über Wasser stehen ließ und sodann auf das Vorhandensein von Ammoniak prüfte; s. Crells Annalen 1, 303 [1795]. — 3 A. eb. [?] 24, 93 [1823]. — 4 Kuhlmann hat auch als erster den oben erwähnten Irrtum von Döbereiner hinsichtlich einer Ammoniak-Synthese mittels Platins richtiggestellt. — Die katalytische Ammoniak-Oxydation mittels Platins ist nach 1900 bekanntlich von W. Ostwald weiter verfolgt und technisch ausgestaltet worden. — 5 So zeigen sich bei Gasreaktionen ja häufig sehr merkwürdige Unterschiede schon je nach dem Gefäßmaterial, vergl. z. B. Hinshelwood, Soc. 127, 1105 [1925]. — 6 Aus dem Bereich der Stickstoff-Bindung seien folgende Fälle katalytischer Beschleunigung angeführt: Cyanid-Bildung aus Alkali, Kohle und Stickstoff mit Eisen als Katalysator, Cyanamid-Bildung aus Calciumcarbid und Stickstoff mit Chlorcalcium und anderen Chloriden (Polzeniusz, D. R. P. 163 320 von 1901), Bildung von Titanitrid aus Titansäure, Kohle und Stickstoff mit Zufügung von Alkalisalzen (Badische Anilin- und Soda-Fabrik, D. R. P. 203 750; Bosch, Amer. P. 957 842), Darstellung von Siliciumnitrid aus Kieselsäure, Kohle und Stickstoff mit Metallen oder Metallverbindungen (Badische Anilin- und Soda-Fabrik, D. R. P. 234 129; Bosch und Mittasch, Amer. P. 1 054 901), und von Alumi-

minnitrid aus Tonerde, Kohle und Stickstoff in Gegenwart von Eisen usw. (Serpeck, Amer. P. 888 044 [1908]; Badische Anilin- und Soda-Fabrik, D. R. P. 243 839; Bosch und Mittasch, Amer. P. 1 027 312). — 7 s. Vorträge Haber, Z. Ang. 27, 473 [1914], Naturwissenschaften 10, 1041 [1922]. — 8 Badische Anilin- und Soda-Fabrik, D. R. P. 254 344 und 263 612. — 9 Brode, Ph. Ch. 37, 257 [1901]; Bredig Ph. Ch. 31, 301 [1899]. Auch in der älteren chemisch-technischen Literatur, d. h. insbesondere in Patentschriften, finden sich nur vereinzelte Angaben über Vorteile bei Benutzung von Katalysatoren, die keine einfachen Stoffe, sondern Gemische darstellen; z. B. Höbbling und Ditz, D. R. P. 142 144 und 149 677 [1902], Chem. Fabr. vorm. Schering, D. R. P. 219 043 und 219 044 [1908]. — 10 vergl. D. R. P. 249 447 von 1910 und Zusatzpatente 254 437, 258 146, 261 507, 262 823, 286 430, in denen eine große Anzahl gut wirksamer in ausgedehnten Versuchsreihen ermittelter Kombinationen enthalten ist. (Amerikanische Patente: Bosch, Mittasch, Wolf und Stern, Nr. 1 068 966, 1 068 967, 1 068 968, 1 068 969, 1 094 194, 1 148 570, 1 152 930; Bosch, Mittasch, Nr. 1 118 628 und 1 128 843). — 11 D. R. P. 246 377 (Bosch und Mittasch, Amer. P. 1 053 951). — 12 vergl. hierzu die ausführlichen Mitteilungen in den Vorträgen von Bernthsen, Z. Ang. 26, 10 [1913], Bosch, Z. El. Ch. 24, 361 [1918] und Naturwissenschaften 8, 867 [1920], sowie Mittasch, Naturwissensch. Monatsh. 1925, 205. — 13 D. R. P. 307 590 von 1913 und Zusätze (Bosch, Mittasch, Krauch, Amer. P. 1 271 013); auch D. R. P. 299 283 (Permutit-Kontakmassen), sowie D. R. P. 415 686 (Mittasch, Pier. Winkler, D. R. P. 408 811 (Schmidt, Bertsch, Ufer). — 14 D. R. P. 292 615 von 1912 (Bosch und Wild, Amer. P. 1 113 096); siehe auch D. R. P. 279 582; Bosch, Mittasch, Beck, Amer. P. 1 330 772. — 15 D. R. P. 283 824 von 1914 (Bosch, Mittasch, Beck, Amer. P. 1 207 707, 1 207 708, 2 211 394). — 16 Dasselbe wurden vorwiegend aus Trägersubstanz, Alkalisilicat und Metall (z. B. Nickel) bestehende Kontakmassen verwendet, die bei der Hydrogenisation von Gasen und Dämpfen bestimmte Vorteile bieten, s. auch Bosch, Schmidt, Mittasch, Amer. P. 1 391 666, Badische Anilin- und Soda-Fabrik, D. R. P. 263 396 und 282 568; Schmidt, Amer. P. 1 207 802; vergl. auch Schmidt, Ph. Ch. 118, 193, [1925], 17 D. R. P. 293 787 von 1913 und Zusätze. (Mittasch und Christian Schneider, Amer. P. 1 201 850.) — 17 Präparate: Produkt von 1913 mit einer öligen Kohlenwasserstoff-Schicht und einer wäßrigen Lösung verschiedener Alkohole (vom Methylalkohol bis etwa zum Heptylalkohol), Fettsäuren usw.; Rohmethanol-Proben mit geringem und mit starkem Gehalt an höheren Alkoholen; isolierte Alkohole und Produkte hieraus (s. auch S. 37). — Auch bei den „Synthol“-Arbeiten von Fr. Fischer und Tropch sind bestimmte Zwitterstoff-Katalysatoren (z. B. Eisen-Alkali) mit Erfolg verwendet worden; siehe Brennstoff-Chemie 4, 276 [1923], 5, 201 [1924]; B. 56, 2428 [1923]. — Hinsichtlich der katalytischen Methanol-Herstellung siehe auch Ch. Z. 48, 463 [1925]. — 19 Die Figur geht zurück auf die Zeit der Beschäftigung mit den Ammoniak-Katalysatoren um 1910 bis 1912. Kurve I gibt so z. B. das Verhalten von Eisen-Tonerde-Katalysatoren schematisch wieder, II das von Eisen mit zunehmendem Schwefel-Gehalt (der Abfall erfolgt in Wirklichkeit noch viel steiler), IV etwa das Verhalten von Eisen-Molybdän-Gemischen. Es ist bemerkenswert, daß hinsichtlich der Adsorptions- bzw. Absorptions-Geschwindigkeit von Gasen durch Metall-Gemische ähnliche Verhältnisse wie bei der Katalyse bestehen (Tammann, Sieverts). Dieser Parallelismus ist natürlich nicht zufällig, sondern innerlich begründet. — 20 Bei der durch besonders starke Oberflächen-Entwicklung gekennzeichneten „Trägerwirkung“ (Kurve I b) kann die sachliche Zugehörigkeit zu dem Schema zweifelhaft sein. — 21 Auf dem Gebiet der Ferment-Reaktionen spielen bekanntlich in entsprechender Weise die Co-Enzyme eine wichtige Rolle, neben denen weiterhin noch besondere Aktivatoren oder auch „Paralysatoren“ wirksam sein können. — 22 D. R. P. 303 862 und 339 870, Engelhardt, Z. Ang. 34, 293 [1921]. — 23 Mitunter besteht für diesen Reaktionsverlauf über den neuen Weg eine außerordentlich hohe Reaktionsgeschwindigkeit, und es ergeben sich dann die trotz aller Erklärungen immer wieder überraschenden Fälle, daß minimale Spuren des Katalysators eine Reaktion rasch in Gang bringen (z. B. H₂O₂-Zersetzung nach Bredig durch kolloidales Platin in Verdünnung von 1 g-Atom auf 70 Millionen Liter, jedoch andersseits (nach Iredale) mit Aufhebung der Katalyse z. B. durch Gelatine in Verdünnung 1 : 20

Millionen Liter. — 24 Vortragender erinnert sich mit Freude jener Zeit, da er im Leipziger Physikalisch-chemischen Institut unter Leitung von Bodenstein eine reaktionskinetische Arbeit ausführen durfte, mitten in einer von Ostwald und seinen Assistenten Bredig, Luther und Bodenstein geschaffenen Atmosphäre eifrigster Beschäftigung mit Fragen der Katalyse. — 25 Dieser Gedanke ist von Abel, Z. El. Ch. 19, 943 [1913], in die Fassung gebracht worden, daß „nicht Stoffe, nur Reaktionen katalysieren“. — 26 Ungefähr gleichzeitig hat auch Brode für einen Fall der Jodionen-Katalyse den Nachweis eines Verlaufes über Zwischenreaktionen erbracht; Ch. Z. 24, 1116 [1901]; siehe auch Ph. Ch. 49, 213 [1904]. Ferner siehe Walton, Ph. Ch. 47, 185 [1904], sowie die zusammenfassenden Ausführungen von Abel, Z. El. Ch. 19, 933 [1913]. — 27 Auch bei der Enzym-Wirkung wie bei der asymmetrischen Synthese durch Katalysatoren handelt es sich um eine Form der Herbeiführung von Zwischenreaktionen, d. h. um „eine sich immer wieder lösende und sich immer wieder erneuernde Bindung zwischen Enzym und Substrat“ (Bredig, Festschrift zur Jahrhundertfeier der Technischen Hochschule Karlsruhe, 1925). Dabei können die Enzym-Wirkungen, weil sie regelmäßig an die Gegenwart von Kolloiden geknüpft sind, bereits als eine Form mikroheterogener Katalyse betrachtet werden, wie ja allgemein die katalytische Wirkung kolloidaler gelöster Stoffe den Übergang von der homogenen zur heterogenen Katalyse vermittelt. — 28 Ist dabei für die einen rascheren Reaktionsverlauf vermittelnde Zwischenverbindung das Reaktionsprodukt selbst bzw. eines der Reaktionsprodukte ein wesentlicher Bestandteil, so ergibt sich der Fall der Autokatalyse. — 29 Beim praktisch-technischen Arbeiten mit strömenden Gasen ist dieser Platzwechsel in der Berührungszone wesentlich erleichtert. — 30 Von besonderer Bedeutung sind in dieser Beziehung die Arbeiten Bodensteins (um 1907) über die Adsorptionsschicht bei der heterogenen Katalyse und über die Diffusion der Reaktions-Teilnehmer und der Reaktions-Produkte durch diese Adsorptionsschicht, wobei verschiedene Möglichkeiten in reaktionskinetischer Beziehung existieren; siehe Bodenstein und Fink, Ph. Ch. 60, 1, 46 [1907]; vergl. auch Stock über die autokatalytische Zersetzung von Antimonwasserstoff, B. 37, 901 [1904], Stock und Bodenstein, B. 40, 570 [1907]. — 31 Sehr verwickelt ist der Fall, wenn es sich, wie bei der katalytischen Hydrierung von Flüssigkeiten, um drei Phasen (fest, flüssig, gasförmig) handelt, so daß die zu hydrierende Substanz durch besondere Mittel wie Schütteln oder Rühren sowohl mit dem Gas wie mit dem Katalysator dauernd in innige Berührung zu bringen ist; als klassisches Beispiel hierfür dient die Fett-Härtung (Normann, 1902), ein anderes wichtiges Beispiel ist die Hydrierung von geschmolzenem Naphthalin zu Tetralin usw. (Tetralin-Gesellschaft, Schrauth, 1915). — 32 vergl. Sabatier, Nobelpreis-Vortrag über Hydrierung durch Katalyse [1913]. — 33 Schon seit längerem hat man ja die Adsorption als „Vorstufe chemischer Verbindung“ bezeichnet. Auch in der Theorie der Enzym-Wirkung finden sich ähnliche Darlegungen (v. Euler, Chemie der Enzyme ([1920], 89). — 34 Schema: Übertragungstheorie; Physikalische Übertragung durch Verdichtung (Döbereiner, Faraday), bzw. durch Adsorption spezifischer Art / Chemische Übertragung durch Zwischenreaktionen und labile Anlagerungsverbindungen / Auf Atomphysik und Quanten-Theorie fußende neuere Vorstellungen. — 35 Zusammenfassende Darstellungen der neueren Fortschritte der katalytischen Forschungen sind unter anderem in den amerikanischen „Reports of the Committee on Contact Catalysis“ zu finden; ferner s. z. B. Untersuchungen von Rideal, Adkins, Dhar, Maxted, Lewis, Prins, Matignon und anderen. — 36 Weitere Beispiele dafür, daß bei heterogenen Katalysen gewisse labile Zwischenverbindungen als Reaktionsvermittler angesehen werden, finden sich in der Literatur mehrfach; so für verschiedene katalytische Oxydationen, bei denen eine abwechselnde Bildung und Reduktion höherer Oxydstufen des Katalysators angenommen wird; doch ist der sichere Nachweis stöchiometrisch definierter Zwischenverbindungen bisher noch nicht oft erbracht worden; vergl. L. Wöhler, Z. El. Ch. 15, 769 [1909], mit der Annahme labilen Platintrioxyds in Oberflächenlösung bei der SO_2 -Katalyse mit Platin, wobei betont wird, daß die Erscheinung auch als auswählende oder spezifische Adsorption des Platins für Sauerstoff gedeutet werden kann; siehe

auch Manchot, A. 314, 177 [1901] Engler und Wöhler, Z. a. Ch. 29, 1 [1902]; Wöhler und Mitarbeiter, B. 39, 3538 [1906]; ferner Goldschmidt, Michael, Sabatier über die intermediäre Bildung von Thorium-Alkoholaten und dgl. bei der Dehydratation von Alkoholen (s. jedoch Bancroft, Journ. Ind. Eng. Chem. 14, 327 [1922], mit Ablehnung eines „Kaolin-Äthylates“), Schaarschmidt über Zwischenprodukte bei der Friedel-Crafts-Synthese, Ch. Z. 48, 724 [1924], Taylor und Armstrong über Hydrierungskomplexe aus ungesättigten Verbindungen, Nickel und Wasserstoff. Ähnliche Komplexe sind auch bei Enzym-Reaktionen anzunehmen. — 37 Sind für die entstandenen „Molekularkomplexe“ etwa ungünstigere Reaktionsbedingungen vorhanden, als sie bei Abwesenheit des Fremdstoffes vorliegen, so ergibt sich der Fall der negativen Katalyse. — 38 Derartige Erklärungsversuche, zum Teil unter Benutzung der Vorstellung ausgezeichneter aktiver Punkte, finden sich z. B. bei Medsforth, Soc. 123, 1452 [1923]; Boswell und Bayley bzw. Russell und Taylor, Journ. phys. Chem. 29, 679, 1325 [1925] sowie Rosenmund, B. 58, 2054 [1925]. — 39 Buch-Andersen, Ztschr. f. Physik 10, 54 [1922]. — 40 Für diese Feststellung, d. h. für die Beantwortung der Frage nach der Lage bestimmter Gleichgewichte bildet bekanntlich die klassische Thermodynamik und besonders der dritte Wärmesatz von Nernst ein unentbehrliches Hilfsmittel. — 41 Als Beispiele technisch wichtiger selektiver oder partieller katalytischer Oxydationen seien genannt: die Oxydation von Naphthalin mittels Schwefelsäure zu Phthalsäure in Gegenwart von Quecksilber (Sapper, 1895), wobei das Quecksilber in den verschiedenen Teilreaktionen des Gesamtvorganges verschiedene Funktionen ausübt, ferner die Gewinnung von Formaldehyd durch Oxydation von Methylalkohol mit Luft in Gegenwart von Silber oder Kupfer, oder von Äthylen in Gegenwart von Borsäure oder Phosphorsäure (Badische Anilin- und Soda-Fabrik, D.R.P. 397 212 und 419 861), und von Oxalsäure durch katalytische Oxydation von Holz und dergl. (Badische Anilin- und Soda-Fabrik, D.R.P. 370 972 und Zusätze), die Oxydation von Anilin zu Anilinschwarz, die katalytische Überführung von Acetaldehyd (aus Acetylen katalytisch erhalten) in Essigsäure (Farbwerke Höchst, Duden und Ernst), die mit Vanadinoxid und dgl. erreichten Oxydationen von Naphthalin, Benzol, Anthracen usw. in Dampfform (Wohl, Gibbs und andere). Von entsprechenden katalytischen Hydrogenationen seien die Gewinnung von Tetralin oder Dekalin aus Naphthalin (S. 24), von Isopropylalkohol aus Aceton (Badische Anilin- und Soda-Fabrik, Gaus 1911), sowie von Äthylalkohol aus Acetaldehyd und von Butylalkohol aus Crotonaldehyd usw. (z. B. Badische Anilin- und Soda-Fabrik, Schumann und Steimmig, D.R.P. 350 048, 362 537, Steimmig und Ulrich, D.R.P. 407 837) und die Hydrierung von Fetten, Kohlenwasserstoffen und Alkaloiden erwähnt; vgl. auch Skita, Katalytische Reduktionen; Sabatier, Katalyse in der organischen Chemie; Maxted, Catalytic Hydrogenation and Reduction. Rideal und Taylor, Catalysis in Theory and Practice, Henderson, Catalysis in Industrial Chemistry. — 42 Dieser selektive Charakter gewisser Katalysen hat bekanntlich in den lebenden Organismen sein Gegenstück in der selektiven Wirkung der Enzyme und Fermente. Auch hier, insbesondere bei den durch die Lebenstätigkeit von Mikroorganismen verursachten Umwandlungen organischer Verbindungen, also z. B. bei den Gärungsvorgängen, zeigen sich Reaktionslenkung und Reaktionsauslese; vergl. insbesondere die Arbeiten von Neuberg über biochemische Zuckerspaltung und dgl. mit bestimmter Reaktionsführung, insbesondere nach der Methode des Abfangens von Zwischenverbindungen (Acetaldehyd-Glycerin); Ch. Z. 44, 9 [1920]; Naturwissenschaften 9, 334 [1921]. Beachtenswert ist, daß in analoger Weise auch die Adsorption für sich stark ausgesprochene Fälle selektiven Verhaltens zeigt; vergl. z. B. Willstätter, B. 58, 2461 [1925], über die völlig verschiedene Adsorption von rohrzucker- und malzuckerspaltender Carbohydrase an Aluminiummetahydroxyd, wodurch direkt eine quantitative Trennung ermöglicht wird. — 43 Es ist von Interesse, daß nach neueren Anschauungen (z. B. Born und Franck, Ztschr. f. Physik 31, 411 [1925]) auch bei den nicht-katalytischen Reaktionen zum Vollzug der Elementarprozesse zwischen zwei Molekelarten die Gegenwart dritter Stoffe erforderlich ist, die Wirkungsweise dieser besteht dabei jedoch in der Ermöglichung der Abgabe der Reaktionswärme, während bei

den katalytischen Prozessen, wie wir gesehen haben, der Zusatzstoff seine Wirkung auf dem Wege der Hervorbringung von Zwischenreaktionen im weitesten Sinne entfaltet; siehe auch Bodenstein, Z. El. Ch. 31, 343 [1925]. — 44 Siehe Briefwechsel mit Liebig (herausgegeben von Kahlbaum, 1800), S. 12—13 [1839] und S. 269 [1868]. Auch an die Ostwaldsche Stufenregel sei erinnert. — 45 Z. Ang. 19, 1748 [1906]; s. auch Zellnsky, B. 58, 2755 [1925], mit dem Hinweis auf ähnliche Gedanken Mendelejeffs. — 46 Vgl. hierzu die Arbeiten über Fermente, Toxine, Hormone usw. von van't Hoff, Arrhenius, Pasteur, Duclaux, Buchner, E. Fischer, Loew, Henri, Michaelis, v. Euler, Abderhalden, Neuberg, Willstätter, Kuhn und anderen; s. auch Oppenheimer, Fermente; v. Euler, Chemie der Enzyme; Höber, Physikalische Chemie der Zelle und Gewebe usw.

Zur geschichtlichen Entwicklung und zur Theorie der Ammoniakkatalyse*

Von A. Mittasch und W. Frankenburger¹

I. GESCHICHTE DER AUFFINDUNG DER AMMONIAK-KATALYSATOREN (M.)

Unter den zahlreichen Katalysen der Technik befindet sich kaum eine, die der Wissenschaft über Katalyse und Katalysatoren so viel Anregung und Gewinn gebracht hat wie die Ammoniakkatalyse, die vor reichlich zwanzig Jahren aus dem Stadium bloßer Empirie und unfruchtbarer Spekulationen in das Stadium ernsthafter wissenschaftlicher Arbeit und technischer Verwirklichung getreten ist. Mehrfach ist bereits im Zusammenhange beschrieben worden, in welcher Weise diese Entwicklung vor sich gegangen ist² und wie an die grundlegenden Arbeiten von Haber anschließend in der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen am Rhein, jetzt I. G. Farbenindustrie, von Carl Bosch ein praktisch im größten Maßstabe ausführbares Verfahren ausgearbeitet worden ist.

Hier soll diese Entwicklung lediglich in chemischer Hinsicht, und zwar vor allem hinsichtlich der Frage der *Katalysatoren* behandelt werden, die wie bei jedem katalytischen Verfahren das Herz bilden, ohne dessen Pulsschlag der Organismus still steht³.

Eine auf einwandfreie experimentelle Arbeit gestützte Beschäftigung mit der Ammoniakkatalyse und den Ammoniakkatalysatoren beginnt erst mit Nernst und Haber⁴. Dabei reichen die Arbeiten von Haber an sich zeitlich weiter zurück, während, sofern man nur das Arbeiten mit hohen Drucken in Betracht zieht, Nernst an früherer Stelle zu nennen ist. Bei den ersten unter Hochdruck ausgeführten Arbeiten von Nernst und Mitarbeitern (1906—07) war mit verhältnismäßig schwach wirksamen Katalysatoren gearbeitet worden: Platinfolie, feinverteiltes Eisen und elektrolytisch abgeschiedenes Mangan waren die Katalysatoren, auf deren Anwendung sich die Autoren beschränkten. Ebenso hat Haber im Anfang nur schwach aktive Katalysa-

* Ztschr. f. Elektroch. 35 (1929) 920—927. Erweitert in Journ. of Chem. Education 6 (1929) 2097—2103.

¹ Mittasch, Chemie

toren benutzt: fein verteiltes Eisen, Calcium, Mangan, Chrom und Nickel waren die Substanzen, mit denen er in den Jahren 1904—1905 und auch noch 1907 gearbeitet hat. Bekanntlich hat sich aber Haber mit diesen Katalysatoren nicht zufrieden gegeben, sondern ist als erster experimentell auf die Suche nach neuen hochwirksamen Katalysatoren für die Ammoniaksynthese gegangen. Mit welchem Erfolg, ist allgemein bekannt: Nach wenig befriedigenden Resultaten mit Cer wurden im metallischen Osmium und bald darauf im Uranenmetall bzw. -carbid ausgezeichnete Katalysatoren gefunden, die alle bisher für die Ammoniak-katalyse verwendeten Kontaktmassen weit hinter sich ließen⁵.

In den nächsten Jahren hat sich die Weiterentwicklung dann ausschließlich in der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik in Ludwigshafen am Rhein vollzogen, nachdem diese die Haberschen Resultate übernommen hatte.

B.A.S.F.-Arbeiten von 1910—1912

Von 1910 bis 1912 haben hier Bosch und Mittasch nebst Mitarbeitern (Stern, Wolf u. a.) eine ganze Reihe stark aktiver Katalysatoren gefunden, unter denen die Technik die brauchbarsten wählen konnte und über die die weitere Entwicklung bis heute im Grunde noch nicht hinausgekommen ist.

Dabei lassen sich zwei Gruppen von Kontaktmassen unterscheiden, von denen die erste noch an die von Haber gefundenen Katalysatoren anschließt, während man in der zweiten ganz neue Wege gegangen ist⁶.

A. Reine Metalle

Wir schreiben absichtlich *reine* Metalle, weil bei den anzuführenden Arbeiten die in der B.A.S.F. gewonnene Erkenntnis grundlegend war, daß *die Reinheit der Substanzen, d. h. die Abwesenheit gewisser schädlicher Stoffe (Kontaktgifte), für die Ammoniak-katalyse die allergrößte Bedeutung besitzt*. Diese Tatsache, daß es Kontaktgifte für die Ammoniak-katalyse gibt, wurde zunächst an verschiedenen Metalloiden (S. Se, Te, As, P usw.) festgestellt. Die Empfindlichkeit wurde am höchsten beim Schwefel gefunden, der schon in geringen Spuren (0,1% und darunter) den Katalysator unwirksam machen kann; nicht so hohe

Empfindlichkeit ist in der Regel gegen Phosphor, Arsen usw. vorhanden. Auch leicht reduzierbare Metalle von niedrigem Schmelzpunkt wie Blei, Wismut usw. wurden als schädlich erkannt⁷.

Von den reinen Metallen wurden folgende eingehend untersucht:

Eisen: Von diesem fand man, daß es selbst in allerreinstem Zustand nur wenig befriedigt, und zwar darum, was besonders wichtig ist, weil seine Wirkung zwar im Anfang recht gut ist, dann aber zeitlich sehr rasch abfällt. Durch besondere Herstellungsweisen läßt sich die Aktivität des reinen Eisens zwar erhöhen, jedoch niemals auf die Dauer befriedigend gestalten⁸.

Weit günstiger als reines Eisen verhielt sich in dieser Beziehung, wie gefunden wurde, ein weiteres, bis dahin noch nicht untersuchtes Metall:

Molybdän, das auch den Vorteil geringerer Giftempfindlichkeit hat⁹. Wie sich herausstellte, ist es nicht nötig, von metallischem Molybdän auszugehen; vielmehr ist es vorzuziehen, reine Molybdänsäure bzw. Ammoniummolybdat ohne weiteres in gekörnter Form in den Kontaktöfen einzufüllen. Unter der Einwirkung des Wasserstoff-Stickstoffgemisches (z. B. bei 500⁰ und 100 at Druck) entsteht allmählich unter zunehmender katalytischer Ammoniakbildung ein Molybdännitrid mit bis ca. 9% N, das weiter als Katalysator wirkt.

Als ein schwaches Abbild des Molybdäns verhält sich das *Wolfram*¹⁰, das weniger gut katalysiert und praktisch ohne besondere Bedeutung ist.

Eisen, Molybdän und Wolfram haben den großen Vorteil, durch Wasserstoff bei mäßig hohen Temperaturen reduziert zu werden, so daß ein geringer Gehalt an Sauerstoff, Wasserdampf, CO und CO₂ im N₂/H₂-Gemisch den Katalysator nicht verdirbt. Die besten Ausbeuten allerdings werden, wie schon damals gefunden wurde, mit ganz trockenen und reinen Gasen erhalten¹¹.

Den genannten Metallen stehen gegenüber die bereits früher benutzten Metalle Mangan, Uran, Cer, die schon durch Spuren freien oder gebundenen Sauerstoffs irreversibel (d. h. unter den Bedingungen der Katalyse irreversibel) oxydiert werden.

Den Metallen äquivalent sind bei der Ammoniaksynthese grundsätzlich die entsprechenden Hydride, Nitride, Amide, Carbide, Cyanide, sowie auch die Oxyde, falls es sich um solche von leichtreduzierbaren Metallen handelt. Dabei findet in der Regel im Kontaktofen eine chemische Umwandlung (Formierung) des Ausgangsstoffes, und zwar für ein bestimmtes Metall oder Gemisch unter gegebenen Verhältnissen immer zu dem gleichen katalysierenden Produkte statt. Ob dieses ein Metall oder ein Nitrid usw. ist, läßt sich nicht voraussagen, sondern kann jeweils nur durch sorgfältige Analyse des längere Zeit gebrauchten Katalysators festgestellt werden. Im Falle des Eisens ist der Katalysator regelmäßig und unabhängig vom Ausgangsmaterial Metall mit adsorbierten bzw. gelösten Gasen, im Falle des Molybdäns ausgesprochenes Nitrid.

B. Aktivierte Metalle

Handelte es sich unter A. um solche Arbeiten der B.A.S.F., die an vorausgegangene Bemühungen anschlossen, so ist nunmehr eine Gruppe von Arbeiten kurz anzuführen, in denen man neue Wege ging. Diese Arbeiten ergaben sich aus der Frage, ob an sich wenig wirksame Metalle durch Zugabe weiterer Stoffe so verbessert werden können, daß eine befriedigende Wirkung resultiert.

Diese Fragestellung war hergeleitet aus Beobachtungen, die man teils in den Jahren zuvor, teils ungefähr zu gleicher Zeit über die vorteilhafte Wirkung von Begleitstoffen bei der Nitridbildung aus Metallen (bzw. Oxyden) gemacht hatte. Auf diesem Wege war ich zu der Vorstellung gekommen, daß auch bei der Ammoniaksynthese, die irgendwie mit einer intermediären Nitridbildung zusammenhängen könne, Begleitstoffe günstig wirken könnten. Das Resultat fortgesetzter Bemühungen in dieser Richtung war das einer vollkommenen Erfüllung der Erwartungen, wenn auch die Vorstellungen selbst, die man sich anfangs über die Art und Wirkungsweise dieser Beimischungen gemacht hatte, im einzelnen sich als nicht völlig zutreffend erwiesen.

Die Versuche wurden zunächst mit *metallischem Eisen* (vergleichsweise auch mit Nickel und Kobalt) gemacht und führten zu folgenden Resultaten:

1. Reines Eisen und dergleichen wird in seiner Aktivität wesentlich verbessert durch eingelagerte *Metalloxyde*, insbesondere solche schwer reduzierbarer und hoch schmelzender Art wie Tonerde und Magnesia (einfache Aktivierung).

2. Reines Eisen usw. wird in seiner Aktivität auch wesentlich verbessert durch die Gegenwart verschiedener, und zwar vorzugsweise gleichfalls katalytisch wirkender Metalle (wechselseitige Aktivierung). Dabei kann es vorteilhaft sein, das in erster Linie Wasserstoff aufnehmende Eisen mit einem Stickstoff aufnehmenden oder bindenden Metall (z. B. Mo) zu vereinigen¹².

3. Eine Anzahl weiterer Stoffe, z. B. Kupfer, ist praktisch indifferent, verschiedene andere, für sich oder zusammen mit indifferenten Zusätzen, stark schädlich (s. unter A., S. 3). Bei gleichzeitiger Gegenwart von „Aktivatoren“ und „Giften“ ergeben sich besondere Fälle, und zwar je nach Art und Mengenverhältnissen der Stoffe von praktisch vollständiger Kompensierung der Gifte bis zu totalem Überwiegen der Giftwirkung.

4. Beliebige, wenig oder mäßig wirkende Metalle, insbesondere solche schwer reduzierbarer (leicht oxydierbarer) Art, können als Ammoniakkatalysatoren in gleicher Weise wie Eisen, Nickel, Kobalt durch Zusätze, vorwiegend Metalle, verbessert werden. Dabei geben in der Regel Kombinationen von Metallen, die ihrer chemischen Natur nach einander nicht zu nahe stehen, die besten Erfolge.

5. Durch die Gegenwart dritter oder vierter Stoffe kann die katalytische Wirksamkeit noch weiter erhöht werden. Typus: $\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O}$ ¹³.

Hiernach konnten bereits 1910—1911 folgende Gruppen von Ammoniak-Katalysatoren unterschieden werden:

I. Durch Sauerstoffverbindungen anderer Elemente aktivierte Eisen- (Nickel-, Kobalt-) Katalysatoren.

Beispiele: $\text{Fe-Al}_2\text{O}_3$
 Fe-MgO
 Fe-Seltene Erden
 $\text{Fe-Cr}_2\text{O}_3, \text{MnO}$ usw.
 $\text{Fe-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ usw.
 $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ usw.

II. Kombinationen von Eisen, Nickel, Kobalt und dergleichen mit anderen Metallen.

Beispiele:

Fe-Mo	Ni-Mo	Co-Mo	Pd-Mo
Fe-W	Ni-W	Co-W	Pd-W
Fe-Li	Ni-Li	Co-Li	Pt-Mo
Fe-Sr	Ni-Ca	Co-Na	Pt-W

III. Kombinationen beliebiger Metalle, insbesondere untereinander, wobei es zweckmäßig ist, die Kombinationen so zu wählen, daß die Bestandteile ihrer chemischen Beschaffenheit nach merklich different sind. Wir geben hier einfach eine Auswahlliste im Anschluß an das amerikanische Patent 1 094 194 der B.A.S.F. von 1910:

Cr-Mg	Al-Mg	Li-Os	Mn-V
Cr-Os	Al-Mn	Li-W	Mo-Ta
Cr-Zr	Ba-Cr	Li-V	Mo-Zr
Cr-Na	Ba-Mg	Mg-Mo	Na-Os
Ca-Mn	K-V	Mg-Na	Th-Os
Ce-Mg	La-Mo	Mg-U	U-Zr
Ce-Mo	Li-Mn	Mg-V	V-Zr
Ba-Os	Li-Nb	Mn-Os	W-Zr

Hier ist besonders bemerkenswert, daß statt von den Metallen selbst auch von den entsprechenden Hydriden, Nitriden, Amidn, Carbiden, Cyaniden usw. ausgegangen werden kann.

Auch entsprechende ternäre Gemische usw. lassen sich vorteilhaft verwenden.

Al-Co-Na	Cr-Mn-Na	Mo-Pd-UO ₂
Al-Cr-Na	Cr-Ni-K	Ni-Mo-MnO
Be-Mn-Na	Co-V-K	usw.
Cr-Mn-Na	Mo-Pd-K	

Herstellungsmethoden

Da für die heterogene Katalyse eine ausgedehnte Oberfläche des Katalysators von Vorteil ist, so kamen von Anfang an folgende Formen des Katalysators in Betracht:

- a) Pulverform.
- b) Poröse Körner und Stücke,
- c) Katalysatoren auf Trägern.

Der Schwerpunkt hat von vornherein aus praktischen Gründen auf b) gelegen, da hier die Vorteile einer leichten Handhabung des Kontaktes und guter Gasdurchlässigkeit auch bei hoher Schicht vorhanden sind. Die Verwendung von Trägern (c) hat bei dem Gebrauch wohlfeiler Katalysatoren keine Vorteile.

Von vornherein kamen zahlreiche Herstellungsweisen des Katalysators in Betracht, für die sich in den Patentschriften von 1910—1912 mannigfache Beispiele finden. Die wichtigsten Herstellungsverfahren für Mehrstoffkatalysatoren sind dabei folgende:

- a) Einfaches Mischen der Komponenten in Pulverform, eventuell mit nachfolgendem Zusammenpressen.
 - b) Herstellung kompakter oxydischer Massen, die dann im Kontaktofen reduziert werden. Diese Arbeitsweise hat besondere Bedeutung beim Eisen, und zwar in der Form, daß man Eisen samt den geeigneten Zusätzen im Sauerstoffstrom oxydierend schmilzt, wobei ein Oxyd entsteht, das dem natürlichen Magnetit (Fe₃O₄) chemisch nahesteht und nach der Zerkleinerung ohne weiteres in den Kontaktofen eingefüllt werden kann.
 - c) Herstellung oxydischer Massen durch gemeinsame Fällung aus Lösungen, durch Erhitzen von Nitratgemischen usw.
 - d) Tränken der Katalysatorsubstanz A mit einer Lösung der Substanz B.
 - e) Benutzung von Legierungen beliebiger Herkunft.
 - f) Benutzung komplizierter Verbindungen, die im Kontaktofen in den aktivierten Katalysator übergehen. Hier sind von besonderer Bedeutung die komplexen Ferrocyanide, von denen zum ersten Male bei uns im Dezember 1912 (Cerferrocyanid) Gebrauch gemacht wurde.
- Bei c) bis f) können gewünschtenfalls leicht Träger mit verwendet werden.

Bemerkung über die weitere Entwicklung

Von 1913 bis heute

Im vorstehenden sind die Resultate kurz wiedergegeben, die in der B.A.S.F. in den Jahren 1910 bis 1912 hinsichtlich der Katalysatoren für die Ammoniaksynthese gewonnen worden sind und die sich in Patentschriften und an anderen Stellen ziemlich zerstreut finden, so daß eine kurze Zusammenstellung willkommen sein dürfte.

In späteren Arbeiten von anderen Seiten sind die Feststellungen der B.A.S.F. durchaus bestätigt worden. Grundsätzlich Neues ist dabei hinsichtlich der Katalysatoren nicht gefunden worden, so daß wir hier lediglich auf die Darstellung im „Ullmann“ und die dort gegebene Patentübersicht hinweisen wollen. Tatsächlich liegt der Schwerpunkt der weiteren chemischen Arbeiten, die von 1913 bis heute an den verschiedensten Stellen unternommen worden sind, nicht in der Auffindung neuer Kontaktmassen, sondern in der *wissenschaftlichen Analyse des neuen katalytischen Verfahrens*. So haben denn in verschiedenen Ländern, wie in England, Frankreich und später ganz besonders auch in den Vereinigten Staaten, Bemühungen eingesetzt, in das Wesen der Ammoniakkatalyse tiefer einzudringen und sich über die Frage Rechenschaft abzulegen, in welcher Weise die Ammoniakkatalysatoren arbeiten.

Derartige theoretisch gerichtete Arbeiten haben auch in der B.A.S.F. von Anfang an nicht gefehlt; sie haben sich aber daselbst, in einem Industrielaboratorium, in verhältnismäßig engen Grenzen gehalten, weil natürlich die Hauptaufgabe darin liegen mußte, die *neuartigen Resultate, namentlich hinsichtlich der Mehrstoffkatalysatoren, auf andere technisch wichtige Fälle anzuwenden*. So waren denn die Jahre 1913 bis 1923 (mit Unterbrechungen) in der B.A.S.F. ausgefüllt mit Arbeiten über verschiedene andere technisch wichtige Reaktionen, hinsichtlich deren gleichfalls wertvolle katalytische Feststellungen gewonnen wurden: katalytische Hydrierung organischer Verbindungen (einschließlich CO) mit Katalysatoren von dem Typus $Ni + Al_2O_3$ usw. (Bosch, Mittasch, Krauch, Schneider), katalytische Ammoniakoxydation mit $Fe_2O_3 + Bi_2O_3$ (Bosch, Mittasch, Beck), katalytische Wasserstoffgewinnung gemäß $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ (Bosch und Wirtl), katalytische Methanolvergewinnung aus $CO + H_2$ mit Mehrstoffkatalysatoren wie $ZnO + Cr_2O_3$ (Mittasch und Pier, Schmidt und Ufer) usw.¹⁴

Zu der starken Beanspruchung durch die Bearbeitung anderer katalytischer Themen kamen ungünstige Zeitverhältnisse, auf die hier nicht näher einzugehen ist. Tatsache ist, daß zwar eine Anzahl (größtenteils unveröffentlichter) wissenschaftlicher Resultate schon 1914 vorlag, daß

aber eine eingehende Beschäftigung mit der Theorie der Ammoniakkatalyse und der Ammoniakkatalysatoren erst vor einigen Jahren bei uns einsetzen konnte.

II. STUDIEN ÜBER DAS WESEN DER AMMONIAK-SYNTHESE

Ab 1924 (Fr.)

Die wissenschaftlichen Arbeiten über die katalytische Ammoniak-Synthese beleuchten in charakteristischer Weise das heutige Verhältnis zwischen technischer und wissenschaftlicher Entwicklung auf dem Gebiet der heterogenen Katalyse: Noch weit davon entfernt, auf Grund einer theoretischen Durchdringung dieses Gebietes hochkomplexer Vorgänge der Technik neue Wege zu weisen, muß sich die Forschung vorerst damit begnügen, die rein empirisch, durch Spürsinn und zahllose Einzelversuche gewonnenen Resultate des Praktikers zur Kenntnis zu nehmen und ihre Deutung anzustreben.

Wie im ersten Teil geschildert wurde, ist die breite chemische Basis für die praktische Durchführung der Ammoniakkatalyse durch Fr. Haber, sowie durch C. Bosch zusammen mit A. Mittasch u. a. in der B.A.S.F. gelegt worden. An den wissenschaftlichen Untersuchungen, die sich hieran knüpfen, haben zahlreiche Forschungsstätten, vor allem auch in den Vereinigten Staaten, reichen Anteil.

An Stelle einer ausführlichen Zusammenstellung aller hierher gehörenden Untersuchungen seien im folgenden einige für die Richtlinien unserer eigenen Arbeiten maßgebende Forschungsergebnisse genannt.

1. Art und Struktur der Katalysatoren

Röntgenographische Arbeiten von Ralph W. G. Wyckoff und E. D. Crittenden, von R. Brill sowie von G. Mayer erweisen, daß in dem durch Reduktion eines $Fe_3O_4 - Al_2O_3$ -Gemisches hergestellten Ammoniak-Katalysator der eigentlich wirksame Bestandteil, nämlich das Eisen, in Form von α -Fe vorliegt; die aktivierende Wirkung des Al_2O_3 beruht allem Anschein nach auf einer Begünstigung des Entstehens besonders zahlreicher „aktiver Stellen“ und einer dauerhaften Stabilisierung dieser spezifisch wirksamen Metallteilchen¹⁵. Für erhöhte Reaktionsfähigkeit dieser Eisenpartikel des Kontakts im Vergleich zu reinem Eisen sprechen Versuche von R. Schenck über die Oxydier-

barkeit des Metalls in beiden Formen. Auch wenn von anderen Eisenverbindungen als von Eisenoxyd-Aluminiumoxyd-Gemischen bei der Herstellung des Katalysators ausgegangen wird (z. B. von komplexen Aluminium-Alkali-Eisencyaniden), ist der wirksame Bestandteil des im N_2/H_2 -Gemisch „sich formierenden“ Kontaktes stets das α -Eisen¹⁶.

Die „reversiblen“, durch O_2 und H_2O -Dampf hervorgerufenen Vergiftungseffekte am normalen und an dem durch Al_2O_3 aktivierten Eisen haben J. A. Almquist und C. A. Black nach der quantitativen Seite hin erforscht und sehr interessante Feststellungen gemacht¹⁷; vor allem kommen sie auf Grund ihrer Messungen zu einer Abschätzung des „aktiven“, d. h. des beim katalytischen Vorgang allein wirksamen Bruchteils der Gesamtoberfläche ihrer Katalysatoren.

Dies führt uns dazu, die große Wichtigkeit der neueren, besonders von H. S. Taylor und seiner Schule in Princeton ausgeführten Untersuchungen über die heterogene Oberflächenstruktur der Grenzflächenkatalysatoren zu betonen; diese wohlbekannten Arbeiten¹⁸ betreffen zwar nicht ausschließlich die Kontakte der Ammoniaksynthese, erweisen sich aber, wie für andere Fälle heterogener Katalysen, so auch für diesen Fall als besonders aufschlußreich.

2. Zwischenverbindungen bei der Ammoniaksynthese

Das hier vorliegende Material ist noch dürftig; es sind zwar die Verbindungen zwischen Eisen und Stickstoff in letzter Zeit durch röntgenographische Messungen eingehend untersucht und definiert worden; eine Bildung dieser Verbindungen aus *elementarem* Stickstoff und Eisen, wie sie den Bedingungen bei der Ammoniak-Synthese entsprechen würde, konnte aber bisher trotz vieler Bemühungen noch nie einwandfrei festgestellt werden¹⁹.

Daß Eisennitrid als Zwischenstufe bei der katalytischen Zersetzung des Ammoniaks an Eisen auftritt, haben A. Mittasch, E. Kuß und O. Emert dadurch nachgewiesen, daß die Zersetzungsgeschwindigkeit dieses aus Fe und NH_3 hergestellten Nitrids bei gegebenen Temperaturen mit der des Ammoniakzerfalls an Eisen identisch ist, d. h. daß der Nitridzerfall als langsamster Teilvorgang das Tempo der Gesamtreaktion bestimmt. In diesem Zusammenhang seien

auch noch Messungen von W. A. Dew und H. S. Taylor erwähnt über die Adsorption und Adsorptionswärme von Ammoniak an verschiedenen Metallen (Na, Cu, Ni, Fe, Fe/Mo); das Absinken der differentiellen Adsorptionswärmen an diesen Metallen spricht für die Heterogenität ihrer Oberflächen, die Höhe der Adsorptionswärmen gerade an den katalytisch wirksamsten Metallen für eine besonders innige, chemischer Bindung nahestehende Anlagerung des NH_3 -Moleküls an die aktiven Oberflächenbezirke dieser Substanzen.

G. B. Kistiakowsky²⁰ hat im Taylorschen Laboratorium in Princeton die Methode zur Messung des Ionisierungspotentials adsorbierter Gase verfeinert und auf den an gewöhnlichem und aktiviertem Eisen adsorbierten Stickstoff angewendet. Ergebnis der Untersuchung ist, daß das N_2 -Molekül in gelockertem oder dissoziiertem Zustand an der Oberfläche des Metalls angelagert ist; der Übergang in diesen Zustand an verschiedenen Metallen (Fe-Ni-Cu-Pt) geht parallel mit ihrer katalytischen Aktivität. Nach Behandlung der Metalle mit minimalen Mengen von Sauerstoff verschwinden jene, auf spezifische Änderung der adsorbierten N_2 -Molekeln hindeutenden Ionisierungspotentiale, was wieder für die maßgebende Bedeutung eines relativ kleinen Betrages der Metalloberflächen, der „aktiven Stellen“, für den katalytischen Vorgang spricht.

3. Untersuchung der Reaktionskinetik

Systematische Messungen der Reaktionskinetik wurden in neuerer Zeit²¹ bisher nur für Zersetzung des Ammoniaks an Katalysatoren vorgenommen, und zwar in relativ hohen Temperaturbereichen, in denen eventuell entstehende Zwischenverbindungen sofort wieder zerfallen und daher nicht „abgefangen“ werden können. Erwähnt seien die statisch ausgeführten Messungen von M. Bodenstein und Kranen-dieck (Quarz)²², von C. N. Hinshelwood und R. E. Burk (Quarz, Pt, W)²³, von R. E. Burk (Mo), (Pt/W), von G. M. Schwab (Pt, W bei äußerst niederen und mittleren Drucken) und von H. Kunsman (Fe, W, Mo, Ni), sowie Untersuchung der dynamischen Zersetzung des Ammoniaks an Glas, Ton, Eisen und Kupfer (E. Elöd und W. Banholzer). In diesen Arbeiten wird die Ordnung der Zerfallsreaktion an den

verschiedenen Kontakten bestimmt; sie liegt gewöhnlich zwischen null und eins, was für den Ablauf der geschwindigkeitsbestimmenden Teilreaktion in der Adsorptionsschicht am Kontakt spricht. Daneben wird in verschiedenen Fällen der hemmende Einfluß von H_2 bzw. N_2 auf die Zerfallsgeschwindigkeit des Ammoniaks aufgedeckt und die Aktivierungswärme des Zersetzungsvorgangs an den verschiedenen Kontakten ermittelt. Auch hier fehlt es nicht an Anzeichen für das Vorhandensein von Oberflächenbezirken verschiedener katalytischer Aktivität; dahin gehört z. B. die Feststellung, daß bei sehr niedrigen Drucken der NH_3 -Zerfall an W und Pt durch N_2 und durch H_2 verzögert wird, bei höheren Drucken N_2 aber ohne hemmende Wirkung ist. Die naheliegende Deutung dieser Beobachtung ist, daß die bei den niederen Drucken noch katalytisch sich betätigenden, besonders aktiven und durch N_2 blockierbaren Stellen der Katalysatoroberfläche bei höheren Drucken sich im Zustand ständiger Besetzung durch N_2 oder H_2 befinden und daher für den katalytischen Vorgang ausscheiden.

In den Mittelpunkt unserer neuesten Untersuchungen (seit etwa 1927) über das Wesen der katalytischen Ammoniaksynthese stellten wir zwei Fragen, nämlich 1. die nach der Wirkungsweise der *aktiven Stellen* der Katalysatoren, deren Vorhandensein, wie erwähnt, durch eine Reihe von Beobachtungen erwiesen ist, und 2. die Frage nach der *Natur der entstehenden Zwischenverbindungen und ihrer Bedeutung für die Kinetik der Reaktion*. Einer Ermittlung der Reaktionsfähigkeit der „aktiven Stellen“ glaubten wir aus folgendem Grund besondere Beachtung schenken zu müssen: Die Erfolglosigkeit aller bisherigen Versuche, die Bindung von elementarem Wasserstoff oder Stickstoff an Eisen als erste Stufe des katalytischen Reaktionsverlaufs bei der Ammoniaksynthese nachzuweisen, könnte darauf beruhen, daß diese Vorgänge *lediglich an den aktiven Stellen des Metalls* vor sich gehen und daher in Anbetracht des verschwindenden Betrags der letzteren der Beobachtung bisher entgangen sind. Es ergibt sich darauf die Forderung, die Oberfläche des Katalysators zu einem recht hohen Bruchteil, womöglich zu 100%, in einer mit dem Zustand jener „aktiven Stellen“ identischen Beschaffenheit zu

erzeugen und an ihm, vorausgesetzt, daß die hohe Reaktionsfähigkeit jener Stellen sich bestätigt, die Bildung und Natur der entstehenden Zwischenverbindungen in „Reinkultur“ zu studieren.

Als anderer, zur Klärung des katalytischen Mechanismus gleichfalls geeigneter Weg erschien uns das Studium der Ammoniakzersetzung an Kontakten bei *tieferen Temperaturen* als den bisher angewendeten. Die Wahrscheinlichkeit, hierbei Zwischenverbindungen fassen und die Kinetik ihrer Bildung und Zersetzung ermitteln zu können, ist zweifellos eine höhere; die Aussicht, dabei den katalytischen Gesamtvorgang in *Stufenreaktionen* und *Elementarprozesse* zerlegen zu können, verspricht eine leichtere Entwirrung der bei höheren Temperaturen sich überlagernden Teilvorgänge.

Im folgenden seien in großen Zügen unsere bisherigen, auf diesen zwei Wegen gewonnenen Versuchsergebnisse geschildert.

1. Versuche zur Erzeugung von an aktiven Stellen besonders reichen Eisenkatalysatoren und Untersuchung ihrer Reaktionsfähigkeit gegenüber Wasserstoff und Stickstoff

Leitender Gesichtspunkt bei dieser gemeinschaftlich mit K. Mayrhofer ausgeführten Untersuchung war die Annahme, daß *Einzelatome des Metalls bzw. Teilchen aus wenigen Atomen den katalytisch aktiven Zustand verkörpern*.

Zunächst prüften wir, ob freie Eisenatome, erzeugt durch Verdampfung von Eisendrähten mit definierter Geschwindigkeit, im *Gasraum* sich mit Stickstoffmolekülen vereinigen²⁴. Das Resultat dieser Versuche war ein völlig negatives: trotz der beträchtlichen, gaskinetisch errechneten Zahl von Zweierstößen zwischen Fe-Atomen und N_2 -Moleküeln im Gasraum ließ sich *keine Aufzehrung* des Stickstoffs beobachten²⁵.

Durch Häufung der Versuche zusammen mit Steigerung der Meßgenauigkeit gelang es uns in der Folge, schwache, von Versuch zu Versuch wechselnde Druckabnahme-Effekte bei analogen Experimenten mit *Wasserstoff* und Eisen zu beobachten, denen nun systematisch nachgegangen wurde. Dabei stellte sich heraus, daß Kühlung der mit den auf-

treffenden Eisenatomen sich bedeckenden Gefäßwände jene Effekte erheblich verstärkte und besser reproduzierbar gestaltete.

Das Hauptergebnis dieser Untersuchung ist folgendes: Auf gekühlten Flächen aus dem Gasraum sich abscheidende Eisenatome vermögen Wasserstoff im stöchiometrischen Verhältnis $1 \text{ H}_2 : 1 \text{ Fe}$ zu binden. Am klarsten tritt dies zutage, wenn mittels gleichzeitiger Kondensation einer zweiten Substanz auf der Auffangfläche das Zusammentreten der Eisenatome zu größeren Teilchen bzw. zu einer zusammenhängenden Schicht verhindert wird. Bei tiefen Temperaturen der Auffangfläche (-190 bis -150°) kann als derartige „Störsubstanz“ festfrierender Wasserdampf verwendet werden, bei höheren Temperaturen läßt sich dieselbe Wirkung durch gleichzeitige Kondensation der Metallatome zusammen mit NaCl -Dampf erzielen.

Die Geschwindigkeit der H_2 -Aufnahme durch Fe -Atome, die derart vor Sammelkristallisation bewahrt werden, ist im Bereich von $1 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$ mm unabhängig vom Wasserstoffdruck und nur abhängig von der Zahl der pro Zeiteinheit auf die Wand gelangenden Eisenatome. In Abwesenheit der Störsubstanz (Eis bzw. NaCl) tritt eine mit wachsender Temperatur der Auffangfläche zunehmende Bildung mehratomiger Eisenteilchen ein; aus dem Minderbetrag des dabei aufgenommenen Wasserstoffs gegenüber dem, für das Verhältnis $\frac{V_{\text{Fe}}}{V_{\text{H}_2}} = 1$ errechneten lassen sich Rückschlüsse auf die durchschnittliche Größe dieser Teilchen ziehen. Auch bei Erwärmung schon gebildeter wasserstoffhaltiger Eisenschichten tritt Teilchenwachstum ein, was sich an irreversibler Wasserstoffabgabe kenntlich macht; in den Eisen-Kochsalzschichten scheint jedoch die feine Verteilung des Metalls relativ beständig zu sein.

Neu hinzugekommen zu diesen Resultaten ist die Feststellung, daß die unsrer Vermutung nach dem Zustand der „aktiven Stellen“ normaler Katalysatoren entsprechenden, durch Störsubstanzen in höchst feiner Verteilung stabilisierten Eisenschichten *auch elementaren Stickstoff zu binden vermögen*. Über die stöchiometrischen Verhältnisse bei diesem Vorgang können wir noch nichts Abschließendes sagen, desgleichen auch noch nichts über die Mindest-

temperaturen, bei denen dieser Effekt einsetzt; jedenfalls scheint aber bereits bei relativ tiefen Temperaturen die Bindung des Stickstoffs durch eine aus dem Gasraum sich abscheidende Eisen-Kochsalzschicht vor sich zu gehen. Die Versuche werden zwecks Klärung dieser Fragen fortgesetzt. Durch weitere Beobachtungen über die Reaktionsfähigkeit „aktiver Stellen in Reinkultur“ soll noch mehr Material über die Zwischenstoffe des katalytischen Geschehens der Ammoniaksynthese gesammelt werden. Es liegt nahe, Zusammenhänge zwischen der so festgestellten Wirkung der „Störsubstanzen“ und derjenigen der Aktivatoren der Eisenkontakte (wie Al_2O_3) zu vermuten; mindestens ein Teil der Aktivatorwirkung dürfte auf Effekte, analog denen der „Störsubstanzen“, d. h. auf Stabilisierung „aktiver Stellen“ sich gründen.

Wir hoffen, durch diese Untersuchungen die bisher noch vorhandene Lücke im Verhältnis des katalytischen Geschehens bei der NH_3 -Synthese an Eisenkontakten auszufüllen, die dadurch entstanden ist, daß die spurenhafte Bindung des Stickstoffs an den spärlich vorhandenen aktiven Stellen der normalen Eisenkatalysatoren sich bisher dem experimentellen Nachweis entzogen und zu der Auffassung geführt hat, daß Eisen *elementaren* Stickstoff überhaupt nicht zu binden vermag.

2. Versuche über die katalytische NH_3 -Zersetzung an Wolfram bei relativ tiefen Temperaturen; die Isolierung dabei auftretender Zwischenverbindungen

(Gemeinsam mit Dr. Schwamberger und Dr. Hodler)

Als Kontaksubstanz für diese Untersuchungen wählten wir Wolfram, da nach Hinshelwood und Burk ein den Zersetzungsprozeß hemmender, die Analyse des Reaktionsverlaufs komplizierender Einfluß von Wasserstoff und Stickstoff bei diesem Katalysator ausbleiben bzw. stark zurückertreten soll.

Das Metall wird in fein gepulverter Form (mittlerer Teilchendurchmesser $1,2$ bis $1,9 \mu$) verwendet, da es sich in dieser oberflächenreichen Beschaffenheit für die gleichfalls ausgeführten Adsorptionsmessungen mit Ammoniak am besten eignet.

Durch sorgfältige Vorbehandlung mit reinstem H_2 bei 750° wird dieses Wolframpulver von der stets spurenweise vorhandenen Oxydschicht befreit und so lange mit Ammoniak behandelt, bis unter gegebenen Bedingungen die Zersetzungsgeschwindigkeiten gut reproduzierbar werden. Angewendet wurde zunächst eine statische Untersuchungsmethode. In einem abgeschlossenen System wird das Metallpulver bei Temperaturen zwischen 250 und $750^\circ C$ mit NH_3 in Berührung gebracht und der Zersetzungsvorgang sowohl durch Beobachtung der Änderungen des Gesamtdruckes als auch der Zusammensetzung der Gasphase (NH_3 , N_2 , H_2) verfolgt. Die Versuche erwiesen eindeutig, daß der Abbau des Ammoniakmoleküls an Wolfram über eine *Zwischenverbindung* gemäß der Gleichung $Wx + NH_3 = Wx(NH) + H_2$, also über ein *Wolfram-Imid* und weiterhin dann über die Nitridstufe führt. Hierbei tritt im Temperaturgebiet von 250 bis $360^\circ C$ noch keine meßbare Zerstörung des Körpers $Wx(NH)$ in weitere Abbauprodukte auf, d. h. in diesem Temperaturintervall ist die Imidbildung der praktisch allein sich vollziehende Vorgang.

Dies läßt sich an folgenden Merkmalen nachweisen: Bei Umsetzung des Ammoniaks mit dem Metall ändert sich in dem genannten Temperaturgebiet der Gesamtdruck des Gases überhaupt nicht; dies entspricht dem Umstand, daß bei der Imidbildung pro Molekül NH_3 je ein Molekül H_2 entsteht. Dementsprechend tritt als Zersetzungsprodukt auch nur *Wasserstoff*, kein Stickstoff auf. Ferner erhält man als Produkt der thermischen Zersetzung der gebildeten Wolframverbindung bei 950° im Vakuum ein Gemisch von 50% N_2 und 50% H_2 , entsprechend der Gleichung: $2 Wx(NH) = 2xW + N_2 + H_2$. Die derart nachgewiesene Imidbildung spielt sich, je nach der mit Herstellung und Vorbehandlung des Wolframpulvers variierenden Aktivität des Metalls, an dessen ganzer Oberfläche oder nur an einem Bruchteil derselben mit noch meßbaren Geschwindigkeiten ab. So waren bei einem der untersuchten Pulver etwa 80% seiner aus Teilchengrößebestimmungen errechneten Gesamtoberfläche für die Imidbildung „aktiv“, während bei einem anderen, gröber gekörnten Präparat nur 15 bis 20% der Oberfläche mit Ammoniak in Reaktion traten. In keinem Falle wurde eine Imidbildung beobachtet, die über den

Umsatz hinausging, wie er einer monomolekularen Bedekung der berechneten Metalloberfläche mit NH -Resten entspricht.

Wir haben hier also einen chemisch durchsichtigen Teilprozeß der katalytischen NH_3 -Zersetzung an metallischem Wolfram gefaßt. Zurzeit sind wir damit beschäftigt, die Druck- und Temperaturabhängigkeit der Geschwindigkeit dieses Stufenprozesses zu bestimmen. Sowohl der jähe Geschwindigkeitsabfall, den die Reaktion bei konstanter Temperatur bei ihrem Fortschreiten auf der Metalloberfläche aufweist, als auch der Gang ihres Temperaturkoeffizienten für die nacheinander reagierenden Oberflächenpartien lassen auf eine mit der Herstellungsart des Wolframpulvers wechselnde Heterogenität seiner Oberfläche schließen. Es erscheint uns möglich, auf diesem Wege die „Verteilung“ der aktiven Stellen an der Oberfläche der Einzelpräparate nach Zahl und Grad ihrer Aktivität quantitativ zu erfassen und damit einen für den Ablauf des katalytischen Zersetzungs Vorganges maßgebenden Faktor zu ermitteln. Im Anschluß an das Studium der Imidbildung sollen Messungen der Imidzersetzung vorgenommen werden, so daß mittels Kombination dieser beiden Stufenprozesse der Verlauf der katalytischen Bruttoreaktion gedeutet zu werden vermag.

Anmerkungen:

1 Dieser Aufsatz wurde Prof. H. S. Taylor zur Einweihung seines neuen, hauptsächlich für die Pflege der Reaktionskinetik und der Katalyse bestimmten chemischen Instituts in Princeton, New Jersey, am 25. September 1929 gewidmet. — 2 Bernthsen, Ztschr. angew. Chem. 26, 10 (1913); Haber, Ztschr. angew. Chem. 1914, 473; Bosch, Naturwissenschaftliche Monatshefte 1925, 205; Mittasch, Berichte 59, 13 (1926); C. Müller in Ullmann, Enzyklopädie der techn. Chemie 2. Aufl. I, S. 363 bis 422. — 3 Dabei übergehen wir die älteren Bemühungen von Döbereiner (1823) bis Johnson (1881) und Woltereck (um 1900), denen ein tieferer Einblick in die Bedingungen, unter denen eine Ammoniaksynthese stattfinden kann, noch durchaus fehlte und nach dem Stand der Wissenschaft fehlen mußte; sie konnten darum nicht mehr als einige Hinweise qualitativer Art geben, wobei diese Hinweise so gut wie ausnahmslos experimentell nur schlecht oder auch gar nicht begründet sind; näheres s. Ullmann I, S. 363–367. — 4 Als Vorläufer einer wissenschaftlichen Behandlung der katalytischen Ammoniak-synthese sind hauptsächlich Ramsay und Young (Journ. Chem. Soc. 45, 88 (1881), E. Baur (B. 34, 2383 (1901); Ztschr. anorg. Chem. 29, 305 (1901), sowie Perman und Atkinson (Proceed. Roy. Soc. London 74, 119 (1904); 76, 167 (1907)) zu nennen; in technischer Beziehung ist ein Patent von H. Le Chatelier (F. P. 313 950, 1901) zu erwähnen. — 5 D.R.P. 223 408 (Osmium) und D.R.P. 229 126 (Uran), beide von 1909; s. auch Haber, Ztschr. angew. Chem. 1914, 473, Ztschr. Elektrochem. 20, 597 (1914), Naturwissenschaften 10, 1041 (1922). — 6 Ausführlich ist die ganze Entwicklung in Ullmann I, S. 420 beschrieben. — 7 Hinsichtlich Giftwirkung und Entgiftung s. D.R.P. 254 344 (1910), D.R.P. 263 612 (1910). —

8 D.R.P. 246 377, D.R.P. 256 855, D.R.P. 259 702. — 9 D.R.P. 246 377 (1910). — 10 D.R.P. 259 996, D.R.P. 260 756 (1911). — 11 Hinsichtlich der Fernhaltung von Sauerstoff s. D.R.P. 259 871 (1911). — 12 Vgl. hierzu auch die von Hlavati angegebenen Sonderfälle Ti — Pt und dergleichen: D.R.P. 275 343 und D.R.P. 275 663 (1910). — 13 Derartige Gemische sind schon sehr früh verwendet worden, z. B. Fe+20% Al-Nitrat+10% K₂CO₃ in HNO₃ gelöst, eingedampft, Nitrate calciniert (Anfang 1910) Fe+2% Al+1% MgO+ 1% KNO₃ (November 1910), oder Fe+Aluminate des Natriums oder Calciums oxydierend geschmolzen (April 1911). — 14 Näheres hierüber s. Ber. 59, 18 ff. 1926. — 15 Al₂O₃ scheidet sich längs der Korngrenzen der entstehenden Eisen- teichen ab und bildet außerdem mit FeO die sehr temperaturbeständige, spinellartige Verbindung Al₂FeO₄, die als schwer reduzierbare Gerüst- substanz das Gefüge des Kontakts stabilisiert. Es ist von Interesse, daß bereits im D.R.P. 254 437/1910 für die Wirkung von Al₂O₃ u. dergl. in derartigen Mischkatalysatoren ein Erklärungsversuch zu finden ist; es heißt daselbst: „Die hervorragend starke Wirkung derartig hergestellter Katalysatoren ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß die besprochenen Beimengungen sich in dem hochehitzen Metalloxyd lösen bzw. fein verteilen und daß hierdurch bei der nachherigen Reduktion ein im übrigen kaum wahrnehmbares Skelett innerhalb der Metallmasse ent- steht, das ein Zurückgehen der Oberfläche und damit der katalytischen Eigenschaften in wirksamster Weise verhindert.“ — 16 A. Mittasch und E. Kuß, Ztschr. Elektrochem. 34, 159 (1928); A. Mittasch, E. Kuß und O. Emert, Ztschr. anorgan. Chem. 170, 193 (1928); R. Brill und H. Mark, Ztschr. physikal. Chem. 133, 443 (1922); O. Eisenhut und E. Kaupp, Ztschr. physikal. Chem. 133, 456 (1928). — 17 Journ. Amer. chem. Soc. 48, 2814 (1926); J. A. Almquist, Journ. Amer. chem. Soc. 48, 2820 (1926). Weitere, in Fixed Nitrogen Research Laboratory unter der Leitung von Cottrell ausgeführte Untersuchungen: A. T. Larson und A. P. Brooks: Relative Wirksamkeit von Fe, Co, Ni, Mo und Fe/Mo für die NH₃-Synthese (Ind. Engin. Chem. 18, 1305 (1926). Aktivierbarkeit des Eisens durch Oxyde des Al, Si, Zr, Ti und Co mit und ohne Gegen- wart von K₂O. J. A. Almquist und E. D. Crittenden: Abhängigkeit der Wirksamkeit der Eisenkontakte von der Art ihrer Herstellung (Natur der der Reaktion unterworfenen Oxyde und Art der zugesetzten Akti- vatoren). (Ind. Engin. Chem. 18, 1307 (1926). Nachweis einer Thermionen- emission am Fe-Kontakt durch C. H. Kunsman (Science 62, 269 (1925); Journ. physical. Chem. 30, 525 (1926); Journ. Franklin Inst. 203, 635 (1927). Dieser Effekt der Emission positiv geladener Alkali- bzw. Erdalkali- Atome durch den auf 400–1700° erhitzten Kontakt hängt offenbar nicht unmittelbar mit seiner katalytischen Wirkung zusammen, sondern an- scheinend indirekt, indem die verdampfenden Alkali-Ionen stets neue aktive Bezirke des katalysierenden Eisens freilegen und so die Dauer- haftigkeit des Kontaktes erhöhen (vgl. auch H. Barton, G. Harnwell und H. Kunsman, Phys. Review 27, 737 (1926). — 18 Vgl. z. B. Russel und H. S. Taylor, Journ. physikal. Chem. 29, 1325 (1925); H. S. Taylor, Journ. physikal. Chem. 28, 921 (1924), 30, 145; Kistiakowsky, ebenda 30, 1356 (1926); H. S. Taylor, Proceed. Roy. Soc. London (A) 108, 105 (1925); ebenda (A) 113, 77 (1926); Gauger und Taylor, Journ. Amer. Chem. Soc. 45, 920 (1923); Pease, ebenda 45, 2296 (1923). — 19 Vgl. z. B. Maxted, Journ. Soc. chem. Ind. 37 T, 105 (1918); Fowler, Journ. chem. Soc. London 79, 285 (1901); Baur und Voermann, Ztschr. physikal. Chem. 52, 467 (1905); Noyes und Smith Journ. Amer. chem. Soc. 43, 475 (1921). — 20 Journ. physikal. Chem. 30, 1356 (1926); Proceed. National Acad. Sciences Washington 13, 1; H. S. Taylor, Proceed. Roy. Soc. London (A) 113, 77 (1926); Ztschr. physikal. Chem. 125, 341 (1927). — 21 Ältere Untersuchungen über die Kinetik der dynamischen NH₃-Bild- ung bei verschiedenen Druck- und Strömungsgeschwindigkeiten, Tem- peraturen und an verschiedenen Kontaktsubstanzen sind in den früheren Arbeiten von F. Haber sowie einer unveröffentlichten Niederschrift von A. Mittasch (1912) enthalten. — 22 Nernst-Festschrift 1912, 99. — 23 Journ. Chem. Soc. London 127, 1105 (1925). — 24 Analoge Versuche von J. Lang- muir mit Wolfram, das als massives Metall elementaren Stickstoff nicht bindet, ergeben glatte Vereinigung der Wolfram-Atome mit dem Gas im Reaktionsraum (Ztschr. anorgan. Chem. 85, 261 (1914), ein Resultat, das wir bei Nachprüfung voll bestätigen konnten. — 25 Vgl. A. Mittasch und W. Frankenburger, Ztschr. physikal. Chem. Haber-Band (A), 386 (1928).

Einiges über Mehrstoffkatalysatoren*

Wenn ich in dieser Stadt Heidelberg, in der Bunsen die Jahre seiner Entdeckungen und seines Ruhmes verlebt hat, der Deutschen Bunsengesellschaft für die Verleihung der Bunsen-Denk Münze meinen Dank abzustatten habe, indem ich einiges aus meinem Arbeitsgebiet berichte, so bin ich mir der Schwierigkeit dieser Aufgabe wohl bewußt. Können wohl auf die Gewinnung technischer und wirtschaftlicher Werte hinzielende Spezialarbeiten, wie ich sie im Dienste der I. G. Farbenindustrie ausführen durfte, in der Um- gebung des großen Namens Bunsen bestehen? Und wie kann ich Ihnen etwas bieten, was über den engen Rahmen technischer Beziehungen ein allgemeineres und tieferes In- teresse zu wecken vermag? Ich will es dennoch versuchen, indem ich einen kleinen Ausschnitt aus den katalytischen Studien gebe, die ich im Fabriklaboratorium der B.A.S.F. Ludwigshafen-Oppau in den verflossenen zwei Jahrzehnten unternommen habe. Ich bemerke dabei von vornherein, daß ich die *Arbeiten über Mehrstoffkatalysen*, über die ich kurz berichten werde, unter der Leitung von Carl Bosch und durch Jahre in engem gemeinschaftlichem Wirken mit ihm ausgeführt habe, und daß ich von einer Reihe aus- gezeichneter Mitarbeiter unterstützt worden bin, von denen ich in bezug auf die grundlegenden Arbeiten in zeitlicher Reihenfolge nur die Namen Hans Wolf, Georg Stern, Carl Krauch, Christian Schneider, Christoph Beck, Matthias Pier nennen will.

Mischkatalysatoren oder *Mehrstoffkatalysatoren*¹ sind es, die bis heute im Mittelpunkt meiner katalytischen Arbeiten gestanden haben, nachdem ich vor Jahren bei meiner Erst- lingsarbeit im Institut von W. Ostwald bei Bodenstein (um 1900) das Gebiet der Katalyse kennen und lieben gelernt hatte². So können Sie wohl von mir im folgenden eine Antwort auf die Frage erwarten, in welcher Weise das Ge- biet der Mischkatalysatoren vor nunmehr 21 Jahren in der B.A.S.F. zu Pflege und Bedeutung gelangt ist.

Verstehen wir unter *Mehrstoffkatalysatoren* Gemische aus zwei oder mehr Stoffen, die bei katalytischen Prozessen

* Vortrag bei der Tagung der Deutschen Bunsengesellschaft Heidelberg 1930. Ztschr. f. Elektrochem. 36 (1930) 570–580.

statt eines einzelnen Stoffes benutzt werden, so ist bekannt, daß Mehrstoffkatalysen um das Jahr 1909, als unsere katalytischen Arbeiten begannen, auf dem Gebiet der *homogenen* Katalyse bereits mehrfach untersucht worden waren — es sei nur an die Arbeiten von Traube, Price und Brode erinnert³ — und daß auch auf dem Gebiet der heterogenen Katalyse in einzelnen Fällen schon früher auf Mischkatalysatoren und auf eine Mehrwirkung solcher hingewiesen worden war⁴. Eine eingehende und systematische Beschäftigung mit Mehrstoffkatalysatoren beginnt jedoch erst in unseren Arbeiten über die Ammoniak-katalyse, die 1909 einsetzten, nachdem in den Jahren 1904 bis 1908 Haber sowie Nernst in grundlegenden Arbeiten die theoretischen Verhältnisse dieser Katalyse geklärt hatten und nachdem von Haber ein erfolgversprechendes katalytisches Verfahren mit den Katalysatoren Osmium und Uran begründet worden war.

Man würde nun fehlgehen, wenn man annähme, daß von den seinerzeit bekannten Tatsachen über Mischkatalysatoren eine unmittelbare Übertragung auf den Fall der Ammoniak-katalyse stattgefunden hätte. Die tatsächliche Entwicklung ist besondere Wege gegangen, und ich glaube, der Fall ist lehrreich genug, um eine etwas ausführlichere Darstellung zu rechtfertigen.

Als 1909 die Frage der Überführung der von Haber gefundenen Ammoniak-katalyse in die Technik auftrat, war sich Carl Bosch, dem diese Übertragung anvertraut war, ohne weiteres bewußt, daß eine Katalyse mit so kostspieligen und schwer zu handhabenden Stoffen wie metallisches Osmium oder Uran auf große praktische Schwierigkeiten stoßen würde, und er stellte darum seinen Mitarbeitern die Aufgabe, leichter zugängliche Katalysatoren zu finden oder auch bisher als wenig tauglich befundene Katalysatoren so zu verbessern, daß man damit praktisch arbeiten könnte. Hier kam in erster Linie metallisches Eisen in Frage, an dem schon seit langem (Thénard 1813) die Fähigkeit der katalytischen Ammoniak-zersetzung bekannt war, und das neben anderen Metallen von Haber einerseits (um 1905), von Nernst und Jost (1907) andererseits in wissenschaftlichen Versuchen verwendet worden war⁵, und von

dem auch ich selber mich bereits 1905 in Laboratoriumsversuchen überzeugt hatte, daß es wirklich eine katalytische Bildung von Ammoniak hervorzurufen vermag⁶.

Wie aber konnte aus schlecht katalysierendem Eisen ein gut katalysierendes werden? Hier kam uns eine Erfahrung zu Hilfe, die Bosch und ich bei unseren 1906 bis 1909 durchgeführten Arbeiten auf dem Gebiet der Stickstoffbindung an Metalle gemacht hatten.

Bei diesen Arbeiten über Bariumcyanid, Titanitrid, Silicium- und Aluminiumnitrid⁷) war von uns beobachtet worden, daß *die Stickstoffbindung in der Regel in Gegenwart gewisser Fremdstoffe rascher und reichlicher vor sich geht*. Ich wähle aus den damaligen Beobachtungen einen einfachen typischen Fall der Erhitzung in Stickstoff-Atmosphäre:

Metallisches *Silicium* ergab, einige Stunden auf 1000° erhitzt, ein Produkt mit nur 2% N, während bei Zusatz von einigen Prozent fremder Stoffe beispielsweise folgende Zahlen erhalten wurden:

mit Na ₂ /K ₂ CO ₃	NaF	CaCO ₃	BaCl ₂
9,5	20,4	19,0	19,7% N
			(theor. 40%)

(Ähnlich ist es, wenn das Metall durch ein Oxyd-Kohle-Gemisch ersetzt wird, wobei intermediär durch Reduktionswirkung Metall entsteht.)

Wie kommen wir aber von hier zum *Mehrstoffkatalysator* bei der Ammoniak-katalyse? Ich bin dazu gekommen auf Grund folgender Überlegung :

Wenn die *Nitridbildung* oft durch bestimmte Zusätze erleichtert wird, so ist dies möglicherweise auch bei der katalytischen *Ammoniakbildung* der Fall, da diese offenbar eine gewisse intermediäre Bildung von Nitrid — sei es auch nur in Spuren und an der Oberfläche des Katalysators — voraussetzt! Diese Vermutung über einen Zusammenhang von Nitridbildung und Ammoniak-katalyse leitete mich als Arbeitshypothese und führte zu dem Entschluß, dem als Ammoniak-katalysator wenig tauglichen Eisen bestimmte Zusätze zu geben, damit die angenommene intermediäre Nitridbildung besser in Gang kommt und so die katalytische Ammoniakbildung erleichtert wird.

So waren denn die Zusätze, die dem Eisen probeweise zugefügt wurden, im Anfange (Februar 1909) charakteristischerweise ungefähr dieselben, die sich bei der Nitridbildung bewährt hatten, nämlich Ätznatron, Borax, Flußspat und dgl.

Man sieht, es sind, an unseren heutigen Kenntnissen gemessen, ziemlich zweifelhafte Zusätze, die nicht viel Erfolg haben konnten, und bescheiden — und vor allem sehr wechselnd — blieben zunächst auch unsere Resultate, als später nach einer Analogie auf dem Hydrierungsgebiet (Chem. Fabrik vorm. Schering, F. P. 401 876; bekannt geworden September 1909; s. S. 87) die *Alkalien* als Zusatz zum Eisen besonders eifrig gepflegt wurden. Nahm man Eisen oder Eisenoxyd verschiedener Herkunft — und wir haben in dieser Beziehung sehr stark variiert —, so war in dem einen Fall eine Erhöhung der Wirksamkeit durch Alkalien oder Erdalkalien deutlich sichtbar, in einem anderen mit dem gleichen Zusatz nicht; und das nimmt uns heute nicht wunder, wenn wir daran denken, daß verschiedene Eisenpräparate einen sehr ungleichen Gehalt an Schwefel u. dgl. haben können, abgesehen von weiteren zufälligen Verunreinigungen wie Alkali, Kieselsäure, Tonerde usw. Von der Existenz von *Kontaktgiften* bei der Ammoniakkatalyse (speziell Schwefel) war damals noch nicht das geringste bekannt, und so konnte es bei der verschiedenen Reinheit der benutzten Eisenpräparate zunächst keine gleichförmigen Resultate geben. Es kam hinsichtlich unserer Meinung, daß durch Zusätze zum Eisen die katalytische Wirksamkeit erhöht werden kann, vorübergehend sogar zu einem Rückschlag, insofern als eine Zeitlang der *Struktur* des Eisenkatalysators, und zwar, wie wir es damals nannten, einer „kompakt-porösen“ *Struktur des Eisenkatalysators*, der Hauptwert beigelegt wurde. Hierzu aber war man durch eine zufällige Beobachtung gekommen, die einer unserer Mitarbeiter, Hans Wolf, gemacht hatte. Eines Tages (am 6. November 1909) hatte er u. a. eine Probe gekörnten schwedischen Magnetit in einen unserer kleinen Hochdruckkontaktöfen eingefüllt. Dabei hatte sich eine überraschend gute und nachhaltige Wirkung (3% NH₃ statt sonst 1% oder weniger) gezeigt, so daß leicht der Glaube aufkommen konnte, daß die bei der Reduktion entstehende Form eines

„kompakt-porösen Eisenschwammes“ von hoher Dichte — im schroffen Gegensatz etwa zu locker auf Asbest aufgestreutem Eisenpulver — es sei, die den Erfolg herbeigeführt hatte. Diese Anschauung konnte begreiflicher Weise nicht standhalten, zumal da in weiteren Versuchen gewisse Magnetitproben von anderer Herkunft völlig versagten, obwohl sie bei der Reduktion offensichtlich ein Eisen von gleich kompakt-poröser Struktur ergaben.

So kamen wir sehr rasch zu der Auffassung zurück, daß doch stoffliche Einflüsse, d. h. die Anwesenheit gewisser Fremdstoffe, die Hauptrolle spielen, und sagten uns, daß solche materielle Einflüsse auch bei dem gut wirksamen Magnetit von *Gällivare* maßgebend gewesen sein mußten. Damit war aber die nächste Aufgabe präzisiert: *Man mußte versuchen, einen ebenso zusammengesetzten Magnetit künstlich zu erzeugen.* Nach einigem Probieren mit verschiedenen Methoden fand ich bald in der Verbrennung von pulverförmigem Eisen, anfangs mit Perchlorat, später einfach im Sauerstoffstrom — nach dem Vorbild der entsprechenden Elektrodenherstellung —, ein geeignetes Mittel zur Gewinnung eines *künstlichen Magnetits*. Fachliteratur und eigene Analysen gaben uns Einblick in die Zusammensetzung von schwedischem Magnetit, und so wurden beispielsweise Kontaktmassen hergestellt durch oxydierendes Zusammenschmelzen von Eisen mit kleinen Mengen Manganoxyd oder Titansäure, Kalk, Tonerde oder Gemischen solcher Substanzen (z. B. 20 g Fe + 0,2 g CaO + 0,1 g Al + 0,1 g MnO + 0,1 g Mg + 0,1 g Cr₂O₃).

Die Wirksamkeit derartiger Mehrstoffkatalysatoren war regelmäßig eine sehr gute, und so lag es nahe, nun die *ganze Reihe der überhaupt in Betracht kommenden Elemente im einzelnen zu verfolgen*, indem jeweils ein Element oder ein Oxyd oder ein Salz dem Eisen beigelegt und mit ihm oxydierend geschmolzen wurde. Natürlich mußte man dabei von sehr *reinem* Eisen ausgehen, und wir stellten uns solches entweder (aus reinstem, mehrfach umkristallisiertem Eisennitrat) selbst her, oder wir benutzten ab Ende Februar 1910 das „Eisen reductum pro Analyse“ von Kahlbaum und bald das noch reinere „Eisen Kahlbaum“ (kg 200 RM). Hiermit war der Schlüssel zur Auffindung sämtlicher „Aktivatoren“ des Eisens und fer-

ner auch zur Auffindung der bisher noch unbekannteren Vergiftung durch gewisse andere Zusätze gegeben, und in wenigen Wochen hatten wir eine erste gute Übersicht, indem sich zeigte, daß vor allem schwer schmelzbare und schwer reduzierbare Metalloxyde, wie Tonerde und Magnesia, und zwar bereits in kleinen Mengen, günstig wirken, leicht reduzierbare und leicht schmelzbare Metalle, wie Blei, aber schädlich; daß ferner die meisten Metalloide, wie Schwefel, schon in geringen Spuren die Reaktion aufheben, und daß höher schmelzende Metalle, sowie hitzebeständige Metalloide wie Bor und Kohlenstoff teils ziemlich indifferent sind, teils direkt nützlich wirken können⁸.

Ungefähr drei Jahre haben wir auf das systematische Studium dieser Erscheinungen verwendet. In einigen tausend Versuchen wurden bis Ende 1912 die Zusätze qualitativ und quantitativ variiert; wir haben die verschiedensten Herstellungsweisen durchprobiert (z. B. das gemeinsame Fällen von Hydroxyden, das Calcinieren von Nitratgemischen usw.), wir haben auch ternäre und quaternäre Katalysatoren hergestellt (wobei ein Gemisch von $\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O}$ sich besonders herausgehoben hat); wir haben den Gemischen des Eisens mit anderen Metallen unsere Aufmerksamkeit gewidmet (die Kombination Fe-Mo sei hier vermerkt), und wir haben schließlich im Laboratoriumsversuch, das Eisen als Basis verlassend und dem System der Elemente folgend, jedes erreichbare Element A mit jedem erreichbaren Element B als solchem oder in beliebigen Verbindungen, in verschiedenen Verhältnissen und in verschiedener Weise in innige Durchmischung gebracht.

Ich brauche auf diese Dinge um so weniger einzugehen, als in unseren Patentschriften und in sonstigen Veröffentlichungen Genaueres darüber zu finden ist⁹; das eine aber darf ich wohl konstatieren, daß bis heute kein Mehrstoffkatalysator von irgendeiner fremden Seite für die Ammoniakkatalyse vorgeschlagen worden ist, der uns, an unseren Arbeiten von 1909 bis 1912 gemessen, etwas grundsätzlich Neues gebracht hätte. In systematischer Beziehung verweise ich auf ein schon S. 26 gegebenes Diagramm, das die verschiedenen Möglichkeiten, die hin-

sichtlich Zweistoffkatalysatoren bei der Ammoniakkatalyse beobachtet worden sind, schematisch zusammenfaßt.

In welcher Weise die bei der Ammoniaksynthese gewonnenen Erkenntnisse über Mehrstoffkatalysatoren von uns auf andere Gebiete mit Erfolg angewandt worden sind, habe ich bereits bei jener früheren Gelegenheit geschildert, so daß ich mich hier auf die bloße Aufzählung beschränken kann:

Katalytische Hydrierung von Kohlenstoffverbindungen mit Kontakten von dem Typus Nickel + Tonerde.

Katalytische Oxydation von Ammoniak mit Eisenoxyd-Wismutoxyd-Gemischen und dgl.¹⁰

Katalytische Reduktion des Kohlenoxyds mit Wasserstoff unter Druck zu verschiedenartigen Verbindungen (1913) und speziell zu Methanol (1923)¹¹.

Es ist bekannt, daß die Anwendung von Mischkatalysatoren neben einfachen Katalysatoren in den verfloßenen zwanzig Jahren allgemeiner Brauch bei katalytischen Forschungen geworden ist und daß zu dem von uns selber gelieferten Tatsachenmaterial eine Fülle weiterer Beobachtungen mit Mehrstoffkatalysatoren von anderer Seite hinzugekommen ist; und es ist weiter bekannt, daß durch dieses reiche katalytische Material auch die theoretische Forschung stark angeregt worden ist.

An dieser wissenschaftlichen Untersuchung der Katalyse durch Mehrstoffkatalysatoren ist das seit 1918 unter meiner Leitung entwickelte Oppauer Forschungslaboratorium nicht unbeteiligt; vor allem sind die Herren Frankenburger, Kuß und der kürzlich allzufrüh verstorbene Rudolf Wietzel samt weiteren Mitarbeitern tätig gewesen. Ich muß mich auch hinsichtlich dieser Arbeiten auf einige Andeutungen beschränken, möchte aber zuvor bemerken, daß trotz eifriger Arbeit an den verschiedensten Stellen noch zahlreiche wichtige allgemeine Fragen offenstehen.

So liegt beispielsweise noch nicht einmal die Definition der Mehrstoffkatalyse genau fest¹². Der Techniker wird freilich nicht zögern, auf die Frage: Was ist ein Mehrstoff- oder ein Mischkatalysator? zu antworten: Das ist ein Katalysator, der durch Zusammenmischen verschiede-

dener Stoffe erzeugt wird. Schauen wir uns aber die benutzten Mischkatalysatoren näher an, so wird die Abgrenzung gegenüber den einfachen Katalysatoren oft recht schwierig¹³. Bei einem Katalysator wie Eisenmetall + Tonerde, der deutlich ein feindisperses mechanisches Gemenge zweier Substanzen darstellt, ist es freilich ohne weiteres klar, daß ein Zweistoffkatalysator vorliegt, und ebenso ist es im Falle Nickel + Molybdänitrid. Auch im Falle Eisenoxyd + Wismutoxyd wird man daran nicht zweifeln, gleichgültig ob Eisenoxyd mit Wismutoxyd zusammen ein homogenes Gebilde darstellt oder ob die Kombination heterogen zweiphasig ist. Wie steht es dann aber mit einem Sulfidkatalysator, z. B. Schwefeleisen, der ja doch gleichfalls zwei Bestandteile, nämlich zwei Elemente, enthält, oder endlich gar mit Eisenoxyd selbst, das ja aus Eisenmetall und Sauerstoff besteht? Man wird also wohl nicht umhin können, schließlich jeder aus zwei oder mehr Atomarten bestehenden Katalysator als Mehrstoffkatalysator im theoretischen Sinne zu bezeichnen¹⁴.

Handelt es sich hier um eine immerhin weniger wichtige Nomenklaturfrage, so liegen schon größere Schwierigkeiten vor, wenn man die bei Mehrstoffkatalysatoren beobachtete „Aktivierung“ oder „Verstärkerwirkung“ genau definieren will. Tatsächlich liegt nicht etwa immer eine einfache Erhöhung der katalytischen Beschleunigung vor, sondern, wie ich schon früher betont habe, äußert sich die Wirkung der Beimischung eines zweiten oder dritten Stoffes sehr oft darin, daß eine Reaktionslenkung bzw. Ablenkung stattfindet, indem der Zusatzstoff den Reaktionsverlauf beeinflussen und zu andersartigen Produkten führen kann.

Hiermit kommen wir dem schwierigen Kernpunkt des Problems näher, nämlich der Frage nach der Ursache der besonderen Wirkung von Mischkatalysatoren. Eine Antwort, aber eine solche von sehr formaler Art, kann man allerdings ohne weiteres geben: Wir sehen in dem chemischen und physikalischen Verhalten von Stoffgemischen allgemein so viel Abweichungen von der einfachen Additivität, daß es zu verwundern wäre, wenn bei der Katalyse solche Abweichungen nicht vorhanden wären. Wenn

Dampfdrucke, Adsorption, Löslichkeit usw. von Stoffgemischen sich nicht durchweg als Summe aus den betreffenden Wertzahlen der Komponenten darstellen lassen, wie sollte dann die komplizierte katalytische Wirkung von Stoffgemischen regelmäßig gleich der Summe der Wirkungen der Einzelkomponenten sein? Und so hat denn auch der „negative“ Fall, der hinsichtlich der Abweichungen von der Additivität möglich ist, d. h. die Erscheinung der katalytischen Hemmung oder Giftwirkung, niemals sonderlich Verwunderung in den Gemütern erregt, von dem Tage an, da zum ersten Male H. Davy beobachtete, daß Platin oder Palladium durch abgelagerten Kohlenstoff oder durch Schwefel katalytisch unwirksam für brennbare Gase wird, bis zu den schönen Untersuchungen von Faraday, Bredig, Bodenstein u. a. m.

Auf die wertvollen Arbeiten, die in neuerer Zeit über das Wesen der Giftwirkung bei der heterogenen Katalyse geliefert worden sind, habe ich hier nicht einzugehen; vielmehr interessiert uns die Theorie der positiven Beeinflussung, die in Mehrstoffkatalysatoren beim Gebrauch zutage tritt. Hier möchte ich vor allem folgendes sagen:

Die zahlreichen bekannt gewordenen Fälle, daß durch Mehrstoffkatalysatoren erhöhte Wirkungen oder neuartige Wirkungen erzielt werden, lassen sich meiner Meinung nach nicht auf ein einziges Schema bringen, und man sollte es vermeiden, kurzweg von der Ursache der „Verstärkung“ oder der „Aktivierung“ zu reden, die ein Stoff hinsichtlich einer katalytischen Wirkung durch einen zweiten Stoff erfahren kann. Es gibt nach allem, was wir im einzelnen wissen, nicht eine Ursache der Mehr- oder Sonderwirkung von Mehrstoffkatalysatoren, sondern verschiedene, und ich bitte mir zu gestatten, daß ich an der Hand typischer Beispiele aus unseren eigenen Laboratoriumsarbeiten kurz auf diese Verhältnisse eingehe.

1.) Eisen — Tonerde bei der Ammoniakkatalyse¹⁵.

Hier ist zu bemerken, daß schon in unseren ersten Patenten eine wahrscheinliche Ursache der Erscheinung angegeben worden ist. Es heißt daselbst: „Die hervorragend starke Wirkung derartig hergestellter Katalysatoren

ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß die besprochenen Beimengungen sich in dem hochoverhitzten Metall-oxyd lösen bzw. fein verteilen und daß hierdurch bei der nachherigen Reduktion ein im übrigen kaum wahrnehmbares Skelett innerhalb der Metallmasse entsteht, welches ein Zurückgehen der Oberfläche und damit der katalytischen Eigenschaften in wirksamster Weise verhindert.“ (D.R.P. 254437 von 1910.) Sehen wir genau zu, so müssen wir sagen, daß durch alle späteren wissenschaftlichen Arbeiten — und deren gibt es eine ganze Anzahl — diese Vorstellung nicht widerlegt, sondern gestützt, näher erläutert und auch einigermaßen quantitativ ausgestaltet worden ist. Durch die röntgenographischen Arbeiten von Wyckoff, Crittenden und Brill ist festgestellt, daß die aktivierende Wirkung der Al_2O_3 -Teilchen offenbar darauf beruht, daß die Entstehung und vor allem die Erhaltung der aktiven Stellen, d. h. besonders hoch wirksamer Oberflächenelemente des α -Eisens durch die zwischengelagerten feinen Al_2O_3 -Teilchen (oder Spinellteilchen) begünstigt wird. Wer je mit reinem, aus Oxyd im Kontaktofen reduzierten Eisen Ammoniakkatalysen ausgeführt hat, weiß ja, daß auch dieses reine Eisen im Anfang gut wirkt, daß es aber rasch nachläßt. Die Katalysatoremsubstanz ist dann gesintert, und der Einfluß der Al_2O_3 -Teilchen beim aktivierten Eisen ist in erster Linie offenbar ein „physikalischer“ und struktureller, indem die Rekristallisation durch die Tonerde verhindert wird¹⁶. In welcher Weise daneben etwa noch ein weiterer, von Zusatz zu Zusatz wechselnder, also mehr spezifischer Einfluß ausgeübt wird, ist nicht ohne weiteres zu sagen; für die Tonerde z. B. liegen Anhaltspunkte vor, daß sie die Desorption des Ammoniaks vom Eisenkatalysator wesentlich erleichtert¹⁷.

2.) Osmium + Alkali bei der Ammoniak-katalyse.

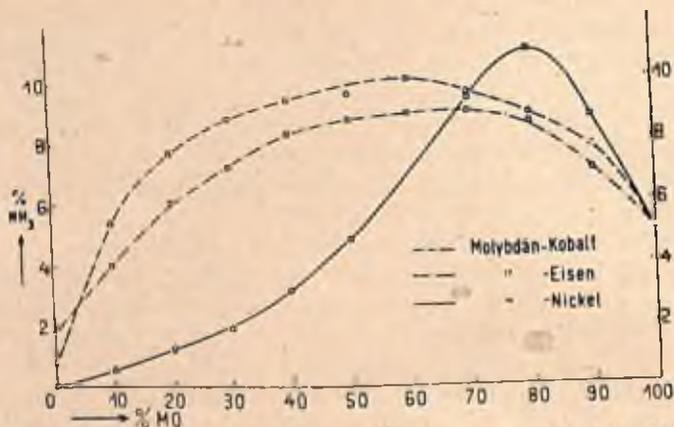
Es handelt sich hier um die von uns 1910 beobachtete Tatsache, daß das von Haber benutzte Osmium durch Alkalien eine Verstärkung seiner katalytischen Wirkung erfährt. In welchem hohem Maße diese zu beobachten ist, zeigt die folgende, auf neueren Versuchen von Keuncke basierende Tabelle:

I. 0,025 g Os auf 0,475 g Träger, 550° 200 at, 5 l Gas/Std.		NH ₃ im Gas %
Ausgangsmaterial	Träger	
Osmiumchlorid	Magnesiumoxyd	5,7
Osmiumdioxid	"	5,4
Kaliumosmat	"	10,8
1 Teil OsO ₃ +	"	
1 " K-Osmat	"	10,6
Osmiumchlorid	Chromoxyd	4,6
Kaliumosmat	"	8,9
II. 0,1 g Os aus OsO ₃ auf 1 g Asbest, 400° 1 at, 1 l Gas/Std.		0,047% NH ₃
ohne Zusatz		0,115% "
+ 0,04 g LiOH		0,136% "
NaOH		0,142% "
KOH		0,130% "
RbOH		0,111% "
CsOH		0,050% "
Mg(OH) ₂		0,050% "
Ca(OH) ₂		0,040% "
Sr(OH) ₂		0,037% "
Ba(OH) ₂		

Um was für eine Wirkung kann es sich hier handeln? Osmiummetall zeigt bei der Versuchstemperatur bei weitem nicht die Sinterung des Eisens; seine Oberflächenentwicklung kann im Falle des Alkalizusatzes kaum günstig verändert, sondern im Gegenteil durch partielle Bedeckung nur verkleinert werden; und dennoch der hohe Effekt! Da also für eine strukturelle Einwirkung keine Hinweise vorhanden sind, so liegt es vorerst nahe, zu vermuten, daß hier eine „chemische“ oder „energetische“ Einwirkung von Alkali¹⁸ ausgeht, deren Natur noch näher zu untersuchen ist¹⁹.

3.) Nickel + Molybdän²⁰ bei der Ammoniak-katalyse.

Dieser Fall ähnelt dem vorigen darin, daß auch hier eine Erklärung lediglich auf mechanisch struktureller Basis unwahrscheinlich anmutet. Im Anfang hat man sich damit begnügt, zu sagen, die Aktivierung, die hier als eine wechselseitige erscheint, komme dadurch zustande, daß das Molybdän den Stickstoff binde und aktiviere, das Nickel den Wasserstoff, und daß so die Kombination die Eigenschaft erhält, die einen guten Ammoniak-katalysator ausmacht. In Wirklichkeit liegen die Dinge etwas verwickelter, wie eine Untersuchung von Keuncke und Kuß gezeigt hat, über die besonders berichtet ist. Über das tatsächliche Verhalten solcher Gemische von Nickel oder Eisen oder Kobalt mit Molybdän gibt Figur 2 einige Auskunft.



Katalytische Wirksamkeit von Molybdän-Eisen, Molybdän-Nickel und Molybdän-Kobalt nach 24-stündiger Versuchsdauer.
550°. 200 at, 50 l Gas/Std., 1 g Metallgemisch.

Fig. 2

4.) Eisenoxyd + Wismutoxyd bei der Ammoniakoxydation²¹

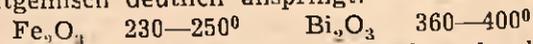
Über diese von mir 1914 zusammen mit Chr. Beck untersuchte Reaktion bildeten wir uns anfänglich die Vorstellung, daß das Wismutoxyd die beobachtete Erhöhung der Stickstoffoxydausbeuten dadurch hervorruft, daß es die ammoniakzersetzende Fähigkeit von Eisen herabsetzt. Tatsächlich lagen von Anfang an keine sicheren Anhaltspunkte vor, daß durch den Wismutzusatz eine wirkliche *Beschleunigung* der Ammoniakoxydation bewirkt wird; auch kann von einer günstigen Beeinflussung der Struktur des Katalysators durch den Wismutzusatz kaum die Rede sein, da das leicht schmelzende Wismutoxyd die Sinterung von Eisenoxyd nicht wesentlich zurückhalten kann. Die Wirkung des Wismutzusatzes könnte also darauf beruhen, daß irgendeine in bezug auf die NO-Ausbeute ungünstige Teilreaktion des gesamten katalytischen Prozesses unterdrückt wird. Vom Falle der Ammoniakbildung unterscheidet sich ja die katalytische Ammoniakoxydation grundsätzlich dadurch, daß verschiedene Endprodukte: N_2 , NO und auch N_2O entstehen können; und wir begegnen hier deutlich der Erscheinung, daß der Zusatzstoff eine Ände-

rung in der Reaktionslenkung oder in der Reaktionsauslese durch den Katalysator hervorbringen kann. In solchen Fällen ist es immer wieder am zweckmäßigsten, nach dem Vorbild von Schönbein den gesamten chemischen Vorgang als ein Drama, d. h. als eine Aufeinanderfolge vieler Teilvorgänge aufzufassen und nun im Experiment der Frage nachzugehen, welche Teilvorgänge durch den Katalysator bzw. durch den Wechsel und die Änderung des Katalysators hervorgehoben und welche dagegen unterdrückt werden.

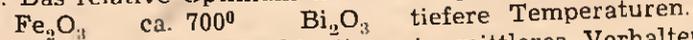
Auf Grund einer Untersuchung, die kürzlich v. Nagel bei uns ausgeführt hat, läßt sich in Kürze und ganz oberflächlich sagen, daß im Mischkatalysator Eisenoxyd-Wismutoxyd in bezug auf die Einzelfunktionen der darin vereinigten Stoffe eine Art *Summierung* vorliegt, eine Summierung aber, die im Gesamteffekt einen erhöhten technischen Wert des Mischkontaktes bedeutet.

Von den Einzelmomenten fassen wir ins Auge:

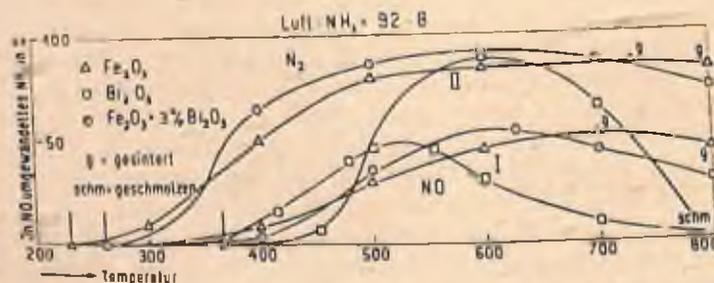
1. Die Temperatur, bei der der Kontakt mit einem NH_3 -Luftgemisch deutlich anspringt:



2. Das relative Optimum der Stickoxydausbeute:



Wie sich in der Kombination ein mittleres Verhalten mit einer Vereinigung der Vorteile beider Einzelstoffe ergibt, zeigen die Kurven der Figur 3.



Ammoniakoxydation bei verschiedenen Verweilzeiten und mit verschiedenen Katalysatoren.

Strömung I: 40 cm³/Std. Gasgemisch pro cm³ Kontaktraum.
Strömung II: 32000 cm³/Std. Gasgemisch pro cm³ Kontaktraum.

Fig. 3

Es ist also so, daß bei der *theoretischen Summierung* der Eigenschaften gegenüber jeder Komponente eine *praktische Überlegenheit* des Gemisches zustande kommt, und zwar: gegenüber dem Eisenoxyd allein das Resultat, daß die besten Stickoxydausbeuten bereits bei einer Temperatur erhalten werden, bei der der Katalysator noch nicht sintert; dem Wismutoxyd gegenüber eine erhöhte Aktivität und erhöhte Beständigkeit. Nimmt man als dritte Komponente Manganoxyd dazu, das, als MnO_2 , für sich verwendet, die Reaktion besonders leicht einleitet (schon bei ca. 100°), so ist das Ergebnis wieder eine Art Summierung, die praktisch noch weitere Vorteile bietet.

Dieser Fall erscheint darum besonders beachtenswert, weil eine genaue reaktionskinetische Analyse zeigt, daß theoretisch anscheinend gar kein die Additivität wesentlich übersteigendes katalytisches Verhalten der Kombination vorliegt, so daß uns in erster Linie *der technische Gesichtspunkt einer Steigerung der Stickoxydausbeuten* veranlaßt, hier von einer „Aktivierung“ zu reden. Derartige Fälle wird es wahrscheinlich viele geben (insbesondere bei Gemischen aus Bestandteilen von qualitativ gleichartiger Wirkung).

5.) Nickel+Tonerde u. dgl. bei der katalytischen Hydrierung.

Dieser (zusammen mit Krauch und Chr. Schneider untersuchte) Fall der Aktivierung erscheint dem Falle $Fe + Al_2O_3$ bei der Ammoniakkatalyse analog, zeigt aber bei näherem Zusehen doch bemerkenswerte Eigenheiten²². Ohne weiteres kann beobachtet werden, daß Nickel, wenn es in Gegenwart fein verteilter Magnesia, Tonerde, Chromoxyd usw. aus dem Oxyd reduziert wird, viel schwerer sintert als ohne diese Zusätze, daß seine Oberfläche also ausgedehnter ist und bleibt, so daß die Zahl der aktiven Punkte andauernd besonders groß sein muß²³.

Damit ist aber die Wirkung der Aktivatoren in diesem Falle sicher nicht erschöpft, vielmehr kommt immer da, wo die hydrierende oder reduzierende Wirkung in verschiedener Richtung und mit verschiedenen Produkten laufen kann, neben dem quantitativen Einfluß des Aktivators sicher auch ein qualitativer in Betracht, der von Fall

zu Fall näher zu untersuchen ist. Ganz allgemein müßte es wundernehmen, wenn Kontaktmassen wie $Ni-Al_2O_3$, $Ni-MgO$, $Ni-Cr_2O_3$, $Ni-MnO$ usw. (bzw. Cu-Kombinationen usw.), sofern sie zur Hydrierung oder Dehydrierung oder Reduktion von Substanzen wie Naphthalin oder Nitroverbindungen usw. verwendet werden, je nach der wechselnden Natur des Aktivators nicht auch wesentliche qualitative Unterschiede in bezug auf den Reaktionsverlauf und auf das erhaltene Produkt zeigen würden²⁴.

Statt hierauf weiter einzugehen, blicken wir kurz auf einen wichtigen Sonderfall der Hydrierung, die *katalytische Einwirkung von Wasserstoff auf Kohlenoxyd*²⁵.

Katalytische CO-Hydrierung

Hier ist wohl der großartigste Tummelplatz für die Betätigung von Mischkatalysatoren gegeben, indem bei gleichbleibender Grundsubstanz ein zweiter oder dritter anwesender Stoff die verschiedenartigsten Modifikationen im Reaktionsverlauf verursachen kann²⁶.

Während bei den klassischen Untersuchungen von Sabatier (1902) *Methan* als das einzige Produkt auftrat, haben wir heute eine unübersehbare Fülle verschiedenster Verbindungen, die sich sämtlich katalytisch aus $CO + H_2$ erzeugen lassen. Es gibt hierüber bereits eine reiche Literatur, auf die ich hier nicht eingehen kann²⁷. Ich möchte vielmehr nur andeuten, in welcher Weise ein Wechsel der Nebensubstanz im Katalysator die Reaktion selbst beeinflusst.

Wie 1923 von Matth. Pier und Karl Winkler beobachtet wurde, kann man mit reinem *Zinkoxyd* aus reinem $CO + H_2$ praktisch reines Methanol erzeugen, und zwar wirkt am besten, wie auch von anderen Seiten bestätigt wurde, ein durch Fällung hergestelltes ungeglühtes Zinkoxyd. Geeglühtes wie auch ungeglühtes Zinkoxyd erhält eine höhere Aktivität, und zwar auf die Dauer, wenn es vor dem Gebrauch mit Chromsäure versetzt wird; Chromoxyd ist ähnlich, jedoch in der Regel etwas schwächer wirksam. Wird die Chromsäure oder das Chromoxyd in größeren Mengen zugesetzt, so wirkt dies in der Richtung einer Bildung höherer Alkohole u. dgl.²⁸. In ähnlichem Sinne wie ein starker Chromoxydzusatz macht sich in der Regel Alkali geltend, jedoch schon bei weit geringeren Mengen.

Andererseits: Wird Zinkoxyd mit Eisenoxyd versetzt, so erhält man je nach Umständen statt oder neben Methanol Methan oder flüssige Kohlenwasserstoffe, in der Regel unter Kohleabscheidung am Katalysator; wird aber nach R. Wietzel dem Katalysator vor dem Gebrauch eine kleine Menge Schwefel u. dgl. zugefügt, so wird die Eisenwirkung unterdrückt und man kann wieder reichlich Methanol erhalten²⁹.

Natürlich werden die Verhältnisse besonders kompliziert, wenn man als Katalysatoren *ternäre und quaternäre Gemische* benutzt, indem dann bei passender Wahl der Komponenten jeder Einzelbestandteil eine bestimmte Funktion hinsichtlich der Gestaltung des Reaktionsverlaufs zu übernehmen vermag³⁰.

Zu der Veränderlichkeit des Reaktionsverlaufes mit der Natur des Mehrstoffkatalysators kommt noch eine weitere Veränderlichkeit mit Druck, Temperatur, Berührungsdauer, Reinheitsgrad der Gase usw., so daß die Fülle der Möglichkeiten geradezu erdrückend wirkt. Dabei handelt es sich allerdings nur ausnahmsweise um scharfe Grenzen und um ein strenges „Entweder — oder“; in der Regel werden beim Wechsel der Arbeitsweise und des „Aktivators“ *quantitative Verschiebungen in der Zusammensetzung* der erhaltenen, oft sehr komplizierten Reaktionsgemische beobachtet.

Wie kommen wir nun in solchen verwickelten Fällen wie dem der CO—H₂-Reaktion mit unseren Aktivatoranschauungen zurecht? Ohne auf Einzelheiten einzugehen, möchte ich nur folgendes sagen: Wir können den Dingen hier endgültig nur gerecht werden mit Betrachtungen, die den durchaus *spezifischen*, d. h. von Stoff zu Stoff wechselnden Charakter der Erscheinung verständlich machen. Das bedeutet aber m. E., daß wir hier wie auf dem Gebiet der heterogenen Katalyse überhaupt bei der Frage nach dem „Warum?“ schließlich nicht ganz auf *Affinitätsbetrachtungen* verzichten können³¹, die darauf basieren, daß in der Katalysatoroberfläche Kräfte besonderer Art gegenüber den reagierenden Molekeln wirksam sind und daß bei diesem Spiel der Kräfte mit jeder neuen Stoffart sich neue Möglichkeiten für die Bildung von Zwischenverbindungen

oder Adsorptionsverbindungen usw. ergeben. Die *selektive spezifische Adsorption*, die heute im Mittelpunkt des Interesses steht, ist dann gewissermaßen als eine Betätigungsform der sich hier äußernden besonderen „Verwandtschaft“ zu betrachten, als eine erste Stufe („Komplex“-Bildung), an die sich im katalytischen Drama weitere Teilprozesse in der Richtung einer spezifischen Komplexspaltung, sowie eine Desorption des Reaktionsproduktes anschließen, womit der katalytische Prozeß zu seinem Ende gelangt ist³². Diese Anschauungen im einzelnen auf Grund des Experimentes auf die Mehrstoffkatalyse und die dabei vielfach beobachtete Reaktionslenkung anzuwenden, mag anderen überlassen bleiben.

Meine Damen und Herren! Es war mir vergönnt, Ihnen einige Mitteilungen aus unseren Arbeiten über das weitreichende und bedeutsame Gebiet der Verwendung von Mehrstoffkatalysatoren zu machen. Es war dabei nicht möglich, für die besondere Wirkung, die solche Mehrstoffkatalysatoren zeigen können, eine allgemeingültige Erklärung zu geben, ja es konnte diese besondere Wirkung nicht einmal ganz eindeutig charakterisiert werden. Hier macht sich deutlich auch der Umstand geltend, daß es ursprünglich *technische Anforderungen* gewesen sind, die zur raschen Entwicklung des Gebietes der Mischkatalysatoren geführt haben, technische Anforderungen, die einfach auf die Gewinnung von Produkten oder eine Mehrgewinnung in der Fabrikation gerichtet sind. Ob solche Mehrleistungen oder Neuleistungen bei Gegenwart zweiter und dritter Komponenten im Katalysator durch wirkliche katalytische Beschleunigung von Teilprozessen zustande kommen oder durch Stabilisierung eines sonst leicht schwindenden aktiven Anfangszustandes des Katalysators, oder durch Erleichterung der Sorption oder Desorption, oder durch Hemmung unerwünschter Neben- oder Folgereaktionen, oder schließlich durch Eröffnung ganz neuer Reaktionswege, das ist der Technik zunächst gleichgültig; sie ist vorerst zufrieden, wenn sie diese Erfolge hat. Erst später taucht weiter die Frage auf, wie der beobachtete Effekt von großen, kleinen oder kleinsten Zusätzen sich wissenschaftlich erklären läßt, eine Frage, um deren Beantwortung sich

gegenwärtig Fabriklaboratorien zusammen mit den Laboratorien der Hochschulen und anderer chemischer Forschungsinstitute eifrig bemühen.

Wir Katalyse-Chemiker von der Industrie begegnen zuweilen dem Argwohn, daß wir über eine Art katalytischer Geheimwissenschaft verfügen, die wir der Allgemeinheit vorenthalten; und noch im vorigen Jahre bei unserer Berliner Tagung ist eine Mahnung an die chemische Industrie ergangen, ihre Resultate auf dem Gebiet der Katalysatoren bereitwilliger und vollständiger zu offenbaren. Ist es nun richtig, daß wir technische Chemiker über Art und Wesen der Katalysatoren viel mehr wissen als wir berichten? Es ist nicht so, fast möchte ich sagen, es ist leider nicht so³³. Und falls man in der Industrie auf dem Gebiet der Katalysatoren wirklich über einen gewissen Mehrbesitz verfügt, so kann dies nur in dem Sinne richtig sein, daß der durch fortgesetztes empirisches Suchen nach neuen katalytischen Möglichkeiten gewonnene Überblick über das Tatsachenmaterial im Zusammenhang mit Analogieschlüssen zu der Ausbildung einer Art katalytischer Handwerkskunst geführt hat, die sich ebenso schwer lehren läßt, wie z. B. das Feingefühl des Organikers bei der Auswahl der Wege zur Synthese organischer Verbindungen.

Dabei sind auch wir Praktiker der Katalyse heute noch bei weitem nicht in der Lage, bestimmte Voraussagen in der Richtung zu machen, daß wir für neue katalytische Probleme den geeigneten Katalysator auch nur mit einiger Sicherheit voraussagen könnten.

Was wir gegenwärtig und in absehbarer Zeit tun können, ist allein das, daß wir zahlreiche Fälle der Mehrstoffkatalyse realisieren und sammeln und sie im einzelnen dem Stand der Wissenschaft entsprechend klären. Wer wird aber weiter verlangen wollen, daß wir heute schon die Wirkungsweise des Mehrstoffkatalysators „verstehen“³⁴, da wir doch den *einfachen* Katalysator noch nicht wissenschaftlich beherrschen³⁵, und wer wird eine befriedigende Theorie der *katalytischen* Reaktion erwarten, wenn wir in bezug auf die Reaktionskinetik der *nichtkatalytischen* Reaktion und hinsichtlich der Vorgänge an Grenzflächen noch in den Anfängen tieferer Erkenntnis stehen?

Ist schon das Gebiet der Mehrstoffkatalysatoren in ihrer Anwendung auf chemische Reaktionen und technische Praxis an sich unübersehbar groß, so muß man sich weiter vergegenwärtigen, daß hiermit immer noch nicht der Weisheit letzter Schluß gegeben ist. Eine Erscheinung, die schon in den Anfängen der Beschäftigung mit einfachen Katalysatoren oft beobachtet wurde und die auch bereits in der bisherigen Entwicklung der Mehrstoffkatalysatoren stark hervorgetreten ist, erfährt neuerdings immer mehr methodische Berücksichtigung; die Tatsache nämlich, daß bei all diesen Katalysatorwirkungen der *Zustand der Stoffe*, wie er aus ihrer Vorgeschichte und Herstellungsweise resultiert, eine außerordentlich wichtige Rolle spielt, und daß es einer sorgfältigen *Kultur dieses Katalysatorzustandes* bedarf, um der Mannigfaltigkeit katalytischer Möglichkeiten gerecht zu werden.

Das wäre ja noch eine ziemlich anspruchslose Sache, wenn sich der katalytische Praktiker damit begnügen könnte, für seine Studien einfach verschiedene vorhandene Stoffe zu einem Katalysator zusammenzutun³⁶. Nun wissen wir aber, daß gerade in der festen Formart ein gegebenes Element oder eine Verbindung (oder Mischung) die *verschiedenartigsten Zustände* und insbesondere die *verschiedenartigsten Oberflächenzustände* zu besitzen vermag, und zahlreiche Untersuchungen gerade aus den letzten Jahren haben uns gezeigt, daß in katalytischer Beziehung dieser oft schwer definierbare Zustand in sehr hohem Maße bestimmend ist, indem es von ihm abhängt, *ob* eine chemische Substanz für eine bestimmte Reaktion katalytisch stark wirksam oder wenig wirksam oder unwirksam gefunden wird³⁷. So bemüht man sich denn in der katalytischen Praxis immer mehr, dadurch Höchstleistungen zu erzielen, daß die für eine Katalyse passenden Stoffe oder Stoffgemische auch in die *passendste Form* (insbes. Oberflächenform) gebracht werden.

Hiermit ist ohne weiteres eine Antwort auf die Frage nahegelegt, ob damit zu rechnen ist, daß in absehbarer Zeit das empirische Suchen des katalytischen Erfinders abgelöst werden kann von einer theoretischen Voraussage. Die Verhältnisse sind derart verwickelt, daß bis auf weiteres ohne Zweifel beide Richtungen, die empirische

und die theoretische Forschung, nebeneinander zu marschieren haben, und zwar in einem freundschaftlichen Verhältnis, so daß dauernd eine Wechselwirkung stattfindet, die für beide Teile fruchtbar ist. Ob jemals die katalytische Empirie völlig in der Theorie aufgenommen und von ihr abgelöst werden kann, braucht uns heute nicht zu kümmern; uns genügt das Bewußtsein, daß auf dem katalytischen Gebiet, namentlich mit Rücksicht auf die Mehrstoffkatalysatoren — und vornehmlich in der organischen Chemie —, eine unerschöpfliche Fülle von Möglichkeiten vorliegt, aus der noch Generationen strebender Forscher schöpfen werden, und daß, wenn es jemals scheinen sollte, als ob ein Nachlassen des Reichtums einträte, ein vertieftes Studium der katalytischen Erscheinungen in der *belebten Natur*, die wir heute erst sehr oberflächlich kennen, immer neue Quellen erschließen wird.

Anmerkungen:

1 Vgl. hierzu auch die Übersicht bei Mittasch, Bemerkungen zur Katalyse, Ber. 59, 19 (1926). — 2 Ztschr. physikal. Chem. 40, 1 (1902). Über die chemische Dynamik des Nickelkohlenoxyds. — 3 Schon 1894 hatte M. Traube bei seiner Untersuchung der katalytischen Einwirkung von Eisensulfat auf eine Lösung von Jodwasserstoff und Wasserstoffsuperoxyd die Wirkung des Eisensulfats durch Zugabe von Kupfersulfat verstärkt. Dann hatte Price 1899 bei der Reaktion zwischen Persulfat und Jodwasserstoff das Zusammenwirken von Katalysatoren (z. B. Fe und Cu) untersucht und gefunden: „Das Resultat ist merkwürdig: die beobachtete Beschleunigung ist mehr als doppelt so groß als die nach dem Additivitätsprinzip berechnete.“ Auch Fälle der Abschwächung (z. B. Mn+Zn) waren von Price beobachtet worden. Brode ist dann 1901 auf die „kombinierte Katalyse“ genauer eingegangen, indem er unter Weiterführung der Arbeit von Price quantitativ feststellte, daß es verstärkende und abschwächende Wirkungen gibt, wobei die Wirkung eines Katalysators auch durch einen solchen Stoff bedingt werden kann, der für sich allein nicht oder kaum katalysiert; s. Ztschr. physikal. Chem. 37, 257 (1901). — 4 Von früheren Mitteilungen über „Mischkatalysatoren“ auf dem Gebiet der heterogenen Katalyse seien folgende genannt: Döbereiner hatte bei seinen klassischen Arbeiten über katalytische Reaktionen beobachtet, daß Platinschwamm, der mit Alkali versetzt ist, eine erhöhte Wirkung ausübt und die Wirkung von Platinmohr erreicht; s. Jahrb. prakt. Pharm. 9, 233 (1844). Wöhler und Mahla Lieb. Ann. 81, 255 (1852) weisen auf die starke Wirkung eines Kupferoxyd-Chromoxyd-Gemisches bei der SO_2 -Katalyse hin. Deacon hat bei seinen Studien über die HCl-Oxydation den Kupferkatalysator mit verschiedenen anderen Stoffen (z. B. Na_2SO_4 , NaCl , MgSO_4) als „accelerating substances“ vermischt; s. Engl. P. 305 von 1873, 906 und 1908 von 1875. Später hat Bredig 1899 festgestellt, daß die Zersetzung von H_2O_2 durch Pt in wäßriger Lösung am besten in Gegenwart von etwas NaOH vor sich geht, daß also das Platin durch NaOH aktiviert wird; Ztschr. physikal. Chem. 31, 301 (1909). Knietzsch schlägt für die SO_2 -Katalyse u. a. Kontaktkörper aus Eisenoxyd u. dgl. mit Platinüberzug vor (D.R.P. 140353 von 1901). Holbling und Ditz, D.R.P. 142144 und 149677 von 1902 sagen, daß die Wirkung von Ceroxyd bei der SO_2 -Katalyse durch die Anwesenheit der Oxyde von Didym, Th, Y, Zr usw. erhöht werde. Bastian und Calvert E.P. 6448 von 1905 behaupten, daß ein Katalysator aus Pt und Pd für Zundzwecke

geeigneter sei als die einzelnen Bestandteile. Fokin bemerkt 1906 (Ztschr. Elektrochem. 12, 749), daß bei katalytischen Hydrogenisationen mittels Nickel ein zweites „galvanisch wirkendes“ Metall wie Zn oder Mg die Wirkung steigert. Bedeutsam erscheinen Patente der Chem. Fabrik vorm. Schering (D.R.P. 219043 und 219044 von 1908, 211147 und 271157 von 1909, F.P. 401876), wonach die Anlagerung oder Abspaltung von Wasserstoff in organischen Verbindungen mittels fein verteilter Metallalle, z. B. Ni, besser vor sich geht, wenn das Metall mit Alkali versetzt worden ist. — 5 Auch W. Ostwald hatte um 1900 mit einem Eisenkatalysator, jedoch gleichfalls ohne praktischen Erfolg, gearbeitet; s. Lebenslinien II, 287. — 6 Bosch pflegte vom Eisen zu sagen, daß es bei seinem Reichtum an Spektrallinien besonders aussichtsreich für katalytische Prozesse erscheine; s. Ztschr. Elektrochem. 24, 367 (1910). — 7 Vgl. hierzu die kurze Zusammenstellung in Ber. 59, 15, Fußnote 7 (1926). Bei der Cyanidbildung wurde die schon länger bekannte katalytische Wirkung des Eisens bestätigt; bei der Titanitridbildung aus Titansäure, Kohle und Stickstoff waren es Alkalien, bei der analogen Silicium- und Aluminiumnitridbildung verschiedene Metalle und Metallverbindungen, die günstig wirkten. Einen besonderen Fall dieser Erleichterung der Nitridbildung durch Zusätze bedeutet es, wenn der Zusatz selber unter den Arbeitsumständen den Zustand ankommt: mag, also ein Mischnitrid wie Al-Si-Nitrid u. dgl. zustande kommt; vgl. B.A.S.F., D.R.P. 243839 von 1909. (Analogie mit der wechselseitigen katalytischen Aktivierung bei Mischkatalysatoren!) — 8 Wie sich später gezeigt hat, bestehen vielfach, namentlich bei den Metalloxyden, größere spezifische Unterschiede, die darauf hinweisen, daß vor allem die Fähigkeit der Verbindungs- oder Mischkristallbildung mit Eisenoxyd (aus dem das Eisen durch Reduktion entsteht) eine Rolle spielt. Besonders lehrreich ist in dieser Beziehung der Fall des Berylliumoxyds, von dem nach Schenck aus dem Fehlen von Mischkristall- oder Verbindungsbildung theoretisch zu folgern wäre, daß es kein guter Aktivator für das Eisen sein könne (Schenck und Wesselkock, Ztschr. anorgan. allg. Chem. 184, 39 (1929); s. auch Schenck, „Deutsche Forschung“, Heft 3 von 1929), und das tatsächlich gegenüber andern Oxyden wie Tonerde und Magnesia deutlich zurücktritt. — 9 Die ersten Mitteilungen hierüber hat Bernthsen auf dem 8. Internat. Kongreß für Chemie, New York 1912 gemacht; s. Ztschr. angew. Chem. 26, 10 (1913). Vgl. ferner Bosch, Naturwiss. 8, 867 (1920); Mittasch, Naturwiss. Monatshefte 1925, 205. Eine ausführliche Darstellung der Entwicklung findet sich bei C. Müller in Ullmann, Enzyklopädie der techn. Chemie, 2. Aufl. 1, 363–427 (1928), eine kurze Übersicht bei Mittasch und Frankenburger, Ztschr. Elektrochem. 35, 920 (1929). — 10 Hier wurde, ähnlich wie im Falle des Ammoniaks von Bosch die Aufgabe gestellt, das Edelmetall Platin durch wohlfeile Kontaktmassen (möglichst wieder Eisen) zu ersetzen. Zusammen mit Christoph Beck versuchte ich verschiedene Oxydgemische, namentlich auf der Grundlage von Eisenoxyd, wobei aus Bequemlichkeit zunächst vielfach die gleichen Präparate verwendet wurden, die früher bereits zur Ammoniaksynthese gedient hatten. Schon in unserem 121. Versuch fanden wir so mit einem Oxydgemisch $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ (das bei der Ammoniakkatalyse versagt hatte) ein überraschend günstiges Resultat, indem der rasche Abfall der katalytischen Wirkung, den man bei reinem Eisenoxyd beobachtet, hier nicht eintrat, sondern stundenlang eine NO-Ausbeute von ungefähr 90%, in späteren Versuchen noch höher, erhalten wurde (D.R.P. 283824 von 1904). Ein neuer Fall einer Aktivierung war gefunden, wobei bemerkenswert ist, daß die Kombination von Eisen, Kobalt, Mangan usw. mit Wismut zwar durch dritte oder vierte Stoffe noch weiter in praktischer Hinsicht verbessert werden konnte, daß aber unter den vielen hundertsten wismutfreien Kombinationen von unedlen Metallen, die weiterhin untersucht wurden, keine einzige sich befand, die im Dauerbetrieb und vor allem bei der Beanspruchung im technischen Betrieb gleich gut gewirkt hätte. — 11 Weiter haben sich Mischkatalysatoren auch bewährt bei der katalytischen Herstellung von Wasserstoff nach der Reaktionsgleichung $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Hier habe ich mich jedoch mit meinen Mitarbeitern (insbesondere Christoph Beck) darauf beschränkt, das von Wild (gleichfalls unter Bosch) im Laboratorium und im Betrieb bereits ausgearbeitete Verfahren (D.R.P. 292615 von 1912)

nach der Katalysatorseite hin systematisch zu studieren, d. h. Fülle aufzusuchen, die neben dem von Wild von vornherein benutzten Eisenoxyd-Tonerde-Gemisch für die Praxis als besonders günstig in Betracht kämen. Die Resultate sind in Patentschriften niedergelegt (Beispiele: die Oxyde von Fe-Cr, Zn-Cr, Pb-U, Cu-Zr, Mn-Cr usw.; s. D.R.P. 279582 und 293585). — 12 Die Frage, wieweit die als „Einstoffkatalysatoren“ benutzten Substanzen wirklich als reine Stoffe gelten können und wie es sich mit der katal. Wirkung absolut reiner Stoffe verhält, bleibt hier unerörtert; s. O. Schmidt, Ztschr. f. Elektrochem. 36, 491 (1930). — 13 Auch eine scharfe Abgrenzung gegenüber Katalysatoren auf „Trägern“, die gleichfalls spezifische Wirkungen ausüben können, ist kaum ausführbar; vgl. Sabalitschka, Ber. 60, 786 (1927); 63, 375 (1930). — 14 Vgl. hierzu Willstätter, „Lebensvorgänge und technische Methoden“, Vortrag 1929, S. 11 Österr. Chemiker Ztg. 32, 107 (1929), wo das Stoffpaar Platin-Sauerstoff (bei der Hydrierung) in Beziehung zu den Mehrstoffkatalysatoren gesetzt wird. Ähnlich sehen H. S. Taylor und Kistlakowsky, Journ. Amer. chem. Soc. 49, 2468 (1927) Zinkoxyd bei der Methanolsynthese als einen Mischkontakt aus Zinkionen und Sauerstoffionen an; vgl. auch die Ausführungen von Taylor über Gitterkatalysatoren aus Metall und negativem Ion, wonach z. B. bei katalytischen Oxydationen das Metall die Hydrierung (oder Dehydrierung), das Oxydion die Hydratation (oder Dehydratation) fördern soll. Ztschr. Elektrochem. 35, 542 (1929). — Für die Praxis kann eine brauchbare Definition folgende sein: Ein Mehrstoffkatalysator ist ein aus zwei oder mehr Bestandteilen derart zusammengesetzter Körper, daß das während der Katalyse bestehende Mengenverhältnis dieser Bestandteile von vornherein bei der Herstellung des Katalysators innerhalb gewisser Grenzen willkürlich bestimmbar ist. (Hierdurch werden vor allem diejenigen Fälle ausgeschlossen, wo bei der Katalyse selbst aus dem reagierenden System Atomarten in nicht vorausbestimmender Weise an den Katalysator abgegeben werden (oder umgekehrt), man denke an das „Nickelhydrid“ bei katalytischen Hydrogenationen) — 15 Über die Wirkungsweise von Mischkatalysatoren nach der Art von $Fe+Al_2O_3$ bzw. $Fe+Al_2O_3+K_2O$ gibt es bereits eine ausgedehnte Literatur, und zwar auch mit besonderem Eingehen auf die Ursache der Erscheinung. Vgl. die Zusammenstellung von Frankenburg in Ullmann, Enzyklop. d. techn. Chem., 2. Aufl., 1, 384, sowie Ztschr. Elektrochem. 35, 923 (1929). Aufschlußreiche „Modellversuche“ zu Aufklärung der Aktivatorwirkung bei Katalysatoren vom Typus $Fe+Al_2O_3$ haben Frankenburg und Mayrhofer ausgeführt; s. Ztschr. Elektrochem. 35, 591 (1929). Von der Seite chemischer Gleichgewichte (der Katalysator als „Bodenphase“ heterogener Gleichgewichte (der Katalysator dem Problem der Mischkatalysatoren näher zu kommen, s. „Deutsche Forschung“, Heft 3 (1929). — 16 Daß dieses „physikalische“ Moment sich so stark „chemisch“ auswirken vermag, liegt bekanntlich daran, daß hochdisperses Metall mit seiner reichen Oberflächenentwicklung mehr ungesättigte Oberflächenatome besitzt und darum im Vergleich mit gesintertem (kompakter) Metall stärker reaktionsfähig sein muß. — 17 Es ist nicht ohne Interesse, daß das eigenartige Verhalten einer Mischung von Eisen und feinverteilter Tonerde schon vor hundert Jahren Gegenstand einer gründlichen Untersuchung gewesen ist, s. Magnus, Pogg. Ann. 3, 86 (1825). Allerdings handelte es sich damals nicht um die Erforschung der katalytischen Eigenschaften, sondern um Aufklärung des pyrophoren Verhaltens. — 18 Einen noch günstigeren Einfluß auf die Aktivität des Osmiums übt Alkalimetall in Dampfform aus, und es bestehen Gründe für die Annahme, daß auch die Sauerstoffverbindungen der Alkalimetalle unter den Arbeitsbedingungen kleine Mengen Metaldampf liefern. Vgl. auch Kunsman, Journ. Phys. Chem. 30, 525 (1926); Journ. Frankl. Inst. 203, 635 (1927). Auffälligerweise wirkt bei Molybdän für die Ammoniaksynthese ein Alkalioxydzusatz ungünstig (nicht aber Alkalimetall). — 19 Dieselbe oder eine ähnliche Erscheinung liegt offenbar in allen Fällen spezifischer Trägerwirkung vor, also z. B. dann, wenn Osmium, Ruthenium, Iridium und Rhodium auf Chromoxyd und vor allen Dingen auf starker basischen Trägern wie Magnesia eine viel stärkere katalytische Wirkung bei der NH_3 -Katalyse entfalten als (bei anscheinend gleicher Oberflächenentwicklung) auf anderen Substanzen wie Asbest, Kieselgur, Tonerde, Thor-

oxyd, Calciumcarbonat usw.; vgl. D.R.P. 289105 und 288496 (Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen, übertragen auf B.A.S.F.). — 20 Literatur: B.A.S.F. D.R.P. 286430 von 1911; Larson und Brooks, Ind. Eng. Chem. 18, 1305 (1926); Burk, Proc. Nat. Akad. Sc. Wash. 14, 601 (1928). — 21 Literatur über diese Katalyse: Maxted, Journ. Soc. chem. Ind. 36, 777 (1917); Neumann und Rose, Ztschr. angew. Chem. 33, 41, 45 und 51 (1920); Scotch und Leach, Ind. Eng. Chem. 19, 170 (1927); Neumann und Manke, Ztschr. Elektrochem. 35, 751 (1929), wo davon die Rede ist, daß vermöge einer „hemmenden Oxydationswirkung“ des Wismutoxyds die Reaktion nicht bis zum freien Stickstoff geführt wrd. — 22 Während die Kombinationen Nickel (Kupfer) mit Tonerde, Magnesia, Chromoxyd usw. ohne weiteres Beziehungen zu den Eisen-Mischkatalysatoren der Ammoniakkatalyse zeigen, fehlt bei Kombinationen wie Nickel-kolloidale Kieselsäure, oder Nickel im Zeolith-System, die bei der katalytischen Hydrierung von organischen Verbindungen sich sehr günstig verhalten, das deutliche Analogon. In den Patenten D.R.P. 307580, 307989 und 362143 von 1913 wird allgemein beansprucht die Verwendung von Metallen (ausgenommen Pt- und Pd-Metalle) in innigem Gemisch mit Sauerstoffverbindungen der Erdmetalle oder anderer schwer reduzierbarer Metalle (also Al, Mg, Be, seltene Erden, Th, Mn, Cu, U, V, Ti, Nb, Ta, auch B) für die Hydrogenation oder Dehydrogenation von Kohlenstoffverbindungen; s. weiter auch D.R.P. 352439, 378806, 391673, 282782. — Schon zuvor (1912) hatte Ipatiew für katalytische Reduktionen unter Druck, wie die Hydrierung von Camphen, Gemische von Nickeloxyd (nicht Nickelmetall) und Tonerde als Katalysatoren angewandt und über den durch das Zusammenwirken eines reduzierenden und eines hydratisierenden Stoffes erzielten starken Reduktionserfolg, bzw. vom „Einfluß fremder Stoffe auf die Aktivität der Katalysatoren“ oder von „konjugierter Katalyse“ gesprochen; s. Ber. 43, 3387 (1910); 45, 3205 (1912). Paal und Mitarbeiter hatten ein Gemisch Palladium-Aluminiumhydroxyd zur katalytischen Reduktion von Fetten verwendet; s. Paal und Karl, Ber. 44, 1013 (1911) (Dissertation Karl, Erlangen 1911, S. 43). Bedford und Erdmann haben 1913 berichtet, daß die katalytische Wirkung von Nickeloxyd durch Oxyde des Aluminiums, Zirkons, Titans, Cers, Lanthans und Magnesiums erhöht wird; s. Journ. prakt. Chem. 87, 449 (1913). — Vgl. auch Ipatiew, Aluminiumoxyd als Katalysator in der organischen Chemie, 1929. — 23 In dieser „physikalischen“ Richtung, also mit einer gewissen Analogie zur Erklärung der einfachen Trägerwirkung, bewegen sich die meisten Versuche einer Erklärung der Aktivatorwirkung bei Gemischen von $Ni+Al_2O_3$ u. dgl.; s. Armstrong und Hilditch, Proc. Roy. Soc. Ld. A. 103, 586 (1923); Russell und H. S. Taylor, Journ. Phys. Chem. 29, 1325 (1925). Daneben finden sich aber auch Deutungen mehr chemischer Art, indem z. B. auf die wasserabspaltende Eigenschaft der den Aktivator bildenden Substanz besonderer Wert gelegt wird; s. z. B. Medsforth, Jour. Soc. chem. Ind. 123, 1452 (1923); Ipatiew und Orlov, Compt. rend. 183, 973 (1926); Rosenmund und Jolthe, Ber. 58, 2054 (1925). — 24 Scharf ausgeprägte Fälle eines solchen „Reaktionswechsels“ mit dem Wechsel des Aktivators sind für Nickel und Kupfer noch wenig bekannt; hinsichtlich Platin vgl. Tuley und Adams, Journ. Amer. chem. Soc. 47, 3061 (1925); Bray und Adams, Journ. Amer. chem. Soc. 49, 2101 (1927). — 25 Nachdem 1913 nur Gemische verschiedener Kohlenwasserstoffe (ein künstliches Erdöl) und (in wässriger Schicht) von Alkoholen, Aldehyden und Säuren erhalten worden waren (D.R.P. 293787 von 1913 und Zusätze), gelang 1923 in neuen Versuchen Matthias Pier die Methanolsynthese, und zwar auf Grund der Lösung: Weg vom Eisen! Das bedeutet Vermeidung des Eisens als Katalysatorenbestandteil, Beseitigung von Eisen-carbonyl als Verunreinigung im Gasgemisch und schließlich auch möglichst weitgehende Vermeidung von Eisen im Wandmaterial des Kontaktores; vgl. Amer. P. 1569 775). Als Katalysatoren hatten sich wiederum Mischkatalysatoren, und zwar auf die Dauer insbesondere bestimmte Zinkoxyd-Chromoxyd-Kontakte als besonders leistungsfähig erwiesen (D.R.P. 415686, 441433, 462837 u. a.). Gleichzeitig waren in der B.A.S.F. auch O. Schmidt und Ufer zu einer Methanolsynthese, und zwar zunächst mit aktiviertem Kupfer gelangt (s. Engl. P. 229715).

Vgl. auch Mittasch, Ber. 53, 18 und 29 bis 31 (1926). Siehe ferner die „Synthol-Arbeiten“ von Fr. Fischer und Mitarbeitern. Hinsichtlich der Prioritätsverhältnisse s. Chem.-Ztg. 49, 463, 564 (1925); Ztschr. angew. Chem. 43, 166 (1927); Metallbörse 1929, 1350 ff. — 26 Eine ähnliche Mannigfaltigkeit zeigt sich bei der katalytischen Behandlung der Kohlenwasserstoffe, die gegenwärtig wissenschaftlich wie technisch starke Beachtung findet. — 27 Hier sind vor allem anzuführen: Franz Fischer, Tropisch und Mitarbeiter, Ber. 56, 2428 (1923); Franz Fischer, Brennstoffchemie 4, 276 (1923); 7, 97 (1926); 9, 21, 250 (1928); 10, 337, 444 (1929); Matignon, Bulletin Soc. Chim. Paris 37, 825 (1925); Christiansen, Journ. chem. Soc. 1926, 413; Frolich und Mitarbeiter, Ind. Eng. Chem. 20, 285, 354, 694, 1327 (1928); 21, 109, 867, 1052 (1929); Journ. Amer. chem. Soc. 51, 61, 187 (1929); H. S. Taylor und Kistiakowsky, Journ. Amer. chem. Soc. 49, 2468 (1927); Smith und Hawk, Journ. Phys. Chem. 38, 415 (1928); Brown und Galloway, Ind. Eng. Chem. 20, 860 (1928); Audibert und Raineau, Ind. Eng. Chem. 20, 1105 (1928), 21, 880 (1929); Dohse, Ztschr. physikal. Chem. 8, 159 (1930). — 28 Das Chromoxyd übt offensichtlich in mehrfacher Beziehung eine günstige Wirkung aus, hinsichtlich der Oberflächenbildung, der Adsorption der Gase und des gebildeten Zinkdampfes, sowie in bezug auf die Teilreaktionen des Prozesses. Vgl. hierzu auch Natta, Giorn. Chim. Ind. Appl. 12, 13–23 (1930). — 29 I. G. Farbenind., Engl. P. 254760 von 1924, Beispiel 5. Ähnlich: Kupfer zusammen mit Zink erzeugt aus Kohlenoxyd und Wasserstoff Methanol (B.A.S.F., Engl. P. 237030 von 1923). In Gegenwart von Eisen oder Kobalt gibt Kupfer unter denselben Bedingungen Kohlenwasserstoffe. (B.A.S.F., D.R.P. 295202 von 1914 und I. G. Farbenind., Engl. P. 293185 von 1926). — 30 Hier ist auch auf die neueren Arbeiten von Fr. Fischer und Mitarbeitern über die Darstellung von Kohlenwasserstoffgemischen aus $\text{CO} + \text{H}_2$ bei gewöhnlichem Druck hinzuweisen. S. insbes. Brennstoffchemie 10, 446 (1929); vgl. auch Elvins und Nash, Fuel 5, 263 (1926). — 31 Willstätter hat sich hierzu vor kurzem folgendermaßen geäußert (Lebensvorgänge und technische Methoden 1929, 17): „Die Affinitätsfelder eines Atoms können und sie müssen in gewissen Fällen die Affinitätsfelder benachbarter Atome in innigen Gemischen so beeinflussen, daß durch Synergie individuelle Stoffe von speziellem Reaktionsvermögen, z. B. spezifischer katalytischer Wirksamkeit, gebildet werden.“ Schon früher, 1927, hatte er in seiner Faraday-Vorlesung gesagt, daß Gemische von Stoffen in katalytischer Beziehung die Eigenschaften neuer chemischer Verbindungen erlangen können, eine Vorstellung, die durch die Erfahrung durchaus gestützt wird und auch in der Richtung meiner eigenen, bereits in dem Berliner Vortrag von 1926 wiedergegebenen Anschauungen liegt. S. auch Haber, Ztschr. Elektrochem. 35, 534 (1929): „Die Mischkontakte lassen durch die Nebeneinanderlagerung chemisch verschiedener Kontaktsubstanz molekulare Felder in der Kontaktfläche erwarten, die besonders geeignet sein mögen, solche Momente (d. h. elektrische Momente der reagierenden Molekeln) im Adsorbat zu induzieren.“ — 32 Vgl. hierzu insbesondere Frankenburgers, Ztschr. Elektrochem. 35, 278 (1929). Es ist klar, daß eine wissenschaftliche Erforschung der Katalyse und so auch der Mehrstoffkatalyse auf einer Analyse des empirisch beobachteten Bruttovorganges in die durch die spezifischen Affinitätsverhältnisse verursachten Teilvorgänge basieren muß. Das Ziel einer solchen Forschung ist dann, für jeden Bestandteil eines Mehrstoffkatalysators angeben zu können, welche Teilprozesse des Gesamtvorganges er beeinflußt und in welcher Weise das geschieht. — 33 Schon in den Patentschriften ist tatsächlich über die Wirksamkeit von Katalysatoren, speziell Mehrstoffkatalysatoren, weit mehr offenbart worden, als der diese Fachliteratur oft zu sehr vernachlässigende wissenschaftliche Chemiker meint. — 34 Dies gilt auch für die Mehrstoffkatalysen auf enzymatischem Gebiete, obgleich hier Forscher wie Willstätter, v. Euler und andere bereits viel zur Klärung beigetragen haben. — 35 Daß indes auf diesem Gebiete eine lebhaft und erfolgversprechende Entwicklung eingesetzt hat, zeigen u. a. die auf der letzten Tagung der Bunsengesellschaft gehaltenen Vorträge zur Theorie der heterogenen Katalyse; s. Ztschr. Elektrochem. 35, 533 ff. (1929). Vgl. auch Born und Franck, Beitrag zum Problem der Adsorptionskatalyse, in Nachr. Ges.

Wiss., Göttingen 1930. — 36 Ein einfacher Überschlager zeigt, daß auf diese Weise z. B. auch nur 30 einfache Stoffe ohne weiteres 435 binäre Gemische von möglicherweise neuen katalytischen Eigenschaften ergeben, wobei von der Möglichkeit einer quantitativen Abstufung des Mischungsverhältnisses und von Besonderheiten der jeweils vorhandenen oder absichtlich erzeugten Struktur noch ganz abgesehen wird. — 37 Vgl. Palmer und Constable, Proc. Roy. Soc. 98, 13 (1920); 110, 284 (1926); Journ. chem. Soc. 129, 2995 (1927); Adkins und Bischoff, Journ. Amer. chem. Soc. 47, 808 (1925); G. B. Taylor, Kistiakowsky und Perry, Journ. Zhs. Chem. 34, 748 (1930); Hüttig und Garside, Ztschr. anorgan. Chem. 179, 49 (1929).

Aktivator, Promotor oder Verstärker

Zur Nomenklatur katalytischer Erscheinungen *

Für die zuerst in der Badischen Anilin- und Sodafabrik beim Studium von Ammoniak-Katalysatoren (ab 1909) systematisch verfolgte Erscheinung, daß Einstoff-Katalysatoren durch Zusatz eines zweiten Stoffes Wirkungssteigerungen weit über die Additivität hinaus erlangen können — und zwar auch dann, wenn dieser zweite Stoff an sich die betreffende Reaktion nicht katalysiert —, sind zur Zeit in der Literatur verschiedene Ausdrücke gebräuchlich. Einerseits wird die Bezeichnung „Aktivator“ für den wirkungssteigernden Zusatzstoff und „Aktivierung“ für den Vorgang bzw. den hervorgerufenen Effekt angewendet, andererseits — vor allem in der angelsächsischen Literatur — der Ausdruck „promoter“ (Promotor) bzw. Promotorwirkung oder schließlich auch der Ausdruck „Verstärker“, so daß die Frage auftaucht, ob fernerhin die verschiedenen Ausdrücke nebeneinander gebraucht werden sollen oder ob ein einheitlicher Sprachgebrauch erzielt werden kann. In historischer Hinsicht ist folgendes zu sagen:

Zu dem Zweck, die kostspieligen Katalysatoren Habers (Osmium, Uran) durch wohlfeile und leicht zugängliche Kontaktmassen zu ersetzen, war auf Veranlassung von Bosch durch den Verfasser und seine Mitarbeiter versucht worden, wenig wirksamen Metallen wie Eisen eine höhere katalytische Wirksamkeit zu erteilen¹. Dabei hatte sich als wichtiges Resultat die Tatsache ergeben, daß Eisen und andere Metalle durch Zusätze der verschiedensten Art *in ihrer Wirkung verbessert* werden können. Dieses Erkenntnis ist in einer Anzahl von Patentschriften niedergelegt worden, wobei für diese Verbesserung der katalytischen Wirkung der Ausdruck „Aktivierung“ und für den wirksamen Zusatzstoff der Ausdruck „Aktivator“ gebraucht wurde². Bei der Einreichung der grundlegenden Aktivierungspatente in Amerika und England wurde dann von der Badischen Anilin- und Sodafabrik auf Vorschlag ihrer Berater englischer Nationalität statt Aktivator in der Übersetzung das Wort „promoter“ für die günstig wirkenden Zusätze gebraucht³. Dieser Ausdruck hat sich weiter in der technischen und wissenschaftlichen Literatur

* Ztschr. f. Elektroch. 35 (1929) 96.

Englands und Amerikas verbreitet, und er ist von hier auch in das deutsche Schrifttum eingedrungen (vgl. z. B. Hinshelwood, Reaktionskinetik, deutsche Ausgabe von E. Pietsch und G. Wilcke, Leipzig 1928, S. 181).

Zu Gunsten des Ausdruckes „Promotor“ kann angeführt werden, daß eine Verwechslung dieser Bezeichnung für die Verbesserung der Wirkung eines einfachen Katalysators durch eine zweite Substanz, also für eine *stofflich* erzielte Wirkungssteigerung, mit andersartigen Begriffen nicht möglich ist, während den Ausdrücken „Aktivator“ und „Aktivierung“ eine unter Umständen irreführende Identität mit den üblichen Bezeichnungen der Reaktionskinetik anhaftet, durch die die *energetische* „Aktivierung“ von Molekülen und die dazu aufzuwendende Aktivierungsenergie ausgedrückt wird. Im allgemeinen dürfte die Gefahr einer derartigen Verwechslung nicht gerade groß sein, so daß man sich entschließen könnte, aus historischen Gründen wenigstens in Deutschland die Bezeichnungen „Aktivator“ und „Aktivierung“ für den Einfluß wirkungssteigernder Zusätze beizubehalten und den Ausdrücken „Promotor“ und „Promotorwirkung“ vorzuziehen. Daneben kann jedoch auch erwogen werden, nach dem Vorgang von Schwab⁴ den Ausdruck „Verstärker“ und „Verstärkerwirkung“ einzuführen.

Da also den Ausdrücken „Aktivierung“ und „aktivieren“ (nicht dem Worte „Aktivator“) eine gewisse Mehrdeutigkeit anhaftet und da andererseits das in der angelsächsischen Literatur gebrauchte Wort „promoter“ (Promotor) in der sprachlichen Abwandlung Schwierigkeiten macht, so wird eine fachmännische Diskussion darüber vorgeschlagen, welcher von den drei Ausdrücken „Aktivator“, „Promotor“ oder „Verstärker“ in Zukunft vorzugsweise oder besser ausschließlich angewandt werden soll⁵.

Anmerkungen:

¹ Vgl. Bernthsen, Ztschr. angew. Chem. 14, (1913), sowie A. Mittasch, Ber. dtsch. chem. Ges. 59, 21 (1926). — ² D.R.P. 249447 (1910) und dessen Zusatzpatente, insbes. D.R.P. 276133. — ³ Vgl. U.S.A.P. 1 068 967 (1913) und E.P. 19249 (1910). — ⁴ G. M. Schwab, Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften Bd. VII, S. 322 ff. (1920). — ⁵ Verfasser neigt vorerst dazu, trotz der vorhandenen Bedenken an dem Ausdruck „Aktivierung“ festzuhalten, zumal da die Mehrdeutigkeit dieses Wortes — stoffliche Beeinflussung oder energetische Erregung — zwar an sich vorhanden ist, praktisch aber kaum zu Mißverständnissen führen wird. — Zusatz 1947: Vielfach könnte auch von „Modifikator“ gesprochen werden.

Über die Entwicklung der Theorie der Katalyse im neunzehnten Jahrhundert^{1*}

Es ist bemerkenswert, daß man sich mit der Katalyse, die heute eine so wichtige Rolle in dem Gesamtgebiet der Chemie spielt, erst etwa um das Jahr 1800 in einzelnen Fällen zu beschäftigen begonnen hat, nachdem durch das Aufkommen stöchiometrischer Betrachtungsweisen hierfür die Bedingungen geschaffen worden waren. Allerdings reicht die *Verwertung* bestimmter Katalysen, vor allem in der Form von Gärungsvorgängen, viel weiter zurück, und ferner kann man auch in dem Streben nach dem „Stein der Weisen“ und der „Universaltinktur“, das durch Jahrhunderte die Gemüter beherrscht hat, eine Art primitive katalytische Idee erblicken; denn wenn z. B. Kunkel von Löwenstern in seinem „Laboratorium Chymicum“ (4. Aufl., 1767) rühmend berichtet, daß ein Alchimist Schwerzer im Jahre 1585 eine „Tinktur“ herausgebracht habe, von der „ein Teil 1024 Teile unedle Substanz tingieret“, d. h. in edles Gold verwandelt habe², so kann man hierin eine Vorahnung der Erscheinung der Katalyse sehen. Allein, hier handelt es sich doch um Täuschungen und Irrtümer, und es besteht ein nimmelseitiger Abstand von da bis zu den ersten bewußten Beobachtungen *wirklicher Katalyse*, bei der ein Stoff weit über einfache stöchiometrische Zahlenverhältnisse hinaus eine Leistung vollbringt, die als eine Hervorrufung oder Beschleunigung chemischer Reaktionen anzusehen ist³.

Von solchen ersten tatsächlichen Feststellungen sind folgende allgemein bekannt: die Überführung von schwefliger Säure in Schwefelsäure mittels salpetriger Säure (schon im achtzehnten Jahrhundert ausgeübt), die Spaltung von wäßrig gelöster Stärke in Zucker unter dem Einfluß von Säure (Parmentier 1781, Kirchoff 1811), die Zersetzung von Wasserstoffsperoxyd durch Metalle usw. (Thénard 1818) und die Oxydation brennbarer Dämpfe durch Luft in Gegenwart von erhitztem Platindraht (H. Davy 1817) oder von Platinschwamm schon bei gewöhnlicher Temperatur (Döbereiner 1823). Bei weitem das größte Aufsehen hat von diesen Reaktionen die letzt-

genannte erregt, nämlich die Entflammung eines Wasserstoff-Sauerstoffgemisches mit Platinschwamm, die J. W. Döbereiner, Goethes chemischer Berater in Jena, am 3. August 1823 erstmalig ausgeführt hat, und die weiterhin in zahlreichen Untersuchungen näher studiert worden ist⁴, ohne daß bis heute die letzten Rätsel des Vorganges gelöst worden wären.

In der Folgezeit sind dann im neunzehnten Jahrhundert eine große Zahl weiterer katalytischer Reaktionen aufgefunden und näher untersucht worden. Von den charakteristischen Merkmalen der Katalyse, die dabei festgestellt wurden, steht im Mittelpunkt die Eigentümlichkeit, daß der Katalysator beim Vorgang *nicht verbraucht* wird und darum relativ sehr große Mengen reaktionsfähiger Stoffe (im Idealfall unbegrenzte Mengen) umzusetzen vermag. Weiter ergab sich, daß die Katalysatorwirkung in der Regel eine *spezifische* ist, indem nicht etwa jeder beliebige Stoff jede beliebige Reaktion katalysiert; vielmehr wird im gegebenen Falle (wie schon Thénard und Davy beobachtet haben) eine starke katalytische Wirkung nur durch bestimmte Stoffe hervorgerufen und auch dann nur unter bestimmten Bedingungen, und es muß für eine gewünschte Reaktion der beste Katalysator jeweils in oft sehr mühsamer experimenteller Arbeit aufgesucht werden. Ferner hat sich schon in den ersten tiefergehenden Arbeiten gezeigt, daß ein Katalysator durch gewisse Fremdstoffe unwirksam werden kann, und es können dabei bereits Spuren *die katalytische Wirkung aufheben*, was schon Forschern wie Döbereiner und Faraday aufgefallen ist⁵.

Hinsichtlich der *Hauptformen der Katalyse* hat man Fälle der *homogenen* und der *heterogenen* Katalyse (Grenzflächenkatalyse) unterscheiden gelernt: also einerseits Fälle, wo Katalysator und das katalysierte Gebilde in einer Phase gleichmäßig verteilt sind (Beispiel: Rohrzuckerinversion durch Säure), andererseits solche, wo der Katalysator von dem katalysierten Gebilde durch Phasengrenzflächen getrennt ist (Beispiel: Platinkatalysen gegenüber Gasgemischen usw.). Schon sehr früh ist man auch auf das Sondergebiet der *Biokatalyse* aufmerksam geworden, das diejenigen katalytischen Beschleunigungen

* Die Naturwissenschaften 21 (1933) 729—749.

und Lenkungen umfaßt, die direkt oder indirekt mit dem Stoffwechsel von Lebewesen zusammenhängen; hier handelt es sich vor allem um die *enzymatischen Reaktionen*, die durch gewisse organische Katalysatoren (Fermente, Hormone, Vitamine usw.) hervorgerufen werden⁶. Das erste bekannt gewordene Beispiel ist die Hydrolyse der Stärke — statt durch verdünnte Säure — durch wäßrige Auszüge gekeimter Gerste, also durch Diastase (Irvin 1785, Kirchhoff 1814), ein weiteres wichtiges frühes Beispiel die Spaltung des Amygdalins durch Emulsin (Liebig und Wöhler 1837).

In bezug auf die *Ausbildung der katalytischen Theorie*, wie sie im neunzehnten Jahrhundert die Fortschritte empirischer Forschung begleitet hat, zeigt sich, daß sich diese Theorie durchaus nicht in einer einheitlichen Linie entwickelt hat; vielmehr haben sich verschiedene Vorstellungen über Wesen und Ursache der Katalyse neben- oder vielfach gegeneinander herausgebildet, die in ihrem Inhalt dadurch bedingt waren, von welchen besonderen katalytischen Erscheinungen aus und mit welchen eigenen Erfahrungen der einzelne die Mannigfaltigkeit der katalytischen Vorgänge zu meistern suchte.

Dabei sind von Anfang an *zwei verschiedene Grundeinstellungen* sichtbar, indem die einen Forscher die katalytischen Erscheinungen möglichst weitgehend den übrigen chemischen Vorgängen anzunähern suchten, während die anderen die katalytischen Vorgänge als *Vorgänge ganz besonderer Art* hinzustellen pflegten, für die eine eigentlich chemische Erklärung kaum gefunden werden könne. Aber auch Forscher dieser zweiten Richtung haben auf erklärende Vorstellungen nicht verzichtet, und hier ist in hohem Grade maßgebend gewesen, daß in den ersten fünfzig Jahren katalytischer Forschung die heterogene Katalyse oder *Grenzflächenkatalyse* als eine besonders auffällige und rätselhafte Erscheinung die größte Beachtung gefunden hat, und daß es für diese Form der Katalyse nahe lag, in der Erscheinung der Gasadsorption (damals „Gasverdichtung“ genannt) den Schlüssel für die Erscheinung der Katalyse zu suchen. Wir können demnach in groben Umrissen unterscheiden:

1. Erklärungsweisen, die die Katalyse auf *chemische Affinitäten* besonderer Art zurückführten, wobei die Annahme von *Zwischenreaktionen* und *Zwischenverbindungen* eine große Rolle spielt, und

2. Erklärungsweisen, nach denen für die *heterogene Katalyse* die physikalische Erscheinung der Verdichtung oder *Adsorption* von Stoffen an Oberflächen als dem Vorgang zugrunde liegend anzusehen ist.

Bei unserer Übersicht lassen wir gewisse primitive Vorstellungen unbeachtet, die in den ersten Jahrzehnten einer wissenschaftlichen Beschäftigung mit der Katalyse geäußert worden sind, also Vorstellungen, die sich etwa darauf bezogen, daß bei der Katalyse (Oberflächenkatalyse) *thermische Erscheinungen* irgendwelcher Art (Wärmeleitung oder lokale Erhitzung usw.) oder auch gewisse *elektrische Vorgänge* eine Rolle spielen. Daß mit derartigen, meist sehr unbestimmten Vorstellungen das Rätsel der Katalyse nicht gelöst werden kann, haben schon Döbereiner und Davy. Dulong und Thénard um 1820 erkannt. Im übrigen ist so gut wie jede Erklärungsweise, die überhaupt ernsthaft in Betracht kommt, schon im neunzehnten Jahrhundert erörtert worden; selbst von Strahlung ist (bei Schönbein) beiläufig die Rede.

Fassen wir nun die besonders bedeutsamen Teilentwicklungen auf dem Gebiete der Theorie der Katalyse ins Auge, so steht ganz im Eingang der Entwicklung eine bemerkenswert tiefschürfende Arbeit, die Untersuchung von Clément und Desormes von 1806 über die *Wirkungsart der Stickoxyde bei der Schwefelsäuregewinnung nach dem Bleikammerprozeß*. Es handelt sich hier um die Erscheinung, daß kleine Mengen salpetriger Säure hinreichen, um in Gegenwart von Luft große Mengen schwefeliger Säure, die sonst mit Sauerstoff nicht ohne weiteres reagiert, mit diesem in Gegenwart von Wasser in Schwefelsäure überzuführen.

Dieser „Bleikammerprozeß“ hat sich aus dem Bedürfnis nach Schwefelsäureherstellung schon im achtzehnten Jahrhundert entwickelt. Clément und Desormes führten nun in ihrer Abhandlung von 1806 aus, daß die Stickoxyde auf dem Wege einer *Übertragung des Sauerstoffes* sich betätigen. Die salpetrige Säure reagiert freiwillig

mit schwefliger Säure unter Bildung von Schwefelsäure und Stickoxyd, und dieses reagiert ebenso freiwillig mit dem anwesenden Sauerstoff, so daß die höheren Stickoxyde regeneriert werden und das Spiel von neuem anheben kann. In Wirklichkeit ist der Vorgang allerdings weit komplizierter, mit besonderen Zwischenverbindungen, wie Nitrosylschwefelsäure u. dgl.⁷; das Wesentliche aber bleibt bestehen, und das ist: *die Übertragung des Sauerstoffes* durch ein stickoxydhaltiges Gebilde, das als Katalysator wirkt, indem es Sauerstoff von der Luft aufnimmt und an das Schwefeldioxyd abgibt; auf dem Wege über *Zwischenreaktionen* ruft das Stickoxyd also einen Vorgang hervor, der sonst nicht stattfindet, oder aber es beschleunigt einen Vorgang, der sonst allzu langsam sich vollzieht⁸.

Man kann fragen, ob mit dieser Arbeit von Clément und Desormes nicht im Grunde das katalytische Problem für das 19. Jahrhundert überhaupt gelöst war, so daß es sich weiter nur darum gehandelt hat, jene Überlegungen auf die fortan, und zwar bald in großer Menge gefundenen neuen katalytischen Fälle anzuwenden. So einfach liegen aber die Dinge denn doch nicht. Jener untersuchte Fall war ein Einzelbeispiel, und zwar ein solches, bei dem sich der „Reaktionsmechanismus“ sehr leicht aufklären ließ, weil die Annahme eines *Verlaufes über Zwischenvorgänge* nahe lag. Schon die von uns eingangs genannten Fälle der Stärke-Hydrolyse durch Säure oder durch Diastase aber waren nicht derart, daß eine analoge Erklärung mittels Zwischenreaktionen dem Chemiker jener Tage in den Sinn kommen mußte; vor allem aber war das große Gebiet der heterogenen Katalysen, das von etwa 1820 ab auf lange Zeit im Vordergrund des Interesses stand, nicht so beschaffen, daß eine „einfache“ chemische Erklärung durch Zwischenreaktionen nahe lag. Metallisches Platin in Blech- oder Draht- oder Schwammform reagiert bei gewöhnlicher Temperatur *nicht* mit Sauerstoff, und doch ist es imstande, in Gegenwart von Wasserstoff dessen Vereinigung mit Sauerstoff herbeizuführen; hier schien also eine andere Erklärungsweise geboten.

Dabei ist zu beachten, daß Jahre vergehen mußten, bis man im neunzehnten Jahrhundert überhaupt dazu gelangte, auf das Gemeinsame in einer Reihe von Fällen aufzumerken und, anfangs zögernd, dann immer deutlicher, die gleichen Merkmale der neuartigen Reaktionen herauszuschälen und schließlich der ganzen Erscheinung einen *Namen* und eine *Definition* zu geben. Hinsichtlich der einzelnen Stufen dieser Entwicklung von etwa 1800 bis 1835 genügt es zu sagen, daß, über gewisse Verallgemeinerungen von Dulong und Thénard, ferner Döbereiner, Schweigger, Faraday und Mitscherlich⁹ hinausgehend, erst Berzelius im Jahre 1835 den Namen „*Katalyse*“ prägte und eine erste genauere Begriffsbestimmung dafür gab, indem er erstmalig mit „*Katalyse*“ diejenige Gruppe verschiedenster chemischer Vorgänge bezeichnete, bei denen ein Stoff durch eine ihm innewohnende besondere „*Kraft*“ Umsetzungen hervorruft, ohne selber wesentlich verändert zu werden¹⁰. Derartige Umsetzungen gibt es nach Berzelius unzählige, und zwar, wie er hervorhebt, vor allem in der *Welt der Organismen*, indem es katalytische Erscheinungen sind, wenn z. B. im Tierkörper aus dem umlaufenden Blute, das seinerseits den Nahrungsmitteln entstammt, an bestimmten Stellen des Körpers neue Stoffe wie Milch, Galle, Harn usw. entstehen. Nur *einen* der damals bekannten katalytischen Vorgänge nimmt Berzelius nicht in die Reihe der von ihm aufgezählten katalytischen Fälle auf, und das ist merkwürdigerweise gerade der zuerst genau untersuchte und, wie wir sahen, im wesentlichen gut erklärte Fall des Stickoxyds beim Schwefelsäureprozeß.

Ist das ein einfaches Übersehen? Offenbar nicht, zumal gleichzeitig von verschiedenen anderen Forschern (so von Liebig) jene Reaktion ausdrücklicher als eine *nichtkatalytische* bezeichnet worden ist. Woher rührt nun diese zunächst ziemlich rätselhafte Erscheinung, daß gerade der erste typische, wohluntersuchte katalytische Fall nicht in die Reihe der Katalysen mit aufgenommen wird? Es hatte das seinen guten Grund darin, daß, wie schon angedeutet, bei fast allen damals bekannten analogen Fällen, wo ein Stoff durch seine Gegenwart Umsetzungen fremder Stoffe hervorruft, *ein Reaktionsweg über Zwischenreaktionen und*

Zwischenverbindungen für das damalige chemische Urteil nicht ohne weiteres anzunehmen war. Das gilt namentlich für die große Reihe der heterogenen Gaskatalysen mit Platin und anderen Metallen, die zuerst Döbereiner und sodann eine Reihe weiterer Forscher untersucht haben (z. B. die Alkoholoxydation zu Essigsäure, die Oxydation von schwefliger Säure mittels Platin zu Schwefeltrioxyd, von Chlorwasserstoff zu Chlor): Hier sind, wie wir heute wissen, die tatsächlich existierenden Zwischenvorgänge von so besonderer „feiner“ Art und liegen so versteckt, daß man sie mit den damaligen Methoden der Forschung kaum entdecken — höchstens vermuten — konnte, und das hat zahlreiche Forscher veranlaßt, dem Begriff der Katalyse allgemein etwas Rätselhaftes, ja Mystisches anzuheften, so daß hiernach Vorgänge, die einigermaßen erklärbar sind, überhaupt nicht als Katalyse anzusprechen wären! Dieser Auffassung hat sich offenbar auch Berzelius nicht ganz entziehen können, so daß er jene Reaktion des Bleikammerprozesses — wahrscheinlich bewußt und mit Absicht — beiseite liegen läßt.

Halten wir diese Tatsache fest: Eine „chemische“ Erklärungsweise war für einen typischen katalytischen Fall gegeben; diese chemische Erklärungsweise aber war so gut wie für alle sonstigen in jenen Jahrzehnten bekannt gewordenen katalytischen Fälle bei dem damaligen Stand der Kenntnisse so wenig wahrscheinlich, daß man mehrfach von jeder Erklärung Abstand nahm. Da jedoch die rationale Tendenz in der Wissenschaft sich nur vorübergehend unterdrücken läßt, so sind gerade für die heterogenen Gaskatalysen schon sehr früh andere Erklärungsversuche aufgefunden, die vor allem, wie bereits erwähnt, auf der physikalischen Erscheinung der Gasverdichtung oder Gasadsorption beruhen.

Schon bei Döbereiner finden sich mitunter derartige Erklärungsweisen; besonders deutlich entwickelt wurde diese Hypothese aber von zwei Italienern, Bellani und Fusinieri (um 1825), denen sich weiterhin u. a. Faraday (1834) anschloß.

Was Bellani und Fusinieri über katalytische Reaktionen, wie die Knallgaskatalyse mit Platin, sagen, ist kurz folgendes: Feste Körper, namentlich in poröser Form, haben die

Fähigkeit, Gase und Dämpfe an ihrer Oberfläche zu verdichten, womit außer einer lokalen Temperaturerhöhung auch eine Verringerung der „Gaselastizität“ verbunden ist; die Gase kommen so in einen besonderen, schwer zu definierenden Zustand, der sie für bestimmte Reaktionen befähigt; und der chemische Vorgang, der sonst ausbleibt, wird möglich.

Daß die Adsorption unmittelbar die Ursache der Katalyse sei, ist freilich höchstens vorübergehend behauptet worden; konnte doch eine solche Meinung ohne weiteres durch den Hinweis (z. B. von Berzelius) widerlegt werden, daß nicht jeder adsorbierende Stoff jedes adsorbierte Gas katalytisch beeinflusst, sondern daß, wie auch schon Faraday betonte, die Katalyse tatsächlich durch die stoffliche Natur des Katalysators und seine Reinheit bedingt ist. Die feine Verteilung, die zu einer starken Adsorption führt, stellt nur ein sekundäres Moment dar, indem dadurch die Katalyse quantitativ verstärkt wird; qualitativ hervorgerufen aber wird sie durch die stoffliche Beschaffenheit des Katalysators, so daß die Adsorptionstheorie doch schließlich wieder in Fragen chemischer Art ausmündete, wie z. B. diejenige, warum die Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff bei niedrigen Temperaturen von Platin gut katalysiert wird, von Silber oder Gold aber viel weniger, von Bimsstein z. B. gar nicht!

Damit können wir unsere Betrachtung über die Entwicklung der Adsorptionstheorie der Katalyse schließen, zumal diese sachgemäß nur für die heterogene Katalyse in Betracht kommt und schon aus diesem Grunde nicht die letzte Ursache der katalytischen Vorgänge treffen kann. Dem stehen gegenüber die Vorstellungen, die hinsichtlich einer durch chemische Ursachen, d. h. durch Affinitätswirkung, bedingten Natur der Katalyse im Laufe der Zeit entwickelt worden sind.

Erste Andeutungen solcher Vorstellungen über eine „chemische“ Erklärung der Katalyse finden sich — abgesehen von dem Einzelfall bei Clément und Desormes — bei Döbereiner, der hinsichtlich der von ihm besonders liebevoll gepflegten heterogenen Katalyse zwar die „Attraktion“ oder „Absorption“ der Gase stark betont hat, der aber doch sehr bald zu der Erkenntnis gekommen ist, daß der Kata-

lyikator irgendwelche rein chemischen, d. h. stofflich bedingten Eigenschaften besitzen muß, damit eine bestimmte Katalyse wirksam zustande kommt. Für seinen Weitblick zeugt, daß Döbereiner 1836 — ebenso wie vor ihm schon Schweigger (1824) — die katalytische Wirkung des Platins gegenüber brennbaren Gasen und Dämpfen in Analogie zu der Wirkung des Stickoxyds bei der Gewinnung von Schwefelsäure aus schwefliger Säure brachte, eine Analogie, die Liebig 1837 durchaus abgelehnt hat.

Berzelius nimmt in bezug auf die Theorie der Katalyse eine ziemlich unbestimmte Stellung ein. Obwohl er die Annahme von Zwischenvorgängen offenbar ablehnt, lassen seine Ausführungen dabei doch erkennen, daß ihm eine Zurückführung der katalytischen Erscheinungen auf bestimmte Äußerungen der *chemischen Affinität* möglich erscheint, indem er erklärt, daß es sich hier vermutlich um eine eigene Art der „elektrochemischen Beziehungen der Materie“ handle, durch die „schlummernde Verwandtschaften“ erweckt werden; von der eigentlichen Natur dieser „katalytischen Kraft“ aber könne man sich keine rechte Vorstellung machen.

Wenn bei Berzelius noch jeder Hinweis auf die Möglichkeit eines Verlaufes katalytischer Reaktionen über Zwischenvorgänge fehlt — in Übereinstimmung mit seiner Ignorierung der Schwefelsäurekatalyse mit Stickstoffoxyd, wo solche Zwischenvorgänge behauptet worden waren —, so mehren sich doch schon in jenen Zeiten Versuche, katalytische Vorgänge beliebiger, auch heterogener Art allgemein dadurch verständlich zu machen, daß man den Katalysator als einen Stoff ansieht, durch den ein *neuer Reaktionsweg über besondere Zwischenverbindungen* geschaffen werde. Solche Betrachtungen finden sich beispielsweise bei W. C. Henry schon 1835, bei de la Rive 1838, die übereinstimmend Oxydationskatalysen, die von Metallen auf Gase ausgeübt werden, auf abwechselnde Oxydation und Reduktion des Metalls zurückführen¹². Ferner stellte Kuhlmann 1840 fest, daß bei der Bildung von Äther aus Alkohol in Gegenwart von bestimmten Chloriden und Fluoriden *Anlagerungs- und Zwischenverbindungen* auftreten, und folgerte, daß die Katalyse der Ätherbildung durchgängig über solche Zwischenverbindungen verläuft¹³. Ganz allge-

mein hat dann Mercer — bekannt durch die „Mercerisierung“ der Baumwolle — 1842 den wichtigen Gedanken ausgesprochen, daß es die dem Katalysator anhaftenden *schwachen chemischen Affinitäten* sind, die die Katalyse herbeiführen, und in noch eindringlicherer Weise hat bald darauf Liebig's Schüler Playfair 1848 dargelegt, daß der Katalysator in der Weise wirkt, daß die von ihm mitgebrachte „Zusatzaffinität“ (*accessory affinity*) in den an sich reaktionsfähigen Stoffen *Spannungen löst*, so daß neue Verbindungen oder Spaltungen eintreten können; andererseits sollen die Hemmungsvorgänge, die von bestimmten Stoffen ausgeübt werden, von der Unterdrückung derartiger Affinitäten herrühren. Auch Playfair betont, daß die Zusatzaffinität, die der Katalysator zur Affinität der reagierenden Stoffe hinzubringt, nicht zu stark sein darf, da er anderenfalls beständige Verbindungen eingehen und hierdurch unwirksam werden würde.

Mit den Anschauungen von Mercer und Playfair war die *Theorie der Katalyse auf einem Höhepunkt angelangt*, der lange Zeit nicht überschritten worden ist; und wenn wir uns in den Schriften der großen Chemiker in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts nach ihrer Stellungnahme zur Katalyse umsehen, also bei Männern wie Bunsen, Kekulé, Berthelot, L. Meyer, Mendelejew, Clemens Winkler, Ramsay, Horstmann u. a. m., so treffen wir in der Regel Vorstellungen, die unmittelbar an jene Ausführungen erinnern¹⁴. Ferner haben solche Anschauungen über den Verlauf katalytischer Vorgänge auf Grund von Affinitätsäußerungen des Katalysators und demgemäß über Zwischenreaktionen auch in der allmählich aufkommenden *technischen Katalyse* eine gewisse Rolle gespielt, vor allem bei Deacon, dem Begründer des Chlorprozesses durch katalytische Oxydation des Chlorwasserstoffes (ab 1867). Er hat deutlich nicht nur solche Vorstellungen gehegt, sondern sogar — was besonders bemerkenswert ist — aus derartigen allgemeinen Erwägungen über den Verlauf katalytischer Vorgänge mittels Zwischenvorgängen die von ihm bearbeitete Katalyse begrifflich abgeleitet. Auf der Suche nach Beispielen für einen Reaktionsweg über Zwischenstufen stieß er nämlich auf die damals schon bekannte Chlorbildung durch Erhitzung von Kupferchlorid und hat

sich nun bemüht, diese Reaktion mit der gleichfalls schon bekannten Regenerierung von Kupferchlorid durch Behandlung des Chlorürs mit Salzsäure und Luft in eine Operation zusammenzulegen. So kam er zur *katalytischen* Chlordarstellung durch *gleichzeitige* dauernde Überleitung von Chlorwasserstoff und Luft über Kupferverbindungen. Dabei betont Deacon, daß die katalytische Reaktion nicht tatsächlich, sondern nur gewissermaßen in der Idee über Zwischenreaktionen zu verlaufen brauche, und er bringt ein Beispiel aus der Mechanik hierzu, indem er auf das Parallelogramm der Kräfte hinweist, bei dem gleichfalls der unter dem Einfluß zweier ungleich gerichteter Kräfte tatsächlich zurückgelegte Weg nicht *wirklich* eine Zickzacklinie sein müsse.

Wenn hier Deacon anscheinend davor zurückscheut, die letzten Konsequenzen einer Zwischenreaktionstheorie der Katalyse zu ziehen, so ist in den gleichen Jahrzehnten ein Forscher tätig gewesen, der durch die ganze Art seiner Auffassung über das Wesen chemischer Vorgänge die Grundlage für eine konsequente und sinngemäße Durchführung der Zwischenreaktionstheorie geschaffen hat: Christian Friedrich Schönbein (um 1850), ein Forscher, der, obwohl er nicht eigentlich ein Theoretiker der Katalyse gewesen ist, doch durch seine ganze Einstellung zum Wesen chemischen Geschehens wesentliche Beiträge für die Theorie der Katalyse geliefert hat.

Was ist nun das Neue und Wichtige, was Schönbein in allgemeiner Beziehung zu einem besseren Verständnis katalytischer Vorgänge beigetragen hat? Es ist, kurz gesagt, die Vorstellung, daß jeglicher chemische Vorgang, katalytischer oder nichtkatalytischer Art, nicht etwa so einfach verläuft, wie es nach der Reaktionsgleichung den Anschein hat, sondern daß *auch der einfachste chemische Prozeß im Grunde ein sehr verwickelter Vorgang ist*, oder wie es Schönbein gern ausdrückte, ein „Drama“ darstellt, von dem wir gewöhnlich nur den Anfang und das Ende beobachten, während der wirkliche „Processus“, der in der Mitte liegt, und der aus einer Reihe einzelner Vorgänge besteht, uns verborgen bleibt — gewissermaßen hinter dem Vorhang spielt¹⁵. Mit heutigen Worten ausgedrückt: es ist die Vorstellung, daß *ein jeder chemische Vorgang aus einer Reihe*

von Elementarprozessen oder Elementarakten besteht, wobei es Aufgabe des physikalischen Chemikers ist, in diese Aufeinanderfolge der Teilprozesse einzudringen und die Gesetzmäßigkeit zu erkennen, die in jener Aufeinanderfolge liegt.

Mit dieser Vorstellung aber ist erst der Boden gewonnen, auf dem die Zwischenreaktionstheorie sich voll entfalten kann. Wenn *jeder* chemische Prozeß aus einer größeren Zahl meist schwer isolierbarer Teilvorgänge besteht, die aus der Natur der beteiligten chemischen Stoffe mit Notwendigkeit folgen, so ist klar, daß *mit der Einführung eines neuen Stoffes die Möglichkeit der Entstehung neuer Teilvorgänge gegeben ist*, und daß durch „Zusatzaffinitäten“ oder schwache Affinitäten, die der Katalysator zu den Affinitäten der an sich reaktionsfähigen Stoffe hinzubringt, die dem Ablauf der Reaktion entgegenstehenden Widerstände beseitigt werden können, indem ein *neuer Reaktionsweg* geschaffen wird, der zu dem gleichen Ziele führt, wie wenn jene Stoffe, und sei es in unendlich langer Zeit, von selbst miteinander reagiert hätten¹⁶. Dann wird aber auch weiter der meist sehr *spezifische Charakter* der katalytischen Wirkung einleuchtend, indem die „Zusatzaffinität“, die der Fremdstoff mitbringt, auf die Affinitäten der reaktionsträgen Stoffe sozusagen irgendwie abgestimmt sein muß; es wird ferner auch die bekannte Erscheinung der Aufhebung oder der „Vergiftung“ katalytischer Wirkung durch gewisse andere Stoffe ebenso verständlich, wie weiterhin die Tatsache, daß durch Anwendung von *Mehrstoffkatalysatoren* wiederum neue Reaktionsmöglichkeiten geschaffen werden, die über die katalytische Wirkung einfacher Stoffe wesentlich hinausgehen können.

Schließlich leuchtet dann aber auf dem Boden Schönbeinscher Anschauungen auch ein, daß es für das Wesen eines katalytischen Vorganges gleichgültig sein muß, ob sein Verlauf über Teilvorgänge mehr oder minder *klargestellt* worden ist oder nicht¹⁷, und die Hemmungen, die in dieser Beziehung bei Männern wie Berzelius und vielen anderen bestanden haben, werden hinfällig. Der katalytische Vorgang ist im Grunde wesensgleich mit dem nichtkatalytischen Vorgang und ebensowenig oder ebensosehr rätselhaft wie dieser, nur weitaus komplizierter, und zwar

darum, weil (nach heutiger Redeweise) neue Elementarprozesse hinzukommen, die sich *in einem andauernden Cyclus wiederholen* und so die dem Laien direkt wunderbar erscheinende Eigentümlichkeit der Katalyse hervorgerufen, daß der Vorgang ohne wesentliche Änderung und ohne Verbrauch des Katalysators dauernd weiterläuft¹⁸.

An dieser Stelle wird es nötig sein, einige Worte über eine Erscheinung zu sagen, die der Katalyse nahesteht und in der Geschichte der katalytischen Theorie eine gewisse Rolle gespielt hat: *die Koppelung von Reaktionen durch Induktion*. Es ist dies eine Erscheinung, die gleichfalls schon früh, insbesondere von Schönbein und von Keßler (1863), beobachtet und näher untersucht worden ist, und die darin besteht, daß ein in *fortschreitender Umwandlung begriffener Stoff* dazu führt, daß ein anderer anwesender, sonst reaktionsträger Stoff eine ähnliche oder die gleiche Umwandlung erfährt¹⁹.

Daß diese Erscheinung von der eigentlichen Katalyse nicht von Anfang an streng geschieden worden ist, wird nicht verwundern, und so finden wir z. B. in einzelnen Ausführungen von Berzelius auch Bemerkungen, die auf die Induktion passen, so wenn er 1847 davon spricht, daß die katalytische Kraft „nicht nur von Körpern ausgeübt wird, die dabei unverändert bleiben, sondern auch von solchen, die dabei selbst verändert oder zerstört werden“. Ja, noch mehr, der große Gegenspieler von Berzelius auf dem Gebiet der Katalyse, Liebig, der auf Grund von Mißverständnissen und andersartiger Einstellung Berzelius' Lehre von der „katalytischen Kraft“ als die Einführung einer neuen „*vis occulta*“ (für die aufgegebene Lebenskraft) auf das eifrigste bekämpfte, hat eine eigene Definition der Katalyse aufgestellt, die im Grunde mehr die Induktion als die Katalyse selbst trifft. Die Katalyse besteht nach Liebig (1839) nämlich darin, daß ein „in Zersetzung oder Verbindung begriffener Körper in einem anderen ihn berührenden Körper dieselbe Veränderung hervorruft, die er selbst erfährt“. Zu dieser Lehre, die an alte Vorstellungen von G. E. Stahl (1697) erinnert²⁰ und sich mit Ausführungen von Th. de Saussure von 1838 berührt²¹, ist Liebig auf Grund eingehender Studien über die *Gärung* gekommen. Wie bei der Gärung das Ferment nach Liebig dadurch

wirkt, daß es seinen eigenen Erregungszustand z. B. auf die Zuckermolekel überträgt, so soll auch in anderen Fällen die Wirkung des Katalysators auf einer Übertragung von „Molekularschwingungen“ und Zersetzungszuständen beruhen. Diese Anschauungen haben nach verschiedenen Richtungen in der Folgezeit stark nachgewirkt, z. B. Nägeli 1879, Stohmann 1894²², neuerdings noch Böeseken. Im übrigen erkennt Liebig auch die Existenz von einfachen „Berührungswirkungen“ (nach Mitscherlich) ohne Veränderung des katalysierenden Stoffes als eine Gruppe eigenartiger Vorgänge an; und bei allem Gegensatz zu Berzelius hat er mit diesem doch gemein, daß er von physikalischen Erklärungsversuchen absieht, und daß es auch nach ihm *Affinitätsäußerungen besonderer Art* sind, die in derartigen Erscheinungen hervortreten. So betont er denn auch nachdrücklich, daß solche Vorgänge eigentlich von selbst ablaufen müßten, und daß ein katalytischer Einfluß nur auf im Grunde *instabile* Gebilde ausgeübt werden könne; d. h. daß nur an sich mögliche Reaktionen durch Katalysatoren hervorgerufen werden können²³.

Wird dieser besondere Gedanke von Liebig konsequent zu Ende gedacht, wozu gegen Schluß des neunzehnten Jahrhunderts auf Grund der sich entwickelnden *Thermodynamik* mit Gleichgewichtslehre und Massenwirkungsgesetz die Voraussetzungen gegeben waren, so kommt man dann zu den neuen Definitionen, die um die Jahrhundertwende auftreten, und von denen besonders diejenige von Wilhelm Ostwald (1894) durch ihre Einfachheit und Eindringlichkeit zu allgemeiner Kenntnis und Annahme gelangt ist:

Hiernach versteht man unter Katalyse, wie bereits im Eingang bemerkt, die *Beschleunigung* einer an sich möglichen Reaktion durch die Gegenwart eines fremden Körpers; ein Katalysator aber ist danach ein Stoff, der einen Vorgang beschleunigt, ohne durch diesen Vorgang selbst wesentlich geändert oder verbraucht zu werden²⁴.

Aus Forderungen der Thermodynamik ergibt sich weiter die von Ostwald u. a. gezogene wichtige Schlußfolgerung, daß, wenn eine Reaktion durch eine Gleichgewichtslage begrenzt ist, der *Katalysator sowohl Reaktion wie Gegenreaktion beschleunigen* muß, ein Gedanke, der den älteren

katalytischen Forschern (z. B. Deacon) durchaus noch nicht ohne weiteres eingeleuchtet hat. —

Wenn wir unsere geschichtlichen Betrachtungen bei W. Ostwald schließen, so geschieht es, weil mit ihm und den anderen Begründern der neueren physikalischen Chemie (van't Hoff, Arrhenius, Nernst u. a.) für die Theorie der Katalyse eine neue Epoche beginnt, die sich bis in unsere Tage fortsetzt, und die sich kurz und eindeutig dadurch kennzeichnen läßt, daß nunmehr die *quantitative Messung* in den Dienst der theoretischen Forschung gestellt und daß ferner die Lehre von der Katalyse der sich neu entwickelnden allgemeinen Lehre über den Verlauf chemischer Reaktionen, d. h. der *Reaktionskinetik*, eingeordnet wird. Für die homogene Katalyse in wäßriger Lösung leistet dabei die Ionentheorie von Arrhenius wertvolle Hilfe²⁵.

Es ist klar, daß erst auf Grund dieser neuen Entwicklung quantitativer Forschung eine *wirkliche Theorie der Katalyse* möglich ist, so daß alles, was vor 1900 liegt, als Vorarbeit hierfür erscheint²⁶, als eine Vorarbeit allerdings, die in vielen Punkten unsere stärkste Beachtung, ja Bewunderung zu finden hat. Tatsächlich ist es schon den katalytischen Forschern des neunzehnten Jahrhunderts gelungen, Vorstellungen über das Wesen katalytischer Vorgänge zu entwickeln, die im Keime das enthalten, was heute zum sicheren Bestand der Theorie gehört, und es ist ihnen dies möglich geworden auf Grund scharfer, wenn auch durchweg nur qualitativer Beobachtungen, sorgfältiger Vergleiche und einer gefühlsmäßig sicheren Intuition.

Dabei liegt unzweifelhaft der Schwerpunkt der katalytischen Forschung des neunzehnten Jahrhunderts auf dem Felde der Empirie. Eine Unsumme einzelner, wichtiger und minder wichtiger katalytischer Fälle ist von Hunderten von Forschern festgestellt, näher untersucht und auf ihre Merkmale und ihre Bedeutung geprüft worden, und diese Bedeutung ist vielfach auch schon in technischer Richtung gesucht worden, indem man verschiedene katalytische Verfahren, wie die katalytische Überführung von Alkohol in Essigsäure oder die katalytische Ammoniakoxydation oder das Deacon-Verfahren zur Chlorgewinnung oder die SO_3 -Katalyse vorgeschlagen oder sogar schon praktisch ausgebildet hat.

Andererseits ist sehr beachtenswert, wie von Thénard und Döbereiner an über Berzelius, Liebig, Wöhler bis zu Schönbein u. a. die Beschäftigung mit der Katalyse dazu führt, daß immer wieder hervorgehoben wird, welche überragende Bedeutung die katalytischen Erscheinungen in der *Welt der Organismen* besitzen. Und wenn auch Berzelius gegenüber der Vermutung von Wöhler über die Möglichkeit, daß bei der Spaltung des Amygdalins katalytische Vorgänge wirksam sein könnten, 1836 das zurückhaltende Wort ausspricht: „Gott behüte, daß wir nur nicht anfangen, der katalytischen Kraft zuviel zuzutrauen“, so hat doch derselbe Berzelius ein Jahr zuvor der Überzeugung Ausdruck gegeben, mittels seines Begriffes der katalytischen Kraft bis in die Lebensvorgänge vordringen zu können, da anzunehmen sei, daß „in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen vor sich gehen“.

Wie hoch dabei die Erwartungen hinsichtlich dessen gespannt worden sind, was die Katalyse leisten kann, wird aus einem Ausspruch von Stohmann (1895) deutlich, der an Ausführungen über die universelle Bedeutung der Katalyse für alle Lebensprozesse von Pflanze und Tier die Bemerkung anschließt: „Ist dieses erkannt, so bleibt nur noch ein Schritt zu tun, um vielleicht die *Entstehung aller organischen Substanz* auf katalytische Vorgänge zurückzuführen“²⁷. Und ein Jahr später führt Pfeffer²⁸ die Reizvorgänge in Organismen als katalytische Vorgänge an, die dazu dienen, „Aktionen einzuleiten, zu beschleunigen oder in neue Bahnen zu lenken und so auch die unerläßliche Regulation zu erreichen.“

So kann denn abschließend das neunzehnte Jahrhundert sowohl praktisch wie theoretisch, und zwar allgemein wie für die verschiedenen Formen der Katalyse, als ein Zeitalter gründlicher und weitschauender Vorbereitung und Vorarbeit bezeichnet werden.

Dabei hat sich für die Theorie, wie gesagt, eine Beschränkung geltend gemacht: die Beschränkung auf die *qualitative Beobachtung* mangels quantitativer Meßmethoden, so daß allen oft überraschend sinnvollen Vorstellungen doch ein stark hypothetisches Element anhaftete, und daß es im neunzehnten Jahrhundert nicht gelungen ist, eine

voll befriedigende *theoretische Analyse des katalytischen Geschehens* zu schaffen.

Für eine solche sind erst Männer wie W. Ostwald, van't Hoff, Arrhenius, Nernst, Bodenstein, Bredig, Haber vom Beginn unseres Jahrhunderts ab wegweisend gewesen, und ihnen hat sich eine große Anzahl weiterer bedeutender Forscher angeschlossen.

In dieser neuen Epoche wird nun von den neuerrungenen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Atom- und Molekularphysik mit Quantentheorie und Elektronenlehre und von den hochverfeinerten physikalischen Meßmethoden speziell zur Untersuchung fester Substanzen und Oberflächen Gebrauch gemacht, die es erlauben, dem Wesen der chemischen Reaktion überhaupt, und besonders auch der Oberflächenreaktion, immer näher zu kommen und auf diese Weise ein tieferes Verständnis auch für die Vorgänge der Katalyse zu gewinnen²⁹. Damit ist aber die Zeit angebrochen, in der ein endgültiger Ausgleich der verschiedenen, früher oft im Widerstreit gelegenen Anschauungen über Wesen und Ursache der Katalyse möglich ist, indem ein Gesamtbild sichtbar wird, das auch die wesentlichen Resultate der Forschung des vergangenen Jahrhunderts enthält³⁰.

Anmerkungen:

1 Nach einem am 16. Juni 1933 im Naturhistorisch-Medizinischen Verein in Heidelberg (in gemeinsamer Sitzung mit der Rheinischen Gesellschaft für Geschichte der Naturwissenschaften, Medizin und Technik) gehaltenen Vortrage. Ausführliche Darlegungen finden sich bei A. Mittasch und E. Theis, Von Davy und Döbereiner bis Deacon, Berlin: Verlag Chemie 1932. — 2 Von anderen Goldmachern werden Leistungen auf das 600- oder 3000- oder gar 40 000fache berichtet. — 3 Von Wilhelm Ostwald (1894) stammt die Definition der Katalyse als einer Beschleunigung eines langsam verlaufenden Vorganges durch die Gegenwart eines fremden Stoffes. (Von der besonderen Form der Autokatalyse ist hier abgesehen.) Dieser Begriffsbestimmung liegt die Annahme zugrunde, daß der durch den „Katalysator“ beschleunigte Vorgang auch ohne Katalysator, jedoch dann mit geringer, ja oft unmeßbar geringer Geschwindigkeit vorstatten geht, eine Annahme, die unzweifelhaft für viele Vorgänge etwas Hypothetisches hat, so daß man in der Praxis gern die allgemeinere (im Grunde ältere) Definition vorzieht, wonach der Katalysator eine bestimmte Reaktion beschleunigt oder hervorruft. Dazu kommt noch, daß — wie schon Berzelius vermutet hat — ein Katalysator von verschiedenen an sich möglichen Reaktionsrichtungen die eine oder die andere beeinflussen kann, und man gelangt schließlich zu der theoretisch zwar nicht voll befriedigenden, aber praktisch brauchbaren Definition, daß ein Katalysator ein Stoff ist, der, obgleich an einer Reaktion anscheinend nicht unmittelbar beteiligt, diese hervorruft oder beschleunigt oder in bestimmte Bahnen lenkt. — 4 Um 1900 besonders eingehend von Bodenstein untersucht. — 5 „Vergiftung“ nach Bredig. Umgekehrt kann durch gewisse andere Stoffe die katalytische Wirkung auch verstärkt werden („Aktivierung“). — 6 Für diese mikro-heterogenen Katalysen im kolloidalen System

sind die Arbeiten von Bredig („Anorganische Fermente“ 1901) bedeutungsvoll geworden. — 7 Über den Reaktionsmechanismus der Reaktion existiert eine reiche Literatur aus den letzten Jahrzehnten (Lunge, Raschig, Trautz, Berl, Waeser, Neumann u. a. m.), die weitgehend Klärung gebracht hat, namentlich hinsichtlich der Nitrosylschwefelsäure als Zwischenverbindung (Davy 1812) und der Beteiligung der Grenzflächenkatalyse an dem Vorgang, der danach kein eigentlicher Repräsentant der homogenen Gaskatalyse ist. (Vgl. Ullmann, Enzyklopadie der technischen Chemie, 2. Aufl., 9, 282). — 8 Es heißt bei Cl. und D.: „Somit ist die Salpetersäure nur das Instrument der vollständigen Oxydation des Schwefels; ihre Grundlage, das Stidroxid, entnimmt den Sauerstoff der atmosphärischen Luft, um ihn der schwefligen Säure in einem der Zustände anzubieten, der ihr zusagt (qui lui convienne).“ — 9 „Zersetzung oder Verbindung durch Kontakt“ (1833). — 10 Die erste Fassung von 1835 lautete: „Die katalytische Kraft scheint eigentlich darin zu bestehen, daß Körper durch ihre bloße Gegenwart, und nicht durch ihre Verwandtschaft, die bei dieser Temperatur schlummernden Verwandtschaften zu erwecken vermögen“ usw.; eine Fassung von 1847: „Gewisse Körper üben durch ihre Berührung mit anderen einen solchen Einfluß auf diese aus, daß eine chemische Wirksamkeit entsteht, Verbindungen zerstört oder neue gebildet werden, ohne daß der Körper, dessen Gegenwart dies veranlaßt, im mindesten Anteil daran nimmt.“ — 11 Damit wird die hohe Bedeutung der Adsorption für die heterogene Gaskatalyse, als Vorstufe derselben, nicht in Frage gestellt, und gerade in unseren Tagen wird ja dieser Erscheinungskomplex sehr ausgiebig untersucht, insbesondere die Frage, unter welchen Bedingungen und in welcher Weise sich an die Adsorption reaktionsfähiger Gase eine Katalyse anschließt. Wenn sich dabei u. a. ergeben hat, daß nicht die ganze Oberfläche gleichmäßig wirksam ist, sondern daß die Reaktion an bevorzugten „aktiven Punkten“ einsetzt (H. S. Taylor u. a.), so ist bemerkenswert, daß ähnlich einst schon Schweigger (1823) von den wichtigen „Anlegepunkten“ der Oberfläche fester Körper (Kanten oder Ecken) gesprochen hat, an denen die Katalyse anhebt. — 12 Schon den ältesten katalytischen Forschern — z. B. Pleischl 1823, später de la Rive 1838 — ist es aufgefallen, daß blanker Platindraht oder glattes Platinblech, wenn sie lange als Katalysator gedient haben, ihren Glanz verlieren und matt und rauh werden, ein Zeichen der dauernden Mitarbeit, die ihre Spuren hinterläßt. — 13 Für die Atherebildung mittels Schwefelsäure hatte schon Hennell 1828 auf die Bedeutung der Äthylschwefelsäure als Zwischenverbindung hingewiesen (ferner Liebig 1834, Williamson 1851). — 14 Bunsen spricht in der 1. Auflage seiner „Gasometrischen Methoden“ (1857) von dem „lockernden Einfluß, der von fremden Stoffen auf reaktionsfähige Gase ausgeübt werden könne, und Horstmann sagt drei Jahrzehnte später (1885), daß bei der Katalyse „chemische Kräfte im Spiele sind, welche den bestehenden Zustand zwar stören, aber neue beständige Verbindungen der sog. Kontaktsubstanzen nicht zu erzeugen vermögen“; und diese Kontaktstoffe sind wirksam, indem sie „Hindernisse überwinden helfen, welche sich den betreffenden Veränderungen unter gewöhnlichen Umständen in den Weg stellen.“ — 15 In einem Brief an Liebig vom 5. März 1868 (kurz vor seinem Tode) schreibt Schönbein: „Ich habe schon früher einmal die Ansicht ausgesprochen, daß jeder chemische Vorgang synthetischer und analytischer Art ein aus verschiedenen Arten zusammengesetztes Drama, ein wirklicher ‚processus‘ sei, d. h. einen Anfang, eine Mitte und ein Ende habe, welcher Ansicht ich noch immer bin.“ — 16 So ist die Katalyse „stets ein zusammengesetztes Phänomen, indem der Katalysator neben die bisherigen Reaktionen seine eigenen neuen einlegt“. [Trautz, Lehrbuch der Chemie 3, 177 (1924)]. — 17 Wie Ostwald mit Recht betont hat, bleibt streng genommen auch in den Fällen, wo „Zwischenverbindungen“ bei einer katalytischen Reaktion tatsächlich nachgewiesen sind, die Annahme eines Reaktionsverlaufes über diese Verbindungen — die ja auch aus Nebenreaktionen stammen könnten — solange eine bloße Hypothese, bis eine Messung der Reaktionsgeschwindigkeiten gezeigt hat, daß sich die totale Geschwindigkeit aus den Geschwindigkeiten der Teilreaktionen ergibt; strenge Nachweise in dieser Hinsicht sind erstmals um 1900 für bestimmte Katalysen erbracht worden (Federlin 1902). —

18 In der Richtung solcher Gedankengänge über „Zwischenvorgänge“ und „Zwischenverbindungen“ bewegen sich auch die Vorstellungen von Sabatier: Bei der katalytischen Hydrierung mittels Nickel nimmt er (um 1900) die Bildung labiler Nickelhydride an, die Wasserstoff übertragen (etwa NiH_2) und hierbei in ein niedrigeres Hydrid (etwa Ni_2H_3) übergehen, worauf sich mit Wasserstoff das höhere Hydrid zurückbildet und das Spiel weitergehen kann. (Ähnlich später Willstätter u. a. m.). In diesem Sinne gilt auch der bekannte Ausspruch von E. Abel, daß „nicht Stoffe, sondern Reaktionen katalysieren“. — 19 Als Schulfall solcher Induktion gilt die später von Luther und Schlow (1903) untersuchte gleichzeitige Oxydation von arseniger und schwefliger Säure. Arsenige Säure wird für sich von Bromsäure unmeßbar langsam oxydiert, schweflige Säure dagegen rasch; sind nun beide oxydable Stoffe gleichzeitig zugegen, so induziert die zweite Reaktion die erste, indem die Bromsäure ihre Wirkung nunmehr in bestimmtem Verhältnis zwischen arseniger Säure und schwefliger Säure verteilt. Die Bromsäure wird als „Aktor“ oder „Donator“ bezeichnet, die arsenige Säure als „Acceptor“ und die schweflige Säure als „Induktor“. Der dem Katalysator vergleichbare Stoff, der Induktor, erleidet also nicht eine cyclische Veränderung mit andauernder Regenerierung, sondern befindet sich in einsinnig fortschreitender Umwandlung; die induzierte Reaktion hört demnach auf, wenn der Induktor selbst am Ende seiner Reaktion angelangt, d. h. völlig verbraucht ist. — 20 „Ein Körper, der in Fäulung begriffen ist, bringt in einem anderen, von der Fäulung noch befreiten, sehr leichtlich die Verderbung zuwege.“ („Zymotechnica fundamentalis“, deutsch 1734.) — 21 Nach Saussure sind gärunsfähige Körper sogar imstande, Knallgas zu vereinigen, aber erst dann, wenn die Gärung wirklich stattfindet. — 22 „Eine Flocke Fibrin bringt in Lösungen von Wasserstoff-superoxyd lebhaftes Aufschäumen von entweichendem Sauerstoff und Bildung von Wasser hervor, weil die von der Fibrinflocke ausgehenden Schwingungen das ohnehin höchst labile Gleichgewicht der Atome im Wasserstoffsuperoxyd erschüttern und dadurch die Neulagerung der Atome herbeiführen.“ Bei Katalysatoren wie Silberoxyd werden die Atomschwingungen so stark, daß auch die Molekeln des Katalysators zum Zerfall kommen. Stöhmann, Z. Biol. 31, 386 (1894) — 23 Auf die große Bedeutung der „Reaktionswiderstände“, die durch die Katalyse im Einzelfall besiegt werden, weist Polanyi (Naturwiss. 1932, 290) mit folgenden Worten hin: „Die Moleküle überdauern viele Milliarden Zusammenstöße, bei denen sie abreagieren könnten, wenn es keine Reaktionsfähigkeit gäbe. Diese Trägheit beschützt die ganze Fülle verbrennbarer Stoffe inmitten einer Sauerstoffatmosphäre, ihr verdankt die Unzahl labiler organischer Körper ihre Beständigkeit. Ohne sie würde das ganze Reich organischer Verbindungen auf wenige Dutzend Stoffe zusammenschrumpfen“. — 24 Hiermit tritt der Begriff der Reaktionsgeschwindigkeit grundlegend und bestimmend in die Theorie der Katalyse ein, nachdem in den früheren Jahrzehnten schon in einzelnen Fällen, zuerst von dem Physiker L. Wilhelmly in Heidelberg (1850) solche Geschwindigkeiten messend verfolgt worden waren. (Wilhelmly: Über das Gesetz, nach welchem die Einwirkung der Säuren auf den Rohrzucker stattfindet. 1850.) — 25 S. v. Euler u. Olander, Homogene Katalyse (Sammlung Göschen). — 26 Hierbei ist zu beachten, daß der Begriff der Beschleunigung der von Ostwald zum Ausgangspunkt aller Erklärung gemacht wurde, in jenen Zeiten zwar hier und da bereits auftauchte (Th. de Saussure 1819, Playfair 1842, Reiset u. Million 1843, Liebig 1866, Deacon 1871 u. a. m.), zu einer dominierenden Stellung in der Theorie aber nicht gelangt ist. — 27 Z. Biol. 31, 390 (1895). — 28 Dekanatsprogramm Leipzig 1896: Einleitende Betrachtungen zu einer Physiologie des Stoffwechsels und Kraftwechsels in der Pflanze. — 29 Dabei spielen auch „Kettenreaktionen“ eine bedeutsame Rolle. — 30 Siehe hierzu G. M. Schwab, Katalyse vom Standpunkt der chemischen Kinetik. Berlin: Julius Springer 1931.

Über die katalytische „Duftlampe“

von J. W. Döbereiner*

Von den zwei kleinen Vorrichtungen, die vor reichlich hundert Jahren Johann Wolfgang Döbereiner, der langjährige chemische Freund und Berater Goethes, auf der Grundlage eines katalytischen Oxydationsvorganges für den häuslichen Gebrauch geschaffen hat, ist sein Platin-Feuerzeug wohlbekannt, und an verschiedenen Stellen finden sich noch Exemplare dieses seinerzeit viel besprochenen und viel angewandten Gegenstandes. Dagegen ist eine zweite Vorrichtung minder bekannt geworden und in späteren Zeiten fast ganz in Vergessenheit geraten: die Duftlampe von Döbereiner, von der er in gleicher Weise wie von seinem Feuerzeuge seinen Gönnern und Freunden, voran Goethe, zum täglichen Gebrauch ein Exemplar überreicht hat, und die zuweilen als „Zugabe“ zu jenem ersten Apparat erscheint. Bei dem starken Interesse, das gerade die Anfänge katalytischer Forschung und katalytischer Nutzenanwendung mit Recht finden, wird es auch einen weiteren Kreis interessieren, zu erfahren, welche Bewandnis es mit jener Duftlampe gehabt hat¹.

Historisch setzt die Entwicklung der Duftlampe die Ausbildung des Feuerzeuges voraus, die bereits in den Jahren 1824—1828 auf Grund der epochemachenden Entdeckung Döbereiners vom 3. August 1823 über die entflammende Wirkung von Platinschwamm auf ein Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch bei gewöhnlicher Temperatur stattgefunden hatte. Von der Duftlampe hören wir zum ersten Male in einem Brief Döbereiners an Goethe von 1828²:

Brief 107.

Hochwohlgeborener Herr,
Grüdigster Herr Staatsminister!

Es ist mir bei meinen fortgesetzten Versuchen über die mechanischen, dynamischen und chemischen Verhältnisse des Platins gelungen, Glas mit diesem Metall so zu überziehen — zu verplatinen —, daß es fast silberweiß und ganz spiegelglänzend erscheint. Ich benutzte diese kleine Erfindung vorläufig zur Darstellung einer neuen Form von Duft- oder Räucherlampen, welche wie die Glüh- oder Nachtlampen gebraucht und behufs des Parfümirens der Zimmer mit rektifizierter

* Chem. Ztg. 57 (1933) 2—5.

Eau de Cologne oder einem anderen wohlriechenden Geist gefüllt werden)*. Zündet man die Lampe nach dieser Füllung (und nachdem der obere kaum sichtbare Teil des Dochtes mit demselben Spiritus befeuchtet worden) an und läßt dieselbe 10—15 bis 20 Sekunden lang flammend brennen, so wird der rauhe Teil der verplattinten Kugelröhre so heiß, daß der Spiritus, wenn die Flamme ausgeblasen ist, glühend verbrennt und seine wohlriechenden Teile in die umgebende Luft aussendet.

Ich erlaube mir, *Ew. Exz.* eine solche Lampe nebst Glocke, mit einer größeren verplattinten Glaskugel versehen, zu übersenden. Mögen *Exz.* diesen kleinen Gegenstand nicht ver-
schmähen und mir gnädigst erlauben, mich stets ehrfurchtsvoll nennen zu dürfen

Jena, 9. März 1828.

*Ew. Exzellenz
untertänigsten und dankbaren
Döbereiner.*

Bemerkung zum 107. Brief (Schiff):

*) Diese Lämpchen, Abänderungen der älteren Glühlampen, die mit spiralförmig gewundenen Platindrähten versehen waren, wurden ihres flammenlosen Lichtes wegen als Nachtlampe benutzt und von manchen Mechanikern den Platinfeuerzeugen noch beigegeben. Die dünnen Platinüberzüge der Glaskugeln, die oben glänzend und unten matt waren, erhielt Döbereiner durch Eintauchen dieser in eine alkoholische Lösung von Platinchlorid und nachheriges Erhitzen bis zum Glühen.

(Vergl. Schweiggers Jahrbuch der Chemie und Physik XXIV. 1828, S. 417, und J. W. Döbereiner, Zur Chemie des Platins. 1836, S. 57 ff.)

Zu diesem Briefe und der Anmerkung von Schiff ist zu bemerken, daß unter der „Glüh- oder Nachtlampe“ H. Davys „Nachtlampe“ von 1818 zu verstehen ist, eine Spirituslampe, an der eine Spirale aus dünnem Platindraht so befestigt war, daß eine Anzahl Windungen über den Docht hinausragten; diese Windungen blieben auch nach Ausblasen der Flamme glühend, solange noch Spiritus vorhanden war, und es kam ein schwaches Glühlicht zustande.

Auf Döbereiners Brief hat Goethe folgendermaßen geantwortet:

Brief 108 (Weimarer Goethe-Ausgabe, Bd. 44, S. 30).

Ew. Hochwohlgeboren

haben die Gefälligkeit gehabt, einen dem Anblick und Zweck nach sehr anmutigen Apparat) zu senden, aber ich will nur gestehen, daß ohngeachtet der genauen beigelegten Beschreibung ich doch das Experiment nicht zu unternehmen getraue. Deshalb liegt hier eine Zeichnung bei, an welcher die verschie-*

denen Teile des Apparats mit Buchstaben bezeichnet, zu näherem Aufschluß und zur Direktion eines Versuches behilflich sein könnten. Darf ich darum höflichst ersuchen, so würde mit vielem Vergnügen des Anschauens einer so bedeutenden Erscheinung mich und meine Freunde teilhaftig machen.

Dankbar und hochachtungsvoll

Weimar, den 16. März 1828.

ergebenst

J. W. v. Goethe.

Bemerkung zum Brief 108 (Schiff):

*)Vergl. den vorigen Brief. — Da sich Goethe nicht „das Experiment... zu unternehmen“ getraute, hat es ihm Döbereiner vermutlich am 11. April, als er ihm „einige sehr anmutige und bedeutende chemische Experimente vortrug“, oder am 19. April, als er ihn wieder in Weimra besuchte und ihm die Davysche Sicherheitslampe und anderes zeigte, vorgeführt (Tagebuch, 11. Bd., S. 204 und 207). Die beigegebene Zeichnung Goethes ist erhalten (W. A. 44. Bd., S. 341).

Im Tagebuch, 11. Bd., S. 193, Z. 21, 22, ist zu lesen:

Am 16. März 1828. Herrn Dr. Döbereiner, Anfrage, wie der übersandte Apparat zu gebrauchen.

Tagebuch, 11. Bd., S. 204, Z. 10 ff.:

Am 11. April 1828. Hofrath Döbereiner einen Augenblick. seine Rückkehr auf Nachmittag ankündigend. Herr Hofrath D., welcher einige sehr anmutige und bedeutende Experimente vortrug.

Tagebuch, 11. Bd., S. 207, Z. 25 ff.:

Am 19. April 1828. Mittags zu 14 Personen gespeist, Döbereiner und Frommans, Vater und Sohn, Helbig, Alfred Nicolorius und die gewöhnlichen Sonnabendgäste. Döbereiner zeigte nach Tisch die Davysche Sicherheitslampe vor und machte einige chemische Experimente.

Wie nun die Duftlampe gebaut war, und in welcher Weise sie verwendet werden sollte, geht aus Erläuterungen Döbereiners zu der Goethes Brief (108) beigegebenen Original-Zeichnung hervor, die im Goethe- und Schiller-Archiv zu Weimar aufbewahrt wird³.

Wir geben hier diese Äußerungen sowie die Zeichnungen gemäß einer vom Goethe-Schiller-Archiv freundlich überlassenen Photokopie:

„Fig. I die Räucherlampen-Vorrichtung bestehend

1. aus einer verplattinten und mit einer Kugel versehenen Glasröhre aa, welche auf ihrem untern Theile aa (in der Nähe des Dochtes) stärker mit Platin überzogen ist, damit der (von dem Dochte aufgepumpt werdende) Räucherspiritus glühend verbrenne.
2. aus einer mit einem durchbohrten Korke versehenen, ebenfalls verplattinten, Dochröhre bb und

3. aus dem baumwollenen Dochte, welcher dazu dient, den Räucherspiritus aufzupumpen.

Fig. II ein Fläschchen zur Aufnahme des Räucherspiritus.

Fig. III eine kleine, mit einer zur Zierde dienenden verplatin-ten Glaskugel versehenen Glasglocke zur Bedeckung der Räucherlampe nach jedesmaligem Gebrauch.

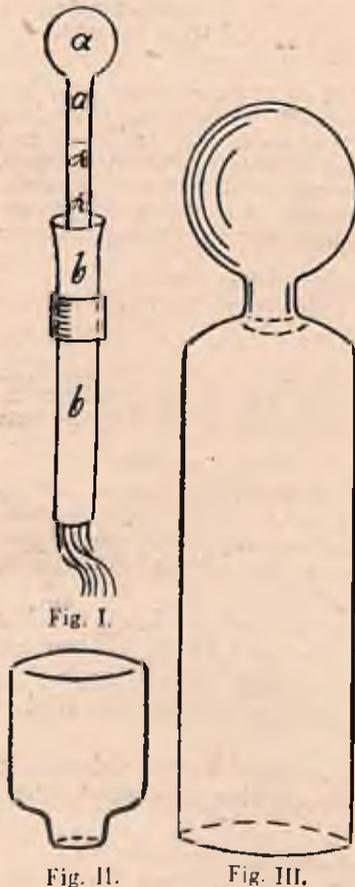


Fig. I.

Fig. II.

Fig. III.

Gebrauch des Apparats.

Man füllt zuvörderst das Fläschchen Fig. II mit einem geistreichen wohlriechenden Spiritus, z. B. mit 2mal rektifiziertem Eau de Cologne, und setzt dann in dieses Fläschchen die Vorrichtung Fig. I. Der an der Dochtröhre angebrachte Kork dient zur Befestigung und senkrechten Stellung der Vorrichtung im Hals des Fläschchens.

Will man die Lampe in Thätigkeit setzen, so befeuchtet man den oberen, kaum sichtbaren, Theil des Dochtes mit einigen Tropfen Räucherspiritus, zündet diesen an, läßt ihn 10, 15 bis 20 Sekunden oder so lang flammend brennen, bis der rauhe Theil *aa* der Röhre *aa* schwach glühet, und bläst dann die Flamme aus. Jetzt beginnt der Spiritus an dem Theile *aa* der Röhre *aa* glühend zu verbrennen, wobei die wohlriechenden Theile desselben in Dampf verwandelt werden und die Luft parfümiren. Soll dieser Räucherprozeß aufhören, so bedeckt man die Lampe mit der Glocke Fig. III.“

Von rein chemischem Interesse ist die Art, wie Döbereiner die Platinierung oder nach seiner Ausdrucksweise „Verplatinung“ (analog „Vergoldung“, „Versilberung“) vorgenommen hat. Hierüber ist an der von Schiff zitierten Stelle, Schweigg. Jahrb. 1828, Bd. 24, S. 417, zu lesen:

„Wenn man Chlorplatin zu wiederholten Malen mit absolutem Alkohol in gelinder Wärme behandelt, so resultiert endlich eine braune Masse, welche sich in höherer Temperatur leicht verkohlt, in vielem Weingeist aufgelöst aber eine Flüssigkeit ergibt, die sich ganz vortrefflich eignet, um Glas mit Platin spiegelglänzend zu überziehen. Man taucht das Glas in jene Flüssigkeit, dreht es nach verschiedenen Richtungen so, daß diese sich gleichförmig verbreite, und erhitze es dann in der Spiritusflamme bis zum Glühen. Der dadurch hervorgerachte Platinüberzug ist spiegelglänzend und adhärirt so fest, daß er sich nicht abreißen läßt. Bringt man aber das platinirte Glas in salzsaures Wasser und bringt es gleichzeitig mit Zink in Berührung, so löst sich fast augenblicklich alles adhärirnde Platin in Form von metallischen Schaumblättchen ab, und zwar infolge des durch die erregte Contact-Elektrizität entwickelten Wasserstoffgases. Diese Platinblättchen sind noch durchsichtiger als die Goldblättchen und saugen, wie diese, aufgetropfeltem Alkohol capillarisch ein — eine Eigenschaft, welche ich stets in meinen Vorlesungen benutze, um die Porosität und die durch dieselbe bedingte Durchsichtigkeit der Goldblättchen zu beweisen —“

Über das weitere Schicksal der Duftlampe kann nicht viel gesagt werden. Es ist nur bekannt geworden, daß ein Schüler Döbereiners, A. M. Pleischl, sie verbessert habe⁴. Eine ausgedehnte gewerbliche Vervielfältigung, wie sie im Falle des Döbereinerschen Feuerzeuges beobachtet wird, hat für die Duftlampe anscheinend nie stattgefunden. In Schweigg. Jahrb., Bd. 24, S. 417 ff., heißt es zunächst:

„Meine Platinfeuerzeuge werden immer beliebter. Gegen 20 000 derselben sind bereits, theils in Deutschland theils in England im Gebrauch. Wie wohlhabend wäre ich jetzt, wenn ich mit meiner Entdeckung nach England gegangen wäre, und mir dort auf technische Benutzung derselben hätte ein Patent geben lassen⁵. Aber ich liebe die Wissenschaft mehr als das Geld, und das Bewußtsein, daß ich damit vielen mechanischen Künstlern nützlich gewesen, macht mich glücklich.“

Vom Duftlämpchen aber sagt Döbereiner weiter: nur, daß es von manchen Mechanikern nach seiner Anleitung verfertigt und den Platinfeuerzeugen beigegeben werde⁶.

An der Bedeutung gemessen, die das Feuerzeug Döbereiners für die Zeit vor hundert Jahren besessen hat, stellt somit die Duftlampe nur einen sehr bescheidenen Anwendungsfall der heterogenen Katalyse mit Platin dar, die Döbereiner als erster eingehend und liebevoll gepflegt hat. Immerhin handelt es sich doch um eine so eigenartige, —

spielerisch anmutige — Verkörperung des katalytischen Prinzips, daß die Erinnerung daran nicht ganz verloren gehen sollte⁷.

Anmerkungen:

1 Näheres hierüber findet man in dem Briefwechsel zwischen Goethe und Döbereiner, herausgegeben von Julius Schiff, 1924; s. a. Döbling, Die Chemie in Jena zur Goethezeit, 1928. — Die genauen Angaben über die Konstruktion der Lampe stammen aus dem Goethe-Schiller-Archiv zu Weimar. Vgl. auch die Angaben über diese und andere praktische Verwendungsweisen katalytischer Vorgänge durch Döbereiner in Mit- tasch und Theis. Von Davy und Döbereiner bis Deacon, 1932, S. 45 ff. — 2 Zitiert nach Schiff, a. a. O., S. 88 ff. — 3 Im Original ein Doppelfolio- bogen, ebenso wie die Abschrift des Briefes; die erste Seite ist leer; S. 2 enthält die Zeichnung; auf S. 3 beginnt der Text. — 4 Adolf Martin Pleischl in Prag, geb. 1787, gest. 1867. Prof. Dr. E. von Lippmann, Halle a. S., teilte mit, daß er in seiner Jugend (vor 1868) eine solche Lampe im Ordinationszimmer des Arztes Dr. Pleischl in Wien, Sohn des Ver- besserers der Lampe und Hausarzt der Familie v. Lippmann, gesehen habe, und daß sie dort den Kindern zu ihrer Ergötzung zuweilen in Tätigkeit vorgeführt worden sei. — 5 Der englische Fabrikant Robinson hatte es empfohlen. — 6 G. Werner Lipp, Dresden, der sich auf eine Anfrage in der „Umschau“ zuerst an das Goethe-Schiller-Archiv gewen- det und Schweiggers Jahrbuch usw. emsig durchsucht hat, sei auch hier Döbereiners angefertigt (Fig. IV) und haben bestätigt gefunden, daß die katalytische Oxydation des aufsteigenden Alkohols (zu Acetaldehyd usw.) längere Zeit nach dem Auslösen der Flamme am Platin bestehen bleibt und damit auch die minder rasch am heißen Platin sich oxydie- renden Duftstoffe im Raume sich verbreiten; die Wirkung ist allerdings nicht sehr stark.

Die Katalyse in der angewandten Chemie

I. Allgemeines vom Werden und Wachsen der technischen Katalyse*

Obgleich unter „Katalyse“ wissenschaftlich die *Beschleu- nigung* chemischer Vorgänge durch einen bestimmten Körper verstanden wird, so läuft die Erscheinung in der Praxis doch meist darauf hinaus, daß erst auf diese Weise ein gewerblich erwünschter Prozeß, weil nun mit genü- gender Geschwindigkeit verlaufend, überhaupt *ermöglicht* wird. Eine Reaktion, die bei praktisch optimaler Tempe- ratur erst in hundert Stunden oder gar hundert Tagen oder Jahren das Ziel erreicht, kann nur den Wissen- schaftler, aber nicht den Techniker interessieren; wenn jedoch durch Hinzufügung eines fremden Körpers — loka- lisiert oder durch die ganze Masse verbreitet — der Vor- gang etwa schon in einer Stunde abgelaufen ist, so tritt er in den Bereich des technisch Verwertbaren ein. Was in grauen Vorzeiten den Göttern und Dämonen zugeschrie- ben wurde, und was in erborgtem Abglanz auch den Priestern und Zauberern zustand: unmöglich Erscheinendes zu verwirklichen, das leistet tatsächlich die Katalyse, die so den wahren „Stein der Weisen“ bildet und den Zauber- stab, mit dem der erfahrene Chemiker dem Ablauf der Dinge gebieten kann, freilich, wie die Wissenschaft bald gezeigt hat, doch immer nur im Bereich des *thermo- dynamisch* überhaupt Möglichen und in einem der theo- retischen Analyse zugänglichen Ablauf natürlichen Ge- schehens.

Fragt man nach dem *Alter der technischen Katalyse*, d. h. der Anwendung katalytischer Reaktionen im Gewerbe, so muß die Antwort lauten, daß in der Form der *Bio- katalyse* — ausgeübt bei der Bereitung berauscherender Getränke, bei der Herstellung von Essig und von gesäu- ertem Brote, bei der Gerberei usw. — die technische Kata- lyse sich bis in die Anfänge menschlicher Kultur zurück- verfolgen läßt, daß aber die „einfache“ und „gewöhnliche“ (*rein chemische*) Katalyse erst zu Beginn der Neuzeit in einigen Fällen gewerblich ausgeführt worden ist, natürlich ohne Kenntnis der besonderen Art des Vorganges.

* Chem. Ztg. 58 (1934) 305—308. Einzelne wichtige Fälle wurden wei- terhin unter II etc. von früheren Mitarbeitern behandelt.

Seit dem 16. Jahrhundert hat man den wichtigen Äther (Äthyläther, früher Naphtha Vitrioli, Äther Frobenii, Schwefeläther genannt) aus Alkohol mittels Schwefelsäure herstellen gelernt; im gleichen Jahrhundert ist bei der schon vorher gebräuchlichen Gewinnung von Schwefelsäure durch Verbrennung von Schwefel an der Luft bei Gegenwart von Feuchtigkeit ein katalytisches Moment hinzugekommen, indem etwas Salpeter zur Förderung des Vorganges zugefügt wurde¹.

Um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert macht sich dann im Zusammenhang mit der beginnenden stärkeren (bewußten) Beachtung katalytischer Erscheinungen in der chemischen Wissenschaft auch eine zunehmende praktische Verwendung katalytischer Reaktionen geltend, und zwar nun auch in der Form ausgesprochen *heterogener Katalyse*, d. h. in Systemen, wo der Katalysator von den reagierenden Substanzen durch Phasengrenzflächen getrennt ist².

So konstruiert um 1825 J. W. Döbereiner, der berühmte und hochbedeutende chemische Berater Goethes, sein katalytisches Feuerzeug, das, auf der von ihm gefundenen Entflammung von Wasserstoff durch Platinschwamm (schon bei gewöhnlicher Temperatur) beruhend, in jenen Zeiten des Feuermachens mit Stahl, Feuerstein und Schwamm ausgedehnte Verbreitung in den Haushaltungen fand³. Der gleiche Forscher suchte eine gewerbliche Herstellung von Essig durch Oxydation von Alkohol mit Platin als Katalysator einzuführen⁴ und schlug einen Betrieb von Explosionsmotoren mit Knallgas unter katalytischer Zündung mittels Platinschwammes vor, ja er hatte sogar den kühnen Plan einer katalytischen Synthese von Zucker aus Alkohol und Kohlensäure (durch Umkehrung des bekanntesten Gärungsvorganges) gefaßt!

War man in jenen Zeiten schon darauf aufmerksam geworden, daß es neben den gewöhnlichen chemischen Reaktionen, die in bezug auf alle Reaktionsteilnehmer nach bestimmten Gewichts- und Maßverhältnissen verlaufen⁵, noch besondersartige Reaktionen gibt, bei denen ein Stoff „die Ursache“ eines Geschehens wird, *ohne doch sichtlich daran teilzunehmen und verbraucht zu werden*, so fehlte es zunächst noch an einer klaren *Begriffsbestimmung* für dergleichen Erscheinungen von abweichender

Wesensart. Hier war es J. J. Berzelius, der vor rund hundert Jahren (1835) eine bestimmte (zunächst viel bekämpfte) Definition, und zwar im Anschluß an eine neue Namengebung solcher „Reaktionen durch Kontakt“ (Mitscherlich), gab; er nennt derartige Reaktionen *katalytische Reaktionen* und versteht unter Katalyse einen Vorgang, bei dem ein bestimmter Stoff nur durch seine Gegenwart, vermöge seiner „katalytischen Kraft“, „schlummernde Verwandtschaften erweckt“. Im Anschluß an die fortan rascher fortschreitende Forschung, durch die immer neue Fälle von Katalyse gefunden wurden, ist auch das Gebiet der *technischen Katalyse* in wachsendem Maße *ausgebaut* worden, und zwar in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der chemischen Industrie überhaupt.

Wir nennen in dieser Beziehung Kuhlmanns erste Versuche und Hinweise hinsichtlich einer technischen Erzeugung von Salpetersäure durch katalytische Oxydation von Ammoniak in Gegenwart von Platindraht (1838), ferner die Anfänge eines neuen katalytischen Schwefelsäureverfahrens, das sich statt der Stickoxyde metallischen Platins bedient (Philipps, Schneider, Petri u. a.) weiter mannigfache, allerdings lange Zeit hindurch völlig unzulängliche und fruchtlose Versuche zu einer Ammoniaksynthese, und schließlich den berühmten „*Deacon-Prozeß*“ zur Herstellung von Chlor mittels Luft-Oxydation von Salzsäure in Gegenwart von Kupferverbindungen (um 1870), in dem uns zum ersten Male ein wissenschaftlich und technisch gut durchgebildetes katalytisches Verfahren der chemischen Großindustrie begegnet, das in gewissem Sinne als einfaches Vorbild aller späteren großtechnischen katalytischen Verfahren gelten kann. (Siehe auch Tabelle S. 43 über wichtige technische Katalysen, die bis zur Jahrhundertwende ausgebildet worden sind).

Von hier geht dann die Entwicklung in Riesenschritten weiter über die technische Ammoniaksynthese, die Methanolsynthese und die zahlreichen technisch-katalytischen Hydrierungen, Oxydationen, Halogenierungen, Polymerisierungen, Spaltungen usw. der letzten Jahrzehnte bis zur Druckhydrierung von Kohle und Öl.

Trotz der großen Fortschritte in der Auffindung neuer, auch technisch wichtiger Katalysen herrschte in der zwei-

ten Hälfte des 19. Jahrhunderts über das *Wesen der Katalyse* doch noch viel Unklarheit. Im Allgemeinbewußtsein haftete den katalytischen Reaktionen immer noch etwas mystisch Geheimnisvolles an, so daß für einen katalytischen Vorgang, dessen Mechanismus klar zu sein schien, wie z. B. die Bildung von Schwefelsäure in Gegenwart von Stickoxyden (über Zwischenverbindungen), vielfach die Bezeichnung „katalytisch“ abgelehnt wurde. Zwar betonte Schönbein (um 1860), daß jede Reaktion aus einer Summe von Teilvorgängen besteht — die chemische Reaktion ein „Drama“ —, so daß es für eine begriffliche Unterscheidung von katalytischen und nichtkatalytischen Reaktionen bedeutungslos sein muß, ob in dem einen oder anderen Falle gewisse Teilprozesse *erkannt* und isoliert worden sind. Die Vorstellung, daß ein Katalysator in der Regel durch *Herbeiführung von Zwischenreaktionen* wirkt, wurde zwar von manchen Forschern geäußert⁶, konnte sich jedoch bei der verborgenen Natur solcher Zwischenreaktionen und Zwischenverbindungen nicht allgemein durchsetzen⁷. Schließlich mangelte der damaligen Epoche auch der fruchtbare Begriff der „*Reaktionsbeschleunigung*“, der erst von W. Ostwald um 1900 als beherrschend eingeführt wurde, indem er die neue, von da ab geltende Definition gab: „Katalyse ist die Beschleunigung eines langsam verlaufenden chemischen Vorganges durch die Gegenwart eines fremden Stoffes“.

In engstem Zusammenhang mit der staunenswerten Entwicklung der katalytischen Forschung seit 1900 steht die gewaltige *Verbreiterung und Vertiefung*, die die *technische Katalyse* seitdem erfahren hat und die den Gegenstand einer besonderen Darstellung bilden soll. Hier seien nur einige Ausführungen gegeben, die sich auf die „*Seele*“ jedes katalytischen Verfahrens, den *Katalysator*, und auf die für seine *Herstellung* und *Verwendung* entwickelte *Methodik* beziehen⁸.

Ohne weiteres fällt in die Augen, daß von den bescheidenen Anfängen her, wo nur einige wenige chemische Substanzen (wie Schwefelsäure, Stickoxyde, Ton, Platin) als Katalysatoren beachtet worden waren, dauernd eine gewaltige Verbreiterung des Gebietes stattgefunden hat, so daß es heute schon ganz unübersehbar ist. Wollte man

daran denken, ein Kompendium der Katalysatoren zu schreiben, das dem Leitfaden des Systems der Elemente folgte, so würde sich zeigen, daß zunächst von den anorganischen Substanzen kaum eine einzige katalytisch untauglich ist. Abgesehen von den Edelgasen ist so gut wie jedes Element und jede Verbindung irgendwie und irgendwo katalytisch verwendbar, wobei jedoch in bezug auf den *Verwendungsumfang* für die einzelnen Elemente sehr starke Unterschiede bestehen, indem die einen „in allen Farben schillern“, d. h. für sehr verschiedenartige Katalysen tauglich sind, während andere nur einen beschränkten Verwendungsbereich zeigen.

Vom Standpunkt der Großindustrie muß, wie schon mehrfach betont worden ist, unzweifelhaft dem *Eisen* der Preis zuerkannt werden; man denke nur an seine Verwendbarkeit für die SO_3 -Katalyse, für die Ammoniak-katalyse, für die Herstellung von Wasserstoff aus Wasserdampf und Kohlenoxyd, für die katalytische Ammoniak-oxidation usw. Andere Elemente wieder, wie Magnesium, Bor, Titan, Vanadin, zeigen für sich und in ihren Verbindungen mehr spezifische Fähigkeiten und sind auf einen verhältnismäßig kleineren Anwendungsbereich beschränkt.

Es ist bemerkenswert, daß im allgemeinen diejenigen Elemente katalytisch die größte Vielseitigkeit zeigen, deren „*Chemie*“ in den Lehrbüchern besonders ausgedehnt erscheint⁹; und das würde deutlich zutage treten, wenn man darangehen wollte, neben die „gewöhnliche“ stöchiometrische systematische Chemie eine — bisher noch nicht geschriebene — *katalytische Chemie* der gleichen Substanzen zu setzen, die gleichfalls den „*Affinitäten*“ der betreffenden Substanzen folgt, allein in einer besonderen und schwer zu übersehenden Weise, da es — wie schon Mercer und Playfair vor 90 Jahren feststellten — immer nur bestimmte „*schwache Affinitäten*“ sind, die einen Stoff zur Katalyse tauglich machen. Wenn Lithium, das schon bei gewöhnlicher Temperatur Stickstoff und bei hoher auch Wasserstoff bindet, als Katalysator für die Ammoniak-synthese praktisch ebenso unbrauchbar ist, wie z. B. das gar keine merkliche Affinität zum Stickstoff zeigende Gold, während „*mittlere*“ Elemente wie Eisen,

Molybdän, Wolfram mit ihren wenig beständigen Stickstoffverbindungen hervorragende Wirksamkeit zeigen¹⁰, so geht daraus klar hervor, daß der katalytische Erfinder bei der Suche nach neuen Katalysatoren sich stets bewußt sein muß, daß der gesuchte Katalysator, bildlich gesprochen, in irgendwelchen, wenn auch scheinbar sehr schwachen Beziehungen zu den (d. h. in der Regel zu beiden) an sich reaktionsfähigen Substanzen stehen muß, um diese zur wirklichen Reaktion zu veranlassen.

Das Gebiet von Substanzen, in dem der Forscher sich dabei suchend umzusehen hat, wird aber dadurch noch unendlich größer, daß besondere, praktisch wertvolle Effekte oftmals erst mit *Zwei- und Mehrstoffkatalysatoren* erreicht werden. Es ist dies eine Tatsache, die hier und da schon im 19. Jahrhundert vermutet und beobachtet worden ist, die aber in systematisch befriedigender Weise zum erstenmal um 1910 in der B. A. S. F., Ludwigshafen a. Rh., am Beispiel der Ammoniaksynthese aufgedeckt und verfolgt wurde¹¹. Es gibt keinen einfachen Ammoniakkatalysator, der nicht durch die Zufügung eines geeigneten zweiten Stoffes in seiner Wirksamkeit — namentlich auf die Dauer — verbessert werden könnte, und die bei der technischen Ammoniakkatalyse verwendeten Kontaktstoffe sind deshalb durchweg *Zwei- und Mehrstoffkatalysatoren*. Das gleiche gilt für die Methanolsynthese, wie gleichfalls erstmalig in der I. G. Farbenindustrie gezeigt wurde, und ähnlich ist es bei vielen weiteren neueren Katalysen, bis zur Druckhydrierung von Kohle und Öl.

Eine weitere Komplikation erfahren jedoch die Verhältnisse noch dadurch, daß, wie sich gerade in den letzten Jahren immer wieder gezeigt hat, bei der technisch besonders wichtigen *heterogenen* Katalyse die *katalytische Wirksamkeit* eines einfachen oder gemischten Katalysators in hohem Maße von seiner *Struktur* und *Oberflächenbeschaffenheit*, indirekt also von seiner *Herstellungsweise* abhängig ist.

Schon Döbereiner, Kuhlmann u. a. haben beobachtet, daß es für eine gute katalytische Wirkung von Platin stark darauf ankommt, in welcher Form es angewendet wird (ob als Blech, Draht, Platinasbest, „Zündpillen“ usw.), und daß eine bestimmte Form nicht bei jeder katalytischen

Reaktion am meisten befriedigt. Ähnliches ist für Kupfer beim Deacon-Prozeß, für Silber bei der Methanoloxydation zu Formaldehyd beobachtet worden usw.; und heute ließe sich für Katalysatoren wie Nickel, Eisen, Platin schon je ein großes Buch über ihre möglichen Herstellungsweisen und Gebrauchsformen und das jeweils beste „Rezept“ im Einzelfall schreiben¹².

Angesichts dieser verwirrenden Überlagerung von verschiedensten Möglichkeiten hinsichtlich technisch verwendbarer Katalysatoren könnte der Forscher, dem die *Aufsuchung neuer Katalysatoren* für eine bestimmte Reaktion als Aufgabe gestellt ist, schon mutlos werden, wenn nicht für den Praktiker doch einige *Anhaltspunkte* vorhanden wären, von denen folgende genannt seien:

a) Für die erste Auswahl der als Katalysatoren auszuprobierenden Substanzen *Analogien* mit schon bekannten ähnlichen katalytischen Reaktionen, wobei jedoch immer vor Augen gehalten werden muß, daß überraschende Erfolge oft gerade durch vollkommene Freimachung von solchen Analogiefolgerungen — also durch vollkommene Vorurteilslosigkeit — erzielt werden. So ist es für eine durchaus neue Reaktion oft am zweckmäßigsten, zunächst einmal rein mechanisch die ganze Reihe der chemischen Elemente (soweit sie ihrer Formart nach überhaupt in Betracht kommen) als Katalysatoren durchzuprobieren, für sich oder in passend erscheinenden Verbindungen.

b) Für *Zwei- und Mehrstoffkatalysatoren* die Erfahrung, daß durch solche regelmäßig nicht absolut neue Wirkungen geschaffen, sondern daß hier die den Einzelkomponenten anhaftenden Wirkungen entwickelt und irgendwie verstärkt oder gerichtet werden. Wenn also auch, praktisch genommen, die Mischungen (nach einer Formulierung von Willstätter) oft die „Eigenschaften neuer Substanzen“ zeigen können, so weist eine wissenschaftliche Analyse des Vorganges in der Regel doch irgendeine *Addition der Funktionen der Bestandteile* auf (als welche gegebenenfalls auch die so oft verwandten Träger-Substanzen anzusehen sind).

Ein typisches Beispiel ist die von v. Nagel untersuchte Ammoniakoxydation mit Eisen-Wismut-Kontakten (s. Mitasch, Ztschr. Elektrochem. 1930, Bd. 36, S. 576). Da eine

katalysierende Substanz im Grund jeweils bestimmte — chemische oder physikalische — Teilvorgänge der chemischen Reaktion (und nicht etwa sämtliche Elementarvorgänge) beeinflusst, so eröffnet sich bei *Kombinationen* von Stoffen immer eine Menge neuer Möglichkeiten, die praktisch wichtig werden können, auch wenn so nur scheinbar untergeordnete Teilprozesse wie die „Desorption“ der entstandenen Verbindungen gefördert werden.

• An der quantitativen Ausbeute gemessen, kann das Resultat freilich über die einfache Additivität sehr weit hinausgehen¹³.

c) Hinsichtlich der zweckmäßigsten „*Struktur*“ und *Herstellungsweisen* empfiehlt sich eine Beachtung all der verschiedenen Lehren, die sich in der katalytischen Praxis bereits ergeben haben und die größtenteils in der Fachliteratur niedergelegt sind. Das Studium einschlägiger Patentschriften sowie von Büchern über technische Katalyse wird hier wie in bezug auf a) und b) viel Anregungen geben; doch ist es schon für technisch ausgeübte Katalysen oftmals nicht leicht, sich aus jenen über die jeweils beste Herstellungsweise klar zu werden, da verständlicherweise zur vollkommenen Abriegelung einer Erfindung auch die Angabe und Beanspruchung weniger guter Arbeitsmöglichkeiten üblich ist. So bleibt der persönlichen katalytischen Erfahrung und dem darauf gegründeten katalytischen Gefühl des Forschers viel, ja oft alles überlassen.

Indem wir bisher einseitig den Katalysator als solchen — nach seiner chemischen Natur und Struktur — als unerläßliche Bedingung eines katalytischen technischen Geschehens ins Auge gefaßt haben, ist eine Forderung unbeachtet geblieben, die in gleicher Weise wie die Wahl des besten Katalysators für ein befriedigendes Gelingen des Prozesses ausschlaggebend ist: es ist dies das Aufmerken auf die *Giftempfindlichkeit* des Katalysators, die sich beim technischen Arbeiten sehr störend bemerkbar macht, ja oft den Erfolg völlig in Frage stellen kann, so daß eine Fernhaltung und Beseitigung von *Kontaktgiften*, die die Aktivität herabsetzen und die Lebensdauer vermindern, entscheidende Bedeutung erlangt. Dieser Einfluß von Kontaktgiften ist schon von Männern wie Döbereiner, E. Turner und M. Faraday erkannt worden und hat ihnen zu

schaffen gemacht. Eine im Laboratoriumsversuch mit einem bestimmten Katalysator mit hoher Ausbeute glänzend verlaufende Reaktion kann hinsichtlich einer langdauernden Benutzung des gleichen Katalysators im technischen Betrieb völlig versagen, wenn z. B. mit den kontinuierlich zuströmenden Gasen Spuren schädlicher Stoffe an den Katalysator gelangen und sich hier festsetzen, oder wenn aus dem Gefäßmaterial allmählich solche Stoffe frei werden, oder wenn schließlich die Reaktionsprodukte selber bzw. gewisse Nebenprodukte zu einem Versagen führen: in allen Fällen entweder so, daß erst mit einer *sichtbaren* Ablagerung der Fremdstoffe auf dem Kontakt die Reaktion nachläßt (Verschmutzung oder Verkrustung), oder daß dieser Wirksamkeitsabfall durch die auch dem bewaffneten Auge *unsichtbare* „Besetzung aktiver Zentren“ eintritt (eigentliche „Vergiftung“).

Was ist hier nun zu tun? Zunächst dient als vorbeugende Maßnahme die Gepflogenheit, bei der Herstellung von Kontakten nur von wohlanalysierten reinen und reinsten Chemikalien auszugehen, um eine Einschleppung von Kontaktgiften zu verhindern. Weiter erhält man Anhaltspunkte über die Natur, Wirkungsweise und Fernhaltung von Kontaktgiften bei technischen Prozessen — es sei nur an die SO_3 -Katalyse erinnert — aus zahlreichen Mitteilungen in der Patent- und Buchliteratur. Trotzdem ist praktisch die Aufgabe einer völligen Entgiftung der Reaktionsteilnehmer oft schwieriger und langwieriger als die Auffindung des Katalysators, zumal da die Giftwirkung — wie die Katalysatorwirkung — in der Regel spezifisch ist und darum fast in jedem Falle von neuem studiert werden muß. Zu erstreben ist immer eine durch feinste (chemische oder physikalische) Analyse zu gewinnende *Kenntnis der Giftsubstanzen* (die zu erlangen bei der Umsetzung organischer Verbindungen oft viel Kopfzerbrechen verursachen kann); doch kommt man bisweilen auch ohne spezielle Kenntnis der vergiftenden Substanzen, etwa durch empirisches Ausprobieren eines geeigneten „Giffängers“, zum Ziele. Häufig gelingt es mit einem „kombinatorischen Verfahren“, indem man etwa zunächst die Reaktionsgase vor der katalytischen Behandlung möglichst vollkommen von ihren (bekannten oder unbekanntem) schädlichen Bei-

mengungen befreit und dann die letzten Spuren mit einem bestimmten „Vorkontakt“ aufnimmt. Technisch besonders wertvoll wird natürlich immer die Auffindung relativ giftfester Katalysatoren sein.

In diesem Zusammenhang erhebt sich noch die sehr naheliegende Frage, in welchem Maße die heute schon weit vorgeschrittene *Theorie* dem katalytischen Forscher und Erfinder der Technik allgemein *Hilfe leisten kann*. Wir verstehen hier unter „*katalytischer Theorie*“ nicht die Gesamtsumme wertvollen Wissens, das durch Tausende wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiet der Katalyse bis heute überhaupt gesammelt wurde, sondern nur denjenigen Teil der Erkenntnisse, der sich auf die Fragen „wie?“ und „warum?“ der Katalyse bezieht, also *Wesen* (Reaktionsmechanismus) und *Ursache* der Katalyse zum Gegenstand hat.

Dieses theoretische Wissen ist, wie allgemein bekannt, in den letzten Jahrzehnten in enger Verbindung mit der Entwicklung der Reaktionskinetik beliebiger Reaktionen sehr weit gediehen¹⁴, wobei heute für den physikalischen Chemiker, der dieses Studium betreibt, die grundlegenden Fortschritte der *Atomchemie* und der *Oberflächenforschung* die Basis bilden, auf der er sein Gebäude aufrichtet. Eine größere Zahl einfacherer katalytischer Reaktionen, wie die Ammoniakkatalyse und die Hydrierung mit Nickelkatalysatoren, auch gewisse Oxydationen, Spaltungen usw. sind mit den besten methodischen Hilfsmitteln weitgehend in ihre Elementarakte zergliedert worden¹⁵, und den spezifischen Beziehungen der katalysierenden Substanz zur katalysierten Reaktion ist mehrfach gründlich nachgegangen worden¹⁶, auch sind so tatsächlich eine Reihe wichtiger allgemeiner Gesetzmäßigkeiten gefunden worden, die für alle Katalysatoren zutreffen.

Dennoch möchten wir dem jungen Chemiker, der katalytische Erfindungen machen will, nicht raten, mit dem Studium der Theorie zu beginnen und die Methoden der theoretischen Forschung seiner Arbeit zugrunde zu legen. Handelt es sich um die Aufgabe, für eine bestimmte Reaktion einen neuen bzw. einen besseren Katalysator zu finden, so tut man immer noch gut, sich an die alte Erfahrung zu halten, daß auf dem Gebiet katalytischer Er-

findung die *Praxis der Theorie immer vorausgegangen* ist und daß die in die technische Praxis übergeführten katalytischen Reaktionen — schon wie in den Zeiten von Döbereiner und Deacon — durchweg aus planvoller *empirischer Laboratoriumsarbeit* stammen. Allerdings kann dabei die Theorie oftmals wertvolle Hilfe leisten, und es ist bemerkenswert, daß z. B. bereits Haber seine Ammoniakkatalysatoren Osmium und Uran nicht gefunden hat, indem er etwa sämtliche Elemente der Reihe nach ausprobierte (das ist erst später in der B.A.S.F. geschehen), sondern indem er der Arbeitshypothese folgte, daß (wenigstens in diesem Falle) hochkomplizierter Atombau eine günstige Vorbedingung der katalytischen Wirksamkeit sei.

Katalytisches Erfinden kann nicht eigentlich gelehrt werden — Phantasie und Intuition spielen eine ähnliche Rolle wie bei dem Schaffen des erfolgreichen präparativen Organikers —, aber es kann (wie bei jenem) stark erleichtert und gefördert werden durch ein reiches und wohlgeordnetes Wissen, und es kann weiter erleichtert und gefördert werden durch gute Kenntnis der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten, die die Theorie der Katalyse zutage gefördert hat. Wenn es also auch verhältnismäßig selten vorkommen wird — und auch nicht erforderlich ist —, daß der katalytische Praktiker zugleich ein vorzüglicher katalytischer Theoretiker ist (oder umgekehrt), so wird er doch gut tun, die Fortschritte der Theorie zu verfolgen und ihr zu entnehmen, was für seine Zwecke brauchbar sein kann. Umgekehrt liefert er dem Theoretiker wieder Material zur wissenschaftlichen Durcharbeitung, und so ergibt sich hier, wie auf dem Gesamtgebiet der Chemie und Physik, zwischen Theorie und Praxis ein erfreuliches Verhältnis wechselseitiger Förderung und Befruchtung.

Man kann mit London der Meinung sein¹⁷, daß es kaum je gelingen wird, „die durch die Quantentheorie eröffneten Möglichkeiten voll auszuschöpfen und mit ihrer Hilfe die unendlich komplizierten Verhältnisse, wie sie die Wirklichkeit bietet, im einzelnen auch rechnerisch zu verfolgen“. Wenn also auf katalytischem Gebiet heute auf Grund der Theorie in manchem einfacheren Falle mit einiger Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden kann, welcher Stoff katalytisch wirken könnte, so wird doch in bezug

auf den jeweils besten Katalysator sowie auf die erzielbare *Reaktionsgeschwindigkeit* — die für die Praxis ja vor allem von Bedeutung ist — jedes Prophezeien noch länger unmöglich sein¹⁸. Die Theorie wird ferner auch wohl noch lange Zeit nur sehr beschränkte Hinweise aufgeben können, wo es sich nicht um einfache Beschleunigung von Reaktionen, sondern um *Reaktionslenkung* handelt¹⁹; dies gilt vor allem für das weite Gebiet der organischen Chemie, das der angewandten Katalyse besonders viele und reiche Zukunftsmöglichkeiten bietet und auf dem die Frage einer Reaktionslenkung oder Reaktionsauslese meist das im Vordergrund stehende entscheidende Problem ist.

Jahrzehnte hindurch hat man z. B. nach dem Vorgang von Sabatier und Senderens (1902) aus Kohlenoxyd und Wasserstoff katalytisch nur Methan zu gewinnen vermocht; erst 1912 haben in der B.A.S.F. A. Mittasch und Chr. Schneider gemäß einer Anregung von C. Bosch aus denselben Gasen flüssige Verbindungen (Kohlenwasserstoffe, Alkohole usw.) herstellen gelernt, indem sie das Nickel durch andersartige Katalysatoren (Kobalt, Eisen, Zink, Ruthenium usw.) ersetzten, bei gleichzeitiger Anwendung von Hochdruck; und wieder 10 Jahre später konnte in der I. G. Farbenindustrie vor allem mit bestimmten Zinkoxydkombinationen und mit sehr stark gereinigten Gasen fast reiner Methylalkohol erhalten werden (Mittasch, Pier u. a.); ferner hat dann Franz Fischer wiederum mit bestimmten Mehrstoffkatalysatoren bestimmte flüssige Verbindungen (vor allem Benzin), sowie festes Paraffin auch bei gewöhnlichem Druck darzustellen gelehrt.

Aus unseren Darlegungen, die in Kürze einige Hinweise auf die Methodik katalytischer Forschung für die Technik bieten sollten, ist ersichtlich, in welchem Sinne der Chemiker in Zukunft auf Fortschritte in der industriellen Katalyse hinarbeiten hat. Sieht man von den — außerordentlich wichtigen — mehr technischen Fragen des Apparatebaus und der Wärmeökonomie der Anlage ab, so bleibt es nach wie vor erste Aufgabe des Chemikers, in jedem neuen Falle auf dem rein empirischen Wege des experimentellen Suchens die *beste katalytische Arbeitsweise* und den *besten und dauerhaftesten Katalysator* im

kleinen aufzusuchen und im Dauerversuch zu prüfen, worauf an die Erprobung im technischen Versuch und schließlich günstigenfalls an die Fabrikation gegangen werden kann²⁰. Wenn dabei eine Großkatalyse zu ihrer Verwirklichung einer Unsumme weiterer chemischer und technischer Arbeit bedarf, so daß — etwa am Zeitaufwand und an den Kosten der Arbeit bis zur Errichtung der Fabrik gemessen — die eigentliche grundlegende katalytische Laboratoriumsforschung einen nur recht beschränkten Teil ausmacht²¹, so ist dieser Teil der Gesamtarbeit doch sehr wesentlich, der gar nicht gründlich genug ausgeführt werden kann und der, wie jeder Erfahrene weiß, mit der Errichtung der Fabrikation nicht abgeschlossen ist, sondern weitergepflegt werden muß, um dauernd so viele Verbesserungen des Verfahrens wie möglich zu erzielen.

Bei der zukünftigen Weiterentwicklung der katalytischen Forschung kann es sein, daß in dem weiten Reich der organisch-chemischen Reaktionen neben den anorganischen Kontaktstoffen — die ihre grundsätzliche Bedeutung beibehalten werden — auch die *organischen Katalysatoren* sich allmählich ein weit größeres Anwendungsfeld erobern werden, und es kann weiter sein, daß auch *Biokatalysatoren* hier und da neu in Konkurrenz mit altgewohnten Kontaktstoffen treten werden. Sicher aber ist, daß zu den schon vorhandenen technischen Katalysen sich immer neue wertvolle hinzugesellen werden: Veredlungskatalysen verschiedenster Form zur Herstellung von Zwischenprodukten und Endprodukten jeder Art. Und der Weg hierzu?

„Bei alledem bleibt das Zweifeln mit Vernunft die vorzüglichste allgemeine Regel; wer an nichts zweifelt, prüfet nichts, und wer nichts prüfet, entdeckt nichts.“ (Wieg-
leb 1781.)

Anmerkungen:

1 Genauer untersucht von Clément und Desormes 1806 in einer berühmten Arbeit. — 2 Alle früheren Katalysen fallen mehr oder minder deutlich in das Gebiet der homogenen Katalyse bzw. auch — soweit Fermentvorgänge im Spiele sind — in das Gebiet der mikroheterogenen Katalyse (Kolloide als Katalysatoren; vergl. Bredig, *Anorganische Fermente*, 1901; *Inorganic ferments*, 1920). 3 Über diese und die weitere Entwicklung der Katalyse im 19. Jahrhundert s. Mittasch und Thels, von Davy und Döbereiner bis Deacon, Berlin 1932. — 4 Diese Arbeitsweise konnte sich gegenüber der in der gleichen Zeit entwickelten biochemischen Schnellessigfabrikation (Schützenbach u. a.) nicht

durchsetzen. — 5 Vergl. P. Walden, Zahl, Maß und Gewicht in der Chemie der Vergangenheit, Stuttgart 1931. — 6 W. C. Henry schon 1835, de la Rive 1839, Kuhlmann 1840 usw. — 7 Vergl. A. Mittasch, Über die Entwicklung der Theorie der Katalyse im 19. Jahrhundert (Naturwissenschaften 1933, S. 729). — 8 Einen Überblick über eine große Anzahl technisch wichtiger katalytischer Reaktionen geben Frankfurter und Dürr im Artikel „Katalyse“ in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 1930, II. Aufl., Bd. 6, S. 436; vgl. auch den Artikel „Kontaktmassen“ von H. Rabc, ebenda, S. 767. — 9 Man kann, wenn man diesem Gedanken folgt, ohne jedes Risiko voraussagen, daß der Kohlenstoff in seinen unübersehbaren Verbindungen für die Zukunft die allerreichsten katalytischen Ernten verspricht. — 10 Da die Endwirkung durch eine rasche Auflösung der labilen Zwischenverbindung (verursacht durch den Wasserstoff) zustande kommt, so erscheint hier der Katalysator als „betrogener Betrüger“ (Hüttig) — wohlwollender beurteilt als selbstloser Helfer! — 11 Vgl. hierzu den Artikel über „Synthetisches Ammoniak“ (C. Müller) in Ullmann, Enzykl. d. techn. Chem. 1928, II. Aufl., Bd. 1, S. 363; ferner Mittasch, Ztschr. f. Elektrochem. 1929, Bd. 35, S. 920, sowie 1930, Bd. 36, S. 569. — 12 S. z. B. die zahlreichen Angaben über die Katalysatorform in Sabatier, Katalyse in der organischen Chemie; von neueren systematischen Arbeiten, z. B. die Untersuchungen von Hüttig, Natta, F. Fischer und Mitarbeitern, Palmer und Constable, Adkins und Bischoff, Eckell, U. Hofmann, Finzel u. a. m. — 13 Vgl. Mittasch, Ber. 1926, Bd. 59, S. 13. — 14 Siehe G. M. Schwab, Katalyse vom Standpunkt chemischer Kinetik, Berlin 1931. — (Besondere Beachtung verdienen auch die wichtigen Kettenreaktionen [Bodensteins]). — 15 Für die Ammoniaksynthese besonders eingehend von Frankfurter und Mitarbeitern. — 16 Für die Hydrierung mit Nickel vor allem von O. Schmidt untersucht; ferner bearbeitet von Mark, Schuster, Dohse, Kälberer u. a. — 17 Naturwissenschaften 1929, S. 526. — 18 Es wäre auch unbillig, eine solche Forderung an die katalytische Theorie zu stellen, da ja sogar hinsichtlich der einfacheren nichtkatalytischen Reaktion erst die bescheidenen Anfänge einer systematischen Behandlung des „Affinitätsproblems“ auf Grund von Atom- und Quantentheorie sich zeigen. — 19 Vgl. Mittasch, Ber. 1926, Bd. 59, S. 13. — 20 Gerade der organische Chemiker wird gut tun, auch in den Fällen, wo bisher ohne wesentliche katalytische Beeinflussung des Reaktionsganges gearbeitet wurde, eine Anwendung von Katalysatoren ins Auge zu fassen, sei es unter Beibehaltung der Arbeitsweise, sei es nach ganz neuen Verfahren. — 21 S. hierzu Bosch, Nobelpreisvortrag über die „Entwicklung der Hochdrucktechnik bei dem Aufbau der neuen Ammoniakindustrie“ (Chem. Fabr. 1932, S. 127), sowie „Probleme großtechnischer Hydrierungsverfahren“ (Chem. Fabr. 1934, S. 1).

Berzelius und die Katalyse

Zum Gedächtnis der Aufstellung des Katalysen-Begriffes 1835

„Definition ist die einzige Arznei, welche die Wissenschaft des Denkens verordnen kann.“ Max Müller

In der Veranstaltung wissenschaftlicher Gedenkfeiern dürfte es eine Seltenheit sein, daß nicht eine große schöpferische Entdeckung und Forschungsleitung, sondern eine bloße Namengebung und Begriffsbestimmung zum Anlaß einer festlichen Rückschau genommen wird. In dieser besonderen Lage aber befinden wir uns, wenn wir die zusammengehörenden Worte „Berzelius und die Katalyse“ in den Mittelpunkt einer geschichtlichen Betrachtung stellen. Jöns Jakob Berzelius (1779—1848) hat nicht wie sein großer Zeitgenosse Johann Wolfgang Döbereiner epochemachende Entdeckungen auf dem Gebiete der Katalyse geliefert, er hat auch nicht wie sein katalytischer Gegenspieler Justus Liebig — oder später Mercer und Playfair — eine eigene Theorie der Katalyse aufgestellt; was er getan hat, ist, daß er vor hundert Jahren für eine große Zahl bis dahin bekannter eigenartiger chemischer Reaktionen, deren gemeinsames Merkmal er scharf erkannte, die fortan gültige Bezeichnung „Katalyse“ geprägt und daß er dafür zugleich die viel besprochene Begriffsbestimmung gegeben hat, die bis Wilhelm Ostwald (um 1900) kaum eine wesentliche Wandlung erfahren hat. — Die Katalyse besteht nach Berzelius darin, daß bestimmte Körper, „sowohl einfache als zusammengesetzte, sowohl in fester als in aufgelöster Form, die Eigenschaft besitzen, einen von der gewöhnlichen chemischen Verwandtschaft ganz verschiedenen Einfluß auszuüben, indem sie dabei eine Umsetzung bewirken, ohne daß sie dabei mit ihren Bestandteilen notwendig selbst teilnehmen, wenn dies auch mitunter der Fall sein kann“¹.

Es wäre verlockend, ein Bild zu entrollen von der großartigen Entwicklung, die die Katalyse seit den Tagen von Berzelius genommen hat — es seien nur einige Namen andeutungsweise genannt: in der wissenschaftlichen Katalyse

¹ Nach einem Vortrage in der Heidelberger Chem. Gesellschaft am 21. Januar 1935. In „Chemische Novitäten“ (G. Fock, Leipzig) Oktober 1935; gesondert herausgegeben von Akadem. Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1935.

Playfair, Schönbein, Sabatier, W. Ostwald, Bodenstein, Bredig, Nernst, H. S. Taylor; für die Enzymkatalyse E. Buchner, Willstätter und v. Euler; und in der technischen Katalyse Deacon, Knietzsch, Normann, Haber und Bosch. Statt dessen beschränken wir uns auf Berzelius selbst und eine Würdigung seiner Leistung, indem wir einige Fragen zu beantworten suchen, die zu näherem Verständnis führen können².

1. Wie ist Berzelius dazu gekommen, den neuen Begriff der Katalyse aufzustellen?
2. Wie steht er zur Theorie der Erscheinung?
3. Welchen Widerhall haben seine Ausführungen damals gefunden?
4. Wie hat sein Begriff der Katalyse in der Folgezeit auf die Entwicklung der Dinge eingewirkt?

Suchen wir in die Bedingungen für die Entstehung der neuen Begriffsbildung einzudringen, so sei vorerst daran erinnert, daß Berzelius den Höhepunkt seiner Gesamtleistung in der chemischen Wissenschaft bereits erreicht, ja genau gesehen wohl schon überschritten hatte, als er 1835 seinen berühmten Katalyse-Artikel schrieb.

Von Kindheit an vor allem für Botanik begeistert, war Berzelius nach einer freudlosen Jugend³ und nach wechselvollen Studienjahren in Upsala (Medizin und Chemie) durch Beachtung findende chemische Arbeiten bald zu einer befriedigenden Wirksamkeit gelangt. 1802 wurde er Professor-Adjunkt an der medizinischen Schule in Stockholm (später Königl. Carolinisches Institut), 1807 wirklicher Professor der Medizin und Pharmazie daselbst. Die Beschäftigung war in den ersten Jahren sehr vielseitig gewesen; Arzt, Apotheker, medizinischer Lehrer und Forscher; 1804 Doktor der Medizin auf Grund einer Dissertation über die Wirkung des galvanischen Stromes; chemische Arbeiten: Analyse von Heilquellen, Untersuchungen über Stickoxyd und Äthylnitrit, über die chemischen Wirkungen der galvanischen Säule, Entdeckung des Cers usw. In der wissenschaftlichen Welt war er allgemeiner bekannt geworden durch seine Arbeit mit Hisinger 1803 über die Elektrolyse der Salze (drei Jahre vor Davy), mit den Grundlagen seiner späteren elektrochemischen Theorie der chemischen Verbindungen.

Jetzt, zu Beginn 1835, war Berzelius 55 Jahre alt und nach 30jährigem Staatsdienst aus dem Carolinischen Institut Ende 1834 mit der Gewährung des Titels „Honorarprofessor“ und 600 Reichstaler Pension (die später erhöht wurde) ausgeschieden. Seine von ihm selbst als besonders bedeutsame Leistung angesehene Lehre von den „chemischen Proportionen“ war damals ebenso abgeschlossen⁴ wie seine elektrochemisch-dualistische Theorie der chemischen Verbindungen⁵, nebst einer brauchbaren Nomenklatur und neuen chemischen Zeichensprache⁶; dazu hatte er sowohl auf dem Gebiet der anorganischen, wie der organischen und physiologischen Chemie soviel Neues entdeckt und geschaffen, daß er als einer der Größten der damaligen Chemiker in der ganzen Fachwelt anerkannt wurde⁷.

Und wie stand es mit seiner körperlich-seelischen Persönlichkeit? Von Hause aus mit hoher Kraft und Zähigkeit begabt, hatten sich, durch eine Arbeitsleistung von unerhörtem Ausmaß und ungewöhnlichem Tiefgang verstärkt, doch gewisse körperliche Schwächen immer mehr geltend gemacht: Gicht, Kopfschmerzen und nervöse Beschwerden, die Ende 1834, nach einem aufreibenden Zusatzdienst in der hygienischen Bekämpfung der damals in Stockholm wütenden Cholera⁸, beunruhigend hervortraten; dazu starke geistige Ermüdungserscheinungen und Nachlassen des Gedächtnisses, verbunden mit Unlust zu geselligem Verkehr, was alles, nach Berzelius' eigener Aussage, ihm „die Zeit so lang machte“, daß er, einem Rate seines welterfahrenen Freundes, des Grafen Trolle-Wachtmeister, folgend, hinging und -- um die Hand der jugendlichen Tochter eines anderen langjährigen Freundes, des Juristen Poppus, anhielt⁹. Da in früheren Jahren ähnliche Erschöpfungsleiden von Berzelius erfolgreich durch längere Reisen bekämpft worden waren, hat er dann Anfang Juli 1835¹⁰, nach stattgefundener Verlobung, mit einem jüngeren Fachgenossen (Dahlström) eine mehrmonatige Reise über Kopenhagen, Lübeck, Hamburg, Paris (mit 41 Dinars in 49 Tagen), Metz, Mainz, Bonn (Naturforscherversammlung), Kassel (Wöhler, Bunsen), Göttingen, Hamburg, Travemünde, zurück Stockholm (8. Oktober) unternommen. Dabei hatte er sich im ganzen gut

gekräftigt und konnte am 19. Dezember 1835 seine Hochzeit feiern, am gleichen Tage vom König in den Freiherrnstand erhoben: der Beginn einer glücklichen Ehe, die für Berzelius bis zu seinem Tode 1848 eine Quelle dauernder Freude und stillen Behagens gewesen ist. —

Können wir uns so ein ungefähres Bild machen, welcher Art Berzelius' Lebensverhältnisse und Zustände in dem denkwürdigen Jahre gewesen sind, da er — wahrscheinlich im Februar¹¹ — für den von ihm seit 1820 in schwedischer Sprache geschriebenen und von seinem Freunde Wöhler seit 1824 regelmäßig ins Deutsche übersetzten „Jahresbericht über den Fortschritt der physischen Wissenschaften“ (kurz: „Chemischer Jahresbericht“) zur Feder griff, um am Anfang des Kapitels „Pflanzenchemie“ jenen berühmten Artikel über „*Einige Ideen über eine bei der Bildung organischer Verbindungen in der lebenden Natur wirksame, aber bisher nicht bemerkte Kraft*“¹² zu schreiben, der, gegen Ende hin sich im Ausdruck steigernd, in die Sätze ausmündet: „Wir bekommen begründeten Anlaß zu vermuten, daß in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten vor sich gehen und die Menge ungleichartiger Zusammensetzungen hervorbringen, von deren Bildung aus dem gemeinschaftlichen rohen Material, dem Pflanzensaft oder dem Blut, wir nie eine annehmbare Ursache einsehen konnten, die wir künftig vielleicht *in der katalytischen Kraft* des organischen Gewebes, woraus die Organe des lebenden Körpers bestehen, entdecken werden.“ —

Es ist von hohem Reiz, nachzusehen, ob eine — wie wir noch sehen werden — so hochbedeutsame Auslassung sich in ihren psychologischen Ursprüngen verfolgen läßt, etwa an Hand von Tagebuchaufzeichnungen oder des von Berzelius so überreich gepflegten wissenschaftlichen Briefwechsels. Überraschenderweise versagen die allgemein zugänglichen Dokumente aus jenen Jahren, indem weder in der selbstbiographischen Niederschrift von Berzelius, noch in seinen deutsch vorliegender Briefen (bis März 1835) irgendwelche Angabe gemacht ist, die einen Schlüssel zu seiner zunächst so gar isoliert erscheinenden Auslassung von 1835 böte¹³.

Läßt so das eigentlich biographische Material hinsichtlich des Ursprungs von Berzelius' Beginnen im Stiche, so sind wir so gut wie völlig auf die von ihm geschriebenen Bände seiner berühmten „Jahresberichte“ angewiesen. Da zeigt sich freilich, daß — wie bei Berzelius' peinlicher Sorgfalt in der systematischen Registrierung und kritischen Würdigung alles dessen, was auf dem Gesamtgebiet der Chemie usw. geschaffen wurde, nicht anders zu erwarten — sämtliche wichtigen Fälle neuartiger Reaktionen, die Berzelius dann in seinem Sammelbegriff vereinigt hat, darin mehr oder minder ausführlich behandelt sind.

Schon in Bd. 1 der Jahresberichte (1820/22) wird S. 26 bei Besprechung von Davys Sicherheitslampe „die interessante Entdeckung“ erwähnt, daß nach Ausblasen der Lampe die Spirale zu glühen fortfährt, indem eine Verbrennung des Alkoholdampfes auf ihrer Oberfläche erhalten bleibt. Weiter folgen S. 31 Thénards Versuche über die Zerlegung von Wasserstoffsuperoxyd durch verschiedene indifferente feste Stoffe, „die für jetzt allen unseren Erklärungen Trotz bietet“! In Jahresbericht 3 (1822/24) S. 162 wird über Döbereiners Entdeckung berichtet, daß Alkohol in Berührung mit dem von Edmund Davy hergestellten „Platinsuboxyd“¹⁴ „Sauerstoff aus der Luft absorbiert“ und der Alkohol zu Essigsäure oxydiert wird. In Jahresbericht 4 (1823/25) folgt dann ein ausführliches Eingehen auf die „in jeder Hinsicht wichtigste und, wenn ich mich des Ausdruckes bedienen darf, brillianteste Entdeckung des letzten Jahres“, die Feststellung von Döbereiner, daß *poröser Platinschwamm sogar bei niedrigen Temperaturen Sauerstoff und Wasserstoff vereinigen, d. h. flammend zur Entzündung bringen kann*¹⁵; eine Beobachtung, die Berzelius der andersartigen (*zerlegenden*) Tätigkeit des Platins beim Wasserstoffsuperoxyd gegenüberstellt und die ihn zu den Worten veranlaßt: „daß dabei Elektrizität so wie bei jeder Affinitätsäußerung wirkend sei, sehen wir leicht ein; aber wie sie so wirkt, und warum diese Wirkungen so entgegengesetzt werden, sehen wir noch nicht ein“; man muß sich also vorerst mit der Feststellung des Vermögens begnügen, daß ein (fester) Körper Verbindungen bewerkstelligen kann, „woran er selbst teils gar nicht und teils sehr unbedeutend teilnimmt“. Im Anschluß hier-

an wird in dem gleichen Jahresbericht und in folgenden Bänden weiter berichtet über Thénards Versuche auf dem gleichen Gebiet mit verschiedenen Substanzen, über Wöhlers Beobachtungen (aus Berzelius' Laboratorium!) an Cyangas mit dem gleichen Platinschwamm und hinsichtlich der Rußabscheidung aus Flammen an Platin und Palladium, sowie über Arbeiten von Turner und Henry (schädlicher Einfluß von Fremdgasen wie Schwefelwasserstoff, Salzsäuregas, Kohlenoxydgas usw.), über P. Phillips Gewinnung von Schwefelsäure aus schwefliger Säure und Sauerstoff mittels Platin (1831), schließlich über M. Faradays wichtige Versuche zur Aufklärung der neuen Reaktionen („spezifische“ Eigenschaft reinen Platins usw., durch Oberflächenentwicklung hinsichtlich „Kondensierung“ der Gase verstärkt).

Dieses Referat ist schon in dem gleichen J. B. 15 (1834/36) enthalten, der auf S. 237 die Aufsehen erregenden Ausführungen über die *katalytische Kraft* bringt, und so sehen wir, daß von 1820 bis 1834 sich eine zusammenhängende Kette der Aufdeckung wichtiger und bei aller Verschiedenheit im einzelnen doch im wesentlichen gleichartiger neuer Reaktionen erstreckt, deren Hauptmerkmal festzustellen einen Systematiker von der Art eines Berzelius durchaus reizen mußte. Für die Fähigkeit jedoch, auch hier das Wesentliche und Bleibende vom Unwesentlichen und Zufälligen zu sondern, brachte gerade Berzelius die rechten Voraussetzungen mit, indem er es ja war, „dessen Lebensaufgabe in erster Linie in einer Durchforschung der Chemie der Zeit in bezug auf die *festen Gewichtsverhältnisse* bei allen stattfindenden chemischen Umsetzungen bestanden hatte“. Zeigten sich nun eine Reihe wichtiger Fälle, bei denen im Gesamtsystem die eigentlichen Reaktionsteilnehmer zwar nach wie vor in festen Gewichtsverhältnissen reagierten, bestimmte für das Eintreten der Reaktion unentbehrliche Stoffe aber außerhalb jeder Proportionalitätsbeziehung standen, so mußte dieses eigenartige Merkmal einem Berzelius sich ganz besonders stark aufdrängen. Wohlverstanden: Berzelius ist nicht der erste, der auf die *Gleichartigkeit* dieser ganzen Reihe neuer Reaktionen aufmerksam geworden ist. Schon Schweigger (in Halle) hat das Döbereiner-Phänomen, Thénards Ammo-

niakspaltung und Wasserstoffsuperoxyd-Zersetzung, Gay Lussacs Zersetzung von Blausäure und auch die alte Schwefelsäurebildung mittels Stickoxyd als im Wesen gleichartige Vorgänge erkannt, d. h. als Fälle, bei denen „ein Kontakt gewisse chemische Verwandtschaften herbeiführt, die vorher nicht vorhanden waren, oder die vorhandenen erhöht“, und Eilhard Mitscherlich (Berlin) hatte soeben in einer Arbeit über die Ätherbildung mit Schwefelsäure für derartige Reaktionen ausdrücklich den Namen „Kontakt-Reaktionen“ geprägt: „Für sich allein erleiden diese Substanzen (Stärke, Zucker, Alkohol, Harnstoff, Wasserstoffsuperoxyd usw.) keine Veränderung, aber durch den Zusatz einer sehr geringen Menge *Ferment*, welches dabei die Kontaksubstanz ist, findet diese sogleich statt“. Diese Arbeit Mitscherlichs von 1833¹⁶ ist besonders bemerkenswert, da sie offenbar den letzten und entscheidenden Anstoß für die neue Begriffsbildung von Berzelius gegeben hat. Er referiert sie in dem gleichen Jahresbericht für 1834, zunächst innerhalb seines Katalyseartikels, ausführlich etwas weiter unten (S. 351—353), und es steht außer Zweifel, daß gerade die Verallgemeinerung von Mitscherlich ihn veranlaßt hat, noch einen Schritt weiter als jener zu gehen und für die Erscheinungsgruppe *einen neuen, noch ungebrauchten und darum eindeutigen Namen mit bestimmter Definition zu geben*. Die Bezeichnungsweise Mitscherlichs „Zersetzung und Verbindung durch Kontakt“ genügt Berzelius nämlich darum nicht, weil sie, „obgleich auf der einen Seite sehr treffend, doch auf der anderen Seite eine Unbestimmtheit einschließt, weil *alle Verbindungen und Trennungen durch Wahlverwandtschaft zwischen den Körpern, welche aufeinander wirken, ebenfalls eine Berührung erfordern*“¹⁷. Daß wirklich Mitscherlichs „geistreiche Untersuchungen über die Ätherbildung“ für die neue Wortbildung und Definition auslösend gewirkt haben, zeigt ein Brief an Justus Liebig — mit dem Berzelius damals trotz einzelner Spannungen noch eng befreundet war — vom 10. April 1835. Gegen Ende dieses auf „Lampensäure“, ölbildendes Gas, Brenztraubensäure, Faradays elektrochemische Arbeiten, kohlen-saures Zinkoxyd, Zitronensäure usw. gerichteten Briefes kommt Berzelius

auf die Kontakt-Theorie seines früheren Schülers Mitscherlich über die Ätherbildung zu sprechen, die ihm „tout bien considéré die wahre zu sein“ scheint, und fährt fort:

„Es kommt hier in unseren Untersuchungen eine neue Kraft hinein, auf der wir aufmerksam seyn müssen.“ Diese soll in der lebendigen Natur, vor allem in den Sekretionsorganen der Tiere und Pflanzen dadurch wirksam werden, daß „die Innenseiten der Gefäße der Sekretionsorgane mit Substanzen bekleidet sind, welche die Umwandlung der zuströmenden Flüssigkeiten bewirken. Aber mit dieser Idee, welche Helligkeit geht nicht auf über diese verborgenen Gegenstände. — Ich habe diese Idee in der neuen Auflage meines Lehrbuches auseinander zu setzen gesucht¹⁸. — Ich nenne die neue Kraft (mag sie sein was sie will) katalytische Kraft der Körper und das Zerlegen durch katalytische Kraft, z. B. das des Zuckers durch Wasser und Hefe, *Katalysis*¹⁹, was mir gut zu passen scheint, da es ein Pendant zu Analysis ist, welche durch Wahlverwandtschaft ausgeführt wird“²⁰.

Sind wir bisher ziemlich äußerlich der Genesis der Begriffsbildung von Berzelius nachgegangen, so fehlt zum *innerlichen Begreifen* noch die Hervorhebung eines sehr wichtigen Momentes:

Wir sind gewohnt, Berzelius vor allem als *Chemiker* anzusehen und zu schätzen und lassen dabei außer acht, daß er daneben, seinem medizinisch-pharmazeutischen Ausgang treu bleibend, *zeitlebens der Physiologie seine besondere Liebe zuwandte*²¹. Weil er erkannt hatte, daß die Vorgänge und Zustände in den Organismen nicht ohne Chemie verstanden werden können, hatte er sich mit der ihn auszeichnenden Gründlichkeit der „organischen Chemie“ (der Name von ihm 1806 geprägt) zugewendet, und weil das Studium der verwickelten Verhältnisse der Verbindungen der organischen Chemie eine Kenntnis der einfacheren Verhältnisse der anorganischen Welt voraussetzt, hatte er jahrelang die anorganische und mineralogische Chemie in den Vordergrund gestellt. In seinem Lehrbuch wie in den Jahresberichten nimmt demgemäß nicht nur die physiologische Chemie, sondern die Physiologie selbst einen breiten Raum ein²², und das Kapitel über die katalytische Kraft ist in den Jahresberichten in die „Pflanzen-

chemie“ eingeordnet, im Lehrbuch 1836, das die gleichen Ausführungen auch enthält, in die „Organische Chemie“.

Eben war in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts der alte *Begriff der „Lebenskraft“*, die nach der Lehre von zwei Jahrtausenden in den Organismen alle Vorgänge und Gestaltungen erzeugen und regieren sollte, ins Wanken geraten²³. Zwar hatte 1817 Gmelin die „organischen Körper“ noch definiert als „Produkte der durch Lebenskraft geleiteten Affinität“; aber nun war es gelungen, ausgesprochen „organische“ Körper im Laboratorium aus deutlich unorganischer Substanz darzustellen (vor allem durch Wöhler mit seiner von ihm selbst als bedeutungsvoll erkannten — von Berzelius aber als „recht hübsche Entdeckung“ nur matt aufgenommenen — Harnstoffherstellung aus Ammoniumcyanat 1828), und so bahnte sich mehr und mehr die Anschauung an, daß für die Lebenskraft im alten Sinne kein rechter Raum mehr sei. Berzelius, der nur sehr zögernd mitging, glaubte nun offensichtlich, doch einen Teil dessen, was bisher der Lebenskraft zugeschrieben worden war, auf eine leichter kontrollierbare (wenn auch kaum leichter verständliche) allgemeine Ursache zurückführen zu können, wenn er den Begriff der „katalytischen Kraft“ einführte, die *sowohl im Anorganischen wie im Organischen wirke, in dem letzteren Gebiete aber zu ihrer reichsten Entfaltung gelange*²⁴.

Aus solchen Gedankengängen heraus wird es verständlich, wenn Berzelius seinen Katalyse-Artikel damit einleitet, daß in der lebenden Natur „Körper von der verschiedenartigsten Beschaffenheit hervorgebracht werden“, indem z. B. aus dem *einen* Blut „ohne Zutritt einer anderen Flüssigkeit, die darin doppelte Zersetzungen bewirken könnte“, schließlich an den Gefäßendungen „Milch, Galle, Harn usw.“ entstehen. Den Schlüssel zum Verständnis dieser Dinge sollen nun die verschiedenartigen Kontaktvorgänge bilden, die Berzelius kennengelernt und größtenteils in seinen Jahresberichten getreu referiert hatte (Kirchhoff, Thénard, H. Davy, Döbereiner, Mitscherlich) und die nach ihm notwendig auf die Annahme einer „katalytischen Kraft“ drängen, die „eine ebensowohl der unorganischen, als der organischen Natur angehörige neue Kraft zur Her-

vorrufung chemischer Tätigkeit“ darstellt und die „gewiß mehr, als man bis jetzt dachte, verbreitet sein dürfte“, deren Natur aber — wie Berzelius regelmäßig betont — „für uns noch verborgen ist“²⁵.

So wenig Berzelius das Bedürfnis empfunden hat, das von ihm durch Namengebung scharf abgegrenzte neue Gebiet der Chemie selber experimentell zu bearbeiten²⁶, so sehr ist er von der Bedeutung seiner Ausführungen von 1835 für die Zukunft überzeugt gewesen. Davon legt auch die Tatsache Zeugnis ab, daß er zu wiederholten Malen auf jene Definition zurückgekommen ist. So sagt er in einem Briefe an Liebig vom 11. Dezember 1840: „Die katalytische Kraft betreffend, so ist mein Glaubensbekenntnis davon sehr kurz. Es ist eine Ursache chemischer Tätigkeit, von einem Körper ausgeübt, der dabei selbst in chemische Tätigkeit nicht zu kommen braucht; die Natur dieser Ursache ist uns aber gänzlich unbekannt. Ich habe dieser unbekannten Ursache einen Namen gegeben, um darüber mit größerer Leichtigkeit sprechen und schreiben zu können“²⁷. In der 5. Auflage seines Lehrbuches (Bd. 4, deutsch 1847) finden wir schließlich folgende — um eine Schattierung abweichende — Umschreibung des Begriffes: Katalyse: „Gewisse Körper üben durch ihre Berührung mit anderen einen solchen Einfluß auf diese aus, daß eine chemische Wirksamkeit entsteht, Verbindungen zerstört oder neue gebildet werden, ohne daß der Körper, dessen Gegenwart dies veranlaßt, im mindesten Anteil daran nimmt“²⁸.

Nachdem wir der Entstehungsgeschichte des Katalyse-Begriffes von Berzelius nachgegangen sind und erkannt haben, daß Berzelius vor allem als *Physiolog* und für die Physiologie zu seiner Begriffsbildung gekommen ist, sind wir auch in der Lage, Berzelius' *Stellung zur Theorie der Katalyse* zu würdigen.

Wir erinnern uns daran, daß seine *Definition* im wesentlichen rein *beschreibender Art* ist und daß dabei bewußt und absichtlich auf eine Erklärung, d. h. eine „Begreiflichmachung“ durch Zurückführung auf bekannte allgemeine Tatsachen verzichtet wird. Das entspricht ganz und gar der bedächtig abwägenden und zurückhaltenden Art von Berzelius, der zu oft wiederholten Malen vor einer vor-eiligen Aufstellung von Theorien für neue Erscheinungs-

gebiete gewarnt hat, da dadurch der Fortschritt der Wissenschaft gehemmt werde. So lesen wir 1840: „Ich erlaube mir aufs neue zu wiederholen, was ich schon so oft geäußert habe, daß man in der Wissenschaft durch scheinbare, zu frühzeitig gegebene Erklärungen immer verliert und daß die einzig richtige Methode, zu sicheren Kenntnissen zu kommen, darin besteht, daß man das Unbegreifliche unerklärt läßt, bis die Erklärung früher oder später aus Tatsachen von selbst hervorgeht, die so klar sind, daß geteilte Meinungen darüber kaum entstehen können“. Wenn so Berzelius jedes vorschnelle Theoretisieren streng ablehnt, so soll das aber nicht heißen, daß er sich nicht selber Gedanken über die eigentliche *Natur der katalytischen Vorgänge* gemacht habe. Er hat sich vielmehr sehr deutlich derartige Gedanken gemacht und hat vor allen Dingen auch sehr ausdrücklich zu den Vorstellungen, die sich andere über das Wesen der neuartigen Erscheinungen bildeten, Stellung genommen. Wir haben in dieser Beziehung bereits die Bemerkung kennengelernt, daß „dabei Elektrizität so wie bei jeder Affinitätsäußerung wirkend sei“, ein Ausdruck, der ohne weiteres verständlich wird, wenn man sich Berzelius' elektrochemische Lehre von der „Affinität als einer immer zwischen elektrisch polaren Bestandteilen wirkenden Kraft“ vor Augen hält. So heißt es denn auch schon in der Abhandlung von 1835 über die neue katalytische Kraft, daß es keineswegs beabsichtigt sei, „sie für ein von den elektrochemischen Beziehungen der Materie unabhängiges Vermögen zu erklären; im Gegenteil, ich kann nur vermuten, daß sie eine eigene Art der Äußerung von jenen sei“²⁹, die da bewirke, daß „Körper durch ihre bloße Gegenwart, und nicht durch ihre Verwandtschaft, die bei dieser Temperatur schlummern den Verwandtschaften zu erwecken vermögen, so daß zufolge derselben in einem zusammengesetzten Körper die Elemente sich in solchen anderen Verhältnissen ordnen, durch welche eine größere elektrochemische Neutralisierung hervorgebracht wird“. In unserer heutigen Ausdrucksweise aber heißt das, daß die katalytischen Vorgänge eine eigenartige — allerdings zunächst unerklärliche — Gruppe in der Gesamtheit der durch chemische Affinität hervorgerufenen stofflichen Umsetzungen bilden, und ferner, daß

katalytische Vorgänge immer nur zu *stabileren* Gebilden führen können (ein Gedanke, der später von Liebig ähnlich ausgesprochen worden ist)³⁰. Dieselbe Stellung zur Theorie kommt noch in der 5. Auflage des Lehrbuches der Chemie (deutsch ab 1843) zum Ausdruck, wo es über die katalytische Kraft — hier bemerkenswerterweise in dem Kapitel „Elektrizität“ — (Bd. 1, S. 112) heißt: „Sind unsere oben angeführten Ideen begründet, daß die chemischen Verbindungen von den elektrischen Beziehungen der Grundstoffe bedingt werden, so ist es klar, daß *diese katalytische Kraft in einem Einfluß auf die Polarität der Atome bestehen muß*, welche sie vermehrt, vermindert oder verändert, und daß sie also im Grund auf erregten elektrischen Verhältnissen beruht, von deren innerem Verlauf wir uns gegenwärtig keine wahrscheinliche Vorstellung machen können.“

Weitergehende Vermutungen über die eigentliche Natur des katalytischen Vorganges lehnt Berzelius durchweg ab. Hatte er schon früher betont, daß die starke Attraktions- oder Kondensationsfähigkeit fein verteilter Stoffe das neue Phänomen, also z. B. die spezifische starke Wirkung von Platin in vielen Fällen, nicht hinreichend verständlich mache, so erhebt er späterhin auch gegen andere Erklärungsweisen starke Bedenken, namentlich gegen die *Zwischenreaktionshypothese* von Döbereiner, Henry, de la Rive, Kuhlmann, Mercer u. a., wonach bestimmte mehr oder minder verborgene und durch schwache Affinitäten hervorgerufene Zwischenvorgänge (bei der Knallgaskatalyse z. B. dauernd abwechselnde Oxydation und Reduktion der katalysierenden Substanz) den katalytischen Mechanismus bewirken. Was er an dieser Erklärungsweise beanstandet, ist das Fehlen einer allgemeinen Anwendbarkeit auf alle Katalysen; so bleibe z. B. die Ätherbildung mit Schwefelsäure ungeklärt, ja schon bei der Platinkatalyse sei zu bemerken, daß Silber und Kupfer, die viel leichter oxydierbar seien, doch eine weit geringere katalytische Fähigkeit besitzen. Oder er sagt, daß de la Rive und Faraday irregegangen seien, indem sie versucht hätten, die Wirkungen der katalytischen Kraft „aus gewöhnlicheren und vorher bekannten Ursachen herzuleiten“ (Brief an Liebig vom 11. Dezember 1840).

Mit dieser Haltung von Berzelius steht eine eigentümliche Tatsache im Einklang (die seinerzeit schon Ostwald auffiel), nämlich, daß er diejenige Katalyse, an der zum allerersten Male ein *Verlauf über Zwischenvorgänge* sehr wahrscheinlich gemacht worden war: die alte Schwefelsäurekatalyse mittels Stickoxyd (Clément und Desormes 1806), an keiner einzigen Stelle als katalytischen Fall mit aufzählt. Tatsächlich existiert hier eine gewisse Enge des Blickfeldes, die beispielsweise Schweigger nicht geteilt hat, der schon 1824 ohne weiteres Döbereiners Beobachtung am Platin als gleichartig mit der Wirkung des Stickoxyds in jenem Falle bezeichnet hatte³¹. Dieser „Puritanismus“ (den Liebig übrigens geteilt hat) wird aus der ganzen theoretischen Einstellung von Berzelius mit seiner Auffassung über das Wesen des chemischen Verbindungsvorgangs verständlich. Hier mußte erst ein Schönbein mit seiner Vorstellung kommen, daß jeder chemische Vorgang (katalytischer und nicht-katalytischer Art) ein aus zahlreichen Akten bestehendes „Drama“ darstellt, von dem wir in der Regel nur Anfang und Ende sehen; erst dann fällt jede *vermeintliche Unverträglichkeit des Begriffes „Katalyse“ mit der Vorstellung eines Verlaufes über Zwischenstufen* ohne weiteres hin. Berzelius hat diesen Schritt nicht tun können; und erst der Fortsetzer seines katalytischen Werkes, Wilhelm Ostwald, hat um die Jahrhundertwende in voller Klarheit erkannt, daß die Katalyse über Zwischenvorgänge und Zwischenverbindungen verlaufen kann. Freilich hat er dieses „kann“ sehr stark betont, indem er erklärte, daß die bloße Auffindung solcher als Zwischenverbindungen zu denkender labiler Produkte nicht zur sicheren Konstatierung genügt, sondern daß ein *strenger Beweis* hierfür in jedem einzelnen Falle erst auf dem Messungswege möglich ist, d. h. durch Vergleich der Gesamtgeschwindigkeit des Vorgangs mit den Einzelgeschwindigkeiten der Partialreaktionen, an denen der Katalysator teilnimmt³².

Nachdem wir Berzelius' neue Definition der Katalyse mit ihrem derzeitigen Verzicht auf genauere Erklärung in ihrer Entstehung und Bedeutung kennengelernt haben, liegt es uns ob, die *Wirkung des Vorgehens von Berzelius auf seine Zeitgenossen* kurz zu schildern³³. Hier erregt es nun

bei der anerkannt hohen Stellung von Berzelius in der Fachwelt und der vorsichtigen Formulierung seiner *Definition* einige Verwunderung, daß das Echo nicht ungeteilter Beifall ist, sondern daß sich zu den mehr oder weniger freudig zustimmenden Äußerungen auch reichlich Stimmen der Kritik, ja sogar schroffer Ablehnung zugesellen. Zu denjenigen, die sofort den hohen Wert der neuen Definition anerkannten, gehören Döbereiner, der nur statt „katalytisch“ „metalytisch“ sagen möchte, und Berzelius' Freund und „Zweites Ich“, Wöhler in Göttingen, der als Übersetzer der Jahresberichte und des Lehrbuches natürlich schon sehr früh von der neuen Namengebung Kenntnis erlangt hat.

In einem Brief vom 6. November 1836 (dem Jahr des Erscheinens des denkwürdigen „Jahresberichts“ in Deutschland) berichtet Wöhler Berzelius erfreut über Resultate einer mit Liebig gemeinsam unternommenen Arbeit über das Amygdalin, bei der sich u. a. gezeigt hatte, daß das Amygdalin, ein wichtiger Bestandteil der bitteren Mandeln, „mit der zerquetschten Masse oder einer geseihten Emulsion von süßen Mandeln und Wasser digeriert“, bei der Destillation vollständig in „blausäurehaltig . Bittermandelöl“ (d. h. Benzaldehyd) verwandelt wird; eine gekochte Emulsion aber erzeuge keine Spur von flüchtigem Öl, und er fügt hinzu: „Dies sieht also ganz aus wie eine katalytische Wirkung, die vielleicht dem Eiweiß sowohl der bitteren als der süßen Mandeln angehört. Das Eiweiß könnte also hier wirken wie das Ferment auf den Zucker.“ In einem folgenden Briefe vom 21. November 1836 ist gesagt, daß das Resultat weiterer Arbeiten die Annahme von einer katalytischen Wirkung zu bestätigen scheine. dann aber würde das „eines der schönsten Beispiele von Katalyse werden“. Berzelius' Antwort vom 20. Dezember 1836 berührt seltsam. Nach der Beteuerung: „Deine Versuche über die Zersetzung des Amygdalins interessieren mich ganz unbeschreiblich“ fährt er fort: „Gott behüte, daß wir nur nicht anfangen, der katalytischen Kraft zu viel zuzumuten!“ Eine solche abweisende Äußerung, nachdem er ein Jahr zuvor seinen Hymnus auf die allumfassende Gewalt der Katalyse in der Natur angestimmt hatte! Wie erklärt sich das? Ist Berzelius anderen Sinnes gewor-

den, etwa gar irre an seinen eigenen früheren Behauptungen? Das kann doch nicht sein, sondern nach allem, was weiter folgt, haben wir es hier nur mit einer vorübergehenden Unsicherheit über die Tragweite der eigenen Leistung zu tun, wie solche wohl auch andere große Männer zeitweilig befallen kann. Wöhler läßt sich denn auch nicht beirren. In einem Briefe vom 12. Februar 1837 heißt es: „Jede Substanz der Art wie das Amygdalin scheint eben ihre besondere Substanz zu haben, die katalysierend auf sie wirkt, auf den Zucker das Ferment, auf die Stärke Diastas usw.“; am 18. Juni 1837 etwas resignierender: „Wir haben nun unsere Amygdalin-Abhandlung in die Welt geschickt, ohne daß wir herausgebracht haben, worin eigentlich die Wirkung des Emulsins auf das Amygdalin besteht“. In der von Wöhler mit Liebig zusammen veröffentlichten Arbeit (s. Lieb. Ann. 22. 22 von 1837) heißt es: „Die geringe Menge Emulsin, welche verhältnismäßig erforderlich ist, um das Zerfallen des Amygdalins hervorzubringen, sowie der ganze Vorgang dieser Zersetzung zeigen, daß man es mit keiner gewöhnlichen chemischen Wirkung hierbei zu tun hat; *eine gewisse Ähnlichkeit* besitzt sie mit der Wirkung der Hefe auf Zucker, welche Berzelius einer eigentümlichen Kraft, der katalytischen Kraft, zuschreibt.“ (Die vorsichtige Formulierung ist offenbar das Ergebnis eines Kompromisses mit Liebig, der den Ausdruck „katalytische Kraft“ ablehnt.) Immer noch verhält sich Berzelius in bezug auf die Anerkennung des neuen Katalyse-Falles sehr zurückhaltend, indem er das Wort „Katalyse“ in seiner brieflichen Kritik der Arbeit von Liebig und Wöhler nicht gebraucht. Erst im J.-B. 18 (1837/39) fällt endgültig die geübte Zurückhaltung, indem es daselbst von der Liebig-Wöhler-Arbeit als „der wichtigsten Arbeit des Jahres“ auf S. 346 heißt: „Das Pflanzeneiweiß, sowohl aus süßen wie aus bitteren Mandeln, Liebig und Wöhlers Emulsin, bewirkt eine Metamorphose des Amygdalins, *ganz und gar beruhend auf einer katalytischen Kraft*, die, sonderbar genug, weder das Eiweiß anderer Pflanzen, noch das tierische Albumin besitzt.“ Beiläufig bemerkt er indes, daß der Vorgang der gewöhnlichen Katalyse insofern doch nicht völlig gleicht, weil das Emulsin

am Schlusse nicht unverändert zurückzuerhalten ist, während sonst der katalysierende Körper an den chemischen Veränderungen selber nicht teilnimmt³⁴.

Wenn wir außer Döbereiner und Wöhler keine anderen Beispiele rückhaltloser Zustimmung zu Berzelius' Katalyse-Begriff anführen, so sind daraus keine Schlüsse auf ein Überwiegen ablehnender Stimmen zu ziehen; nur haben sich der Überlieferung die kritischen und abfälligen Äußerungen z. B. von de la Rive und Kuhlmann stärker eingeprägt. Dabei sind es, wie das in der wissenschaftlichen Welt vielfach zu geschehen pflegt, eigentlich Nebenumstände oder Beiläufigkeiten, gegen die mehr oder minder heftig Sturm gelaufen wurde, während die Hauptsache und das Wesentliche — die eigentliche Definition — davon kaum berührt wurde. Mit einigem Recht sagt darum Berzelius' Freund und Mitarbeiter Svanberg in Stockholm, der den letzten Band der Jahresberichte nach Berzelius' Tode herausgab, in seiner abschließenden Rückschau (J.-B. 28, 1847—49), daß „mehrfache Einwände gemacht wurden, welche sämtlich vorzüglich gegen die Katalyse als *Kraft* gerichtet, den Begriff der neueingeführten *Kraft* aus der Wissenschaft zu entfernen suchten. Der Streit galt also hier, gleichwie es oft der Fall ist, mehr dem Worte als der Sache“. Allerdings doch einem Worte, das seinen bestimmten Sinn hatte, indem mit der Bezeichnung „*Kraft*“ eine bestimmt wirkende Ursache angedeutet wird, was bei einer Beschränkung auf die Bezeichnung „katalytische *Erscheinung*“ nicht der Fall gewesen wäre.

Tatsächlich hat sich Berzelius mit der Formulierung „katalytische *Kraft*“ etwas zweideutig oder zum mindesten unvorsichtig geäußert, so daß die Vermutung aufkommen konnte, daß er an Stelle der in jener Zeit ins Wanken geratenen alten „Lebenskraft“³⁵ als eine neue „*vis occulta*“, als ein dinglich gedachtes neues *schaffendes Prinzip*, die Katalyse einführen wollte, was ihm, dem jeder unnötigen Spekulation abholden Forscher, gewiß ganz fern lag.

So richtete sich eine kritische Äußerung Schönbeins von 1838 ausschließlich gegen den Begriff der *Kraft*, indem er sagt: „Durch Aufstellung derartiger Hypothesen fördert man aber nach meiner Ansicht die Wissenschaft nicht, denn dieselben sind wohl nicht viel mehr als Masken, mit

denen wir unsere Unwissenheit zu bedecken suchen, als Eselsbrücken, von denen wir Gebrauch machen, wenn uns die geltenden Theorien im Stiche lassen und wir Wirkungen wahrnehmen, welche den von uns angenommenen Kräften nicht adäquat sind“³⁶. Später ist indes Schönbein zur vollen Würdigung von Berzelius' Absichten vorgedrungen.

Von Anfang an ablehnend hat sich jedoch Liebig verhalten, derselbe Liebig, dem Berzelius so früh von seiner Begriffsbildung Mitteilung gemacht hatte (s. S. 139), und der selber so viel schöne Beiträge zur Auffindung neuer Katalysen und zur Aufklärung bestehender geliefert hat. Auf Liebigs eigene Arbeiten zur Katalyse einzugehen ist hier nicht der Platz, doch muß zum Verständnis des Streites kurz an Liebigs *Auffassung über Kontaktvorgänge* erinnert werden³⁷. Liebigs Stellung zu diesen Dingen ist von Anfang an nicht so einheitlich und folgerichtig wie diejenige von Berzelius, doch kann man die Grundzüge folgendermaßen zeichnen³⁸: Neben den reinen Berührungswirkungen (z. B. Platin und Wasserstoffsperoxyd), die Liebig im allgemeinen doch anerkennt (und unerklärt läßt), hebt er (als *eigentliche Katalyse*) besonders hervor die „*Umwandlung durch Übertragung molekularer Erregung*“, indem er, an de Saussure anknüpfend und gegen Pasteur Stellung nehmend, seine Vorstellungen über den *Gärungsvorgang* zum Ausgang nicht nur einer neuen katalytischen Definition, sondern auch einer besonderen Erklärungsweise macht. Der Grundgedanke Liebigs ist der, daß ein Stoff, der selbst in einer Umwandlung begriffen ist (etwa das Enzym), *die gleiche oder eine ähnliche Umwandlung auch in einem anderen Stoffe hervorrufen* kann; das Ferment ist nicht als solches der Erreger der Gärung, sondern nur als Träger derjenigen Tätigkeit, die durch Übertragung die Zersetzung des Zuckers und anderer Stoffe hervorruft. Die gleiche Erscheinung erblickt Liebig z. B. in der Zersetzung von Wasserstoffsperoxyd und Oxyden wie Silberoxyd und Kupferoxyd, die selber dabei eine Umwandlung erfahren³⁹.

Wir wissen heute, daß Liebig mit dieser Definition mehr den Vorgang der stofflichen *Induktion* oder Kopplung von Reaktionen (Schönbein-Kessler) trifft als die eigentliche Katalyse des Berzelius, und daß er so den Kernpunkt dieser wirklichen „Katalyse“ nicht erfaßt hat. Hieraus,

zusammen mit dem Mißverständnis hinsichtlich Berzelius' „katalytischer Kraft“ erklärt sich die schroffe Stellung, die Liebig zuerst in einem von ihm 1837 für das Geiger-Jahrbuch bearbeiteten und Wöhler geschickten Artikel zeigt. Er sagt da, daß bei aller Würdigung des Umstandes, daß hier neue Erscheinungen vorliegen, dies dennoch „nicht den entferntesten Grund abgebe zur Schaffung einer neuen Kraft durch ein neues Wort, welches die Erscheinung ebenfalls nicht erklärt. Die Annahme dieser neuen Kraft ist der Entwicklung der Wissenschaft nachteilig, indem sie den menschlichen Geist scheinbar zufrieden stellt und auf diese Weise den weiteren Forschungen eine Grenze setzt.“ Liebig's Freund Wöhler in seiner ruhig überlegenden Art ist über diese Äußerung befremdet und schreibt in einem Briefe vom 30. Mai 1837: „Ich bin überzeugt, daß, wenn Du noch einmal im Jahresbericht Berzelius' Aufsatz über die Katalyse aufmerksam durchliest, Du finden wirst, daß er damit nicht mehr meint und will, als wir auch, daß er nur eine *Bezeichnung* für eine Gruppe von Erscheinungen geben wollte, die uns bis jetzt unerklärlich sind, und daß er so wenig wie wir an eine besondere Kraft glaubt.“ — Und nun — mit deutlicher Spitze gegen Liebig: „Das, was er mit Katalyse bezeichnet, jetzt in hypothetischer Voraussetzung wie die gewöhnlichen Zersetzungserscheinungen durch wechselweise Zersetzungen erklären zu wollen, wäre m. E. vollkommen so voreilig als wie die Annahme einer neuen Kraft“. Liebig hat sich durch die besonnenen Worte seines Freundes nicht belehren lassen, wie sein Brief vom 2. Juni 1837 zeigt: „Weißt Du denn nicht, daß die Esel, welche in Deutschland Bücher schreiben, seine katalytische Kraft, ohne zu prüfen, annehmen und unseren Kindern in den Kopf setzen werden, weil sie bequem und die Faulheit begünstigend ist? — Gibst Du nicht zu, daß die ganze Idee von der katalytischen Kraft falsch ist?“

Berzelius wendet in einem Briefe an Liebig vom 23. August 1839, an seiner Definition festhaltend, seinerseits gegen dessen katalytische Theorie und deren erneute Vertretung in dem Buche „Die organische Chemie angewandt auf Agrikultur und Physiologie“ (an anderer Stelle gekennzeichnet als „mit Genie geschrieben, aber voll glänzender Seifenblasen, die im Fluge platzen“) nachdrücklich ein, daß,

wenn bei Gärungs- und Fäulnisprozessen zum Schluß etwa die katalysierende Substanz nicht mehr anzutreffen sei, dies nicht auf eine gekoppelte Zersetzung durch „Zustandsmitteilung“ zurückgeführt werden müsse, sondern am allerwahrscheinlichsten darauf, daß der katalysierende Körper *unabhängig von seiner Wirkung auf das Substrat* durch die Affinitäten der eigenen Elemente nach und nach zerstört wird⁴⁰. Liebig's Antwort hierauf vom 5. September 1839 erscheint ausweichend; jedoch mit der deutlichen Scheidung: „Deine Katalysis ist der Ausdruck der Erscheinung; meine Theorie ist, wenn Du willst, eine entwickelte Katalyses“, und erst in einem Briefe vom 22. November 1840 wird von ihm eine Art „Konkordienformel“ gefunden, die aber auch den Nachteil derartiger Einigungsformeln bei doch nicht voll überwundenen sachlichen Gegensätzen zeigt: „In diesem Sinne habe ich in meinem Buche gegen die katalytische Kraft *als für sich existierende Kraft* gesprochen. Ich gebe mich der Hoffnung hin, daß wir in dieser Beziehung einerlei Meinung sind.“

Berzelius in seiner bekannten Hartnäckigkeit läßt diese Äußerung nicht als Schlußwort gelten, sondern antwortet darauf am 11. Dezember 1840 (in einem der letzten Briefe des — von einer kurzen Einladungskorrespondenz 1845 abgesehen — Ende 1843 abgebrochenen Briefwechsels), indem er sein „katalytisches Glaubensbekenntnis“ ausspricht. (s. S. 142).

Hiermit können wir die Polemik Liebig's gegen Berzelius schließen, die, obwohl noch in Freundschaft geführt, doch schon — zusammen mit weiterem zu Verstimmungen führenden Federkrieg⁴¹ — wie ein fernes Wetterleuchten über dem Freundschaftsbund erscheint⁴², der dann auch nach Jahren wechselnder Spannung um 1843 endgültig und unwiderruflich in völligem Zerwürfnis, auch persönlicher Art, enden sollte, ein betrübender Beleg dafür, daß auch Wissenschaftler von höchstem Gedankenflug, stärkstem Wahrheitsdrang und edelster Gesinnung sich schließlich nicht mehr verstehen, wenn Temperament, Arbeitsmethodik und spekulative Anlage allzu weit auseinandergehen; ganz entgegen der Forderung von Berzelius (Brief an L. vom 19. Dezember 1837), daß immer „die Meister der Wissenschaft Freunde sein müssen“. —

Zur vollen Würdigung des katalytischen Werkes von Berzelius war es nicht zu umgehen, den berühmten Katalyse-Streit mit Liebig etwas ausführlicher zu behandeln, und zwar besonders aus dem Grunde, weil gerade dieser Streit eine lange *Nachwirkung in der Entwicklung der chemischen Wissenschaft* gehabt hat. Nicht nur, daß zu Berzelius' Lebzeiten die Geister sich mehr als notwendig um die Streitfrage „Hie Liebig, hie Berzelius“ scharfen und daran erhitzen, auch in der Folgezeit hat nicht nur das Werk jedes der beiden Großen auf katalytischem Gebiet getrennt fortgewirkt (Liebig's Fermenttheorie besonders in der Reihe Nägeli, Stohmann, Böeseken u. a.), sondern auch zum Streit selbst ist in der Folgezeit immer wieder Stellung genommen worden.

Am schärfsten ergreift W. Ostwald gegen Liebig Partei. In seinem bekannten Katalyse-Vortrag von 1901⁴³ nennt er Liebig's Theorie der Übertragung molekularer Schwingungen eine der Prüfung unzugängliche und darum unfruchtbare Hypothese, durch die die ganze Angelegenheit auf ein totes Gleis gelangt sei, indem sie einer stetigen wissenschaftlichen Bearbeitung des einst mit so großem Eifer gepflegten Problems Abbruch getan habe. Im Gegensatz hierzu steht der Ausspruch eines anderen Großen, und zwar aus der neuesten Zeit, nämlich von Willstätter, der 1927 („Zur Lehre von den Katalysatoren“) die auf Erklärungsversuche verzichtende Definition von Berzelius für das baldige Nachlassen des Interesses an katalytischen Dingen verantwortlich macht. „Die Zurückhaltung von Berzelius wird auch heute noch oft gerühmt. Aber die Unterdrückung der hypothetischen Erklärung hat das Interesse für die Erscheinung eingeschränkt. Ja, gibt es denn eine einzig richtige Methode der Naturforschung, die Berzelius besessen und die Liebig gefehlt hat?“

Wer hat nun Recht? Ostwald oder Willstätter? Oder aber keiner von beiden? Vielleicht wird doch die historische Wahrheit darin bestehen, daß erstens bis ungefähr 1875 von einem Nachlassen der Beschäftigung mit Katalyse bei genauem Zusehen überhaupt gar nichts zu spüren ist, und daß zweitens in der Folgezeit die gerade durch Liebig und seine Zeitgenossen mächtig geförderte *organische Chemie* durch ein paar Jahrzehnte fast zur Alleinbeherrscherin

geworden ist, indem sie weitaus die meisten unter den Großen der Chemie voll in Anspruch nahm, so daß z. B. auch für die Katalyse nicht viel, d. h. nur eine dienende und untergeordnete Stellung übrig blieb, ein Zustand, dem erst das Emporwachsen der neuen physikalischen Chemie um die Jahrhundertwende ein Ende gemacht hat, in dem Sinne, daß fortan wieder eine besondere, planvolle und fruchtbare Beschäftigung auch mit dem Vorgang der Katalyse selbst eingesetzt hat.

Hiermit haben wir schon die Frage berührt, *welche Wirkung Berzelius' Lehre von Katalyse auf die Nachwelt ausgeübt hat* und ob sich diese Wirkung bis in die Gegenwart fortsetzt.

Wir wollen uns kurz fassen, indem wir zunächst die Frage offen lassen, in welcher Weise die Entwicklung der Katalyse in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts anders (d. h. ärmer?) verlaufen wäre, wenn Berzelius seinen Begriff der Katalyse der Welt nicht geschenkt hätte. Auf dem Boden der Tatsachen aber befinden wir uns, wenn wir feststellen, daß Berzelius' *Lehre von der Katalyse* — das Wort wurde dauernd beibehalten — um 1900 abgelöst worden ist von Wilhelm Ostwalds grundsätzlich tiefer gehender, weil Messungen ermöglichender und fordernder Definition, die im wesentlichen sagt, daß die Katalyse in der *Beschleunigung* eines auch ohne den Katalysator, wenngleich dann oft mit unmerklicher Geschwindigkeit, vor sich gehenden chemischen Vorganges durch die Gegenwart eines bestimmten Körpers besteht⁴⁴. Hiermit ist ein scharfer *Zeitbegriff* in die Lehre von der Katalyse eingeführt, der seinen Wert auch dann behält, wenn sich zeigen sollte, daß Ostwalds Definition doch eine gewisse Schwäche besitzt. Diese kann aber darin bestehen, daß mit dem Worte „Beschleunigung“ das Stattfinden einer bestimmten Reaktion ohne jeden Katalysator selbst in den Fällen vorausgesetzt wird, wo keine irgendwelche *Beobachtung* eine solche Reaktion ohne Katalysator erkennen läßt. Daß hier eine gewisse hypothetische Gewalttätigkeit vorliegt, hat Ostwald, der eingefleischte Hypothesenfeind, selbst gefunden, und er hat sich auf das logische Postulat zurückgezogen, daß jeder Vorgang, der thermodynamisch möglich ist, auch in irgendwelchem Maße, wenn auch nur

verschwindend gering, wirklich stattfindet. Der neuen katalytischen Theorie, die in unseren letzten Jahrzehnten sich stürmisch weiter entwickelt hat, kann es überlassen bleiben, hier eine endgültige Entscheidung zu treffen und gegebenenfalls die Ostwaldsche Definition durch eine neue zu ersetzen, die vielleicht darauf fußen könnte, daß der Katalysator neue Elementarakte schafft und dadurch ein neues Gesamtgeschehen von bestimmter Richtung und Geschwindigkeit verursacht⁴⁵.

Um jedoch auf Berzelius zurückzukommen, sei betont, daß die Schwäche der Ostwaldschen Definition da besonders zum Ausdruck gelangt, wo ein Katalysator *richtunggebend und reaktionslenkend* wirkt, eine Möglichkeit, die schon Berzelius für gegeben hingestellt hat und die heute als Wirklichkeit in der organischen Chemie und in der Biochemie eine Rolle spielt, von der sich Berzelius freilich nichts träumen lassen konnte.

Welche Bewandnis aber hat es mit dem Katalysator als einem richtunggebenden Faktor? Es gibt bekanntlich viele Fälle, in denen ein Abfall der freien Energie des chemischen Systems in verschiedener Weise und über verschiedene Wege stattfinden kann⁴⁶, so daß dann die von Berzelius schon in seiner Abhandlung von 1835 aufgeworfene Frage gilt, „ob ungleich katalysierende Körper von einem gewissen zusammengesetzten Körper *verschiedenartige katalytische Produkte* hervorbringen können?“ Diese Frage nach der Möglichkeit einer Reaktionslenkung mußte Berzelius vor 100 Jahren — so sehr er nach seinen *physiologischen* Äußerungen hiervon überzeugt war — noch experimentell unentschieden lassen, während uns heute ein Blick allein auf das System: $\text{CO} + \text{H}_2 + \text{Katalysator}$ mit seiner erdrückenden Fülle möglicher Reaktionsweisen und möglicher Produkte keinen Zweifel läßt, daß der Katalysator dem Effekt nach wirklich selektiv, d. h. auswählend und richtunggebend wirken kann und daß er, wenigstens im Gebiet des Organischen, sogar *in der Regel selektiv lenkend wirkt*, so daß dies praktisch zu seinem Hauptmerkmal wird, hinter dem das Merkmal der „Beschleunigung“ als etwas ziemlich Vages und Hypothetisches oft zurücktritt⁴⁷. Der Katalysator ist dann vor allem *ein Richtungsgebender Stoff*: eine Tatsache, die jeder präparativ arbei-

tende organische Chemiker heute kennt, die den chemischen Erfinder vor immer neue und reizvolle Einzelaufgaben stellt, und die dazu in der Biochemie und mehr und mehr auch in der Physiologie in einer immer wieder überraschenden Fülle von Erscheinungen zur Geltung kommt!

Hiermit aber ist angedeutet, in welcher Beziehung Berzelius noch heute in der Katalyse fortwirkt. Nicht mit seiner „katalytischen Kraft“, auch kaum mit der „Erweckung schlummernder Verwandtschaften“, sondern mit seinem seherischen Fernblick in die unendliche Fülle der katalytischen Erscheinungen, die das *Reich der Lebewelt* dem Forscher bietet⁴⁸. So werden wir schließlich wieder zu seiner Abhandlung von 1835 zurückgeführt, in der die verschiedenen anorganischen Kontaktreaktionen als einfacheres Gegenstück zu den komplizierteren Kontaktvorgängen in den Organismen hingestellt werden, indem gesagt wird: „Wenden wir uns nun mit dieser Idee (von der katalytischen Kraft) zu den chemischen Prozessen in der lebenden Natur, so geht uns hier ein ganz neues Licht auf“⁴⁹. Dieses Licht aber, das hier vor hundert Jahren aufgegangen ist, strahlt auch heute noch in vollem Glanze, und es ist belanglos, wenn einst Liebig in der neuen „vis occulta“ einen verkappten Vitalismus erblickte; hat er ja selber noch später von dem Ausdruck „Lebenskraft“ wiederholt Gebrauch gemacht, und kommt ja auch die heutige Biologie nicht ohne finale Ganzheitsbetrachtungen aus⁵⁰. Und indem gegen Ende seines Lebens (in seinem Lehrbuch Bd. 4, S. 53, 1847) Berzelius von dem Rätsel des Lebens redet, „welches wir niemals lösen werden“, fährt er fort: „Inzwischen erlauschen wir doch hie und da etwas von seinen Geheimnissen, und wie weit wir damit bei einer fleißigen Forschung in Zukunft kommen können, kann niemand voraussehen. Eines von diesen erlauschten Geheimnissen glauben wir in der Anwendung gefunden zu haben, welche die lebende Natur von der katalytischen Kraft zu machen scheint“.

Ich meine, diese Worte aus Berzelius' letzten Lebensjahren, die wir als eine Art *katalytisches Vermächtnis* anzusehen haben, sind gegenwärtig noch jung und frisch wie am ersten Tag; ja sie werden erst heute in dem Zeitalter

einer eifrigen wissenschaftlichen Erforschung der Enzyme, Vitamine, Hormone, Wuchsstoffe, Formbildungs- und Entwicklungsstoffe volles Verständnis und volle Würdigung finden können!

Anmerkungen:

1 Formulierung in der Abhandlung von 1835 (Jahresberichte 1834/36). — 2 Bedauerlicherweise fehlt auf deutsch immer noch eine große Biographie des Altmeisters Berzelius. Seine Leistungen werden behandelt und gewürdigt in Kopp, Geschichte der Chemie, I. Teil (Braunschweig 1843) S. 390–408. Kopp, Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit (München 1873). Soederbaum in Bugge, Buch der großen Chemiker (Berlin 1929) Bd. 1, S. 428. Soederbaum: Berzelius' Werden und Wachsen (1779–1821). In Kahlbaums Monographien aus der Geschichte der Chemie Bd. 3 (1899). Siehe auch Berzelius: Selbstbiograph. Aufzeichnungen (bis 1841), in denselben Monographien Bd. 7 (1903); Soederbaum, Berzelius-Biographie (schwedisch, in 3 Bd. 1929–1931). Eine reiche Quelle biographischen Materials fließt ferner in den teilweise auch in jenen Monographien erschienenen Berzelius-Briefwechseln mit Liebig, Wöhler, Schönbein u. a.; s. auch Gesamtbriefwechsel, in 6 Bänden, herausgegeben von Soederbaum (schwedisch); ferner P. Walden, Ztschr. f. angew. Chemie, 43, 325, 351, 366 (1930). — 3 S. Selbstbiographie. Das Abgangszeugnis der Schule lautete auf einen Jüngling „mit guten Anlagen, aber schlechten Sitten und zweifelhaften Hoffnungen“. (Vor allem als Folge verbotenen Schießgewehr-Gebrauchs bei vogelkundlichen Exkursionen.) — 4 „Das war (trotz Dalton) etwas tatsächlich zu Erweisendes und jetzt auch wirklich Erwiesenes“ (Kopp). Erstmals erschienen 1811 „Versuche, die bestimmten und einfachen Verhältnisse aufzufinden, nach welchen die Bestandteile der unorganischen Natur miteinander verbunden sind“ (Glib., Annalen der Physik 7 und 10). Bestimmend hierfür war gewesen die Abfassung eines geeigneten Lehrbuches für seine Schüler (1808 bis 1818 zunächst schwedisch erschienen, in deutscher Übersetzung von Wöhler zuerst 1821–1831), wobei sich ein starker Mangel an zuverlässigen Analysen der chemischen Verbindungen ergeben hatte, den B. durch eigene genaue Analysen (viele Tausende an der Zahl) im Anschluß an die wissenschaftlichen Vorarbeiten von Wenzel, Berthollet, Proust, J. B. Richter und Dalton abhelfen wollte. Einen Abschluß dieser Arbeiten über die bestimmten Proportionen, zusammen mit einer genauen Darstellung seiner elektrochemischen Theorie, enthält die Abhandlung von 1818 über „Die Theorie der chemischen Proportionen und über die chemischen Wirkungen der Elektrizität“. — 5 Schon 1811 hat B. die Auffassung entwickelt, daß jede chemische Verbindung auf der Ausgleichung entgegengesetzter Elektrizitäten beruht. — 6 Siehe Cordier, Die chemische Zeichensprache einst und jetzt (1928). — 7 Seit 1819 war Berzelius ständiger Sekretär der Schwedischen Akademie der Wissenschaften; auch aus dem Auslande hatte er bis 1835 schon die verschiedensten Ehrungen erfahren. — 8 Berzelius war damals zum Leiter der Stockholmer Sanitätsanstalten ernannt worden. — 9 Vgl. Selbstbiographie S. 98. — 10 In einem Briefe vom 26. Juni 1835 an seinen Schüler G. Magnus in Berlin heißt es: „Ich bin seit Ostern teils krank, teils Konvaleszent gewesen und bin es noch. Gicht, schlechter Appetit, mager geworden. Dabei war ich einer Nervenschwäche und etwas Hypochondrie unterworfen, wodurch ich so liebenswürdig geworden bin, meine Freunde und Freundinnen so liebe, daß die letzteren finden, ich sei viel besser als früher.“ Schon vorher (Brief vom 11. März 1834) — und nachher noch wiederholt — hat sich Berzelius mit einem alten Kutscher verglichen, der mit der Peitsche nur noch spielt, oder der sich freut, andere mit der Peitsche Knallen zu hören; und in einem Briefe an Liebig vom 3. Januar 1837 führt er als Alterserscheinung an, daß, wenn er eine Arbeit anfangt, er sich schon nach dem Resultat sehne.“ — 11 Jahresbericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften 15, 1834/36, d. h. über 1834, deutsch erschienen 1836, S. 237–245. Am 31. März 1835 ist dieser Jahresbericht von Berzelius der Schwedischen

Akademie der Wissenschaften übergeben worden, gesondert überlassen dann auch seinem Freunde Schumacher für den Erstlingsband von dessen Jahrbuch (S. 88–97). (Dieses „Jahrbuch für 1836“, Stuttgart und Tübingen, war vorwiegend astronomischen Inhaltes, mit Beiträgen von Berzelius, Bessel, Gauß, Moser, Olbers und Paucker). Die Ausführungen der Katalyse sind dann mit gleichem Wortlaut auch in Berzelius' Lehrbuch der Chemie 6. Aufl., Bd. 3, deutsch 1837, erschienen. ferner ist eine wortgetreue Übersetzung in den Ann. Chimie et Physique 1836, S. 146–151, enthalten. Als erste Veröffentlichung hat nach M. Speter (Chem.-Ztg. 1932, 561) das Erscheinen in Schumachers Berichten (in dessen eigener Übersetzung) zu gelten. — 12 Am 10. April 1835 bemerkte B. in einem Briefe an Liebig, daß mitten in die Arbeiten „über die verdammte Brenztraubensäure“, Januar und Februar 1835, die Beschäftigung mit dem Jahresbericht gefallen war. (So hatte auch im Jahre zuvor B. Mitte Februar für seinen Jahresbericht mit der vegetabilischen Chemie begonnen; Brief an Liebig vom 14. März 1834. — 13 In seinem Briefwechsel finden wir die erste Erwähnung katalytischer Dinge erst nachträglich, und zwar schon im Anschluß an die Namengebung „Katalyse“, s. S. 8. Im schwedischen Original wird von „en ny kraft“, „katalyska kraft“ gesprochen. — 14 Liebig hat 1829 nachgewiesen, daß das sogenannte „Platinsoxyd“ in Wirklichkeit fein verteiltes Platin (in der Regel verunreinigt) ist; Pogg. Ann. 17, 107 (1829). — 15 Bei seiner Reise zur Naturforschertagung in Berlin 1828 hatte Berzelius auch den (durch Geldmangel an Besuch jener Tagung verhinderten) Jenaer Chemieprofessor Dübener besucht, der nach B.'s Äußerung durch die Entdeckung mit dem Platinschwamm „berühmt geworden“ war. (In Weimar wurde auch der Berzelius von 1822 — in Eger — bereits bekannte „Dichter und Naturforscher Baron von Goethe“ aufgesucht.) — 16 Lehrbuch von 1833, 2. Aufl., und Pogg. Ann. 31, 273 (1834); s. auch abschließend Pogg. Ann. 53, 95 (1841). In einem Briefe an Mitscherlich vom 30. Okt. 1834 sagt B.: „Deine Abhandlung über die Bildung des Äthers enthält etwas, was Licht über vieles verbreitet.“ — 17 In bezug auf Mitscherlich's Erklärung der seit Jahrhunderten bekannten und geübten Ätherbildung aus Alkohol und Schwefelsäure sei nur bemerkt, daß diese bis dahin allgemein auf chemische Wasserentziehung zurückgeführt wurde und daß erst Mitscherlich den Nachweis einer „Kontaktwirkung“ erbrachte, indem er die Arbeitstemperatur so hoch und die Schwefelsäure so verdünnt wählte, daß das abgespaltene Wasser mit dem Äther als Destillat überging, eine einfache Wasserbindung an die Schwefelsäure also nicht in Frage kommen konnte. Schon vorher war auf die Rolle der „Äthylschwefelsäure“ als „Zwischenverbindung“ hingewiesen worden (Hennell 1828), und Liebig hat darum diese Reaktion ebenso wenig als katalytisch anerkennen wollen wie die Schwefelsäurebildung mittels Stickoxyd (vgl. S. 13). — 18 Es ist beachtlich, daß es hier heißt „in der neuen Auflage meines Lehrbuches“ und nicht „in dem neuen Jahresberichte“, so daß die Vermutung nahelegt, daß Berzelius den Artikel ursprünglich (etwa schon früher als Februar 1835?) für das Lehrbuch geschrieben und ihn seiner besonderen Bedeutung wegen — und zum rascheren Erscheinen — auch in die Jahresberichte aufgenommen hat. Als Teil des Lehrbuches erscheint er im 6. Band der dritten, umgearbeiteten und vermehrten deutschen Original-Auflage, 1837 aus der schwedischen Handschrift des Verfassers von Wöhler übersetzt. — 19 Der Name „Katalyse“ war bereits 1597 von Libavius in seiner „Alchymia“ gebraucht worden, allerdings in einem anderen Sinne (als „Zerstörung“, „Zersetzung“ in wörtlicher Übersetzung des griechischen Ausdrucks): siehe v. Lipmann, Zeitafeln zur Gesch. d. organ. Chemie Berlin 1921; auch Chem. Ztg. 53, 22 (1929); Berzelius selbst setzt den griechischen Ausdruck in Beziehung zu „dissolvo, destruo“; s. Brief an Mitscherlich vom 6. Juni 1838. — 20 Liebig's Antwort auf diesen Brief scheint verlorengegangen zu sein, bedauerlicherweise, da wir andernfalls seine augenblickliche Reaktion auf Berzelius' Begriffsbildung kennengelernt hätten! So erfahren wir aus Liebig's Briefwechsel nur, daß er sich über Berzelius' Beurteilung der Äthertheorie von Mitscherlich — die dieser später selber wieder aufgegeben habe — „stark geärgert“ hat (Wöhler an Liebig 7. Januar 1837 und Liebig an Berzelius 25. Februar 1837). —

21 Mit Vorliebe hat B. in der Jugend Physiologie getrieben (Brief an Liebig vom 8. Juni 1841); 1806 hatte er den ersten Band seiner „Vorlesungen über Tierchemie“ (eine chemische Physiologie) herausgegeben, die noch 1848 die Bewunderung von Wöhler erregte; die vegetabilische Chemie macht ihm „die elegante Seite der Wissenschaft aus“ (Brief an Liebig vom 14. März 1834); „die Tierchemie ist eine so schöne Wissenschaft“ (Brief an Wöhler vom 9. Juli 1830); die organische Chemie ist ihm „ein Meer, aus dem man ewig schöpfen kann“ (Brief an Magnus vom 17. Juni 1837), und ein Gebiet, in dem „ein Mann mit physiologischen Kenntnissen“ sehr viel leisten kann, und schließlich sind es auch im wesentlichen starke Differenzen physiologischer Betrachtungsweise gewesen, die ihn zur Entzweiung mit Liebig geführt haben, von dem er sagt, daß er „wohl niemals Anatomie und Physiologie studiert“ habe (Brief an Wöhler vom 29. März 1842). (Und doch hat im Grunde Liebig das physiologische Werk von Berzelius — mit Beziehung auf Chemie — da fortgeführt, wo es jener aufgegeben hatte! S. auch Liebig's Brief an B. vom 26. April 1840.) — 22 S. in dem Lehrbuch Bd. 6, 1837, Organische Chemie und Pflanzenchemie, z. B. Das Keimen und Wachsen der Pflanzen, der Saft und seine Bewegung, Verrichtung der Blätter, Befruchtung, Pflanzentod; oder im J. B. 1834/36 neben Physik und unorganische Chemie, Mineralogie, Geologie, Pflanzenchemie auch Tierchemie mit z. B. Einfluß der Elektrizität auf tierisches Leben. Versuche über das Atmen usw. — 23 S. v. Lippmann, Urzeugung und Lebenskraft (1933); Färber, Stoff und Form als Problem der biochemischen Forschung (Isis 1934); A. v. Weiberg, Tendenz im Weltgeschehen und exakte Naturwissenschaft (Senckenberg-Heft 1, 1926). — 24 Schon Thénard hatte 1818 die zersetzende Wirkung von Platin usw., sowie von Fibrin und verschiedenen Körpergeweben auf Wasserstoffsuperoxyd Vermutungsweise in Analogie gebracht mit tierischen und pflanzlichen Sekretionsvorgängen. („Serait-il déraisonnable de penser, que c'est par une force analogue qu'ont lieu toutes les sécrétions animales et végétales? Je ne l'imagine pas. L'on concevrait au-delà comme un organe, sans rien absorber, sans rien céder, peut constamment agir sur un liquide et le transformer en des produits nouveaux“). — 25 Wenn P. Wallen, Ztschr. angew. Ch. 40, 12 (1930) sagt: „Die vis vitalis verschwand nicht“, ohne vorher eine andere vis occulta, die katalytische Kraft, gleichsam als Stellvertreterin im lebenden Organismus geschaut zu haben“, so zeigt ein genaueres Zusehen, daß Berzelius doch nur einen Teil dessen, was bisher der Lebenskraft zugeschrieben worden war, auf die Rechnung der katalytischen Kraft übertrug, einen recht großen Rest aber nach wie vor noch der alten Lebenskraft hieß. Sehr lehrreich in dieser Beziehung ist der Bd. 6 des Lehrbuches, 1837, wo S. 26 Fortschritte wie die künstliche Erzeugung des Harnstoffes nur als die Gewinnung von Produkten erscheinen, die „auf der äußersten Grenze zwischen organischer und unorganischer Zusammensetzung stehen“, so daß diese „unvollständige Nachahmung doch zu unbedeutend ist, als daß wir jemals hoffen dürften, (wirklich) organische Stoffe künstlich hervorzubringen“. (S. auch P. Walden in einem Vortrag über Wöhler, Ztschr. angew. Ch. 41, 1096 [1929].) — 26 In einem Briefe an Magnus vom 6. August 1838 wird von den damals bearbeiteten „Indigoschwefelsäuren“ gesagt, daß sie durch katalytische Einwirkungen Veränderungen erleiden; auch ist beiläufig wieder von dem katalytischen Einfluß der organischen Gewebe die Rede. — 27 Ähnlich im Lehrb. d. Chemie 5. Aufl. 4 (1847): „Die katalytische Kraft ist von einer so eigentümlichen Art und so verschieden von dem gewöhnlichen Auftreten der elektrischen Kraft, daß sie wohl verdient, nach einem eigentümlichen Namen bezeichnet zu werden.“ — 28 Daß B. nach mehrfachem Schwanken hier schließlich dem Katalysator jede (sichtbare) Anteilnahme am Vorgang selbst schroff abspricht, erklärt sich wohl aus dem sich mehr und mehr steigenden Gegensatz zu Liebig's Lehre von der Katalyse, auf den wir noch einzugehen haben. — 29 In einem Briefe Schönbeins an Berzelius vom 28. März 1839 „kann er nicht umhin“ die Bemerkung zu machen, es scheine nach seinen Versuchen, „daß der chemische Verbindungsakt der Elemente nicht eingeleitet werde durch das Spiel elektrischer Kräfte, mit anderen Worten, daß Affinität und Elektrizität nicht dieselben Dinge seien, obwohl sie in gegenseitiger Abhängigkeit von-

einander stehen“. — 30 Nach heutiger Formulierung: daß nur thermodynamisch mögliche Reaktionen durch Katalysatoren hervorgerufen bzw. beschleunigt werden. — 31 Schweigg. Journ. 40, 1 (1824); ähnlich später Döbereiner, Zur Chemie des Platins 1836, S. 3, wo es heißt, daß die „mechanische Verbindung des Platins mit Sauerstoff“ bei der Oxydation des Alkohols zu Essigsäure, unter Rückbildung von „entsauerstofftem Platin“ die gleiche Rolle spiele wie das Stickoxyd mit seinem chemisch gebundenen Sauerstoff bei der Schwefelsäurebildung. Hier hat also das „chemische Gefühl“ einen Döbereiner und Schweigger sicherer geführt als einen Berzelius die begriffliche Definition. Besonders auffällig ist es, daß sogar Mitscherlich von dieser Schwefelsäurebildung (1841) sagt, daß „wenn eine Substanz sich mit einer anderen verbindet und diese dann an eine dritte überträgt, dabei etwas Ähnliches statthat wie bei der Verbindung durch Kontaktsubstanz“. Ganz offensichtlich hat also auch Mitscherlich, nachdem die Rolle der Äthylschwefelsäure als Zwischenverbindung bei der Ätherbildung hochwahrscheinlich geworden war (Hennell 1828, Liebig 1834), diesen seinen eigenen früheren Schulfall einer Kontaktreaktion nicht mehr als eigentliche „Umsetzung durch Kontakt“ anerkennen können! Und Wöhler schreibt an Liebig am 11. Januar 1842, er solle nicht glauben, daß seine Pietät gegen Berzelius, „so groß sie auch ist“, so weit gehe, daß er die Ätherbildung katalytisch erkläre! (Ja schließlich hätte sogar Berzelius, wenn er die Äthylschwefelsäure als Zwischenverbindung anerkannte, folgerichtig auch die Ätherbildung, die einst eine so große Rolle in seiner Begriffsentwicklung gespielt hatte, als Katalyse ableugnen müssen!) — 32 Katalyse-Vortrag von 1901, S. 14. Auf die eigentümliche, drei Jahrzehnte zuvor (1870) von Deacon geäußerte Anschauung, daß die Katalyse über Zwischenreaktionen gewissermaßen nur „in der Idee“ verlaufe, kann hier nicht eingegangen werden. — 33 Über die Stellung von Berzelius in der gesamten Entwicklung der katalytischen Theorie und Praxis des 19. Jahrhunderts vgl. Mittasch und Theis, von Davy und Döbereiner bis Deacon, Berlin 1932, sowie Mittasch, Über die Entwicklung der Theorie der Katalyse im 19. Jahrhundert, Naturwissenschaften 1933, 729 ff. — 34 Vgl. auch den S. 150 erwähnten Brief an Liebig vom 23. August 1839. (In dieser Hinsicht wechselt Berzelius' Standpunkt mehrfach, indem es bald heißt, daß der Katalysator nicht an der Veränderung teilnimmt, bald auch, daß er daran nicht teilzunehmen brauche! Vgl. auch Anm. 28). — 35 Berzelius 1827 (Lehrbuch): „Dieses Etwas, welches wir die Lebenskraft nennen, liegt gänzlich außerhalb der unorganischen Elemente und ist nicht eine ihrer ursprünglichen Eigenschaften.“ Liebig 1842 (Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie): Bei der Entwicklung von Samen und Ei „äußert sich die in Bewegung übergehende Kraft in einer Reihe von Formbildungen — . Die Kraft heißt Lebenskraft“. — „Nichts hindert uns, die Lebenskraft als eine besondere Eigenschaft zu betrachten, die gewissen Materien zukommt, und wahrnehmbar wird, wenn ihre Elementarteilchen zu einer gewissen Form zusammengetreten sind.“ Schleiden 1845: Die Lebenskraft — „ein Prinzip der faulen Vernunft“. — 36 Pogg. Ann. 43, (1838). — 37 Liebig, dem Berzelius vorwirft, daß er „allzu große Begierde habe, alles zu erklären“ (Brief an Magnus vom 6. August 1838) oder, „daß er mit dem Schaffen neuer Theorien etwas leichtsinnig umgehe“ (Brief an Magnus vom 9. November 1838), hatte auch hier sogleich das Bedürfnis einer genaueren Einreihung der Erscheinung in das Gesamtgebiet der Chemie empfunden. Vgl. auch die in humoristischer Verzerrung doch charakteristische Bemerkung in einem Briefe an Berzelius vom 22. Juli 1834: „Die schönsten Theorien werden durch die verdammtsten Versuche über den Haufen geworfen, es ist gar keine Freude mehr, Chemiker zu sein“. (Dagegen Berzelius am 11. Februar 1840: „Viel von dem, was wir 1840 nicht begreifen, wird in 1850 klar sein.“) — 38 Lieb. Ann. 30, 250 (1839) „Über die Erscheinungen der Gärung, Fäulnis und Verwesung und ihre Ursachen“. Ferner: Neuaufgabe des Geigerschen Handbuchs der Pharmazie (5. Aufl.), erschienen 1843, von Liebig bearbeitet ab 1837, S. 84; abschließend Lieb. Ann. 153, 1–47 und 137–228 (1870): Über die Gärung und die Quelle der Muskelkraft. — 39 Lieb. Ann. 30, 250 (1839). Hier tritt die Verkennung des eigentlichen Katalyse-Begriffes beson-

ders deutlich hervor. — 40 An anderer Stelle (Jahresber. 20, 455—56, 1839/41): „So bekommen wir nur eine scheinbare Erklärung, durch welche wir zu verstehen glauben, was wir nicht begriffen haben, und wodurch die Aufmerksamkeit von dem abgelenkt wird, was unerklärlich ist, und was dann um so viel länger unausgemittelt bleibt. In den Wissenschaften nicht mehr einsehen zu glauben, als was deutlich und klar einzusehen ist, und das übrige als Gegenstand der weiteren Forschung zu betrachten, ist eine Regel, von der man niemals abweichen sollte, deren Beobachtung aber gerade denjenigen am schwersten fällt, die mit lebhaftem Geist und reicher Einbildungskraft begabt sind.“ (Hinsichtlich der Bedeutung der Theorie s. auch die beherzigenswerten Worte, die Söderbaum in Bugge I, S. 444 wiedergibt.) — 41 „Der Teufel weiß, was zuweilen meine Feder vor hat.“ Liebig in einem Briefe an Berzelius vom 15. April 1838. Kurz zuvor, am 20. Februar 1838, hatte Berzelius L. beschworen: „Bester L., Sie müssen aufhören chemischer Scharfrichter zu sein.“ — 42 S. die erschütternden Worte resignierender Voraussicht, die Liebig in einem Briefe an B. vom 7. März 1838 nach einer Verteidigung seines Vorgehens in anderer Beziehung findet: „Man wird Ihnen sagen, daß ich ein Gegner der katalytischen Kraft bin, daß ich sie für die Entwicklung der Wissenschaft für nachteilig halte, weil ihre Annahme scheinbar den Geist befriedigt und den weiteren Forschungen eine Grenze setzt, alles dieses wird den Bruch herbeiführen und unvermeidlich machen. Ich sehe dies voraus und unterwerfe mich mit schwerem Herzen meinem Schicksale.“ Noch am 5. September 1839 aber schreibt L. in einem inhaltsreichen Briefe wieder: „Mein teurer väterlicher Freund! Ich bin Dein Sohn im Herzen, ich will es im Geiste sein.“ (In dem Briefe vom 23. August 1839 hatte B. Liebig das vertraute Du angeboten, trotz allem, was schon an Mißverständnissen vorausgegangen war.) Oder am 20. November 1840: „Neben Dir sind wir alle nur Sandkörner neben einem Felsen.“ Berzelius' ungerecht abkennende Kritik der physiologischen Arbeiten Liebigs hat dann 1843 das Verhältnis unhaltbar gemacht. „Warum willst Du Deinen Sohn verleugnen?“ (Liebig am 1. November 1843). Freilich, mit Wohlens Worten (vom 8. Mai 1844): „Jeder von Euch hat einen Anteil Schuld.“ — „Weinen möcht' man, bittere Tränen weinen!“ (W. am 21. Juli 1844.) — 43 Vortrag vor der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte 1901. Ähnlich in seinem Nobelpreisvortrag von 1909: „Bezüglich der Katalyse trat durch den Sieg, welchen Liebigs anschauliche, wenn auch nicht rationale Ansichten erzielten, eine fast völlige Stagnation ein.“ — 44 Erstmals von W. Ostwald in dieser einheitlichen Prägnanz ausgesprochen 1894: „Änderung des zeitlichen Verlaufes einer Reaktion“ (Verh. Sächs. Ak. d. Wissenschaften) bzw. „Beschleunigung eines langsam verlaufenden chemischen Vorganges durch die Gegenwart eines fremden Stoffes“ (Ztschr. für phys. Chemie 15, 705 [1894]). — 45 Der Begriff der Beschleunigung als eines Merkmales des katalytischen Vorganges erscheint schon sehr früh, begrifflicherweise aber ohne zunächst tieferen Eindruck zu machen. Sieht man davon ab, daß bereits die schöpferisch erzeugende Fähigkeit von Göttern und Dämonen — sowie Priestern und Zauberern — in der Interpretation mehrfach als „Beschleunigung“ gilt (s. von Lippmann, „Urzeugung und Lebenskraft“ sowie Chem. Ztg. 1929, S. 22), so tritt dieser Begriff der Beschleunigung in der Wissenschaft erstmalig auf bei de Saussure (1819), Reiset und Millon (1843) (Ann. chim. phys. B 8, 280, 1843) und Playfater (1848): hasten, accelerate; ferner Liebig (1866): „Vorgänge entstehen machen oder hervorrufen“. Ähnlich Horstmann (1885): „Vorgänge einleiten oder beschleunigen“; van't Hoff (1898): „Reaktion beschleunigen oder einleiten“; Wegscheider (1900): „Reaktionen ermöglichen oder beschleunigen“. Noch 1891, bei der Prägung des Wortes „Autokatalyse“, hatte Ostwald selbst den Katalysator dual definiert: „Stoffe, die Vorgänge hervorrufen oder beschleunigen.“ (Dagegen Nernst 1898 einheitlich: Eine Reaktion wird beschleunigt, „die auch ohne sie stattfinden könnte.“) — 46 Vgl. auch Ostwalds Stufenregel, sowie (im Anschluß an Schönbein) Wegscheiders Äußerung, daß „bei jeder chemischen Reaktion eine kontinuierliche Folge von Zwischenzuständen durchlaufen wird“, wobei der Katalysator „die Art der Zwischenzustände verändert“. — 47 Schon in der genannten Arbeit

von Reiset und Millon 1843, über die Zersetzung oder Oxydation verschiedener fester oder geschmolzener Stoffe bei erhöhter Temperatur wurde festgestellt, daß in Gegenwart von Katalysatoren (z. B. Platinschwamm mit Harnstoffnitrat) die Zersetzungsprodukte andere sein können, als wenn der reine Stoff allein erhitzt wird, und sie knüpften daran die bemerkenswerte Folgerung, daß neben dem beschleunigenden Einfluß des Stoffes (influence acceleratrice) für die katalytische Wirkung noch viel kennzeichnender sei ein besonderer Einfluß (influence speciale). Damit ist aber die Fähigkeit einer Reaktionslenkung als wesentliches Merkmal der Katalyse hingestellt. — 48 Der kritischen Betrachtung entgeht hierbei nicht, daß, wenn Berzelius von der katalytischen Kraft der organischen Gewebe in den Sekretionsorganen usw. spricht oder davon, daß in der lebenden Natur sich dauernd Tausende solcher Prozesse vollziehen, er nach dem Stand der damaligen Kenntnisse einen über die gegebenen Tatsachen hinausgehenden Satz ausspricht, der aber als Arbeitshypothese sich von überwältigender Fruchtbarkeit gezeigt und damit den Beweis seiner Richtigkeit erbracht hat. — 49 Es tritt immer wieder hervor, daß Berzelius im tiefsten Herzen Physiolog gewesen ist und als solcher den Gedanken der „katalytischen Kraft“ gefaßt hat, wobei er die Katalysen in der leblosen Natur im wesentlichen nur als Modelle für die Katalysen in der belebten Natur wertet. Vergl. Willstätter 1929: „Die unermessliche Zahl chemischer Reaktionen in den lebenden Zellen wird durch die organischen Katalysatoren nach Richtung und Geschwindigkeit geregelt. Leben ist das geregelte Zusammenwirken enzymatischer Vorgänge.“ — 50 Vergl. O. Köhler, Über Ganzheitsbetrachtung in der Biologie. Ber. Königsb. Ak. d. Wiss. 1933. Wundt, Sinnliche und übersinnliche Welt. 1913, S. 53 ff.

Nachbemerkung 1947: Wie sich in späteren Aufsätzen deutlich zeigen wird, ist auch die Bezeichnung „katalytische Kraft“ völlig einwandfrei, wenn man diese „Kraft“ den veranlassenden Auslöskräften von der Art der Willenskraft anstatt den arbeitleistenden Wirkkräften einordnet (siehe z. B. S. 285 ff.).

Über katalytische Verursachung im physiologischen Geschehen*

(Auch ein Berzelius-Gedenken).

„Wir bekommen begründeten Anlaß, zu vermuten, daß in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten vor sich gehen.“
Berzelius 1835.

1. SPEZIELLER TEIL

1. Berzelius als Schöpfer des Katalysebegriffes; Unzulänglichkeit der späteren Katalysedefinition von W. Ostwald für die Physiologie; wesentliche Merkmale der Katalyse und Verhältnis zur stofflichen Induktion durch Reaktionskopplung.

Vor hundert Jahren, als die bis dahin herrschende oberflächliche Auffassung der „Lebenskraft“ durch die Fortschritte der Wissenschaft, insbesondere der Chemie, ins Wanken geriet¹, war es ein schwedischer Forscher, der entschlossen einen großen Teil dessen, was bisher dieser Lebenskraft zugeschrieben worden war, auf eine *allgemeine chemische Erscheinung* oder „Kraft“ zurückführte, die auch im Reiche des Anorganischen bereits wirksam sei. Dieser Mann war Jakob Berzelius in Stockholm (1779—1848), Mediziner und Physiolog von Studium und Neigung her, zugleich einer der berühmtesten Chemiker seiner Zeit, der das „Gesetz der festen Gewichtsverhältnisse chemischer Verbindungen“ experimentell streng bewiesen und auch im übrigen der Chemie des Zeitalters vielfach neue Wege gewiesen hat.

Seit 1820 gab Berzelius regelmäßig „Jahresberichte über die Fortschritte der physischen Wissenschaften“ heraus, die sein Freund Fr. Wöhler in Göttingen ins Deutsche übersetzte. Nun war es etwa Februar 1835, daß er für den Jahresbericht über 1834 (deutsch erschienen 1836) am Anfang des Kapitels „Pflanzenchemie“ einen — bald berühmt gewordenen — Artikel schrieb über: „Einige Ideen über eine bei der Bildung organischer Verbindungen in der lebenden Natur wirksame, aber bisher nicht bemerkte Kraft“². Er gibt hier eine Zusammenstellung damals bereits bekannter, eigenartiger und kurz zuvor von E. Mit-

* Naturwissenschaften 23 (1935) 361—369, 377—383. Erweitert als Buch erschienen (s. Schrifttum S. 753).

scherlich als „Kontaktreaktionen“ bezeichneter Vorgänge, wie Döbereiners Entzündung von Knallgas durch Platin und Thénards Zersetzung von Wasserstoffsperoxyd durch Platin usw., und bezeichnet diese als *wesensgleich* mit gewissen Vorgängen in der organischen oder lebenden Natur, wie denjenigen der Vergärung von Zucker zu Alkohol durch Hefe, oder dem Vorgang in den Wurzelknollen der Kartoffel, wo das in den „Augen“ enthaltene „Diastas“ (Name von Payen und Persoz 1833) rechtzeitig die Kartoffelstärke in löslichen Zucker für die hervorsprossenden Keime umwandelt. Diese Erscheinung kommt, wie Berzelius sagt, durch die „katalytische Kraft“ zustande, die darin besteht, daß „Körper durch ihre bloße Gegenwart chemische Tätigkeiten hervorrufen, die ohne sie nicht stattfinden“, eine Kraft, die, im Anorganischen bereits anhebend, im Reich des Lebendigen zu ihrer vollsten Entfaltung gelangt. Wir bekommen, sagt er, „begründeten Anlaß, zu vermuten, daß in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten vor sich gehen“ und daß auf diese Weise aus dem *einen* Pflanzensaft oder Blut eine Unmenge verschiedener chemischer Verbindungen hervorgeht, vor allem in den tierischen Sekretionsorganen, die so Milch, Galle, Harn usw. erzeugen³. Diesen Gedanken hat Berzelius breit ausgeführt — nach den heutigen physiologischen Kenntnissen allerdings etwas „simplistisch“ — und nochmals noch oft eindringlich und in mannigfacher Abwandlung wiederholt, und zwar unter *Ablehnung jeder Erklärung*, außer der allgemeinen Voraussetzung, daß es sich auch hier nicht um etwas ganz außerhalb der Chemie Stehendes handle, sondern um eine besondere Betätigungsweise der gewöhnlichen chemischen Verwandtschaft.

Mit einem neuen Namen und einer Real-Definition hat so Berzelius als Chemiker und Physiolog in glücklicher Weise eine Anzahl Erscheinungen auf dem Gebiet des Anorganischen und auf dem Gebiet der lebenden Organismen zusammengefaßt⁴ und den Ausgangspunkt geschaffen für eine fruchtbare Entwicklung der gewöhnlichen Katalyse einerseits, der Enzymkatalyse andererseits. Wir wissen, welch hohen Stand diese Entwicklung in unseren Tagen erreicht hat, und es ist wohl sicher, daß Berzelius, wenn

er sehen könnte, was Chemiker und Physiologen auf dem Gebiet der homogenen und heterogenen Katalyse in den vergangenen hundert Jahren vorwärtsgebracht haben, damit recht zufrieden sein würde.

Und dennoch würde er, glaube ich, über einen Umstand verwundert sein, nämlich darüber, daß seine *Namengebung noch heute in Physiologie und Biologie nicht konsequent auf alle Erscheinungen angewendet wird, für die seine Definition zutrifft*, sondern daß eine gewisse Scheu sichtbar wird, über Enzyme und (eventuell) Hormone hinaus den Ausdruck „Katalysator“ auch auf weitere chemische Körper anzuwenden, die gleichfalls im Organismus durch ihre „bloße Gegenwart“ chemische Tätigkeiten mit physiologischer Wirkung hervorrufen, indem sie etwa Zellen zum Wachsen oder Teilen anregen oder Formbildungen verursachen, oder als Erbfaktoren in die Entwicklung des Individuums aus dem Keim chemisch lenkend und steuernd, fördernd und hemmend eingreifen; hier überall würde, wie ich meine, Berzelius den Ausdruck „Katalyse“ angewendet wissen wollen.

Zum Teil ist die Zurückhaltung wohl zurückzuführen auf die Katalysedefinition, die Wilhelm Ostwald um die Jahrhundertwende an Stelle derjenigen von Berzelius gesetzt hat und die besagt, daß der Katalysator durch seine Gegenwart nicht einen chemischen Vorgang neu hervorruft und ermöglicht, sondern einen mit geringer oder geringster Reaktionsgeschwindigkeit schon stattfindenden Vorgang — Synthese oder Spaltung, Reaktion und Gegenreaktion — *beschleunigt*. Wenn sich diese Definition durch die Einführung des Zeitbegriffes in den letzten Jahrzehnten sehr fruchtbar für die katalytische Forschung gezeigt hat, so darf doch nicht übersehen werden, daß sie einseitig ist, indem es ja neben denjenigen Reaktionen, für die Ostwalds Definition ohne weiteres zutrifft (z. B. Beschleunigung der Sulfitoxydation durch die Gegenwart von Kupfer), unzählige andere chemische Reaktionen gibt, die, obwohl theoretisch möglich, doch niemals auch nur spurenweise in Abwesenheit von Katalysatoren *beobachtet* worden sind, sondern überhaupt nur in Gegenwart von Fremdstoffen vor sich gehen; hier aber verliert Ostwalds Definition den realen Boden und wird zum Formalismus⁵. Besonders deut-

lich tritt das in den zahlreichen Fällen zutage, wo die freie Energie eines Systems in verschiedener Art, Richtung und Abstufung abfällt, die Reaktion also *verschiedene Wege* gehen kann. Als ein Beispiel von vielen sei das System Kohlenoxyd und Wasserstoff genannt, aus dem bei passenden Temperaturen und Drucken, je nach der Natur des Katalysators, neben Wasser entstehen kann: Methan oder Methylalkohol oder höhere Alkohole oder flüssige Kohlenwasserstoffe verschiedenster Art usw., oftmals nicht einzeln für sich, sondern in mannigfacher Mischung. Ein Nickelkatalysator ruft nur die Bildung von Methan hervor, ein Zinkoxyd-Chromoxyd-Katalysator die von praktisch reinem Methylalkohol; ohne Katalysator aber wird durchaus keinerlei Einwirkung beobachtet, so daß hier Ostwalds Definition willkürlich und unangebracht erscheint und wir — wenigstens im Reich des Organischen — besser zu der alten Auffassung eines Berzelius zurückkehren, der von „*Hervorrufung*“ spricht* und auch schon an die Möglichkeit einer katalytischen „*Reaktionslenkung*“ gedacht hat⁶.

Noch schwerer ins Gewicht fällt vielleicht als weitere Hemmung für eine allgemeinere Anwendung des Ausdrucks „Katalyse“ in Physiologie und Biologie eine gewisse Fremdheit des Gedankens, daß durch Katalyse nicht nur in bestimmter Reaktion ein chemischer Stoff, sondern auch in bestimmter *Reaktionsfolge* eine stoffliche *Gestaltung* entstehen kann. Hierzu ist zu sagen, daß zweifellos die von Hormonen usw. hervorgerufenen Reaktionsfolgen etwas Neues darstellen, das in gewöhnlichen katalytischen (auch enzymatischen) Reaktionen kein unmittelbares Gegenstück hat. Immerhin wird es sich nicht um Wesensunterschiede, sondern nur um Unterschiede quantitativer Art handeln, indem ja schon jede „einfache“ chemische Reaktion (katalytischer oder nichtkatalytischer Art) sich bei näherem Zusehen als eine Nacheinander-Ganzheit einfacherer Bestandteile entpuppt, und dazu in der präparativen und technischen Katalyse bereits zahlreiche Fälle bekannt sind, daß katalytisch erzeugte Primärprodukte durch längeres Verweilen bzw. durch neue katalytische Einflüsse in kom-

* Zusatz 1947: Bemerkenswerterweise kehrt Ostwald selber in seinem Vortrag „Chemie und Biologie“ (1903) zu der alten dualen Definition der Katalyse wieder zurück: „hervorrufen und beschleunigen“.

pliziertere Gebilde übergehen; als Beispiel seien gewisse höhermolekulare Verbindungen (mit 10 Atomen C und darüber) genannt, die aus Kohlenoxyd und Wasserstoff im gleichen katalytischen Gang sekundär entstehen können⁷.

Hat man sich so einerseits von der Vorstellung befreit, daß eine sichtliche *Beschleunigung* das wesentliche Merkmal der Katalyse sei, und ist man sich andererseits bewußt, daß auch verwickelte Reaktionsfolgen katalytisch erregt werden können, so stellt sich als eigentlich wesentliches Merkmal der Katalyse ein *scheinbares quantitatives Mißverhältnis von Ursache und Wirkung* dar, indem die Menge der hervorgerufenen Reaktionsprodukte in keinem stöchiometrischen Verhältnis zu der Katalysatormenge steht, sondern diese gewichtsmäßig schließlich um das Vieltausendfache übertreffen kann⁸. Der Eisenkatalysator der Ammoniaksynthese erzeugt Tag für Tag, ja Monat für Monat Ammoniak und erschöpft sich schließlich nur durch Nebenumstände, wie Verschmutzung oder Vergiftung (durch Spuren schädlicher Fremdstoffe), oder durch Sinterung (Alterung). Absolut unveränderlich und unverwüstlich braucht der Katalysator nicht zu sein, und schon Berzelius hat darauf hingewiesen, daß insbesondere organisch-chemische Katalysatoren, die in den Lebewesen ihre Wirkung entfalten, „durch die Affinitäten der eigenen Elemente, unabhängig von ihrer Wirkung auf das Substrat“ (die umzusetzenden Stoffe), umgewandelt und zerstört werden können; eine „Dauerwirkung“ ist also nicht wesentliches Merkmal des Katalysators und der Katalyse.

Sind in einem System verschiedene Reaktionswege möglich, so wird, wie bereits erwähnt, unter der Einwirkung des Katalysators der eine oder andere beschritten, oder, wie wir es kurz nach dem Bilde menschlicher Tätigkeit bezeichnen — da wir mit der Sprache doch nicht über solche Bilder hinwegkommen —: der Katalysator wirkt „auswählend, richtend, lenkend, steuernd“. Ganz allgemein ist die Katalysatorwirkung mehr oder minder *spezifischer* Art, indem ein bestimmter Katalysator nur bestimmte Reaktionen katalysiert und ein bestimmter Vorgang in der Regel nur durch bestimmte Katalysatoren überhaupt und durch ganz wenige am besten katalysiert und praktisch ermöglicht wird; in der präparativen und technischen Che-

mie ist so bei neuen Katalysen regelmäßig die Aufgabe gestellt, den allerbesten, wirksamsten und dauerhaftesten Katalysator aufzufinden. Sind zwei oder mehr Stoffe gleichzeitig vorhanden, die katalytisch wirken können, so findet nur ausnahmsweise eine einfache Summation statt; oft tritt durch „Synergie“ oder „Aktivierung“ (einseitige oder wechselseitige) eine eigenartige und überraschende *Mehr- oder Neuwirkung des Mehrstoffkatalysators* auf, so daß sich Gemische katalytisch oft „wie neue Verbindungen verhalten“ (Willstätter)⁹.

Dabei ist in der Definition von Berzelius wie in derjenigen von Ostwald offen gelassen, durch welchen *Reaktionsmechanismus* die Katalyse bewirkt wird, und das ist gut so, da grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten vorhanden sind. Dennoch hat sich in weitaus den meisten der untersuchten Fälle gezeigt, daß der Katalysator in der Weise arbeitet, daß er „seine eigenen Reaktionen zu denjenigen der anderen Stoffe hinzugefügt“ (Trautz) und dadurch die Entstehung neuer Elementarakte und neuer kurzlebiger „Zwischenverbindungen“ ermöglicht, die zu einem neuen Gesamtgeschehen führen („Zwischenreaktionstheorie“). Oder bildlich gesprochen: Der Katalysator wickelt sich in Reaktionsteilnehmer ein und wird, nachdem er diese verändert, d. h. gespalten oder verbunden hat, sofort wieder ausgewickelt, worauf, wenn neues Substrat vorhanden ist, in rhythmisch-oszillierendem Spiel langandauernd der gleiche Wechsel stattfinden kann.

In den Zeiten des Berzelius begann auch schon eine Erscheinung bekannt zu werden, die, der Katalyse nahestehend und gleichfalls im physiologischen Geschehen eine bedeutende Rolle spielend, sich doch in einem wichtigen Merkmal davon unterscheidet: Die *stoffliche Induktion durch Reaktionskopplung*¹⁰. Von einer solchen redet man, wenn der erregende Körper von der erregten Reaktion selbst allmählich aufgebraucht wird, wenn also z. B. der Sauerstoff, der eine Oxydation bewirkt (als „Aktor“ oder „Donator“) anteilig an den zu oxydierenden Stoff (als „Acceptor“) und an den erregenden Stoff, den Induktor (dem Katalysator vergleichbar) geht. So einfach diese Unterscheidung begrifflich erscheint, so schwierig ist es oft, namentlich im Reiche des Organischen, im Einzelfall zu

entscheiden, ob Katalyse oder Induktion vorliegt, zumal da auch breite Übergangsgebiete existieren, und man wird gut tun, unklare Fälle solange als „Katalyse“ zu bezeichnen, bis sich deutlich etwa die Merkmale der Induktion herausstellen. Dabei gewährt — während Katalyse und Kettenreaktion im ganzen energetisch indifferent sind — die Induktion den Vorteil besonders sparsamer Energie-wirtschaft im Organismus, indem die von der induzierenden Reaktion entwickelte Energie durch Kopplung auf einen in der Regel für sich nicht freiwillig verlaufenden Vorgang übertragen und dieser so (auch theoretisch) erst ermöglicht wird.

Die Gesamtheit stofflicher Umsetzungen läßt sich durch folgendes Schema darstellen, nach welchem Reaktionen hervorgerufen werden können:

A. Durch bloßes räumliches Zusammenbringen unter bestimmten Bedingungen von Temperatur und Druck: Gewöhnliche chemische Reaktionen exo- und endothermischer Art.

B. Durch fremdenergetische Hilfsmittel.

1. Die Energie leistet dauernd Arbeit: z. B. Elektrolyse, Photoassimilation von CO_2 mit „Sensibilisatoren“ (Chlorophyll u. dgl.).

2. Die Energie wirkt nur kurz als Anstoß oder „Auslösung“: z. B. Explosion durch den elektrischen Funken; Lichtzündung von Chlorknallgas, die ausgedehnte Kettenreaktionen zur Folge hat (Bunsens „photochemische Induktion“).

C. Durch stoffliche Hilfsmittel.

1. Der Stoff wird durch den Vorgang nicht verbraucht: Katalyse.

2. Der Stoff wird durch den Vorgang selbst anteilig verbraucht: Stoffliche Induktion, verbunden mit einer Verwertung der Reaktionsenergie der induzierenden Reaktion.

2. Biokatalysatoren verschiedener Art: Enzyme, Hormone, Vitamine, Wuchsstoffe; Organisatoren und Erbfaktoren.

Wir können nunmehr das *Gebiet der Biokatalysatoren* im Zeichen von Berzelius' Katalysedefinition kurz durchschreiten, nachdem wir vorher noch in Erinnerung gerufen haben, daß schon im Reiche der anorganischen Natur und

der chemischen Technik nicht nur Hunderte, sondern Tausende der verschiedenartigsten chemischen Stoffe (Elemente und Verbindungen) als Katalysatoren eine Rolle spielen, und daß ein geregelter Ablauf des Geschehens schon hier unmöglich wäre ohne die „Reaktionswiderstände“ einerseits, die einem plötzlichen Ablauf aller Reaktionen hindernd im Wege stehen, und ohne die Katalysatoren andererseits, welche diese Widerstände besiegen. Wieviel mehr gilt dies für das Reich der Lebewesen, das ohne die steuernde Tätigkeit der Katalyse ganz undenkbar wäre!“ Für diese Katalyse aber legen wir — Berzelius und Ostwald gewissermaßen in einer Bindeformel vereinigend — den Begriff zugrunde, daß *der Katalysator, ohne selber im Endprodukt zu erscheinen, chemische Reaktionen und Reaktionsfolgen nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmt.*

Wir beginnen mit den *Enzymen*. Über dieses ungeheuer ausgedehnte Gebiet können wir uns sehr kurz fassen, da hinsichtlich der Fermente oder „Enzyme“ (Kühne 1878) seit den Tagen eines Berzelius kein Zweifel besteht, daß hier wirkliche Katalysatoren — und zwar im mikroheterogenen System als „Mikrokontakte“ — vorliegen¹². Für das strittige Merkmal der „Beschleunigung“ gilt allerdings deutlich das oben schon allgemein Gesagte, indem solche Reaktionen, welche in der Natur als Enzymprozesse ablaufen, *nur selten auch in Abwesenheit von Katalysatoren durchgeführt zu werden vermögen*, dafür tritt um so deutlicher hervor das anerkannte Hauptmerkmal einer überragenden und andauernden Wirkung auch kleinster Mengen, sowie ganz besonders eine scharfe Selektivität des Vorganges und Spezifität der Wirkung, und schließlich auch das schon im Anorganischen zu findende *ganzheitliche Zusammenwirken* verschiedener Stoffe („Hilfsstoffe“ und Co-Enzyme; Aktivatoren und Paralytoren).

Bei aller weit vorgeschrittenen Systematik der Enzyme nach Funktion und Bedeutung bestehen immer noch große methodische Schwierigkeiten hinsichtlich der *Isolierung der Enzyme* und dementsprechend auch der *Aufklärung* ihrer chemischen Natur, um die sich vor allem Willstätter jahrzehntelang bemüht hat, doch scheint es sich oftmals um spezifisch wirkende organische Verbindungen („Wirkungsgruppen“, beim Atmungsferment z. B. mit einem entschei-

denden Eisengehalt) auf besonderen kolloidalen Trägern zu handeln (ähnlich wie auch in der technischen Chemie die Katalysatoren vielfach auf einen „Träger“ mit großer Oberfläche als Adsorbens aufgebracht werden: Platinasbest usw.¹³). Hinsichtlich der *Theorie* der Enzymwirkung herrscht heute eine enge Beziehung zur allgemeinen katalytischen Theorie, indem sich nach Willstätter „keine Erklärung so fruchtbar und befriedigend gezeigt hat, wie die Annahme einer intermediären Bildung von Additionsverbindungen von Katalysator und Substrat“. Eine Menge wertvoller Arbeiten existieren über die engen Beziehungen der Fermente zu „gewöhnlichen“, insbesondere organischen Katalysatoren, angefangen von Schönbein um 1860 und Bredig 1901 bis zu den bedeutsamen neueren Arbeiten von Langenbeck und den Feststellungen über asymmetrische Synthesen, durch entsprechend aufgebaute Katalysatoren (Fajans, Bredig, G. M. Schwab u. a.)¹⁴. An das Enzymgebiet schließt sich das zahlreiche katalytische Momente aufweisende Gebiet der *Immunitätsforschung* an, mit seinen Antigenen, Schleppern und Antikörpern, Ambozeptoren und Komplementen.

Die Frage, ob Katalyse oder nicht, beginnt in dem ausgedehnten Gebiet der *Hormone, Vitamine, Wuchsstoffe* und dgl. Vorhanden ist auch hier die durchaus spezifische Wirkung des Agens, sowie das „Mißverhältnis“ der geringen Stoffmengen zu der Größe der erreichten Wirkung, das sichtlich Berzelius zu seiner Gleichstellung: Sekretionsorgan = katalytisches Organ bewogen hat; im übrigen aber welche großen Unterschiede gegen die Enzyme: dort in zahlreichen Fällen schon klargelegter Reaktionsverlauf mit eindeutiger chemischer Charakteristik, hier ein unübersichtliches kompliziertes Geschehen, das im wesentlichen nur mittels biologischer Teste verfolgt werden kann; dort eine bestimmte chemische Verbindung als Endprodukt, hier schließlich ein histologischer oder morphologischer Endeffekt (z. B. durch Sexualhormone bedingte sekundäre Geschlechtsmerkmale), der erst durch ein Zusammenwirken zahlreicher chemischer und physikalischer Momente zustande kommen kann!

Die *Hormone* (Starling 1905), die in endokrinen Drüsen erzeugten Regler und Sendboten des Lebens, zur chemischen Steuerung der Funktionen vor allem im tierischen

Organismus, in bezug auf Beständigkeit den Enzymen im allgemeinen überlegen, sind hinsichtlich Konstitution und Wirkungsweise schon weitgehend erforscht und teilweise auch bereits synthetisiert; gegenüber den Enzymstoffen erscheinen sie konstitutionell einfacher, funktionell verwickelter. Ähnliches gilt für die *Vitamine*, die überwiegend im pflanzlichen Organismus gebildet werden, zu Hormonen und Fermenten aber (gleichwie auch zu anderen wertvollen Stoffen des pflanzlichen und tierischen Organismus) in engen verwandtschaftlichen Beziehungen stehen¹⁵. Zu ihnen gesellen sich die bedeutsamen *Wuchsstoffe*, die der Zellstreckung und Zellteilung (z. B. Phytohormon „Biotin“) dienen und die zusammen mit Enzymen die Wachstumsvorgänge in Pflanzen lenken und regeln. Die stoffliche Natur einzelner „Wuchsfaktoren“ konnte bereits durch Identifizierung mit bekannten chemischen Verbindungen einwandfrei nachgewiesen werden, so der Wuchsstoff Hetero-Auxin als β -Indolyllessigsäure und „Bios I“ als meso-Inosit. Hierher gehören auch noch besondere *wurzelbildende Stoffe* (Went, Laibach)¹⁶.

An der stofflichen Natur aller dieser „Faktoren“, „Agenzien“, „Induktoren“, „Aktivatoren“, „Regler oder Anreger, Antreiber, Ankurbler und Bremser“ und wie sie sonst noch genannt werden, wird nicht gezweifelt, ebenso nicht an der Wirkung schon kleinster Mengen als lenkender „Prinzipien“, und wenn trotzdem auf dem ganzen Gebiet mit dem Ausdruck „Katalysator“ so auffällig sparsam umgegangen wird, so ist das teilweise sicher dem Ostwaldschen Katalysebegriff mit seinem für die Physiologie wenig fruchtbaren „Beschleunigungs“-Merkmal zuzuschreiben. Betrachten wir dagegen den Katalysator als einen Reaktionen hervorrufenden und lenkenden „Botenstoff“, so sollten alle Hemmungen bezüglich eines ausgedehnteren Gebrauches des Wortes „Biokatalysator“ für die die physiologischen Reaktionsfolgen in Gang setzenden Hormone usw. hinfallen, wobei man sich nur von Anfang an, hier wie anderwärts, bewußt sein muß, daß außer den Katalysatoren selbst auch „Muttersubstanzen“ solcher in Betracht kommen, so wie bei der Ammoniakkatalyse der Katalysator Eisenmetall aus der Muttersubstanz Eisenoxyd hervorgeht. Keineswegs aber sollte der Umstand, daß oft „weder das chemische

Ausgangsmaterial noch das entstehende Reaktionsprodukt¹⁷ stofflich genau bekannt ist (Eichholtz)¹⁷ und daß die bei „gewöhnlicher“ und bei Enzym-Katalyse zu beobachtenden „einfachen“ chemischen Wirkungen hier komplizierteren Effekten Platz machen, von dem Gebrauch des Begriffes „Biokatalysator“, zum mindesten als Arbeitshypothese, abhalten

Den Hormonen schließen sich ohne weiteres die analoge Wirkungen zeigenden Organisatoren oder „Formbildungsfaktoren“ an. Von Spemann, Holtfreter, F. G. Fischer u. a. ist festgestellt worden, daß in bestimmten Entwicklungsstadien gewisse embryonale Keimstücke bei der Transplantation an andere Stellen hier entsprechende Organe: Füße, Köpfe usw., entstehen lassen und daß diese Fähigkeit offenbar an gewisse, recht beständige Stoffe gebunden ist, da sie auch beim Eintrocknen, Erhitzen und Gefrieren der betreffenden Gewebsteile erhalten bleiben kann. (So ist ja für die Entwicklung der Medullarplatte von Amphibien vermutlich schon das Glykogen als „Induktor“ oder „Organisationsfaktor“ genannt worden.) Als ein gut untersuchter Fall von Formbildungsstoffen erscheinen die „Wirtel- und Hutstoffe“ der Schirmalge *Acetabularia*¹⁸, die, in der Kernsubstanz des Wirtels bzw. des Hutes gebildet, sich im Algenfaden von der Ursprungsstelle aus weiterbewegen, also gegeneinander mit entgegengesetztem Konzentrationsgefälle und Wandersinn strömen und bewirken, daß in einem ab- oder ausgeschnittenen Algenstück an der Stelle mit überwiegendem Wirtelstoff ein neuer Wirtel, an derjenigen mit überwiegendem Hutstoff ein neuer Hut entsteht. Es handelt sich also um artspezifische und ziemlich beständige hormonale Stoffe, von den Genen produziert und im Plasma spezifische Wirkungen hervorrufend, die eine Steuerung der chemischen bzw. kolloidchemischen Vorgänge mit dem Erfolg spezifischen Wachstums und spezifischer Form bedeuten. Es erscheint geboten, auch diese Stoffe, die auffällig bei Überpflanzung von Gewebsstücken tierischer und pflanzlicher Art ihre steuernde Wirkung entfalten, heuristisch als „Biokatalysatoren“ (oder Bioinduktoren?) anzusprechen, wenngleich ihre stoffliche Zusammensetzung bisher noch ebenso unbekannt ist wie der durch ihre Gegenwart angestoßene Reaktionsmechanismus, und

der Endeffekt einer Formbildung in der „gewöhnlichen“ Katalyse kein Vorbild hat. Ähnliches wird z. B. von den „Häutungshormonen“ von Insekten zu gelten haben, die neuerdings aufgefunden worden sind (Wigglesworth; s. Naturwiss. 1935, 136). Eine chemisch-katalytische Theorie der organischen Gestaltbildung erscheint also vielleicht doch nicht als völlig aussichtslos!

Bei den *Erbfaktoren* oder *Genen* verhält es sich ganz ähnlich. Seit die den Entwicklungsgang des Einzelorganismus steuernden Erbfaktoren der Chromosomen in den Ei- und Samenzellen entdeckt und durchforscht worden sind (Weismann, Boveri, Morgan, Correns, R. Goldschmidt u. a.), hat man schon oft betont, daß auch hier offenbar richtunggebende Stoffe vorliegen, die man mitunter auch bereits als Enzyme und Hormone ansprach¹⁹. Dabei macht sich als ein besonders charakteristisches Merkmal ein *Zusammenwirken* von *Erbfaktoren* geltend, das sein Modellgegenstück in dem schon erwähnten Zusammenwirken der verschiedenen Bestandteile von „Mischkatalysatoren“ der Technik hat. So wie beim Mehrstoffkatalysator die Gesamtwirkung durchaus nicht einfach additiv aus den Wirkungen der Teile zusammengesetzt ist, sondern kolligative „Aktivatorwirkungen“ auftreten, so entspricht bekanntlich auch dem Mosaik der Erbfaktoren im Chromosom durchaus nicht ein einfaches Mosaik der Funktionen, sondern es liegt ein Ganzheitszusammenwirken vor (für die Pigmentierung des Auges von *Drosophila melanogaster* von nicht weniger als 45 Erbfaktoren), wobei ein einzelnes Gen für ein bestimmtes Merkmal immer nur die letzte Entscheidung trifft²⁰. Die Analogie ist so weitgehend, daß man in einzelnen Fällen direkt die Erscheinung des „Aktivators“ des Mischkatalysators (d. h. des die Wirkung des Hauptbestandteiles modifizierenden Nebenbestandteils) wiederfindet, so z. B. dann, wenn in bestimmten Fällen der Faktor für Farbgrundlage (Hauptbestandteil des Katalysators) und der Faktor der Farbverwirklichung („Aktivator“ des Katalysators) dominant zusammenwirken müssen, wenn eine Gefiederfärbung wirklich in Erscheinung treten soll. So spricht denn auch R. Goldschmidt von „ganzheitlich abgestimmten Reaktionsgeschwindigkeiten“ verschiedenartiger Gene, deren jedes ein unter Mitwirkung des Kernes

entstandenes „Enzym“ sein soll, das „eine Reaktion katalysiert“. Und wenn schon 1913 E. A. Schäfer vermutete, „daß auch die Erbllichkeit eines jener Rätsel ist, deren Lösung wir dem Chemiker überlassen müssen“, so ist sicher, daß ein Zusammenarbeiten des katalytisch bewanderten organischen Chemikers mit dem Physiologen auf dem Gebiete noch wichtigste Aufschlüsse verspricht²¹. Die Anfänge solcher Entwicklungsreihen wird man nach v. Euler in Stoffgruppen zu suchen haben, „welche ihren eigenen Zuwachs katalysieren können“. „Kein Genetiker aber kann daran zweifeln, daß schließlich der Begriff der Erbinheit chemisch definiert werden muß.“ (S. z. B. die Zusammenhänge mendelnder Chlorophylldefekte mit Katalysemangel.)

Wir sehen davon ab, der Frage nachzugehen, was für Katalysatoren sonst noch im Organismus tätig sind, oder z. B. durch pharmazeutische Einwirkung tätig werden können, und wie ferner mit steigender Organisationshöhe art- und zahlenmäßig die Biokatalysatoren fortschreitend zunehmen; die Feststellung genügt, daß die verschiedensten Gruppen reaktionsbestimmender und funktionssteuernder Stoffe in den Organismen einer Durchforschung unter dem Katalysatorgesichtspunkt zugänglich sind und daß eine solche Betrachtungsweise durch Äußerungen von Fachmännern bereits nahegelegt ist.*

3. Beziehungen der Biokatalyse zu Reizwirkung und Instinkthandlung; Katalysatoren niederer und höherer Ordnung; Verhältnis zum Nervensystem

Anschließend erscheint es jedoch geboten, zu fragen, in welcher Beziehung der Begriff des Biokatalysators zu der physiologischen „Reizwirkung“ steht. Daß bestimmte Beziehungen vorhanden sind, läßt schon ein Ausspruch von Pfeffer von 1896 vermuten, wonach die Reizvorgänge in mannigfacher Weise „Aktionen einleiten, beschleunigen oder in neue Bahnen lenken“, also genau das Gleiche tun, was wir als Funktion des Katalysators bezeichnen! Immerhin wird man hier vorsichtig sein müssen. Zunächst

* Bemerkung 1947: In späteren Arbeiten ist schärfer betont worden, daß eine volle Berechtigung, Hormonen usw. das Prädikat „Katalysator“ zu gewähren, die Fähigkeit zu repetieren voraussetzt.

scheiden alle diejenigen Reizwirkungen aus, die energetischer Art sind, wie mechanische, akustische, optische und nervöse Reize, für die man besser von „Auslösung“ spricht (s. S. 168). Aber auch für die zurückbleibenden stofflichen Reize (Geruch, Geschmack und eine große Zahl innerer Reize des Organismus) ist der Katalysatorbegriff nicht unbesehen zu übernehmen. Einerseits begegnet uns beim Reiz zum ersten Male etwas, was nach *Psychischem* aussieht, da ein Reiz oftmals nur über ein gewisses „Empfundenwerden“ oder „Bemerktwerden“ hinweg seine Wirkung entfaltet; andererseits bedürfte es z. B. bei Geruchs- und Geschmacksreizen, die an sich stofflicher Art sind, eines tieferen Eindringens in die Art der dadurch erregten Vorgänge, um feststellen zu können, ob die momentan einsetzende Wirkung der Reizstoffe auf „einfacher“ chemischer Reaktion beruht oder katalytischer Art, etwa analog der katalytischen Initialzündung von Knallgas durch Stickstoffdioxid ist²². Dagegen ist es bei zahlreichen inneren Reizen des Organismus, namentlich hormonaler Art, ohne weiteres klar, daß von Reizstoffen biokatalytische Wirkungen ausgeübt werden, die sich bis weit in das Gebiet des Psychophysischen hinein erstrecken können.

An einem besonderen Beispiel sei noch dargetan, wie möglicherweise ein biokatalytisch wirkender Stoff als Reiz ganze Reaktionsketten und Formbildungsfolgen nach sich ziehen kann: Bei der „fremddienlichen Zweckmäßigkeit“ der *Gallenbildung* an Laubblättern durch den Stich von Parasiten wird angenommen (Demoll), daß „der Parasit den Schlüssel gefunden hat, um das richtige Fach des normalen Könnens bei der Pflanze aufzuschließen und weiter, um dieses Können in besondere, oft recht absonderliche Bahnen zu lenken“. Das klingt aber ganz an unsere Katalysatordefinition an, und es ist vielleicht nicht allzu vermessen, hier eine wirkliche biokatalytische Reizwirkung anzunehmen, wenn etwa im Falle der „Deckelgallen“ der Parasit „mit einem oder vielleicht auch einigen chemischen Stoffen, die er (und das sich entwickelnde Ei) absondert, in so hohem Maße einen struktur-bedingenden Bildungsreiz zu geben vermag“, daß ein Gallengewebe (mit dem Gallmückenei in der Mitte) entsteht und sich zu einer wohl-

geformten und kompliziert aufgebauten Kugel entwickelt, worauf schließlich im richtigen Zeitpunkt vor dem Auschlüpfen der neuen Mücke „entlang einer kreisförmigen Linie eine Trennung im Gewebe stattfindet und der von dem Kreise umschriebene Teil der Gallenwand als Deckel abgestoßen wird“, gleich dem Spund aus dem Spundloch eines Fasses, „wie mit dem Zirkel gezogen und mit scharfem Messer geschnitten“²³.

In unseren letzten Ausführungen sind wir mit dem Katalysatorbegriff bis hart an die Schwelle *tierischer Instinkthandlungen* gelangt, und es ist kurz noch darauf einzugehen, ob allgemein katalytische Erscheinungen und Auswirkungen auch im Instinktgebiet selbst eine Rolle spielen. Diese Frage ist grundsätzlich zu bejahen, zumal seit erkannt worden ist, daß die so viel umstrittenen tierischen Instinkte sich schon beim Fehlen eines Nervensystems und unabhängig von einem solchen entwickeln. Nach Müller, Erlangen, werden außerhalb des Nervensystems *Reizstoffe* gebildet, die Instinkthandlungen verursachen. Und Demoll betont, daß die Instinkthandlungen aus den gleichen (unbekannten) Ursachen folgen wie die organischen Formentwicklungen und die allgemeinen Organfunktionen, und daß sie, obwohl oft das Bild seltsamer Wege bietend, doch nach einer Auflösung in Kausalketten verlangen. So wie sich die Instinkte der Hormone und Reflexe (Tropismen) bemächtigen — ohne darin aufzugehen —, so nimmt dann auf höherer Stufe das mehr „plastische“ Nervensystem mit seiner „imperialistischen Tendenz“ die starren Instinkte in seinen Dienst. Auf alle Fälle liegen auch in den Instinkten ganzheitliche Ordnungen vor, zahllose hervorrufende und steuernde Biokatalysatoren im Organismus voraussetzend, die nach Bedarf da- oder dorthin geführt, auseinandergehalten oder zusammengebracht, in verstärktem Maße erzeugt oder abgestoppt werden usw.²⁴.

Bei dem mannigfachen Ineinandergreifen der verschiedensten katalytischen Beeinflussungen im pflanzlichen und tierischen Organismus liegt die Frage nahe, ob in der Stufenleiter biologischen Geschehens etwa *Katalysatoren niederer und höherer Ordnung* unterschieden werden müssen, nicht im Sinne einer willkürlichen Wertung, son-

dern im Sinne funktionaler Abhängigkeit, indem etwa ein „höherer Katalysator“ statt verhältnismäßig einfacher Reaktionen ganze Reaktionsfolgen verursachen oder gar das Arbeiten mehrerer „niederer Katalysatoren“ dauernd lenken und steuern kann, das also gewissermaßen anbahnend, was von einer bestimmten Organisationshöhe ab das *Nervensystem* in noch größerer Vollkommenheit leistet. Daß „Ordnungen“ und „Harmonien“ in den Katalysatoren des Organismus bestehen müssen, ergibt sich schon aus der ungeheuren Zahl von Biokatalysatoren, die gleichzeitig auf engem Raume wirken, einer Anzahl, die verwirrend wirkt, selbst wenn man sich sagt, daß in einer Zelle von 0,1 mm Durchmesser etwa 10^{18} organische Moleküle Platz haben. In der technischen Katalyse haben wir für solche katalytische *Ganzheitsgefüge* kein Beispiel, höchstens entfernte „Gleichnisse“, z. B. wenn zur Herstellung von synthetischem Indigo oder Kautschuk im gesamten Fabrikationsprozeß wohlgeordnet und von einem Willen beherrscht — räumlich und zeitlich in Teilfabrikationen getrennt — neben gewöhnlichen chemischen Reaktionen auch eine große Anzahl katalytischer Prozesse verwirklicht werden muß.

Auf dem Enzym- und Hormongebiet gibt es genug Beispiele ganzheitlicher Ordnungen, es sei nur an das Zusammenwirken verschiedener Agenzien bei den Gärungs- und Atmungsvorgängen und an das Zusammenspiel der Hormone erinnert. Ähnliches wird vorausgesetzt, wenn z. B. nach R. Goldschmidt das Gen „eine Reaktion katalysiert“, deren Endprodukt unter dem Bilde eines Hormons gefaßt wird, das eine Merkmalsdifferenzierung verursacht. Wahrscheinlich ist die Grenze zwischen niederen und höheren Katalysatoren jenseits der Enzyme zu ziehen, da schon bei den Hormonen, Vitaminen und Organistoren die Notwendigkeit von „Formtesten“ (z. B. Hahnenkammtest) als Indikator, statt einfacher chemischer Charakteristik auf *entwickelte Reaktionsfolgen* hinweist, die dann bei den Erbfaktoren noch ins Unabsehbare weiter kompliziert werden. Auf alle Fälle wird es zutreffen, was W. Wundt 1914 („Sinnliche und Übersinnliche Welt“) sagte: „Die Komponenten der organischen Regulierungen lassen sich sämtlich auf katalytische Prozesse zurückführen, die ihrerseits Wir-

kungen der allgemeinen chemischen Affinitätskräfte unter besonderen Bedingungen sind". Oder: „Es sind die katalytischen Prozesse, die nicht bloß äußere Analogien zum Lebensprozeß bilden, sondern aus denen dieser nachweislich zu einem wesentlichen Teil selbst besteht.“ „Der Organismus, auch der Mensch, ist den chemischen Stoffen gegenüber ein Katalysator großen Stiles, zusammengesetzt aus einer unzähligen Menge elementarer Katalysatoren, die er selbst erzeugt“²⁵.

Es kann hier noch gefragt werden, was damit gewonnen ist, wenn in Zukunft der Begriff „Katalysator“ in Physiologie und Biologie allgemein angewendet wird auf *jede stoffliche Hervorrufung und Lenkung von Stoffwechselforgängen des Organismus*, und zwar auch dann, wenn diese verwickelte histologische und morphologische Aufbau- und Erhaltungsarbeit leisten. Tatsächlich handelt es sich nicht um eine bloße *Nomenklaturfrage*, sondern um eine Sache von methodischer Wichtigkeit, indem mit dem Namen „Katalyse“ auch unser ganzes reiches Wissen über die Katalyse und über den Mechanismus dieser Katalyse mit eingebracht wird, so daß neue Anschauungsweisen und neue Fragestellungen möglich werden. Dazu kommt eine bedeutsame sachliche *Vereinheitlichung*, indem im höheren tierischen Organismus vielleicht nur noch zwei große Schaltwerke der Lenkung und Zusammenfassung, Regulierung und Korrelation von Lebensprozessen existieren: die Biokatalysatoren als ein hierarchisches System stofflicher Sendboten von langsamer Gangart, und — hiermit innig verbunden — als Oberbau oder als „Katalysator höchster Ordnung“ das Nervensystem mit einem wohlgeordneten System energetischer (dabei aber in bezug auf Entstehung und Wirkung immer noch stoffgebundener) Sendboten, denen behufs besonders rascher Gangart die Fähigkeit einer Bewegung in elektrischen Kraftfeldern oder Strahlungsfeldern (durch Chemilumineszenz?) mitgegeben worden ist²⁶. Den Physiologen und ihren chemischen Helfern muß eine künftige *Systematik der Biokatalysatoren* ebenso überlassen bleiben, wie ein immer tieferes zeitmikroskopisches Eindringen in deren Natur, Entstehung, Wirkungsweise und Zusammenhänge.

II. ALLGEMEINER TEIL

4. Katalysatoren als richtunggebende Ursachen

Wir haben es unbedenklich ausgesprochen, daß die erörterten Biokatalysatoren ein chemisches Geschehen *hervorrufen oder verursachen*, und müssen bei der Umstrittenheit des Begriffs „Ursache“ doch kurz die Berechtigung hierzu begründen. Dabei werden wir gut tun, nicht irgendeinen Ursachbegriff einer Einzelwissenschaft — und sei es der Physik — unbesehen zu übernehmen, sondern eine kleine erkenntniskritische Abschweifung zu machen.

Auf Grund seiner Erlebnisse mit der vielfachen Wiederkehr des annähernd Gleichen fühlt sich der Mensch gedrängt, an die vergangenen, wie auch an die künftigen Erlebnisse mit der Vorstellung eines *Ordnungsgefüges* heranzutreten, das freilich etwa für den zaubergläubigen Tibetaner ganz anders aussieht als für einen Immanuel Kant. Allmählich entsteht die Verstandesforderung einer *einheitlichen kausalen Verknüpfung der Dinge*, die in ihrer höchsten wissenschaftlichen Entwicklung darauf hinausläuft, daß „in jedem Augenblick die gesamte Weltlage den nächsten Augenblick bestimmt“ (Mauthner), oder daß es „kein Einzelgeschehen gibt, das nicht näher oder ferner durch alles frühere und gleichzeitige Geschehen bedingt ist“ (N. Hartmann), oder daß „der zureichende Grund jedes Geschehens in der Gesamtheit des vorausgehenden Verhaltens zu erklären ist“ (v. Kries). Da mit diesem universellen Postulat — dessen Gültigkeit weder bewiesen noch widerlegt werden kann — im Leben wie in der Wissenschaft nicht ohne Aufspaltung in einzelne Kausalreihen und Kausalgewebe gearbeitet werden kann, so holt der Mensch im Wort- oder Zahlensymbol²⁷ aus dem unendlich ausgedehnten Fluß des zeiträumlichen Geschehens einzelne, kleinere oder größere *Gefüge von Ursache und Wirkung* heraus, die sprachlich durch die *Wortgefüge* „weil — darum“, oder „wenn — dann“ gekennzeichnet werden.

Dementsprechend hat sich die Physiologie in ihren Kausalitätsbetrachtungen nie irremachen lassen²⁸, denn wenn auch „die Lebenserscheinungen nicht restlos physikalisch-chemisch begriffen werden können“, so ist damit doch „das Walten einer zwingenden Kausalität im Bereich des Lebens

nicht in Abrede gestellt“ (H. H. Meyer), nur daß gerade im Organismischen eine fast „unnatürlich“ erscheinende Verzerrung und „Verfilzung ineinander verwebter Kausal-fäden“ herrscht (O. Koehler u. a.)²⁹.

Bei der unendlichen Mannigfaltigkeit des dicht verwobenen Geschehens in der Welt und der Entwicklungsweise des sprachgebundenen Denkens nimmt es nicht wunder, daß auch in den exakten Naturwissenschaften bald Dinge (Sachen) als *bedingende Ursachen* angeführt, bald auch Eigenschaften, Tätigkeiten und Vorgänge, ferner „Gedankendinge“ und verallgemeinernde „Beziehungen“ (abstrakte Begriffe, wie Kraft, Leben usw.), dazu schließlich psychische Gebilde mannigfachster Art als solche behauptet werden. All dies ist tatsächlich auch in der Wissenschaft zulässig, wenn man sich nur darüber immer klar bleibt, daß die *Gesamtursache* stets ein in seinen Grenzen verschwimmender unübersehbarer Komplex ist, von dem nur, dem jeweiligen Aufmerksamkeitszustand und Interessenkreis entsprechend, ein bestimmter, quantitativ oft sehr unbedeutender Anteil als „auslösende“ oder „unmittelbare“ Ursache hervorgehoben wird. Es sei das bekannte Beispiel eines Eisenbahnunglücks bei falscher Weichenstellung angeführt, wo der kausale Totalzusammenhang aus Hunderten von Bestandteilen besteht (Dampfkraft, Trägheitsgesetz, Eigenschaften der Stoffe und ihre Reaktion auf plötzliche Geschwindigkeitsänderungen, geringe Widerstandsfähigkeit des Lebendigen usw.), aber nur die eine *Teilursache* — eben die falsch gestellte Weiche — als „eigentliche“ Ursache angesehen wird (deren Ursachen wiederum, auch psychologisch und juristisch, nachgegangen werden kann³⁰).

Demgemäß besteht auch absolut kein Hinderungsgrund, den eine Reaktion hervorrufenden oder einen Gesamtvorgang lenkenden *Katalysator als Ursache des Vorganges*, also hier eines biologischen Vorganges, zu bezeichnen. Mit der Gültigkeit der Energieumsatzformeln, die in vollkommener Form mathematisch ein Gleichbleiben aussprechen, hat das nicht das mindeste zu tun. Der Katalysator greift — gleichwie der Wille — nicht in die Energiegesetze (Erhaltungsgesetze) ein, seine Wirkung vollzieht sich vielmehr im Rahmen dieser. So wie es für die Gültigkeit der Gesetze der Mechanik und für die mechanische Energie eines Stei-

nes, der von einem Berge herab ins Tal gelangt, schließlich ganz gleichgültig ist, auf welchen Wegen er hinabkommt und ob mit Zwischenstationen oder ohne solche, so bleiben die „Energiegesetze“ immer auch erfüllt, ob ein stoffliches System sich selbst überlassen ist oder ob es durch die Anwesenheit eines Katalysators oder die Herrschaft eines Katalysatorsystems eine *Änderung in Geschwindigkeit und Richtung des Ablaufes* seiner möglichen Reaktionen erfährt. Der Katalysator ist und bleibt im heutigen dynamischen — nicht mehr mechanistischen — Weltbild eine *Ursache*, zwar keine Energie liefernde, jedoch nichtsdestoweniger immer eine richtige Ursache, zumal da er zweifelsohne das übliche Kriterium einer kausalen Verknüpfung besitzt, die *Voraussagung* eines Künftigen mit mehr oder minder hoher Wahrscheinlichkeit zu erlauben³¹. Dabei ist die katalytische Kausalität, zumal die biokatalytische, immer eine (bildlich) *richtunggebende Kausalität* von ganz universeller Bedeutung, „auswählend“ innerhalb der vielgestaltigen Möglichkeiten, die der Ablauf chemisch-physikalischen Geschehens in der Welt bietet, und sie stellt sich in dieser Beziehung in Analogie zu der Kausalität von Trieb und Wille auf psychischem Gebiete³².

5. Beziehungen der Biokatalyse zum Zweckbegriff, zur „Ganzheit“ und zur Lebenskraft; das Leben selbst auch vom Katalysatorbegriff nicht erreichbar; psychodynamischer Parallelismus und Naturphilosophie.

Nachdem wir den Katalysator als einen ursächlich wirkenden Faktor in der Dynamik des Geschehens gekennzeichnet haben, müssen wir noch der Frage nachgehen, wie der Begriff der „katalytischen“ Kraft von Berzelius — wir wollen unbedenklich einmal den Ausdruck „Kraft“ gebrauchen — sich zum *Zweckbegriff* verhält.

Wie schon die Worte „Zweck, Ziel“ erkennen lassen, handelt es sich auch hier wieder um eine menschlich-bildliche Bezeichnungsweise, und zwar so gesehen, daß die Kausalreihe gewissermaßen zeitlich umgekehrt wird. Zwecke gibt es unmittelbar nur im menschlichen Willen, indem der Verstand die „Folge“ als gefühlsbetonte Vorstellung vorwegnimmt und sie zur „Vorursache“ der „wirklichen Ursache“ (Handlung) macht, die nun als *Mittel* zum Zweck (der Folge) erscheint. Dabei vollzieht der Wille eine

auswählende Tätigkeit, indem von verschiedenen möglichen Mitteln eines verwirklicht wird, und oft wählt er auch eine ganze Menge ineinandergreifender und innerlich verbundener Kausalreihen aus, die planvoll nach- und nebeneinander verwirklicht und zu einem sinnvoll geordneten Ganzen gestaltet werden, so beim Bau einer Maschine, eines Hauses. Und wie steht es nun mit dem vielumstrittenen *Zweckbegriff in der Natur*? Wenn Menschen einen tiefen Schacht vorsichtshalber mit einer Steinplatte zudecken, so ist das eine typische Zweckhandlung; wenn derselbe Effekt etwa von einem großen Meteorstein bewirkt werden sollte, der aus dem Weltenraum kommend, gerade auf jene Öffnung trifft, so wird niemand von einem Zweck reden; dieser Fall ist zwar kausal bedingt, aber final betrachtet „Zufall“. Und doch weist schon die anorganische Welt nicht nur höhere „Ordnungen“ auf, sondern auch Beziehungen, die eine Zweckbetrachtung zum mindesten als Analogie nahelegen; es sei an gewisse Prinzipien der Mechanik, wie das des „kleinsten Zwanges“ oder der „schnellsten Ankunft“ oder an die Gleichgewichtssätze der Chemie, vor allem aber an die „Ordnung“ und „Harmonie“ im Kosmos erinnert, die den Menschen schon sehr früh zu einer Art Sinn- und Zweckbetrachtung der Natur geführt hat³³. Noch weit mehr aber fordert die organismische Welt zur Verwendung des Zweckbegriffes heraus. Wenn der komplizierte Blutkreislauf durch ein bestimmtes Zusammenwirken stofflicher und energetischer Ursachen erzeugt und aufrechterhalten wird, wenn gewisse niedere Tiere unwahrscheinlichste Generationswechsel durchmachen, wenn eine bestimmte Grabwespe eine Erdhöhle gräbt, an der Decke des Gewölbes Eier ablegt, dann z. B. eine Heuschrecke fängt, sie durch Stiche in der Bauchgegend vorübergehend lähmt, dann aber zur größeren Sicherheit noch in einer Weise, die der geschickteste Arzt nicht nachmachen kann, durch komplizierte Gehirnmassage eine länger dauernde Betäubung erzielt, dann die Beute in der Höhle niederlegt und stirbt, worauf bald die ausschlüpfenden jungen Larven, deren Magen nur „frisches Fleisch“ verträgt, das schwach zapfelnde Beutetier allmählich aufzehren, bei unerwartet heftigeren Bewegungen aber an einem selbstgesponnenen Faden rasch nach der Decke emporklettern und sich so in

Sicherheit bringen —, so erscheinen alle diese Vorgänge, als ob sie von einem überindividuellen Intellekt und Willen zweckmäßig und planvoll geleitet würden, und dieser Eindruck rührt davon her, daß auch hier dem Augenschein nach ein wohlüberlegtes Auswählen zwischen verschiedenen Möglichkeiten und ein planvolles Zusammenfügen verschiedener Kausalreihen zu einem harmonisch geordneten Ganzen angenommen werden könnte.

Was aber hat das alles mit dem *Katalysator* zu tun? Doch ein wenig, wie wir sogleich sehen werden, wenn wir folgendes chemisches *Gedankenexperiment* machen: Wir denken uns einen Zinkoxyd-Chromoxyd-Mischkatalysator in Form einer porösen Kugel, an der wir verschiedene Gasgemische vorüberstreichen lassen, und zwar unter solchen Bedingungen der Temperatur und des Druckes, daß eine Verbindung der Gase, wenn auch nur bis zu einem gewissen Grenzzustande, thermodynamisch möglich ist. Wir leiten zuerst ein Stickstoff-Wasserstoff-Gemisch über, das Ammoniak bilden könnte; es geschieht nichts, solange wir auch den Versuch fortsetzen. Wir wechseln dann das Gas, indem wir ein Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemisch zuführen. Sehr bald setzt eine Methanolbildung ein, die auch anhält, wenn wir das Gemisch mit Stickstoff verdünnen; der Stickstoff bleibt nach wie vor unbeteiligt. Wären wir dazu in der Lage, das molekulare Geschehen am Katalysator in einem Medium von Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenoxyd mit unseren Augen zu verfolgen, so würden wir gegenüber dem Stickstoff völliges „Verschmähen“, den anderen Gasen gegenüber aber „Bevorzugung“ in lebhaften Assimilations- und Abstoßungsvorgängen (Adsorption und Desorption) wahrnehmen, die zwar unmöglich an die verwinkelte Handlungskette der Grabwespe, jedoch an die einfacheren Stoffwechsellerscheinungen einer Amöbe mit ihrer auswählenden Nahrungsaufnahme erinnern. Was soll das nun sagen? Einer naiven Betrachtung, die nichts von Chemie weiß, könnte es erscheinen, als ob der Katalysator — dem ja überhaupt noch heute ein wenig der Geruch der Zauberei anhaftet — ein primitiv denkendes und wollendes Wesen wäre (eine „Entelechie“ niederer Art), das mit der Fähigkeit des wahlhaften Willensentschlusses zum Ergreifen dieses oder jenes „Nahrungstoffes“ und zum Abstoßen der

verbrauchten „Stoffwechselprodukte“ begabt ist; der Vorgang selbst aber als ein Prozeß, der zwischen stofflichem „Einwickeln und Ausgewickeltwerden“ bestimmter Art hin und her „vibriert“, erscheint als einfachstes Modell zweckhaft gelenkt erscheinender Lebensvorgänge³⁴. Dann ist es wohl nicht allzu gewagt, als Arbeitsvorstellung anzunehmen, daß ganz allgemein die wahlhaft und zielgerichtet erscheinenden Vorgänge des Organismus, indem sie durch ein System von Biokatalysatoren (Organkatalysatoren) und sonstwie geleitet werden, schließlich kausal vollkommen gegeben sind, so daß (nach Wundt) ein und derselbe Lebensprozeß gemäß einer immanenten Teleologie zugleich „kausal bedingt und zweckvoll“ ist und Kant verheißungsvoll sagen durfte: „Ins Innere der Natur dringt Beobachtung und Zergliederung der Erscheinungen, und man kann nicht wissen, wie weit diese mit der Zeit führen werden!“ Wenn aber so gemäß dem alten Worte von v. Baer: „Man muß die Zwecke der Natur nicht durch Klugheit erreicht denken, sondern durch Notwendigkeiten“ in der Physiologie der Zweckbegriff als regulatives Prinzip verwendet wird, indem man durch eine Zweckbetrachtung „als ob“ . . .³⁵ verwickelte Zusammenhänge aufsucht, die dann dem zergliedernden Verstande als Material für Kausalitätsforschung — und erschiene diese von vornherein noch so aussichtslos — zu überliefern sind: so wird dabei der Begriff des Katalysators, der ebenso wie Organfunktion, Trieb und Wille das Merkmal des Auswählenden, Richtungsgebenden und Steuernden trägt, nicht fehlen dürfen. Katalytischer und sonstiger Ursachbegriff und planwirtschaftlicher Zweckbegriff gehören in der Physiologie auf das engste zusammen, indem das auf niederer Ebene bereits „zielstrebige“ Katalysatorgeschehen zusammen mit sonstigem physikalisch-chemischem Geschehen in den Dienst eines in höherem Sinne zielstrebig Schaffenden tritt.

Bei der kritisch-empirischen Säuberung des Zweckbegriffes in der Naturwissenschaft ist als Nebenertrag der Ganzheitsbegriff angefallen, der auch in unseren Ausführungen schon wiederholt benutzt wurde (namentlich für das Zusammenwirken von Katalysatoren) und der in der neueren Physiologie und Psychologie eine sehr große Bedeutung erlangt hat³⁶. Spielen Gestalten und Ganzheiten in wohl-

abgestufter Reihenfolge schon im Anorganischen eine große Rolle (Atom, Molekel, Kristall und irdischer Körper, dann Erde, Sonnensystem, Milchstraßensystem, Universum), so ist ihre Mannigfaltigkeit im Reich der Lebewelt noch ungleich größer, und es sind nicht zum letzten Biokatalysatoren, denen hier diese Mannigfaltigkeit zu verdanken ist.

Aus dem Verhältnis des Katalysatorbegriffes zu „Zweck“ und „Ganzheit“ fällt auch Licht auf die Beziehungen des Katalysators zur „Lebenskraft“³⁷, zu jenem Etwas, das schon in alten Zeiten der menschliche Geist sich geschaffen hatte, um in der Betrachtung des Organismus mit seinen zum großen Teil unbewußt, auf alle Fälle aber individuell ungewollt sich vollziehenden und doch planvoll erscheinenden Vorgängen einen festen Punkt zu haben. Wir wissen, daß diese Lebenskraft, von der Berzelius vor hundert Jahren die katalytische Kraft „abzweigte“, alle Stürme der Zeiten überdauert hat, niemals völlig beseitigt wurde und in geläuterter Form noch heute weiterlebt, wobei nur feinere Unterschiede der Auffassung auf die Frage hinauslaufen, ob jenes Gestalt- und Funktionsganzheit schaffende Etwas dem Physischen immanent ist (Richtung Liebig), oder ob es (Richtung Berzelius) ein ausgesprochen anderes, d. h. psychisches oder „psychoides“ Agens ist (Entelechie, Dominante, Mneme, Horme und wie man es sonst nennen mag). Mit diesen metaphysischen Fragen haben wir hier nichts zu tun; genug, daß es möglich erscheint, nach dem Vorgang von Berzelius aus dem Bereiche der mystischen Lebenskraft mehr und mehr Teilerscheinungen abzuspalten und dem Begriff der Katalyse, d. h. der Biokatalyse unterzuordnen, so daß in unendlicher Ferne das Ziel einer kausalen Erklärung aller Lebenserscheinungen — jedoch nur ihrer Außenseite nach als physikalisch-chemische Prozesse — sichtbar wird. Dabei ist anerkanntermaßen die physiologische Wirklichkeit umfassender und reicher als die physikalisch-chemische und stellt einen Oberbau auf jener dar, der von den physikalisch-chemischen Grundtatsachen zwar getragen wird, aber ihre eigenen allgemeinen Tatsachen („Gesetze“) hinzubringt³⁸.

Der Katalysatorbegriff hat sich bis weit in das Gebiet des Lebendigen hinein verfolgen lassen, bis in Körpervorgänge, die schon unter dem heuristischen Gesichtspunkte

des *psychophysischen* (d. h. psychodynamischen, nicht psychomechanischen!) *Parallelismus* betrachtet werden müssen, wie Trieb- und Instinkthandlungen³⁹. Dabei werden wir uns aber bewußt bleiben, daß zu dem Begriff des Lebens selbst und in das Reich der lebenden Psyche auch der Biokatalysator keine Brücke schlagen kann. Wenn also einst Stohmann (1895) die Meinung aussprach, es werde schließlich „wohl nur noch ein Schritt zu tun sein, um auch die Entstehung aller organischen Substanz auf Katalyse zurückzuführen“, so war das schon eine sehr hochgespannte Erwartung, die bis heute unerfüllt geblieben ist; wie sollte man aber hoffen können, daß die Tatsache des Lebens selbst von hier je verständlich werden könne, so wenig „auch der bedächtigste Forscher die *Versuche* tadelt, in die Mysterien des Lebens einzudringen!“ (Schönbein 1853). Die Beziehungen, die demnach der Katalysator zum zwecksetzenden Wollen (der „inneren Seite“ einer Kraftäußerung) aufweist, sind nur symbolischer und analogischer Art, und es ist von bloßem Modellwert, wenn man in diesem Sinne Triebimpulse und Willensmotive etwa als „psychische Katalysatoren“ bezeichnen wollte, da sie mit dem Katalysator das Merkmal des Veranlassens, Lenkens und Steuerns gemein haben⁴⁰.

Unter diesem Gesichtspunkt ist ein seltsamer psychologischer Versuch W. Ostwalds von 1894 zu werten, der den Titel führt: *Chemische Theorie der Willensfreiheit* (Verh. Sächs. Ges. Wiss. 46). In dieser Studie benutzt Ostwald seinen Begriff der Katalyse als einer *Beschleunigung* chemischer Reaktionen und spricht die Vermutung aus, daß der Mensch über die Fähigkeit verfüge, katalytische Wirkungen in dem stofflichen Geschehen, das mit den geistigen Vorgängen verbunden ist, zu beschleunigen und zu verlangsamen, wobei derjenige beschleunigte Vorgang die Oberhand gewinnt und zu einem Willensentschluß und schließlich gegebenenfalls zu einer Willenshandlung führt, der „dem am intensivsten verlaufenden psychophysischen Vorgange entspricht“. Was hier W. Ostwald sagt, erscheint heute sehr unzulänglich, kann aber dennoch den Physiologen anregen, nachzusehen, wie weit der Begriff der Katalyse überhaupt bis in das Gebiet des Psychophysischen hinein verfolgt werden kann, wobei man freilich unmittel-

bar immer nur die *physische* Seite des betreffenden Vorganges treffen wird.

Mit unseren letzten Betrachtungen sind wir in das Grenzgebiet der Wissenschaft gelangt, wo die *Philosophie* als eine höhere Seins- und Lebenslehre anhebt, indem sie unter Überwindung des psychophysischen Parallelismus ein *einheitliches Weltbild* zu schaffen sich bemüht. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Naturphilosophie der Zukunft an dem Begriff des Katalysators als einer wahrhaften „Dominanten“ nicht vorübergehen wird (s. schon Ostwald 1913 und Wundt 1914), und wenn eine der letzten Fragen der Naturphilosophie tatsächlich lauten sollte: „Wie wirkt Entelechie auf die Natur?“ (Driesch), so könnte ein erster Versuch einer freilich nur formalen und bildhaften Antwort lauten: Sie wirkt katalysatorartig, richtunggebend und lenkend — ohne daß etwas wie Telepathie dabei zu Hilfe genommen werden muß!⁴¹

6. Berzelius' katalytisches Vermächtnis

In Umrissen sollte gezeigt werden, was aus den Gedankengängen von Berzelius heute ein *Chemiker* über die Anwendung des Katalysebegriffes im Gebiete der Physiologie sagen kann. Könnte Berzelius selber auf der unruhigen Erde erscheinen — die Abfassung seines „himmelschemischen Jahresberichtes“ kurz unterbrechend —, so würde er, nach seiner Auffassung über die Gesamtentwicklung der Biokatalyse in Vergangenheit und Zukunft befragt, vielleicht etwa folgendes sagen:

„Es steht fest, daß in der lebenden Natur zahlreiche, einfachere wie zusammengesetzte Körper weitgehend mit dem Vermögen begabt sind, durch ihre Gegenwart *schlummernde Verwandtschaften* zu wecken und so katalytisch die verschiedensten neuen Dinge zu erzeugen, indem ein bestimmter Katalysator in einem gegebenen stofflichen Gebilde von den verschiedenen möglichen Reaktionen einen bestimmten Vorgang auswählt und verwirklicht. Diese von der hohen Weisheit des Schöpfers zeugende katalytische Fähigkeit der Stoffe kommt vor allem der Lebenskraft zustatten, indem auf diese Weise nicht nur passende chemische Reaktionen im Organismus hervorgerufen und die Lebensprozesse aufrecht erhalten, sondern auch Formbil-

dungen verursacht und Entwicklungsvorgänge gesteuert werden. Wir dürfen hoffen, daß in den nächsten hundert Jahren das Gebiet der Gewebeaufbau-, Steuerungs-, Formbildungs- und Entwicklungskatalysen eine ebenso gründliche Untersuchung erfahren wird, wie im vergangenen Jahrhundert bereits die organischen Fermente, auf deren Wesensübereinstimmung mit den Katalysatoren ich als einer der ersten hingewiesen habe⁴². Im Anfang haben sich vornehmlich die Chemiker mit der Katalyse abgegeben; fortan haben auch die Physiologen und Biologen immer mehr das Wort!“

Und dann könnte er, einen Ausspruch aus seiner letzten Lebenszeit (von 1847) nur wenig modifizierend⁴³, fortfahren. (Die originalen Sätze in Kursiv):

„Die innewohnende Kraft, welche unter den dazu erforderlichen Verhältnissen bestimmt, daß der von außen aufgenommene Nahrungsstoff zu der Art von Pflanze und Tier wird, von welcher Samen- und Eizelle herrührten, und daß im Organismus die mannigfachsten katalytischen Einflüsse ganzheitlich geregelt ineinandergreifen, das ist das Rätsel des Lebens, welches wir niemals lösen werden. Vie ernstlich wir uns auch bemühen, einen Blick in diese Laboratorien des Lebens zu werfen, so nehmen wir doch niemals den spiritus rector wahr, welcher diese Kräfte bestimmt, nach ihren Zielen zu wirken. Inzwischen erlauschen wir doch hier und da etwas von seinen Geheimnissen, und wie weit wir damit bei einer fleißigen Forschung in Zukunft kommen können, kann niemand voraussehen. Eines von diesen erlauschten Geheimnissen haben wir in der Anwendung gefunden, welche die lebende Natur von der katalytischen Kraft macht und welche weiter zu erforschen eine unserer wichtigsten Aufgaben bei dem Suchen nach den ursächlichen Zusammenhängen der Lebenserscheinungen sein muß!“⁴⁴

„Viel Analyse, bescheiden in der Synthese, und als Ziel das Leben als Ganzes!“ (H. J. Jordan.)

Anmerkungen:

¹ Siehe v. Lippmann, Urzeugung und Lebenskraft 1933. A. v. Weinberg, Tendenz im Weltgeschehen 1921. Förber, Stoff und Form als Problem der biochemischen Forschung, Isis 1934. Gmelin 1817: „Organische Körper sind Produkte der durch Lebenskraft geleiteten Affinität“. Im Jahre 1828 hatte Wöhler aus „unorganischem“ Material (Ammoniumcyanat)

Harnstoff hergestellt; 1845 bezeichnete Schleiden die Lebenskraft als „Prinzip der faulen Vernunft“. — 2 Berzelius Jahresber. 1834/36, 237—245; gleichzeitig erschienen in Schuhmachers astronomischem „Jahrbuch für 1836“ (Stuttgart) und Ann. Chim. et Phys. 1836, 146—151. Über Berzelius' Gesamtwerk s. P. Walden, Berzelius und wir. Angew. Chem. 1930, 325 ff. — 3 Näheres hierzu s. Mittasch, Berzelius und die Katalyse. Leipzig 1935; ferner auch W. Ostwald, Ältere Geschichte der Lehre von den Berührungswirkungen. Dekanatsprogramm Leipzig 1898. — 4 Wir sehen ab von dem Zeitbedingten in Berzelius' Ausführungen, so von der „Erweckung schlummernder Verwandtschaften“, durch die eine „größere elektrotechnische Neutralisierung“ hervorgebracht wird, usw., dergleichen von einem Katalysestreit mit Liebig und der weiteren Entwicklung der Lehre von der Katalyse bis W. Ostwald und darüber hinaus. Hierzu s. Mittasch u. Theis, Von Davy und Döbereiner bis Deacon (Grenzflächenkatalyse) 1932, sowie Mittasch, Über die Entwicklung der Theorie der Katalyse im 19. Jahrhundert. Naturwiss. 1933, 729 ff. — 5 Willstätter, Zur Lehre von den Katalysatoren 1927: „Katalysatoren können Reaktionen nicht nur beschleunigen, sondern auch hervorrufen.“ — 6 Es sei an die Ausführungen (S. 163) über den einen Pflanzensaft oder das eine Blut erinnert, aus dem durch die „katalytische Kraft“ der Gewebe die verschiedensten Dinge entstehen können. Demgegenüber hat W. Ostwald dem Merkmal der „Richtunggebung und Reaktionslenkung“ nur wenig Aufmerksamkeit gewidmet. S. dazu Schwab, Katalyse vom Standpunkt der chemischen Kinetik 1931, S. 181 ff., über „selektive Katalyse“. Die Lenkung erscheint (S. 6) als „ein Erhöhen der Geschwindigkeit auf dieser an sich schon möglichen Bahn bis in den Bereich der Meßbarkeit“. Ferner s. Frankfurter u. Dürr, Katalyse, 1930 (Sonderdruck aus Ullmann, Enzyklopädie der technischen Chemie). — 7 S. hierzu die (noch unvollständige) Übersicht bei Mittasch, Ber. dtsh. chem. Ges. 59, 13 (1926). Selbst Bewegungsvorgänge kann eine Katalyse schließlich im Gefolge haben (z. B. solche kontraktiver Art bei der katalytischen Verbindung von Gasen zu viel weniger Raum einnehmenden Flüssigkeiten), oder auch die Bildung von Membranen (etwa Abscheidung von Nickelmetall aus Nickelcarbonyl an festen Wänden). (Auch an den Vorgang rhythmischer Auflösung, z. B. „passiver“ Metalle durch Autokatalyse sei erinnert.) Ausgedehntere Wirkungen liegen auch bei „Kettenreaktionen“ vor, insofern als ein einziger automatisch auszulösen vermög. — 8 Es ist gewiß kein Zufall, daß das erste Aufmerksamwerden auf besonders eindrucksvolle Vorgänge solcher Art (noch ohne den Namen Katalyse) um die Wende des 18. bis 19. Jahrhunderts, also in der Zeit des Aufblühens der Stöchiometrie erscheint: Stickoxyd bei dem alten Bleikammerprozeß zur Schwefelsäureherstellung, Stärkehydrolyse durch Säure und wäßrige Malzauszüge, Davys Beobachtungen an brennbaren Gasen mit einem heißen Platindraht usw. — 9 Vgl. Mittasch, Z. Elektrochem. 36, 573 (1930) (Mehrstoff-Katalysatoren); Chem. Ztg 58, 305 (1934) (Technische Katalyse); Frankfurter und Dürr, a. a. O. Das negative Gegenstück hierzu, die „Lähmung“ und „Vergiftung“ durch gewisse Stoffe, ist schon aus den Anfängen der Beschäftigung mit Katalyse bekannt. — 10 Die Katalysedefinition von Liebig, die in seinem Streit mit Berzelius eine große Rolle gespielt hat, wonach der Katalysator seinen eigenen Erregungszustand molekularer Schwingungen auf das Substrat überträgt, hat mehrfach zu einer Betonung des „Verbrauchtwerdens“ des Katalysators geführt, die im Grunde mehr auf den Vorgang der „Induktion“ paßt. (Mit der „energetischen Induktion“ der Physik, z. B. in der Elektrizitätslehre, hat das nichts zu tun.) Die Grenzen zwischen „Katalyse“ und „Induktion“ sind unscharf, da es einigermaßen willkürlich ist, bei welcher Zahlenhöhe des „Induktionsfaktors“ man beginnen will, von Katalyse zu reden. Über die Bioinduktion in ihrem Verhältnis zur Biotkatalyse und die Rolle der Kettenreaktionen dabei (Bodenstein u. a.) vgl. v. Euler, sowie Willstätter und Haber [Ber. dtsh. chem. Ges. 64, 2844 (1931)]. Bach, Semenoff u. a. Nach v. Euler kann bei der Übertragung von Gärungs- und Atmungsenergie auf andere Zellreaktionen der nicht als fühlbare Wärme entwickelte Teil der Reaktionsenergie „für Synthese, Zuwachs, Regeneration und Fortpflanzung ausgenutzt“ werden. (Vgl. auch die Stickstoffassimilation durch gewisse

Mikroorganismen, die nur auf der Basis der Kopplung mit Energie liefernden chemischen Vorgängen möglich ist.) S. hierzu, speziell über hochwertige physiologische Kreisprozesse, Meyerhof; ferner Knoop (Naturwiss. 1930, 224) über die „Energiewanderungen“, die im Organismus durch Stoffe mit mittlerem Redoxpotential (wie Glutathion) vermittelt werden, die je nach Umständen oxydierend oder reduzierend wirken; weiter Waldschmidt-Letz, Warburg, Wieland u. a. — 11 Die Bedeutung der Hemmungen stofflicher Umwandlung und ihrer Überwindung allgemein schildert Lange, Z. Elektrochem. 41, 107 (1935), s. auch Polanyi, Naturwiss. 1932, 280; Ohne die chemische Trägheit würde „das ganze Reich organischer Verbindungen auf wenige Dutzend Stoffe zusammenschrumpfen.“ — 12 Schon 1818 hat Thénard die katalytische Wasserstoff-superoxyd-Zersetzung in Beziehung gebracht zu animalischen und vegetabilischen Sekretionen, und eines der am längsten bekannten Enzyme, die Wasserstoffsuperoxyd zersetzende Katalase, deutet schon in ihrem Namen den Zusammenhang mit der „gewöhnlichen“ Katalase an. Außer den großen Werken über Enzyme und ihre Wirkungsweise s. auch Willstätter, Probleme und Methoden der Enzymforschung, Naturwiss. 1927, 585; v. Euler, Biokatalysatoren (Sammlung Ahrens) 1930. Durch Restaffinitäten hochmolekularer Stoffe gebildete „Verbindungen“, wie Enzymadsorbate werden von Willstätter als „Symplexe“ bezeichnet; Hoppe-Seylers Z. 225, 103 (1934). — 13 Vgl. Frankenburger, Fermentreaktionen unter dem Gesichtspunkt der heterogenen Katalyse, in Erg. Enzymforsch. 3. (1934); Willstätter, Enzymisolierung, Ber. dtsch. chem. Ges. 69, 1 (1926); Lebensvorgänge und technische Methoden, Österr. Chem. Ztg. 32, 107 (1929); Schöberl, Spezifische Wirkung von Katalysatoren und Enzyme, Naturwiss. 1934, 245; ferner Eichholtz u. a. — 14 Bredig, Anorganische Fermente 1901; Langenbeck, Fermentproblem und organische Katalyse, Angew. Chem. 45, 97 (1932); Chem. Natur der Fermente, Erg. Physiol. 35 (1933); Bredig, Asymmetr. Synthese durch Katalysatoren als Modell der Fermentwirkung, Festschr. Techn. Hochsch. Karlsruhe 1925; Biochem. Z. 250, 414 (1932); Rost, Entsteh. d. opt. Asymmetrie, Angew. Chem. 1935, 73. Auch bei „Gärungsvorgängen“ durch die Lebenstätigkeit von Mikroorganismen (Pasteur) wurden vielfach „ungeformte“ Fermente als das wirksame Agens gefunden (E. Buchner). „Die Traubenzuckergärung ist Katalyse, Fermentwirkung und Lebensprozeß zumal“ (Wundt). — 15 Das Vitamin B: (Laktoflavin) kann, wenn es durch Vermittlung von Phosphorsäure an Eiweißsubstanz gebunden ist, zu einem wohldefinierten Ferment werden (Warburg, Kuhn); andererseits ist neuerdings (Tillmans, Kögl u. a.) auch die strenge Scheidung von Hormon und Vitamin gefallen, so daß man in der Zufuhr eines Vitamins „eine natürliche Hormontherapie erblicken kann“. S. ferner v. Euler, Wachstumsstoffe und biochem. Aktivatoren, Angew. Chem. 1932, 220; Fr. Kögl, Über Wachstumsstoffe der Auxin- und der Bios-Gruppe [Ber. dtsch. chem. Ges. 68, 1 (1935)]. Auch für den spezifischen Faktor, der die Normalzelle bei geschädigtem Abwehrsystem zur „Krebszelle“ macht (G. Klein, Über Krebsdisposition 1934), sowie wiederum hinsichtlich des „lytischen Prinzips“ für Krebszellen dürften Beziehungen zur Katalyse vorhanden sein, da es sich nach Klein durchaus um „stoffliche Agenzien“ handelt. Nach Abderhalden (Naturwiss. 1930, 429) erscheint es möglich, daß Hormone und Vitamine — sowie pharmakologische und toxiologische Agenzien — ebenso wie Enzyme in der Weise spezifisch wirken, daß sie „mit bestimmten Substraten in enge Beziehung treten“ und labile Zwischenverbindungen entstehen lassen. v. Euler spricht von „Vitazymen und Hormozymen“, um die katalytische Wirkungsweise anzudeuten. Über Wachstumserscheinungen unter dem Gesichtspunkt der Autokatalyse s. Reed u. Dufrenoy, Rév. gén. Sci. pur. appl. 45, 565 (1934). 16 Nach Kögl bilden die Wurzelbildungsstoffe ein Analogon zur den Formbildungsstoffen; die Auxine zeigen auch eine gewisse, wenngleich schwache Wirkung in dieser Beziehung, so daß sie gleichzeitig Phytohormone und Organisatoren wären! (Vgl. auch die Umwandlung des Axolotl durch Zuführung von Schilddrüsenhormon.) — 17 Eichholtz, Katalyse in Pharmakologie und Medizin, Chem. Ztg. 1934, 409. — 18 Hämmerling, Naturwiss. 1934, 829. — 19 1913 sagt Ostwald („Philosophie der Werte“ 1913, 176): „Im Moment der Befruchtung nimmt der Organismus einen bestimmten Stoff auf, der etwa autokatalytisch die Lebensgestal-

tung bewirkt“, und im gleichen Jahr spricht E. A. Schäfer („Das Leben“) den Gedanken aus, daß (nach J. Loeb) die Befruchtung dem Eindringen eines anreizenden oder katalytisch wirkenden chemischen Faktors in der Zelle zuzuschreiben ist. R. Hesse, Naturwiss. 1934, 845: „Die chemische Beschaffenheit der Gene macht sie der Mutation zugänglich“. v. Euler, Biokatalysatoren, sowie Angew. Chem. 1933, 223, spricht die Hoffnung aus, daß das Studium der Entstehung der Vitamine und „Aktivatoren“ eine Brücke schlagen hilft zur Erbkheitsforschung und biologischen Entwicklungslehre. — 20 Auf dem Gebiet der Hormone und Vitamine ist ein solches ganzheitliches Zusammenwirken von Katalysatoren wohl bekannt, wie andererseits auch Antagonismen existieren, z. B. zwischen Vitamin A und dem Thyroxin-Hormon. Ein bestimmtes Zusammenwirken fand Kögl auch bei gewissen Biosfaktoren, die für sich allein unwirksam sind, die Wirkung des Biotins aber stark erhöhen. — 21 Über die Funktionsweise der Genstoffe s. A. Kühn, Naturwiss. 1935, 1: Die Gene bestimmen nicht die Ausbildung von Merkmalen schlechthin, sondern die Art, wie die Zellen auf bestimmte Entwicklungsreize antworten. Ähnlich Hämmerling (a. a. O.): Die Gene kontrollieren die Entstehung von Stoffen, die im Plasma spezifische Wirkungen entfalten, die zum Merkmal führen. — 22 Nach W. Ostwald ist die „Auslösungswirkung“ eines Reizes „kein Maschlinenverhältnis“, sondern analog der Katalysatorwirkung; gegen eine einfache „Transformation“ spreche schon die örtliche Trennung von Reiz und Gegenwirkung. Als Beispiele seien die Reizwirkung von Apfelsäure auf Schwärmsporen (nach J. Loeb) und der Buttersäure auf die Lebensfunktion der Zecke (nach v. Uexküll) genannt. Bei derartigen physiologischen Vorgängen wird sehr zu beachten sein, inwieweit die Produkte eines ersten katalytischen Prozesses ihrerseits wieder als Katalysatoren bzw. als Reizstoffe wirken, nachdem sie an den Ort der „Sekundärwirkung“ durch Transportvorgänge gelangt sind. Vermutlich spielen bei allen Hormon-, Vitamin- und ähnlichen Prozessen solche „Wanderungsgeschwindigkeiten“ eine große Rolle für den Ablauf des Bruttovorganges, von dem man oft nur Anfang und Ende „testen“ kann. — 23 G. Klein („Physiologische Entwicklung“ 1926) spricht von der spezifischen Wirkung spezifischer Stoffe und spezieller Zellelemente, die bei Zellteilung, Formbildung und Reizleitung eine spezifische Rolle spielen. (Darnach wäre auch der [fortbewegte] Reizstoff für die Stoßreizstellung der Mimosablätter als Biokatalysator anzusprechen; s. Bünning, Naturwiss. 1935, 189.) — 24 Müller, Erlangen, Über den Instinkt, 1929; Demoll, Instinkt und Entwicklung, 1934. — 25 Karl Ludwig hat einst gesagt: „Es dürfte leicht dahinkommen, daß die physiologische Chemie ein Teil der katalytischen würde“, und Willstätter 1929: „Die unermeßliche Zahl chemischer Reaktionen in den lebenden Zellen wird durch die organischen Katalysatoren nach Richtung und Geschwindigkeit geregelt. Leben ist das Zusammenwirken enzymatischer Vorgänge“ (allgemeiner: biokatalytischer Vorgänge). Über die wichtigen Beziehungen der Photochemie zur Bildung von Biokatalysatoren, vgl. Frankenburger, Strahlenther. 47, 233 (1933); auch sei an die „photokatalytische“ (sensibilisierende) Wirksamkeit des Chlorophylls bei der CO₂-Assimilation erinnert. „Im pflanzlichen und tierischen Organismus spielen sich — ohne Anwendung gewaltsamer Hilfsmittel, wie hoher Gasdrücke oder hoher Temperaturen — die eigenartigsten katalytischen Umsetzungen im harmonischen Zusammenwirken ab; hier gibt es homogene und mikroheterogene Katalysen, verursacht durch anorganische und organische Katalysatoren, Reaktionen an feinsten Oberflächen, die unter Mitwirkung der Strahlungsenergie chemisch träge Gase wie die Kohlenäure zu hochmolekularen Verbindungen umwandeln, Prozesse, bei denen die komplizierten Substanzen der Organismen mit Leichtigkeit aus den einfachsten Komponenten aufgebaut werden“ (Frankenburger und Dürr). — 26 Vgl. Forel's Nervenwellen (Neurokyme), sowie „Aktionsströme“ und die „Bergerschen Schwingungen“ cerebralen Ursprungs; W. Köhler, Forsch. u. Fortschr. 1934, 168; Berger, Naturwiss. 1935, 11. (Auf das „Biofeld“ und die mitogenetische Strahlung soll nicht eingegangen werden.) — 27 Es erscheint paradox, daß bei der Abbildung der Wirklichkeit durch mathematische Symbole gerade die niedere Mathematik viel früherischer ist als die höchste Mathematik eines Leibnitz, Newton, Maxwell und der neuen Quantenmechanik. Am Irreführend-

sten erscheint die algebraische Summenformel, indem es wohl nirgends in der Welt zwei Dinge gibt, die aneinandergbracht, dann wirklich nur die Summe dieser zwei einzelnen Dinge wären, und nicht noch etwas mehr und etwas anderes dazu; und ähnlich gibt es wohl in der Elektrizitätslehre kein mathematisches Symbol, das sachlich so wenig zutrifft wie die Bezeichnung der beiden Elektrizitätsformen als + und - Elektrizität; bestehen doch tatsächlich zwischen beiden — vor allem in der Dynamik elektrischer Elementarprozesse — so starke Unsymmetrien (verschiedenes Verhalten von Elektron und Positron, Fehlen eines „Anti-Protons“ und damit eines „Anti-Atoms“), daß man vielleicht gut täte, dann und wann einmal die beiden Elektrizitätsformen unter einem anderen Bilde, etwa dem einer X- und Y-, oder einer männlichen und weiblichen Elektrizität, zu denken! — 28 Die „Kausalitätsschmerzen“, die man schon vor zweitausend Jahren kannte und die in Zeiten der Eröffnung neuer physikalischer Erkenntnisgebiete — wie in den letzten Jahrzehnten — besonders leicht auftreten können, lösen sich regelmäßig in dem Gewahrwerden auf, daß nicht eine Aufhebung der Kausalität (als „Naturgesetz“) stattgefunden hat, sondern daß das Kausalitätsbedürfnis in neuartiger und schließlich vollkommenerer Weise befriedigt wird — (Planck, v. Mises, Heisenberg); würde ja auch andernfalls „den Dämonen“ der Wilden Tür und Tor geöffnet!“ (Eddington). In der populären Literatur wirken freilich derartige Begleiterscheinungen von Erschütterungen des physikalischen Weltbildes oft dann noch lange nach, wenn in der Wissenschaft „Akausalität“ längst brüchig geworden ist; namentlich in unberechtigter Extrapolation auf das psychische Geschehen, das, wenn auch an Physisches geknüpft, doch in seiner eigenen Weise (richtungsmäßig) kausal bedingt ist. W. Wundt: Naturgesetze sind nicht Vorschriften, der Natur von außen gegeben, sondern ihr selbst immanent, zugleich Zeugnisse einer Einheit von Denken und Sein. Paulsen: Der Glaube an das Naturgesetz ist uns der Glaube an unsere Vernunft. Schlick: Das Kausalprinzip ist nicht eine Tatsache, sondern Aufforderung und Vorschrift. Nicht die Naturvorgänge sind verschwommen und ungenau; ungenau und verschwommen sind nur unsere Gedanken hierüber. v. Laue: Ein Schluß von den Ungenauigkeitsbeziehungen auf ein Versagen des Kausalbegriffes ist nicht zwingend. Diese setzen jeder korpuskularen Mechanik eine Grenze, nicht aber jeder physikalischen Erkenntnis. — 29 Meyerhof: „Die statistischen Gesetzmäßigkeiten, wie in Mendels Vererbungslehre, folgen aus dem Zusammenwirken kausaler Einzelprozesse.“ Über den Begriff des Zufalls — des „Schattens der Notwendigkeit“ (Windelband), mit seiner Doppelbedeutung als „kausaler“ und als „finaler“ Zufall — s. Just, Der Zufall im organischen Geschehen, 1925, wo an dem Beispiel des Seesternes mit seiner „zufälligen“ Lenkung der Gesamtbewegung nach rechts oder links als Resultante vieler konkurrierender, der Oberleitung entbehrender, dabei im einzelnen durchaus kausal bedingter phototaktischer Bewegungen der einzelnen Füßchen deutlich wird, daß in der Verschlingung und Verfilzung von Kausalreihen die eigentliche Domäne des Zufallsbegriffes liegt. Auch das rotierende Maschinengewehr mit seiner Streuung in zahllosen Zufallstreffern arbeitet streng kausal, und ein statistisches Ordnungsgefüge im großen kann nicht aus einer vollkommenen Unordnung im kleinen, sondern nur aus einer — wenn auch unvollkommenen oder gar nicht erkannten — Ordnung im kleinen hervorgehen. — 30 Auf die feineren Schattierungen des Ursachenbegriffes, die da und dort angebracht sein mögen (Bedingung, Endursache, auslösende Ursache, Motivation usw.), soll hier ebenso wenig eingegangen werden wie auf den metaphysischen Gedanken einer letzten Ursache als Causa efficiens und Natura naturans. S. hierzu Wundt, Driesch, Ph. Frank, N. Hartmann und andere Erkenntnistheoretiker. — 31 Auch in der strengen Wissenschaft gibt es beim Vorhersagen alle Grade der Wahrscheinlichkeit, von praktischer vollkommener Sicherheit (daß morgen die Sonne wieder aufgehen wird) über recht unbestimmte Voraussagen (z. B. der Meteorologie) bis zu den verschwindend geringen „Wahrscheinlichkeiten“, wenn es sich um Aussagen über das Schicksal des Einzelindividuum zumal im Mikrokosmos handelt: einzelne Photonen, Elektronen, Atome und Molekeln, Samenzellen usw. — 32 Schon Goethe hatte an der materialistischen Auffassung einer „richtungs- und gestaltlosen Natur“ Anstoß genommen.

In der Welt des Physischen wird es (s. das Schema S. 166) nur zwei Hauptmöglichkeiten geben, daß „kleine Ursachen große Wirkungen“ haben: die richtunggebende Veranlassung von Vorgängen durch Stoffe (Katalyse) und die Auslösung oder Induktion von Vorgängen durch Energiempulse. Alles weitere, der Akt der chemischen Verbindung selbst und die Energieumsetzung, folgt Gleichheitsbeziehungen. Die mechanische Ursache aber — auf die der „universale Geist“ von Laplace einseitig festgelegt werden sollte — stellt nur einen kleinen Ausschnitt aus der Fülle aller Kausalitätsmöglichkeiten dar. So geht auch der von P. Jordan ausgesprochene Satz, daß „bei dirigierenden Reaktionen keine Kausalität vorhanden“ sei, von einem zu engen Kausalitätsbegriff aus. „Katalytisch heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Beziehung (d. h. Gleichheitsbeziehung) steht“. R. Mayer 1867. S. auch O. Koehler, Ganzheitsproblem in der Biologie; Schriften Königsb. Gel. Ges. 1933, 185: „Gefunden wäre ein Stoff, eine causa, wirksam allein im doch wieder nur konstruktiv synthetisch überschaubaren Systemgefüge des gestalteten Ganzen.“ — 33 Vgl. z. B. den Satz bei Zimmer, Umsturz im Weltbild der Physik, 1934, S. 107: „Die energiereicheren Planeten werden vom Zentralgestirn auf engeren Kreisen festgehalten, in denen sie sich durch schnellere Bewegungen vor dem Hineinstürzen in den Sonnenball schützen.“ — 34 Es bestehen Andeutungen, daß die wahlhafte Nahrungsaufnahme von Amöben und Infusorien zugleich katalytisch bedingt sein, d. h. etwa mit der Wasserstoffionenkonzentration zusammenhängen kann (Koltzoff u. a.). Claude Bernard: „Die chemischen Vorgänge bei Organisation und Nahrungsaufnahme verhalten sich so, als ob die chemischen Kräfte durch eine höhere treibende Kraft beherrscht würden.“ — 35 Kant: Wieviel tut der Mechanismus zur Erreichung von Zwecken? Meyerhof: Das Entstehen des Organismus ist für die empirische Forschung unzugänglich wie die Entstehung des Makrokosmos; das macht eine teleologische Betrachtung als heuristisches Prinzip nötig. Mauthner: Immer läuft die Definition des Organischen darauf hinaus, daß die Organe die Ursache des Lebens sind und daß sie zugleich ihre Zweckursache im lebendigen Ganzen haben. — 36 O. Koehler, das Ganzheitsproblem in der Biologie, 1933, mit einer umfassenden Übersicht über ein großes Material, von dem Gedanken beherrscht, daß schon im Physischen die Ganzheit verfolgbar verwirklicht und nicht erst durch ein fremdes ganzmachendes Agens zu erzeugen ist. So hatte schon v. Kries 1901 Ganzheitsordnungen bis in das zentrale Nervensystem hinein verfolgt, wo nicht einfache Leitungsbahnen, sondern „Netzzusammenhänge“ ein harmonisches Zusammenspiel verbürgen. S. auch Gradmann über harmonische Lebenseinheiten, Naturwiss. 1930, 641. — 37 Vgl. Anm. 1. Schon in der anorganischen Katalyse werden der „Lebenskraft“ vergleichbare, aber finaler Betrachtung hervorgehende, anthropomorphe Bezeichnungen wie „bestimmen, richten, lenken“, da unvermeidlich angewendet, wo ein Katalysator von verschiedenen möglichen Reaktionsweisen eine „bevorzugt“ (z. B. bei der katalytischen Ammoniakoxydation; s. auch S. 165). — 38 Riezler: Die absolute Wirklichkeit ist breiter und reicher als die physikalische, und die mathematische Symbolik der Physik ist keineswegs die absolute Wirklichkeit. In der Welt des lebendigen Geistes gibt es Formungen und Ordnungen, denen mit dem Ordnungsgefüge der Physik nicht beizukommen ist. Es kann so manches mit physikalischer Gesetzmäßigkeit zusammen bestehen, was sich doch nicht davon herleiten läßt. Ich müßte mich wundern, wenn die volle Wirklichkeit die Gnade hätte, sich dem physikalischen Ordnungsgerüst völlig zu fügen. Adolf Meyer: Die physikalische Wirklichkeit ist durch Vereinfachung der organismischen Wirklichkeit ableitbar, das Umgekehrte ist sinnlos. Die organismische Welt ist die wirklichkeitsvollere. Meyerhof: Eine zureichende physikalisch-chemische Erklärung für die Bildung von Organismen ist unmöglich. Das physikalische Weltbild, das vom Bewußtsein absteht, kann nicht das physiologische in sich aufnehmen, sondern umgekehrt. Heisenberg: Alle Bereiche des geistigen Lebens von den Prinzipien der Physik verstehen zu wollen, ist trügerisch. Versucht man dennoch aus den Gedankengängen des Chemikers und Physikers eine Definition des Lebens (von außen her), in welcher auch der Katalyse ihr Platz angewiesen ist, so könnte diese lauten: Irdisches Leben ist diejenige unergründliche Erfindung der

Natur, wonach unendlich zahlreiche materiell-dynamische, form- und zeitdauerbegrenzte und innerlich mehr oder weniger gegliederte stationäre und dabei dauernd in Teilwandlungen begriffene Gebilde polarer und dazu unwahrscheinlichster Art bestehen, zusammengesetzt aus einer wohlgeordnet erscheinenden Vielheit wässrig-kolloider bis gemischt-faseriger und kristallinischer (gelöster oder ungelöster) Teile, die wieder aus den verschiedensten chemischen Verbindungen, insbesondere Stickstoff- (und Phosphor-) enthaltenden organischen Verbindungen ganzheitlich aufgebaut sind; begabt mit der Fähigkeit mannigfaltiger auswählender Assimilation, Akkumulation und Transformation herangeführter Materie und Energie durch die körpereigene Masse in oft mit Massenzunahme (In den Teilen und im Ganzen) verbundenen Stoffwechselvorgängen, wobei in der Regel mehr oder minder feste, dünnere oder dickere, vielfach halbdurchlässige Wände als Teilabgrenzungen dienen, und mit der Fähigkeit einer Erzeugung neuer gleichartiger Gebilde; für diese Ziele mit weitgehender räumlicher Verteilung und wiederum ganzheitlich zusammengefaßter Steuerung aller chemischen Vorgänge durch Katalysatoren und sonstwie, und mit hieraus folgenden rhythmischen und arrhythmischen Teil- und Gesamtbewegungen ausgestattet, und die Gesamtwirkung einer Verlangsamung und Richtungsgebung der Zerstreung und Entwertung (Dissipation) der Sonnenenergie aufweisend, dies teils infolge relativ hoher Beständigkeit der erzeugten und Energie speichernden chemischen Verbindungen, aus denen die Gebilde bestehen, teils durch die Einschaltung hochwertiger Kreisprozesse und gekoppelter Reaktionen in den gesamten Stoffwechsel; und mit der weiteren Gesamtfolge, daß auch Oberfläche und Rinde der Erde durch die stofflichen und energetischen Auswirkungen dieser Gebilde direkt und indirekt von Anbeginn Veränderungen erfahren haben. — 39 Schon jede lebende Zelle ist „ein psycho-physisches Doppelwesen“ (Meyerhof), für das der Satz von N. Hartmann gilt: „Es ist unbegreiflich, wie ein Prozeß als Körpervorgang anfangen und als seelischer Vorgang enden kann und umgekehrt“. So kann es auch geschehen, daß das Walten „hormonaler Geheimbünde“ im Organismus mit ihren Wirkungen auf das Nervensystem — in normalem und pathologischem Zustand — von bis in die Sphäre der allgemeinen Sinnes- und Willensrichtung, also bis in Charakter und Temperament hinein erstreckt. (Kretschmer, Körperbau und Charakter 1931, S. 238.) Wenn demnach eine gewisse „Harmonie“ des gesamten steuernden Apparates ihr psychisches „Korrelat“ besitzt, so wird es schließlich auf solcher Basis auch begreiflich, daß der strebende und schaffende Mensch gerade in denjenigen Augenblicken das beglückende Gefühl höchster Freiheit — als Steigerung des Ich- und Lebensgefühls — in sich trägt, in denen sein Schaffen am stärksten unter Zwang des Dämons steht — aber seines eigenen Dämons als einer Ganzheit eigener Ich-Motive! — (S. hierzu auch H. H. Meyer, Naturwiss. 1934, 598.) — 40 Es sei hier auch an das „organische Gedächtnis“ der Zellen und Zellverbände (Hering) erinnert, für die nach W. Ostwald die „Autokatalyse“ ein Modell abgeben soll. (Über den Wert derartiger Modelle, s. O. Koehler, a. a. O. S. 163.) Wie weit andererseits der Katalysatorbegriff bis in das Reich des Makrokosmos verfolgt werden kann, zeigt sich darin (Bothe), daß es zur „Materialisation“ von Strahlungsenergie im Universum (energiereiches Photon \rightarrow Elektron + Positron) vorhandener Materie (der Atomkerne) als „Katalysator“ bedarf. (Naturwiss. 1933, 817.) — 41 „Gewiß ist die Zurückführung der Finalität auf zielstrebige Potenzen psychischer oder metaphysischer Art (Willen, Entelechie usw.) für die Naturwissenschaft unfruchtbar; und doch müssen im Reich des Lebens Wirkenszentren gegeben sein, die Richtungsbestimmtheit des Geschehens bewirken.“ (Sapper 1933.) „Ursachen, Gesetze und Zwecke sind nur in der menschlichen Sprache, nicht in der Natur; in dieser aber ist das Gewebe der Notwendigkeit. Was wir menschlich die Ordnung der Welt nennen, das ist gewiß kein Zufall, das ist aber ein Geheimnis und wird ein Geheimnis bleiben für die Menschensprache“ (Mauthner). „An ausgezeichneten Stellen schimmern höhere Ordnungsgefüge durch die Welt, die das philosophische Denken zu formulieren sucht“ (Spranger). „Als ein Gleichnis der Ordnung der Welt“ aber erscheint schließlich nicht „die vermeintliche Harmonie des Sternenhimmels, sondern die ruhelose Menschheitsgeschichte“ (Riezler). — 42 Zum ersten Male hatte

Berzelius in seinem Lehrbuch der organischen Chemie 2, 924 (1828) eine Analogie von Hefegärung und Wasserstoffsperoxydzersetzung behauptet, nachdem schon Thénard 1819 die Auswirkung der Drüsen-tätigkeit (animalische und vegetabilische Sekretion) als dieser ähnlichen Vorgang bezeichnet hatte. — 43 Lehrbuch der Chemie 5. Aufl. 4, 53 (1847). — 44 Summarisch sei noch folgende Literatur nachgetragen: Schönbein, Bedeutung und Endzweck der Naturforschung, 1853; Driesch, Leben, Tod, Unsterblichkeit; in Senckenberg-Schriften 2 (1926) Philosophische Gegenwartsfragen 1933; Born, Sinn der physikalischen Theorien 1929; Forel, Gehirn und Seele 1894; Ph. Frank, Kausalgesetz und seine Grenzen 1932; Haber, Über die Grenzgebiete der Chemie (Aus Leben und Beruf 1927); M. Hartmann, Biologie und Philosophie der Bewußtseins-Ring des Lebens 1925; v. Kries, Materielle Grundlagen der Bewußtseinserscheinungen 1901; Immanuel Kant und seine Bedeutung für die Naturforschung der Gegenwart 1924; Mauthner, Wörterbuch der Philosophie 1910; Planck, Wege zur physikalischen Erkenntnis 1933; v. Weinberg, Wahrscheinlichkeit und Naturwissenschaft („Natur und Museum“) 1932; Meyerhof, Forsch. u. Fortschr. 1933, 84; Smuts, Science (N. Y.) 1931, 297; W. Köhler, Phys. Gestalten, Verh. Phil. Ak. Erlangen 1924; R. Goldschmidt, Vererbungslehre; v. Uexküll, Umwelt von Menschen und Tieren (Verständl. Wissenschaft). Ferner in „Naturwissenschaften“: Ph. Frank 1932, 772; Heisenberg 1934, 669; Hilbert 1930, 959; P. Jordan 1932, 815, 1934, 485; Leibach 1934, 588; v. Laue 1934, 439; Meyerhof 1934, 311; A. Meyer 1934, 290; H. H. Meyer 14, 598; v. Mises 1930, 146, 885, 1934, 622; Reichenbach 1933, 601, 624; Riezler 1928, 705; Sapper 1933, 818; Schlick 1931, 145; Spranger 1934, 241; Weyl 1932, 57.

Katalyse und Biologie*

Im Jahre 1835 hat der berühmte Chemiker und Physiologe Jakob Berzelius den Begriff „Katalyse“ geschaffen, indem er mit diesem neuen Namen alle solchen Erscheinungen belegte, bei welchen „Körper durch ihre bloße Gegenwart chemische Tätigkeiten hervorrufen, die ohne sie nicht stattfinden“. Derartige Vorgänge waren damals schon in größerer Zahl bekannt, so Döbereiners Entzündung von Knallgas durch Platin und Thénards Zersetzung von Wasserstoffsperoxyd ebenfalls durch Platin. Was der Begriffsbestimmung von Berzelius besonderen Wert gab, war jedoch der Umstand, daß er sie ausdehnte auf analoge Vorgänge im Reich des Lebendigen, also z. B. auf die Verwandlung von Kartoffelstärke in löslichen Zucker durch Diastase und die Vergärung von Zucker zu Alkohol durch Hefe. Ja er ging noch weiter, als es die damals vorliegenden Beobachtungen unmittelbar rechtfertigten, indem er erklärte, es bestehe „begründeter Anlaß zu vermuten, daß in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten vor sich gehen“ und daß auf diese Weise z. B. aus einem Pflanzensaft oder Blut eine Menge verschiedener chemischer Verbindungen hervorgehen, vor allem in den Sekretionsorganen.

Mit außerordentlich glücklicher Intuition hat so Berzelius einen Begriff geschaffen, der nach anfänglichen Anfechtungen (z. B. durch Liebig) sehr rasch Festigung gefunden und in hundertjähriger Geschichte den Beweis seiner Fruchtbarkeit erbracht hat, in Theorie wie in Praxis, in Wissenschaft und Technik, in Chemie und Physiologie. Wilhelm Ostwald hat dann um die Jahrhundertwende den Zeitbegriff, d. h. die chemische Reaktionsgeschwindigkeit, mit Nachdruck in die Katalyse eingeführt, indem er als „katalytisch“ solche Vorgänge bezeichnete, bei denen ein Körper durch seine Gegenwart einen bereits mit geringer oder geringster Geschwindigkeit stattfindenden Vorgang beschleunigt.

Es ist jedoch nicht zu verkennen, daß in neuester Zeit das Pendel wieder etwas zurückgeschlagen hat: von der

* Forschungen und Fortschritte 12 (1936) 34—36.

„Beschleunigung“ Ostwalds zur „Hervorrufung“ von Berzelius, indem rein phänomenologisch festgestellt werden muß, daß Katalysatoren vielfach, ja anscheinend sogar in der Mehrzahl der Fälle (namentlich im Organismischen) Vorgänge veranlassen, die ohne sie noch nie und nirgends beobachtet worden sind. Das gilt vor allem für die zahlreichen Fälle der Reaktionslenkung, wo ein gegebener Katalysator in einem chemischen System von den verschiedenen thermodynamisch möglichen Reaktionen die eine oder andere „auswählt“, ein anderer Katalysator aber eine andere Richtung „bevorzugt“, so z. B. im System Kohlenoxyd und Wasserstoff, in welchem ein Nickel-Katalysator zu Methan führt, ein Zinkoxyd-Chromoxyd-Katalysator zu Methylalkohol, gewisse Kobaltkombinationen zu flüssigen Kohlenwasserstoffen usw. Dahingestellt kann bleiben, ob auch in solchen Fällen das „theoretische Postulat“ gilt, daß jeder an sich mögliche Vorgang schon ohne Katalysator in wenn auch verschwindend geringem Maße stattfinden müsse. Fruchtbarer für die weitere Entwicklung der katalytischen Forschung in Chemie und Biologie erscheint auf alle Fälle eine vermittelnde Formulierung, nach welcher von Katalyse dann gesprochen wird, wenn ein chemischer Stoff durch seine Gegenwart eine chemische Reaktion oder Reaktionsfolge nach Geschwindigkeit und Richtung bestimmt.

Daß er dies nicht durch seine „bloße Gegenwart“ bewirkt, sondern daß der Katalysator in Wirklichkeit am Vorgang aktiv beteiligt ist, und zwar im allgemeinen auf dem Wege über Zwischenreaktionen, Zwischenverbindungen und Zwischenzustände, das hat man schon in den Zeiten von Berzelius oft behauptet, das ist aber erst in unserem Jahrhundert durch reaktionskinetische Untersuchungen zur Gewißheit geworden. Der Katalysator wirkt im allgemeinen in der Weise, daß er sich in raschestem Wechsel in das Geschehen einschaltet und wieder ausschaltet, d. h. daß er labile, „lockere Anlagerungs- und Zwischenverbindungen“ (im heterogenen System „Adsorptionsverbindungen“ und dergl.) schafft, die an neuen Spaltstellen „aufreißen“, und so durch neue Elementar-Reaktionen („Urakte“) einen neuen chemischen Gesamtvorgang (als „Drama“ nach Schönbein) verursacht. Dies gilt auch für

die besondere Form der „Autokatalyse“ bei welcher ein Reaktionsprodukt (oder ein Zwischenprodukt) den weiteren Verlauf des Vorganges beschleunigt, ein Stoff also „seinen eigenen Zuwachs katalysiert“. Vielfach gehen auch „Kettenreaktionen“ in den katalytischen Gesamtvorgang ein (Bodenstein u. a.).

Die Entwicklung der katalytischen Forschung in den vergangenen hundert Jahren hat einerseits die „gewöhnliche Katalyse“ der chemischen Wissenschaft und Praxis gefördert, vorwiegend mit anorganischen Stoffen, jedoch zunehmend auch mit organischen Verbindungen als Katalysatoren; andererseits die *Ferment- oder Enzymkatalyse*, die sich zunächst ziemlich unabhängig entwickelt hat, in unseren Tagen aber in engster Beziehung zur allgemeinen katalytischen Theorie steht. Auch hier handelt es sich nach Willstätter, v. Euler u. a. um einen Reaktionsmechanismus, bei welchem das Enzym intermediär „lockere Verbindungen“ mit dem Substrat eingeht, die jeweils sogleich an neuen Spaltstellen „aufreißen“ und so zu neuen Produkten führen, mit analytischem oder synthetischem Endeffekt. Eine große Zahl von „Modellen“ derartiger Enzymreaktionen ist von verschiedenen Forschern geschaffen worden (Bredig, Langenbeck u. a.). Wie verwickelt die Reaktionsabläufe sind, in welche die von Enzymen hervorgerufenen Teilakte eingebettet sind, haben die Forschungen über Gärung (mit Enzymen von Mikroorganismen) und Zellatmung sowie über die Kohlensäure-Assimilation im Licht durch das Chlorophyll zur Genüge gezeigt (Neuberg, Wieland, O. Warburg, Willstätter, Kautsky u. a.). Dabei ist die *chemische Konstitution der Enzyme*, trotz vielfacher und weitgehender Bemühungen, noch heute größtenteils sehr ungewiß; nur soviel scheint festzustehen, daß es sich um Komplexe oder „Symplexe“ aus aktiven (prosthetischen) Wirkungsgruppen mit kolloider organischer Substanz als „Träger“ handelt. Überhaupt zeigt sich mehr und mehr als wichtige Tatsache, daß die stärksten, nachhaltigsten, eigenartigsten und feinsten katalytischen Wirkungen oft erst dann zustande kommen, wenn der Katalysator kein einfacher Stoff ist, sondern in bestimmter inniger Beimischung ganz bestimmte Begleitstoffe enthält. Der ganzheitlichen Mehr- und Sonderwirkung derartiger Mehrstoff-

katalysatoren oder „Aggregate“ steht die gleichfalls nicht-additive Erscheinung der Hemmung und Aufhebung katalytischer Wirkungen durch bestimmte Fremdstoffe gegenüber: „Vergiftung“ gegen „Aktivierung“, sowohl einseitig als auch wechselseitig (Mittasch).

Die staunenswerte neuere Entwicklung der Kenntnisse über *Hormone, Vitamine, Wuchsstoffe, Organisations- und Vererbungsstoffe* (s. zu diesen Spemann, R. Goldschmidt u. a.), — die sämtlich gleichfalls chemische Reaktionen oder Reaktionsfolgen nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmen — führt zu der ungemein wichtigen Frage, wie weit hier der Katalysatorbegriff unmittelbar Anwendung finden kann, oder ob es sich oftmals nur um Fälle von *Pseudokatalyse* handelt, d. h. um solche Vorgänge, die der Katalyse ähnlich erscheinen. Daß die durch derartige Stoffe im Organismus hervorgerufenen Reaktionsfolgen eine Verküvelung gewöhnlicher chemischer Reaktionen mit kolloidchemischen und elektrokinetischen Vorgängen mannigfachster Art und oft mit histologischem und morphologischem Endeffekt darstellen, kann an sich kein Hindernis für die Anwendung des Katalysebegriffes bedeuten; maßgebend erscheint die Frage, ob der *heuristisch als Katalysator angesprochene Stoff sich, wenn nicht langdauernd, so doch wenigstens einige Male aus dem Vorgange wieder ausschaltet und von neuem in das Geschehen einschaltet*.

Daß eine langdauernde Wirkung — die bei technischen Katalysen in oft ganz überraschendem Maße hervortritt — nicht wesentliches Merkmal der Katalyse ist, hat schon Berzelius betont; und es kommt hier neben der im Organischen so leicht möglichen „Zerstörung“ des Katalysators durch „Nebenreaktionen“, die der Stoffwechsel mit sich bringt, auch die Möglichkeit in Frage, daß eine wichtige „Abart“ der Katalyse vorliegt: die *stoffliche Induktion durch Reaktionskopplung*. Diese aber ist dadurch gekennzeichnet, daß ein Stoff, der selber durch eine „gewöhnliche“ chemische Reaktion A eine Umsetzung erfährt, gleichzeitig in bestimmter Weise eine andere, sonst nicht stattfindende Reaktion B „induziert“, vielfach derart, daß auch ein Teil der Reaktionsenergie von A mitgeteilt oder übertragen und so jene Reaktion B erst theoretisch ermöglicht wird, die freiwillig (auch mit Katalysator) überhaupt

nicht stattfinden könnte. Bekanntlich spielen derartige Reaktionskopplungen mit Energieübertragung im Organismus mit seiner sparsamen Energiewirtschaft eine große Rolle, z. B. in dem komplizierten Vorgang der Muskelarbeit. Während so bei der chemischen „Induktion“ (die mit physikalischer „Induktion“ nichts zu tun hat) der dem Katalysator vergleichbare „Induktor“ aus dem System noch Energie herausholt und verfügbar macht, ist *der eigentliche Katalysator energetisch indifferent*; der Katalysator leistet in keinem Falle energetische Arbeit (d. h. Bruttoarbeit), und zwar auch dann nicht, wenn seine Betätigung zu wichtigster physiologischer „Richtunggebung“ führt: der Katalysator ist — um einen Ausdruck von Woltereck zu gebrauchen — ein „bilanzfreier Impuls“.

Aufgabe künftiger Forschung wird es sein, auf dem Gebiet der Hormone, Vitamine, Organisatoren, Gene usw. festzustellen, in welchem Maße und Umfange katalytische Elementarakte hier eine Rolle spielen; die Tatsache der außerordentlich weitreichenden Wirkung schon kleinster Stoffmengen scheint auf das Bestehen solcher katalytischer Wirkungen hinzudeuten, die z. B. bei manchen Hormonen sehr aufringliche Notwendigkeit ständiger Nachlieferung der „steuernden Substanzen“ jedoch dagegen zu sprechen. In der *medizinischen Physiologie* ist vom Katalysator-Begriff schon weitgehend Anwendung gemacht worden (F. Höber, H. Schade u. a.), ähnlich manchmal auch bereits in der *Immunitätsforschung* (Giftwirkung und Antitoxine). Allgemein ist bei *jeder stofflichen Reizung* des Organismus die Möglichkeit der Beteiligung der Katalyse zuzulassen, desgleichen bei den physikalisch-chemischen Vorgängen, die materiell den mannigfachen Trieb- und Instinkthandlungen zugrunde liegen.

Immer aber, wo Biolog und Chemiker in vereinten Bemühungen katalytische Vorgänge als wesentlichen Bestandteil von Stoffwechsel-, Formbildungs-, Entwicklungs- und sonstigen Lebensvorgängen feststellen werden, taucht die weitere schwierige Frage auf, *wie es der Organismus anstellt*, um jeweils die passenden Katalysatoren zu erzeugen und an passender Stelle und in passendem Zusammenhang mit allem übrigen einzusetzen (Beziehungen zum „biologi-

schen Felde“). „Die Faktoren bilden nicht das Leben, sie werden gebraucht vom Lebenden“ (Driesch, ähnlich Gurwitsch, Bertalanffy u. a.).

Eine eingehende Erörterung verdienen die *Beziehungen des „Katalysators“ zum Begriff der Ursache, des Zieles und Zweckes, der „Ganzheit“ und des Organismus* mit seinen „höheren Potenzen“. Der Biokatalysator erscheint jeweils als eine richtunggebende Ursache, mit seiner in der Regel sehr ausgesprochenen spezifischen Wirkung gleichzeitig auch als einfacher „finaler“ Faktor, jedoch durchweg im Dienste der ganzheitlichen Beziehungen des Organismus, denen man auf rein „mechanistischer“ Grundlage kaum gerecht werden kann. Der Katalysator richtet und wird gerichtet.

Über Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie*

„Es dürfte leicht dahin kommen, daß die physiologische Chemie ein Teil der katalytischen würde.“

Carl Ludwig 1852

In diesem Satze spricht sich eine Nachwirkung der Begriffsbildung aus, welche der berühmte Stockholmer Chemiker und Physiolog Jakob Berzelius 17 Jahre zuvor der Wissenschaft mit seiner *Idee der Katalyse* geschenkt hatte. Ende März 1835 hatte Berzelius, 55jährig, seinen „Jahresbericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften“ für 1834 mit einer besonderen Einschaltung über die „katalytische Kraft“ der Schwedischen Akademie der Wissenschaften in Stockholm überreicht¹; im September 1835 hat er die Tagung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Bonn besucht² — anscheinend ohne hier etwas von Katalyse zu sagen — und anschließend seinen Freund Friedrich Wöhler nach Kassel begleitet, der wohl eben mit der Übersetzung des Jahresberichtes beschäftigt war; und 1836 ist dann der Jahresbericht mit dem viel beachteten Artikel in deutscher Übersetzung erschienen: in dem gleichen Jahre, in dem der Rheinländer Schwann das Pepsin entdeckt hat.

Jenen Berzelius-Aufsatz über Katalyse nehmen wir zum Ausgangspunkt für eine Erörterung der Frage, wie der Katalysebegriff, den Berzelius im Grund für die Zwecke der *Physiologie* schuf, von der chemischen Wissenschaft herübergewirkt hat und noch herüberwirkt auf die biologischen Wissenschaften, und wieweit sich heute Katalyse und Katalysatoren bis in die Wirk- und Determinationsstoffe der belebten Natur verfolgen lassen. Dabei soll aber ausschließlich der Standpunkt des katalytischen Chemikers zur Geltung kommen³, ohne ein tieferes Eingehen auf Natur und Funktion der Wirkstoffe.

Historische Grundlage

Wir beginnen mit der Definition von Berzelius, wonach *Katalysatoren Körper sind, die „durch ihre bloße Gegenwart chemische Tätigkeiten hervorrufen, die ohne sie nicht*

¹ Naturwissenschaften 24 (1936) 770—777, 785—790. Vortrag bei der 94. Tagung der Ges. Deutscher Naturforscher und Ärzte, Dresden 1936. Erweitert auch als Buch erschienen.

stattfinden⁴. Daß dergleichen Vorgänge in jenen Zeiten bereits in beachtlicher Anzahl bekannt geworden waren, zeigt die folgende Zusammenstellung:

Anfänge katalytischer Forschung in der Chemie:

- 1781: Parmentier, Verzuckerung von Stärke mit Säure.
- 1782: Scheele, Veresterung von Essigsäure, Benzoesäure usw. mit Alkohol in Gegenwart von Mineralsäure.
- 1783: Priestley, Umwandlung von Alkohol in Äthylen und Wasser an erhitztem Ton.
- 1795: Deimann u. a., Äthylenbildung aus Alkohol an verschiedenen Stoffen näher untersucht.
- 1796: van Marum, Spaltung von Alkohol an glühenden Metallen (Aldehyd).
- 1796: Mrs. Fulham, Wasserspuren als Überträger und Vermittler bei chemischen Reaktionen.
- 1806: Desormes u. Clément, Untersuchung des Bleikammerverfahrens, Stickoxyd als Sauerstoffüberträger für schweflige Säure.
- 1812: H. Davy, Bleikammerkristalle (Nitrosylschwefelsäure) für den Prozeß von wesentlicher Bedeutung.
- 1812: G. S. Kirchoff, Bei der Stärkeverzuckerung wird die Säure nicht verbraucht.
- 1813: Thénard, Zersetzung von Ammoniak an erhitzten Metallen, insbesondere Eisen.
- 1815: Gay-Lussac, Spaltung von Cyanwasserstoff an Eisen.
- 1816: Ampère, Annahme abwechselnder Nitridbildung und -spaltung bei der Ammoniakzersetzung an Metallen.
- 1817: H. Davy, Verbrennung von Methan und Alkohol an glühendem Platindraht.
- 1818: Thénard, Zersetzung von Wasserstoffsperoxyd an Metallen, Oxyden und organischen Substanzen wie Fibrin u. dergl.
- 1821: Döbereiner, Oxydation von Alkohol zu Essigsäure an Platinmohr bei gewöhnlicher Temperatur.
- 3. Aug. 1823: Döbereiner, Entflammung von Wasserstoff in Gegenwart von Platinschwamm bei gewöhnlicher Temperatur.
- 1824: Schweigger, „Anlegepunkte“ (aktive Stellen) bei derartigen Grenzflächenvorgängen.

- 1824: Bellani, Fusinieri, „Adsorptionstheorie“ der Berührungsreaktionen.
 1824: Turner, Schädlicher Einfluß verschiedener Fremdstoffe auf die Knallgasvereinigung.
 1831: Philips, Schwefelsäure durch Oxydation von Schwefeldioxyd an erhitztem Platin.
 1833: Mitscherlich, Nachweis der Ätherbildung aus Alkohol als „Kontaktreaktion“.
 1834: Faraday, Reinheitseinfluß bei Kontaktreaktionen.
 1835—1836: Berzelius, Katalyse: Namengebung und Definition.

Und zwar waren es damals schon einerseits homogene Katalysen (d. h. solche, bei denen Katalysator und Substrat eine einheitliche homogene Phase bilden), andererseits heterogene oder Grenzflächenkatalysen (bei denen Katalysator und Substrat durch makroskopische Grenzflächen getrennt sind); ja es kann sogar schon die im Organismus so wichtige „mikroheterogene“ Katalyse durch kolloid verteilte Substanzen an einer Stelle, nämlich in der Wasserstoffsuperoxydzersetzung durch Fibrin und dgl. gefunden werden. Den Prototyp katalytischer Zersetzungen und Gärungen hat von alters her die Wasserstoffperoxydzersetzung durch Platin, den Prototyp katalytischer Bildungsreaktionen die Knallgaskatalyse gebildet.

Was der Begriffsbestimmung von Berzelius gegenüber den Zusammenstellungen ähnlicher Fälle durch frühere Forscher (Döbereiner, Thénard, Schweigger, Mitscherlich⁵⁾ eine besondere Note und einen besonderen Wert gibt, ist der Umstand, daß er die neuartigen chemischen Vorgänge, die vom Chemiker im Experiment verwirklicht werden, als *Hinweise auf weit zahlreichere und weit bedeutungsvollere Vorgänge in der belebten Natur ansieht, in der die Katalyse erst zur vollen Entfaltung gelange. Die Katalyse des Chemikers wird so zum Modell bestimmter physiologischer Vorgänge*, und mit genialer Intuition prägt Berzelius für diese den Satz: „Wir bekommen begründeten Anlaß zu vermuten, daß in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und den Flüssigkeiten vor sich gehen.“

Wie kommt Berzelius zu dieser erstaunlichen Verallgemeinerung? Nur einzige 2 Fälle derartiger, von gewöhnli-

chen chemischen Reaktionen durch eine gewisse Dauerwirkung und durch das Nichtauftreten im Endprodukt abweichender organischer Vorgänge führt Berzelius selber an: die Vergärung von Zucker durch Hefe zu Alkohol und Kohlensäure und die Umwandlung von Kartoffelstärke in Dextrin bzw. Zucker durch „Diastase“; und kaum eine dritte oder vierte ähnliche Reaktion durch Berührung oder „Kontakt“ ist damals bekannt gewesen: wie man sieht, eine recht gewagte Generalisierung auf dürftigster Unterlage — und doch, wie sich gezeigt hat, eine Arbeitshypothese auch für die Physiologie von ganz überragendem Werte⁶⁾.

Eine Übersicht über die Anfänge der Katalyse — und was damit zusammenhängen kann — in der Biologie gibt die folgende Aufstellung:

Anfänge von Katalyse u. dgl. in der Physiologie

- Um 1650: Sylvius, „Fermente“ des Speichels, des Pankreas, der Galle; Verdauung als „Gärung“.
 1773: Parmentier, Studien über Pflanzenstoffe.
 1775: Théophile de Bordeau, Von jedem Organ werden besondere wirksame Substanzen in das Blut entsandt.
 1781: Wiegleb, Ausführliche Behandlung der Gärungschemie (Zymotechnie).
 1785: Irvin, Stärkezersetzung durch Malzauszüge beobachtet.
 1789: Lavoisier, Gärungsarbeiten.
 1798: Preisaufgabe der Pariser Akademie über Fermentierung.
 1810: Gay-Lussac, Chemische Reaktionsgleichung der Vergärung von Zucker.
 1814: G. S. Kirchhoff, Verzuckerung von Stärke mit Malzauszug näher untersucht.
 1818: Thénard, Beziehungen vermutet zwischen der Tätigkeit des Platins usw. bei der Wasserstoffsuperoxydzersetzung und animalischen und vegetabilischen Sekretionen.
 1819: Th. de Saussure, Fermentative Spaltung als „accélération“ aufgefaßt.
 1830: Joh. Müller, Sekretion von Exkretion unterschieden.
 1833: Payen und Persoz, Malzferment abgetrennt und als „Diastase“ bezeichnet.

- 1836: Schwann, Im Magensaft ein aktiver Stoff der Drüsenhaut wirksam: Pepsin.
- 1837: Liebig u. Wöhler, Fermentative Spaltung des Amygdalins mit Emulsin.
- 1837: Schwann; Cagniard-Latour, Die Hefe aus Sproßpilzen bestehend.
- 1839: Liebig, „Mechanistische“ Fermenttheorie: Übertragung eines Zersetzungszustandes von dem wirksamen Stoff auf einen anderen.
- 1849: A. A. Berthold, Erste Drüsenverpflanzungen an Hähnen.
- 1854—1855: Cl. Bernard, „Zuckerstich“; „*sécrétion externe*“ und „*interne*“; Einwirkung von Pankreassaft auf Nährstoffe.
- 1856: Brown-Séguard; M. Schiff, Wirkung von Schilddrüse- und Nebenniere-Exstirpation.
- 1857: Pasteur, „Vitalistische“ Gärungstheorie.
- Um 1860: Schönbein; M. Traube; Biokatalytische Arbeiten, insbesondere über vitale Oxydation.

Zum näheren Verständnis der außerordentlich glücklichen Begriffsbestimmung von Berzelius ist noch kurz auf den Umstand hinzuweisen, daß damals der uralte Begriff der „Lebenskraft“ als einer jedes Geschehen im Organismus unmittelbar bestimmenden Ursache ins Wanken geraten war, und dies vor allem auch durch die Fortschritte der Chemie. Auf das Verhältnis von „Anorganischem“ und „Organischem“ war darum die Aufmerksamkeit besonders gespannt, und es ist nicht zu verkennen, daß der gleiche Berzelius, der Wöhlers gelungene Harnstoffsynthese aus „unorganischem“ Material, d. h. aus Ammoniumcyanat (1828) lediglich als „recht wichtige und hübsche Entdeckung“ bezeichnet hatte, ohne ihr größere Bedeutung in bezug auf die Erzeugung wirklich organischer Stoffe aus anorganischem Material beizumessen⁷, seinerseits mit seiner „katalytischen Kraft“ eine zum mindesten ebenso wirksame Bresche in die Mauer der alten „Lebenskraft“ geschlagen hat: Denn was im Organismus sich ganz analog wie im Reagenzglas des Chemikers vollzieht und was mit dessen Operationen wesensgleich ist, das ist *der (unmittelbaren) Domäne der „Lebenskraft“ ein für allemal entzogen*. Und wenn Berzelius — ähnlich wie Liebig — dennoch dauernd an der

„Lebenskraft“ festgehalten hat, so hat er jenem Begriff einen geläuterten Sinn gegeben und seine Grenzen zurückgesteckt, d. h. er hat darunter diejenigen unbekannteren Ursachen verstanden, die in der belebten Natur zur Bildung funktionsfähiger Organe mit einheitlichem Zusammenwirken führen⁸.

Nachdem wir so die geschichtliche Grundlage gefunden haben, wollen wir daran gehen, uns die wesentlichen Merkmale der chemischen Katalyse ins Gedächtnis zu rufen und dabei im Sinne von Berzelius jeweils *nach Beziehungen zu den chemischen Vorgängen in der Natur* zu fragen. Wir legen dabei jedoch nicht die ursprüngliche Begriffsbestimmung von Berzelius zugrunde, sondern, den Ertrag der Folgezeit mit berücksichtigend (insbesondere die den Zeitbegriff einführende „Beschleunigungs“-Definition von W. Ostwald, erstmalig 1888), eine abgeänderte Fassung, wonach als *Katalysatoren Stoffe bezeichnet werden, die durch ihre Gegenwart (genauer: scheinbar durch ihre bloße Gegenwart) chemische Reaktionen oder Reaktionsfolgen nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmen*⁹.

Wie man sieht, verzichtet diese Definition auf jede Festlegung darüber, in welcher Weise der „katalytisch“ genannte Vorgang zustande kommt; wohlweislich ist in dieser Beziehung volle Freiheit gelassen, und es besteht von vornherein die Möglichkeit, daß die eine Katalyse so und die andere anders zu erklären ist. Der Begriff „Katalyse“ ist also zunächst nicht mehr als ein *deskriptiver Sammelbegriff*, der eine Unzahl gleichartig erscheinender Vorgänge in sich faßt.

Stofflichkeit der Katalyse

Es wird nicht ganz überflüssig sein, den rein *stofflichen Charakter der Katalyse als einer stofflichen Vermittlung stofflicher Vorgänge zu betonen*. Tatsächlich können ja chemische Reaktionen nicht nur stofflich, sondern auch energetisch angeregt, angestoßen und „ausgelöst“ werden; die Entzündbarkeit eines explosiven Knallgasgemisches durch den elektrischen Funken statt durch Platin zeigt für ein und dieselbe Reaktion jene Doppelmöglichkeit. Was nun hinsichtlich der stofflichen Natur des Katalysators in der Chemie auffällt, ist in erster Linie eine *staunenswerte Vielfältigkeit*, ja Universalität insofern, als nach allen Labora-

toriumserfahrungen nicht daran gezweifelt werden kann, daß so gut wie jedes chemische Element und jede chemische Verbindung — ob fest, flüssig oder gasförmig — bestimmter katalytischer Wirkungen in bestimmten Fällen fähig ist¹⁰.

Dergleichen Mannigfaltigkeit finden wir auch in der Natur vor, und zwar zunächst in der unbelebten Natur, z. B. in Mineralbildung, beim Rosten und Verwittern; doch bieten sich hier katalytische Erscheinungen so wenig aufdringlich, daß von da kein Anstoß zur Beschäftigung mit Katalyse ausgegangen ist. Dem steht gegenüber ein katalytischer Überreichtum der belebten Natur mit ihren tierischen und pflanzlichen Organismen, wo in den Körpersäften und in ihren Angrenzungen an die Gewebeteile ständig die verschiedenartigsten Stoffe katalytisch eingesetzt werden, vom H⁻- und OH⁻-Ion über mannigfache einfachere metallhaltige und metallfreie Verbindungen bis zu den unzähligen organischen Aggregaten oder „Symplexen“ (Willstätter) der Enzyme und der unübersehbaren Mannigfaltigkeit sonstiger Biokatalysatoren.

Dem Wesen der Katalyse entspricht es, wenn auch spurenhaf anwesende Stoffe sehr auffallende Wirkungen hervorbringen können — man denke an den verbreiteten Einfluß von Spuren Wasserdampf —, und so mögen wohl vor allem im organismischen Mikrokosmos auch zahlreiche nur in Spuren nachweisbare, ja vielleicht sogar noch andere, unter der Grenze der Erkennbarkeit stehende Elemente und Verbindungen katalytische Wirkungen entfalten. Man muß sich in diesem Zusammenhang vergegenwärtigen, daß z. B. Spurenbeiträge von ungefähr 0,01—0,001 γ Metall (in 1 ccm), die heute günstigenfalls dem chemischen bzw. spektroskopischen Nachweis noch zugänglich sind, immerhin Billionen oder Milliarden Atome bzw. Molekeln bedeuten; und so können „homöopathische Dosen“ bei geschickter Wahl immer noch katalytisch wirksame Dosen sein. „Die wichtigste Bedeutung kann einem Körper zukommen, der nur in kleinsten Mengen anwesend ist“ (Kiesel, Chemie des Protoplasmas. 1930).

Schon E. Mitscherlich (um 1830) ist es aufgefallen, daß die Rohrzuckerinvertierung noch mit 0,001 Proz. Säure gelingt; die gleiche Konzentration von „Kleesäure“ bewirkt

nach Liebig die Hydrolyse von Oxamid und Asparagin. Schwann (1836) betont, daß bei der Verdauung im Magen freie Säure tätig sei „in Verbindung mit einem anderen, schon in einem Minimum wirksamen Stoff“ (Pepsin). Nach Bredig (um 1900) zersetzt kolloidales Platin vielmillionenfache Beträge von Wasserstoffsuperoxyd, Invertase (Saccharase) mehr als die 200 000fache Menge Rohrzucker. Nach Titoff wirkt Kupfersalz auf die Oxydation von schwefeliger Säure noch in einer Verdünnung von 1 Mol Sulfat: 1 Milliarde Liter Wasser. Die „oligodynamische“ Wirkung von Silber in Wasser auf die Hämolyse der Blutkörperchen macht sich noch bemerkbar in einer Verdünnung von 10⁻¹³ g (immerhin = 6 Millionen Silberionen auf die einzelne Zelle berechnet). 1 Gramm-Atom Katalyse-Eisen zersetzt bei 0° 60 000—200 000 Mol H₂O₂ in der Sekunde; 0,00002 γ Auxin als Phytohormon der Zellstreckung (= 36 Milliarden Molekeln) lassen eine deutliche Krümmungswirkung durch einseitige Wachstumsförderung erkennen. Thyroxin bewirkt noch in einer Menge von 0,01 mg die Umwandlung des Axolotl, in einer Verdünnung von 1 : 100 000 noch ein Wachsen von Zwiebelwurzeln; 0,001 Proz. Borsäure erregt die Pollenkörnerentwicklung bei der Wasserrose, Mangan in einer Verdünnung 1 : 3 Milliarden noch das Wachstum der Wasserlinse. (Heuristisch werden all diese Wirkungen hier einmal als „katalytisch“ angesprochen.)¹¹

Schon Hofmeister hat (1901) darauf hingewiesen, daß in der chemischen Organisation der Zelle die dispersoid-kolloide Beschaffenheit mit ungeheuer ausgedehnten Trennungsoberflächen unzählige Angriffspunkte und -möglichkeiten für Katalysatoren bietet. Dabei kann sowohl der Biokatalysator wie auch das Substrat von kolloider Art sein, und es erhebt sich angesichts der innigen Verquickung von Chemischem und Physikalischem in den Kolloidprozessen die wichtige Frage: Werden auch Stoffe, die durch ihre Gegenwart, und zwar bereits in minimalen Mengen, physikalischstrukturelle, speziell kolloid-physikalische Vorgänge veranlassen und beeinflussen, sinngemäß als Katalysatoren zu bezeichnen sein?¹²

Wir denken hier etwa an Versuche von Liesegang (1911) über rhythmische Fällung in Gelatinen, wo z. B. eine (als Körnchen eingesetzte) sehr kleine Menge Silberchromat

großen Mengen Chlorsilber, die in der Gallerte aus Silbernitrat und Chlornatrium gebildet werden, eine spezielle neue *Gestalt* aufzuzwingen vermag und so gewissermaßen als „Formkatalysator“ oder morphogenes „Ferment“ wirkt. Darf es aber weiter als echte und wahre Katalyse bezeichnet werden, wenn bestimmte Stoffe durch ihre Gegenwart in der Zelle die Oberflächenspannung oder Permeabilität usw. beeinflussen, wenn sie quellend oder entquellend, peptisierend, emulgierend oder auch koagulierend, Flockung und Gerinnung fördernd wirken, oder wenn Histidin (nach Fitting) noch in einer Verdünnung von 1 : 600 Milliarden Kolloidvorgänge hervorruft, die eine lebhaftete Plasmaströmung zur Folge haben? Oder soll man in solchen Fällen struktureller oder morphologischer Beeinflussung nur von „Pseudokatalyse“ reden dürfen, da in vorbehaltloser Ausdehnung des Katalysebegriffes auf derartige Vorgänge eine unzulässige „Begriffsverwässerung“ zu erblicken wäre?

Es handelt sich offensichtlich um eine Frage von großer Wichtigkeit, da sie *in physiologische Prozesse der verschiedensten Art hineinreicht* und insbesondere auch bei der Wirkung von Hormonen, Vitaminen und Entwicklungstoffen wiederkehrt, die regelmäßig gleichfalls schon in kleinen und kleinsten Mengen wirken, aber nicht ohne scharfe Eingriffe in den Kolloid- und Dispersitätszustand der lebenden Zelle, und Anstoß oder „Stichwort“ gebend für kaum entwirrbare Verknäuelungen verschiedenartiger chemischer und physikalischer (auch elektrokinetischer) Teilakte in ausgedehnten und weitverzweigten Reaktionsfolgen im plasmatischen Medium, und oft mit histologischem und morphologischem Endeffekt.

Leichter zu beantworten ist eine weitere auf das Stoffliche sich beziehende Frage: ob es für die Konstatierung einer Katalyse durchaus erforderlich ist, den Nachweis einer Wirkung über einfache stöchiometrische Verhältnisse hinaus und damit eines gewissen „Schwebens über den Dingen“ dadurch zu erbringen, daß man den *fraglichen Stoff isoliert, identifiziert* und in sorgfältiger Rechnung feststellt, daß jenem Stoff selber in dem, was er getan und erlebt hat, nichts Ernsthaftes passiert ist. Hier wird man sich an die Erfahrung eines Jahrhunderts zu halten haben, daß, so sehr die Katalyse an den Begriff des Stoffes gebun-

den ist, *eine genaue Kenntnis des katalysierenden Stoffes doch nicht unbedingt notwendig ist*, um mit Sicherheit das Vorliegen einer Katalyse zu behaupten. Tatsächlich hinkt eine solche genaue Isolierung und Erkennung des verursachenden Stoffes auf dem Gebiet der physiologischen Katalyse regelmäßig beträchtlich nach; und wenn Liebig und Wöhler 1837 in Aussicht stellten, sie würden „demnächst“ auf die Zusammensetzung des Emulsins zurückkommen, so wartet die Welt wohl noch heute auf die Einlösung jenes Versprechens.

Spezifität und Richtungssinn

Als eine Sonderbetätigung der chemischen Affinität zeigt die Katalyse mehr oder weniger die Erscheinung der Spezifität und Selektivität, d. h. der *Beschränkung eines bestimmten Stoffes auf bestimmte Leistungen*, wie sie schon in den Zeiten von Döbereiner und Berzelius bekannt gewesen ist. Bietet ein chemisches System verschiedene Reaktionsmöglichkeiten, so können Katalysatoren auch *qualitativ* verschiedene Wirkungen haben, oder nach dem Bilde menschlicher Willenshandlung gesprochen: *Der jeweilige Katalysator wählt und verwirklicht eine von den verschiedenen Möglichkeiten, er lenkt und richtet die Reaktion*, so daß dies, zumal in dem Gebiet des Organischen, zu seinem wichtigsten Merkmal werden kann¹³.

An einem Beispiel erläutert: In dem System Kohlenoxyd-Wasserstoff erzeugt ein Nickelkatalysator unter geeigneten Bedingungen neben Wasser reines Methan, ein Zinkoxyd-Chromoxydkatalysator mehr oder minder reinen Methylalkohol, bestimmte Kobaltkombinationen aber z. B. flüssige Kohlenwasserstoffgemische oder dergleichen mehr. (Die verschiedenen Katalysator-Individuen verhalten sich also etwa wie eine Anzahl von Köchen, die, von den gleichen Rohstoffen und Zutaten ausgehend, schließlich mit sehr ungleichen Gerichten aufwarten.) Dabei können dem Erfinder keineswegs bestimmte Merkregeln und Anweisungen gegeben werden; was hat Nickel äußerlich mit Methan zu schaffen, Eisen oder Osmium mit Ammoniak?

Wie scharf diese *Spezifität* als Substrat- und Bindungs- oder Wirkungsspezifität und dieses Wählen und Lenken *im Reich der Biokatalysatoren* ausgeprägt ist, ist bekannt;

es sei nur an die großartige Arbeitsteilung der zahllosen Enzyme als schaffender Spezialisten im Stoffwechsel erinnert, und an die *extremste Äußerung der Spezifität, die optische Konfigurationsspezifität, d. h. die stark bevorzugte Spaltung der einen Form beim Vorliegen entgegengesetzt optisch asymmetrischer (stereoisomerer) Verbindungen durch bestimmte Enzyme* — selber von stereochemisch-asymmetrischem Bau — sowie die entsprechende „*asymmetrische Synthese*“¹⁴. Emil Fischers Gleichnis vom „Schlüssel und Schloß“, die zueinander passen müssen, gilt noch immer in gewisser Weise, und einen Universalschlüssel — der dem idealen „Stein der Weisen“ entsprechen würde — gibt es nicht. Jedoch finden sich auch unter den natürlichen Katalysatoren alle Abstufungen von schärfster Dressur auf nur eine einzige Tätigkeit an einem einzigen Substrat oder an einer einzigen Bindungsform — so bei vielen Enzymen — bis zu allgemeineren und allgemeinsten Wirkungsarten, wobei das Wasserstoffion als ein Beispiel für besonders vielseitig talentierte Katalysatoren gelten kann¹⁵.

In diesem Zusammenhange ist noch bemerkenswert, daß ihrer chemischen Natur nach einander sehr nahestehende Körper in katalytischer Beziehung sich sehr abweichend verhalten können; es sei nur an die Metallpaare Kobalt und Nickel oder Platin und Palladium, Osmium und Iridium erinnert, deren katalytische Neigungen und Fähigkeiten durchaus nicht so ähnlich sind, wie man von vornherein vermuten könnte. Und wiederum zeigen Stoffe, die scheinbar miteinander gar nichts gemein haben, mitunter fast den gleichen katalytischen Effekt, qualitativ und quantitativ; die zwei bewährten Katalysatoren der Ammoniakoxydation: Platin einerseits, die Mischung Eisenoxyd-Wismutoxyd andererseits sind ein sprechendes Beispiel. Hält man sich diese Tatsachen vor Augen, so wird es nicht gar so einzigartig erscheinen, wenn auch in der Physiologie oftmals Fälle sehr abweichenden Verhaltens chemisch nahestehender Stoffe und wiederum sehr ähnlicher Wirkung chemisch höchst ungleicher Stoffe beobachtet werden; es sei nur auf die Beeinflussung bestimmter Wachstums- und Formbildungsvorgänge durch sehr verschiedenartige chemische Verbindungen hingewiesen.

Eine eigenartige und auch biochemisch außerordentlich wichtige Art des Richtungssinnes zeigen *Autokatalysatoren* als Stoffe, die (nach Ostwald, 1890) ihren eigenen Zuwachs katalysieren, für die also das Merkmal sonstiger Katalysatoren, im Produkt nicht aufzutreten, nicht gilt¹⁶. Besonders einprägsam ist die *Autokatalyse im heterogenen System*, indem hier der Zuwachs durch Katalyse oft unmittelbar mit dem Auge verfolgt werden kann.

Als typisches Beispiel einer anorganischen Spaltungs-autokatalyse dient die Zersetzung von Nickelcarbonyl an metallischem Nickel. Dampfförmiges Nickelcarbonyl ist in reinen Glasgefäßen auch bei mittleren Temperaturen, bei denen, thermodynamisch gesehen, weitgehend ein Zerfall in Nickel und Kohlenoxyd stattfinden sollte, relativ lange beständig; sobald aber irgendein Nickelkeim spontan entstanden ist oder von Menschenhand besonders eingeführt wird, geht die Zersetzung mehr oder minder lebhaft unter Ablagerung immer neuer Teilchen und Schichten vor sich.

Im kolloiden System mit seiner Verknäuelung von Chemischem und Physikalischem werden die Grenzen für die Anwendbarkeit des Begriffes „Autokatalyse“ oder „Keimkatalyse“ wieder unscharf. Darf also z. B. das Wachsen von Konkrementen bei Krankheitszuständen in Galle und Niere oder die rasche Bildung von Blutpfropfen nach einmal begonnener Blutplättchenabscheidung in den Adern (Stich 1935) ohne weiteres als Autokatalyse bezeichnet werden? Und wie ist es im Falle des aktiven Blutgerinnungstoffes, der sich beim Gerinnungsvorgang zunächst langsam, dann explosionsartig vermehrt, bis er schließlich bei der Erstarrung selbst durch stöchiometrische (aber dissoziabile) Bindung an den im Plasma stets vorhandenen antagonistischen Schutzstoff Heparin völlig verschwindet? (Albert Fischer 1935, mit Erklärung als „Kettenreaktion“.)¹⁷ Auch bei Giftwirkung, Ansteckung, Infektion ist Autokatalyse im Spiel.

Darüber hinaus spielt die Autokatalyse sicher auch bei der *Vermehrung und Erneuerung der lebensnotwendigen Körperstoffe* eine wichtige Rolle. Das auffällige Bestehenbleiben *aller wesentlichen Aufbaustoffe* der Organismen, insbesondere auch bestimmter Eiweißverbindungen und Lipide, kann zu der Annahme führen, daß ein *jeder derartiger Stoff aus einem geeigneten Medium sich selber auto-*

katalytisch zu vermehren, d. h. seine weitere Bildung und Abscheidung zu beschleunigen vermag, so daß im rasch fließenden Strom des Stoffwechsels, der an allen Bausteinen nagt, doch die Erhaltung jeder lebenswichtigen Substanz durch dauerndes „Kooptieren“ gesichert ist; würde ja doch jedes Ausgehen oder Entarten (durch „Allokatalyse“), d. h. jeder Ersatz eines Stoffes durch einen nur ähnlichen zu physiologischen Fehlleistungen führen!

So ist es denkbar, daß auch die von plasmatischen Zellbestandteilen im allgemeinen und von den Genen im besonderen zu leistende Vermehrung ihrer eigenen Substanz, die ja Vorbedingung späterer Teilung ist, sich gleichfalls auf dem Wege der Autokatalyse vollzieht. „Das assimilationsmächtige Plasma hat die Fähigkeit, die assimilationsbedürftigen Stoffe sich selber anzugleichen und eine mit sich selber identische Substanz hervorzubringen“ (André). In Assimilation, Wachstum, Regeneration und schließlich auch Erhaltung der Art könnte so die Autokatalyse als Zuwachskatalyse unentbehrlich sein.

Mehrstoffkatalysatoren und Trägerwirkung

In der präparativen und technischen Katalyse ist man in den letzten Jahrzehnten vielfach zu ganz überraschenden katalytischen Mehr- und Sonderwirkungen dadurch gelangt, daß man *bestimmte chemische Individuen zu Mehrstoffkatalysatoren oder Aggregaten vereinigt hat*¹⁸. Das gilt insbesondere für die *heterogene Katalyse*, beispielsweise für die Ammoniaksynthese mit dem vor 26 Jahren zum ersten Male angewandten — und in seiner Stellung noch immer unerschüttert — Standardkontakt der I. G. Farbenindustrie aus Eisen mit Tonerde und Kali, ferner für die schon erwähnten Möglichkeiten des Kohlenoxyd-Wasserstoff-Systems und für vieles andere mehr, so daß es schon beinahe ein Ausnahmefall ist, wenn heute in der Technik *einfache* Stoffe als Katalysatoren Verwendung finden; sorgfältig ausprobierte Kombinationen aus 3—4 Bestandteilen (mit deutlichen Einzelfunktionen) in ganz bestimmten Mengenverhältnissen und von ganz bestimmter Herstellungsart sind hier keine Seltenheit mehr.

Die Zufügung eines geeigneten zweiten oder dritten Stoffes als „*Aktivator*“ hat vor allem den Erfolg, daß die all-

gemeine, aber vielleicht graduell geringe Wirkung eines Stoffes zu einer eingeeengten und zugespitzten, jedoch in dieser Einschränkung intensiveren und dauerhafteren wird. Das Urbild hierfür ist das Eisen mit seinen fast unbeschränkten katalytischen Fähigkeiten: ein Zusatz von Tonerde macht es für die Ammoniakkatalyse besonders tauglich, ein Zusatz von Wismutoxyd für die katalytische Oxydation von Ammoniak zu Stickoxyd, ein Zusatz von Chromoxyd für die Umsetzung von Kohlenoxyd mit Wasserdampf zu Kohlensäure und Wasserstoff usw.

Als eine Art Sonderform des Mehrstoffkatalysators kann die Aufbringung katalysierender Stoffe auf grooberflchige *Kontaktträger* gelten (z. B. Platin auf Asbest), die gleichfalls der Erhöhung der Wirkung dient¹⁹, und zwar ohne scharfe Grenzen gegenüber der (definitionsmig schon durch geringere Stoffmengen ausgeübten) *Aktivierung* einseitiger oder wechselseitiger Art. Schon aus den Anfängen katalytischer Forschung ist fernerhin das negative Gegenstück dieser  bersummativen Wirkung bekannt: die *Abschwächung oder Vernichtung* einer Katalyse durch bestimmte Fremdstoffe, z. B. die „*Vergiftung*“ des Eisenkatalysators der Ammoniaksynthese durch Spuren Schwefel (schon bei etwa 0,01%)²⁰; und es kann den technischen Erfolg einer im Laboratorium mit reinen Substanzen glänzend verlaufenden Katalyse völlig in Frage stellen, wenn eine Katalysatoroberfläche an ihren „*aktiven Punkten*“ etwa jede Spur einer bestimmten, schwer zu beseitigenden Verunreinigung technischer Reaktionsgase pedantisch herauspickt und festhält und somit das Vorrecht der Reaktionspartner, sich an jenen Punkten niederzulassen, illusorisch macht.

Als Beispiel für verwickelteres Zusammenwirken mag der Fall dienen, daß bei der Gewinnung alkoholischer Produkte aus Kohlenoxyd und Wasserstoff ein Eisen-gehalt im Zink-Chromoxydkontakt die Reaktion stark in die Kohlenwasserstoffrichtung drängt, daß dann durch eine Zufügung von Schwefel aber die schädliche Wirkung des Eisens kompensiert und die gewünschte Umsatzrichtung wiederhergestellt werden kann. Analog wird in der Biokatalyse hinsichtlich bestimmter „*Aktivatoren*“ und „*Kinasen*“ vermutet, daß sie in erster Linie durch

Bindung von Hemmungskörpern wirken (Waldschmidt-Leitz u. a.). Dies gilt z. B. für die Wirkung der Entero-kinase auf Trypsin, sowie für die Aktivierung von Papain und Kathepsin durch Schwefelwasserstoff, Glutathion, Blausäure usw., die möglicherweise durch Bindung blockierender Schwermetallspuren zustande kommt.

Oft trifft der Chemiker auch auf Fälle ganzheitlichen Zusammenwirkens von Stoffteilchen, die nicht dauernd körperlich vereinigt, sondern in einem gemeinsamen Medium gegeneinander beweglich sind, so, wenn man nach Price (1898) in das System Persulfat und Jodwasserstoff sowohl Eisen- wie Kupfersalz einführt; die katalytische Gesamtwirkung erweist sich hier mit Kupfer- und Eisenion als überadditiv, während sie mit anderen Ionenpaaren (z. B. Mangan und Zink) auch abgeschwächt sein kann. Ferner kann es vorkommen, daß ein fester Katalysator durch einen dauernd gasförmig zugeführten Stoff aktiviert wird, z. B. eine bestimmte aktive Kohle bei der katalytischen Luftoxydation von Schwefelwasserstoff durch Spuren Ammoniak (IG. Farb. Leverkusen 1917).

All die Möglichkeiten von fördernden und hemmenden Einflüssen, von Synergismus und Antagonismus, von Aktivierung und Kompensierung, die dem Chemiker im Laboratoriumsversuch und in der Technik geläufig sind, finden wir bei den Biokatalysatoren des Organismus in höchst gesteigertem und verfeinertem Maße wieder. Vor allem gilt dies — nach Willstätter, v. Euler und vielen anderen — für die *Enzyme* mit ihren Kof fermenten, Aktivatoren und Paralytoren, Komplementen, Kinasen usw. Das *typische Enzym selbst erscheint als eine Art Zwei- oder Mehrstoffkatalysator*, von dem weder das eine noch das andere Stück ohne Schaden weggelassen werden kann²¹. Ohne Vorbild in der chemisch-technischen Katalyse und demnach als ein Reservat des Lebenden wird es indes gelten, wenn im Organismus ein Katalysator (oder ein Begleitstoff) den Bedürfnissen entsprechend seinen Zustand zwischen gebunden und frei, adsorptiv an der Zellwand fixiert und ins Innere eluiert wechselt (Palladin, Przylecki, Oparin, Waldschmidt-Leitz), wo also gewissermaßen ein Regisseur das Agens bald auf die Wirkbühne vorschiebt, bald an oder hinter die Kulisse zurückzieht.

Katalysatorstruktur

Neben der rein stofflichen Beschaffenheit eines einfachen oder zusammengesetzten festen Katalysators der Technik ist für seine jeweilige Aktivität und Spezifität in hohem Maße auch seine „Form“ und „*physikalische Feinstruktur*“ maßgebend, die wiederum von der Herstellungs- und Behandlungsart (nach Temperatur, Fällungs- oder Erhitzungsweise usw.) in hohem Maße abhängig ist²². Jeder mit Katalyse beschäftigte Chemiker weiß, daß es nicht gleichgültig ist, welche Modifikation Tonerde oder Zinkoxyd er für seine Zwecke verwendet, d. h. wovon ausgehend und mit welchen Mitteln, bei welcher Temperatur und Konzentration und in welchem Medium etwa die Fällung vorgenommen wurde, wie das Filtrieren, Trocknen und eventuell auch Erhitzen und „*Formieren*“ stattfand usw., ganz abgesehen von Porositätseinflüssen sowie von den Spuren Fremdstoff, die in das Hydroxyd oder Oxyd gelangt sein und ihrerseits wiederum auch die Struktur und deren Haltbarkeit im Gebrauch beeinflussen können. Gerade in letzter Zeit ist der an sich altbekannte Einfluß der physikalischen Beschaffenheit, d. h. der *Gitterstruktur fester Kontakte* mit „*Störstellen*“ usw. (Smekal u. a.) und insbesondere ihrer *Oberflächenstruktur* auf die katalytische Aktivität und Spezifität mit den Methoden der Kristallforschung und Atomphysik eingehend untersucht worden.

Besonders lehrreiche und eindrucksvolle Beispiele dafür, was die Struktur, zumal zusammen mit Beimischungseinflüssen in katalytischer Beziehung vermag, bilden die praktisch wichtigen Fälle der *aktiven Kohle* und der *aktiven Kieselsäure* (Kieselgel), die teils als Adsorbentien für Gas- und Flüssigkeitsreinigung, teils aber auch unmittelbar für katalytische Zwecke dienen. Hier stehen heute dem Chemiker, wenn er will, Dutzende, ja Hunderte verschiedenporiger und verschieden gefügter Kohlen mit verschiedenem Fremdstoffgehalt zur Auswahl, die katalytisch ungleich befähigt sind, indem die eine etwa bei Gegenwart von Sauerstoff besonders leicht Schwefelwasserstoff oxydiert, eine zweite aber Kohlenoxyd oxydiert, andere wieder sich

für bestimmte Chlorierungen, Reduktionen und Dehydrierungen, Umlagerungen und Polymerisationen spezifisch eignen.

Blickt man von hier auf die Verhältnisse im Organismus, so ist klar, daß die großoberflächigen komplex-dispersoiden Systeme des Protoplasmas und der Organewebe besonders reiche Möglichkeiten für eine *Entfaltung von Einflüssen der Struktur auf katalytische Wirksamkeit* bieten. Selbst die aus der heterogenen anorganischen Katalyse wohlbekannte Erscheinung des „*Alterns*“ *fester oder kolloidaler Kontakte*, d. h. einer Aktivitätsabnahme durch irreversible Änderung der physikalischen Struktur (z. B. durch „*Rekristallisation*“ und *Dispersitätsabnahme*), wird in Gewebekatalysen des Organismus mitunter in bestimmter Weise als „*Verschleiß*“ wiederzufinden sein.

Reaktions-Chemismus

Wir kommen jetzt auf die zentrale Frage, *wie die unzähligen Katalysen in Chemie und Biologie zustande kommen* und was im Lichte der Reaktionskinetik und Affinitätslehre als Hauptmerkmal der katalytischen Reaktion gegenüber der nichtkatalytischen erscheint. Grundlegend bleibt immer die Schönbeinsche Eingebung, daß ein jeglicher chemischer Vorgang, auch schon der „*einfachste*“, in Wirklichkeit ein aus zahlreichen Szenen und Akten bestehendes „*Drama*“ darstellt, von dem in der gewöhnlichen chemischen Reaktionsgleichung nur die Umrisse oder, genauer gesagt, nur Anfang und Ende verzeichnet sind, während die zahlreichen Zwischenreaktionen und Zwischenzustände, die das Ganze erst eigentlich interessant machen, unterschlagen werden²³. Wenn dem aber so ist — und die neuere reaktionskinetische Forschung seit W. Ostwald, Nernst, Bodenstein, Bredig, Haber und vielen anderen hat das immer und immer wieder bestätigt — dann kann auch die katalytische Reaktion erst dadurch verständlich werden, daß man ihre *Teilprozesse und deren Zusammenhänge* aufsucht.

Hier ist nun von Interesse, daß schon zu Berzelius' Zeiten (und schon vor Schönbein) öfter die Behauptung ausgesprochen worden ist, der Katalysator wirke gar nicht

in zauberischer und mystischer Weise durch seine *bloße Gegenwart*, sondern dadurch, daß er *Zwischenreaktionen und Zwischenverbindungen* schaffe, die einen neuen Reaktionsweg ermöglichen; im Falle der katalytischen Oxydation sei es demnach so, daß etwa ein oxydischer Katalysator in raschem Wechsel reduziert und oxydiert werde und so den Sauerstoff ähnlich übertrage, wie dies für den Fall der Oxydation von schwefliger Säure durch Sauerstoff in Gegenwart von Stickoxyd beim alten Bleikammerprozeß schon Desormes und Clément 1806 festgestellt hatten, mit Nitrosylschwefelsäure u. dgl. als Zwischenverbindung (H. Davy 1812).

So erscheint denn heute die *Zwischenreaktionstheorie*, der gegenüber sich einst ein Berzelius sehr reserviert verhalten hat und für die später W. Ostwald mit Recht die Forderung auch möglichst quantitativen Nachweises stellte, weitaus als die *bewährteste Theorie der gewöhnlichen Katalysen einerseits, der Enzymkatalysen andererseits*²⁴, ohne daß indes ein Zwang bestünde, jeden Einzelfall der Katalyse auf jenes Schema zurückzuführen. Auf alle Fälle aber besteht die Katalyse (einschließlich „*Lösungsmittel- oder Mediumkatalyse*“) nicht darin, daß der Katalysator „*von oben herab*“ das Geschehen dirigiert, sondern der Katalysator wirkt dadurch beschleunigend und gestaltend, verbindend oder zersetzend, daß er sich als „*Überträger*“ irgendwie in das Geschehen einschaltet, indem er sich selber in ein chemisches Gleichgewicht mit dem Substrat zu setzen strebt. Er tut das regelmäßig so, daß er neue Elementarakte („*Urreaktionen*“) und neue Zwischenzustände oder Zwischenstoffe (mehr oder minder labile) schafft, an denen er selber beteiligt ist, jedoch in der besonderen, ihn auszeichnenden Weise, daß bis zur Erreichung des Gesamtgleichgewichtes *ein rasch oszillierender Wechsel* von Nehmen und Geben, von Eingewickeltwerden und Sichauswickeln, von Einschalten und Emportauschen stattfindet; und dieser charakteristische „*Cyclus*“ oder pendelnde „*Rhythmus*“ ist eingebettet in das Gesamtdrama, in dem er eine entscheidende Rolle spielt.

Die Anfangsstufe ist dabei in der Regel — auch für die Enzyme — eine „*lockere*“ und labile *Anlagerungsverbindung* mit dem Substrat (ein „*Komplex*“) ²⁵, und an den

Anfangsakt der Anlagerungs- oder Adsorptionsverbindung können sich lang ausgedehnte und öfters auch gegabelte und verzweigte Reaktionsfolgen — vielfach mit neuen katalytischen Teilakten — anschließen, wobei der jeweils langsamste Teilakt (oft ein physikalischer Diffusionsakt) das Gesamttempo des chemischen Vorganges bestimmt²⁶. Im Gesamtdrama können auch katalytisch angestoßene Kettenreaktionen von hoher Geschwindigkeit mit stafettenartigen vielgliedrigen „Atom- und Radikalketten“ eine bedeutsame Rolle spielen.

In der Regel sind es die schwer definierbaren „schwachen Affinitäten“, die „Neben- und Restvalenzen“, die der Katalyse mit ihren Zwischenstoffen zugrunde liegen. Beispielsweise sind Lithium und Aluminium, die sehr beständige Nitride bilden, für die Ammoniak-katalyse untauglich (sofern sie nicht durch besondere Zusätze „labilisiert“ werden), während Eisen und Molybdän, die bei weitem schwieriger, unbestimmter und unvollständiger mit Stickstoff (sowie mit Wasserstoff) reagieren, gerade infolge ihrer labilen Bindungsweisen mit geringer „Haftfestigkeit“ (jedoch mit hohen Reaktionsgeschwindigkeiten) das rechte Instrument für eine rasche Vermittlung der Synthese bilden.

Mit der Eigentümlichkeit der Katalyse, stofflicher Vermittler thermodynamisch möglicher chemischer Geschehnisse zu sein — in dem einen wie dem anderen Richtungssinne —, ist es gegeben, daß der *Katalysator nie ein in physikalisch-energetischem Sinne Arbeit leistender Faktor ist*. Wenn noch Liebig bei dem Stand damaliger Wissenschaft an eine Art Arbeitleistung durch die „Übertragung von Molekularbewegung“ denken konnte, so wissen wir heute, daß Katalysatoren immer „bilanzfreie Impulse“ sind (R. Woltereck) und daß auch da, wo sie Vorgänge hervorrufen und lenken, die ohne sie nie und nirgends beobachtet werden, doch nur Möglichkeiten verwirklicht werden, die ein unstarrer Chemismus offenhält. So macht der Katalysator „die Bahn frei für Reaktionen, die als solche schon in den chemischen Substanzen auf ihren Ablauf warten“ (Schade). Das schließt aber nicht aus, daß Katalysatoren nicht nur bei freiwillig verlaufenden, sondern auch bei fremd-energetisch erzwungenen Re-

aktionen eingesetzt werden können; photochemische Sensibilisatoren und den Endeffekt von Elektrolysen bestimmende „Elektrokatalysatoren“ sind bekannte Beispiele hierfür.

Diese kurzen Andeutungen können hier genügen. Bemerkenswert ist, daß die *Enzymchemie* in sehr selbständiger Weise zu dem gleichen Resultat über den Wirkungsmechanismus ihrer Katalysatoren mit vorübergehender Bindung des Katalysators an das Substrat und einem Verlauf über Zwischenverbindungen und Zwischenzustände mehr oder minder labiler Art gekommen ist (Kastle und Loevenhart, J. Loeb, E. Fischer, Michaelis, Sörensen, Willstätter, v. Euler, Neuberg u. a.).

In diesem Zusammenhange kann noch ein besonderer Vergleich mit der technischen Katalyse von Bedeutung sein: Auch bei sorgfältigster Wahl und Präparierung eines Katalysatoraggregates kann es in der chemischen Technik geschehen, daß das erstrebte Ziel nicht mit einem Schlage erreicht und das erwünschte Produkt zunächst noch nicht „fertig“ ist. Hier hilft man sich gern in der Weise, daß unmittelbar an das erste „katalytische Drama“ ein zweites unter veränderten Bedingungen angeschlossen wird. Als Beispiel diene die Benzingewinnung durch Kohlehydrierung, wo nach Krauch und Pier zuerst eine katalytische Behandlung der öligen Kohlepulversuspension bei mäßiger Temperatur in der „Sumpffphase“ und unmittelbar anschließend mit verändertem Kontakt eine Behandlung der Dämpfe bei höherer Temperatur in der „Gasphase“ stattfindet. Diesen *Kunstgriff der Teilung des Gesamtdramas in Teildramen mit besonderen Katalysatoren* handhabt nun die Natur in ganz meisterhafter Weise, indem sie, wie in den Fällen der Zellatmung, Gärung u. dgl. auf engstem Raume unmittelbar aneinander anschließend verschiedene Katalysatoren oder Katalysatorsysteme einsetzt, in bestimmter Reihenfolge in Aktion treten läßt und auf diese Weise die wirksamste und sparsamste Energie- und Stoffwirtschaft treibt, die sich denken läßt.

Wenn die Theorie über die mannigfache Art des *Zustandekommens inadäquat großer Wirkung* Rechenschaft gibt, die von jeher als Hinweis auf das Vorliegen einer

katalytischen Reaktion gegolten hat, so finden wir dort auch Antwort auf die Frage, *ob der Satz von stofflich kleinen Ursachen und stofflich großen Wirkungen eindeutig und zwingend mit dem Begriff der Katalyse verbunden ist.* Das ist, wie wir wissen, nicht der Fall. Vor allem ist die Möglichkeit ins Auge zu fassen, daß ein *endgültig* in Reaktionsfolgen eintretender und *auf diese Weise* richtender und regulierender Stoff *stetig nachgeliefert* und daß so eine stoffliche Dauerwirkung durch bloße Gegenwart *vorgetäuscht* wird; bei Hormonen und Vitaminen ist diese Annahme wohl vielfach naheliegend.

Andererseits ist ein vieltausend- oder vielmillionenfaches „Sich-ein- und -ausschalten“ eines bestimmten Stoffes, d. h. eine *Dauerwirkung nicht wesentliches Merkmal der Katalyse.* Bereits Berzelius hat darauf hingewiesen, daß ein Katalysator durch Nebenreaktionen oder, wie er sich ausdrückt, „durch seine eigenen Affinitäten“ mehr oder weniger rasch zerstört oder vernichtet werden kann.

So erklärt es sich, daß *Übergänge* möglich sind zu einer der Katalyse in gewisser Hinsicht nahestehenden stofflichen Wirkungsweise: *der stofflichen Induktion durch Reaktionskopplung,* die auch bereits in den Zeiten des Berzelius bekannt zu werden begann (Schönbein, Keßler), und die sich dadurch abhebt, daß der dem Katalysator vergleichbare „Induktor“ durch das Eintreten in die Kopplung selber anteilig verbraucht wird. Im Stoffwechsel der Organismen, z. B. im Gesamtprozeß der Muskelarbeit, spielt diese Induktion bekanntlich auch eine große Rolle.

Verbreitung der Biokatalyse in Stoffwechsel und Formbildung

Ähnlich wie die Bedeutung der Katalyse in der Technik sich nicht auf die besonders hervorstechenden Fälle wie Kontaktschwefelsäure, synthetisches Ammoniak, Fetthärtung, Kohlehydrierung u. dgl. beschränkt, sondern auch eine Unzahl andere Beispiele in allen Fabrikationsgebieten umfaßt²⁷, so gesellt sich im Reich der Organismen zu dem Reichtum von Enzymen als den „klassischen“ Biokatalysatoren ein nicht minder zahlreiches „Heer der namenlosen Katalysatoren“, d. h. Katalysatoren ohne bestimmte Gruppenbezeichnung, von den Elektrolyten der Organ- und Gewebeflüssigkeiten mit ihren Kationen und Anionen

bis zu den kompliziertesten katalytischen Gebilden ortsfester oder vagabundierender Art (Ort- und Wanderkatalysatoren), in Spurenkatalyse, Wanderkatalyse, Mediumkatalyse usw.

Beim Übergang von den Enzymen zu *hormonalen Vorgängen* begegnet uns sogleich die schon früher aufgeworfene Frage, ob auch die *Beeinflussung beliebiger Kolloidprozesse* durch die Gegenwart eines Stoffes sinngemäß als „Katalyse“ zu bezeichnen ist, so daß ganz allgemein das Wort von Wolfgang Ostwald gelten würde: „Die lebende Substanz ist geradezu ein Tummelplatz für Adsorptions- und Kolloidkatalysen.“ J. Traube bezeichnet es (1935) als „negative Katalyse“, wenn Narkotika dadurch, daß sie in den Zellen teils in Lipoiden gelöst, teils an Oberflächen adsorbiert werden, hemmend auf bestimmte enzymatische und bioelektrische Vorgänge einwirken.

Von der Stellung zu jener Frage wird es mit abhängen, ob man *Hormone, Wuchsstoffe und Entwicklungsstoffe* vorbehaltlos und allgemein als Biokatalysatoren — etwa als solche höherer Ordnung — bezeichnen oder ob man lediglich davon sprechen will, daß in den ausgedehnten Reaktionsverwicklungen, die von jenen Stoffen eingeleitet werden, auch wichtige katalytische Teilakte (als Zentralakte oder Hilfsakte) enthalten sein müssen, die es „zeitmikroskopisch“ herauszupräparieren gilt. Der Umstand der mehr oder minder selektiven und spezifischen Wirkung sowie der Kompliziertheitsgrad des gegebenen „Gesamtdramas“ kann dabei nicht entscheidend sein, da in dieser Beziehung schon bei den Enzymen recht große Unterschiede bestehen. Bei Liebig bereits finden sich Vorahnungen über Beziehungen von Katalysatoren und Hormonen: „Wir können gewisse Drüsen mit einem System von Hefezellen vergleichen, in welchen während ihres Aufbaues aus den Bestandteilen des Blutes eigentümliche Verbindungen gebildet werden, die den Inhalt der Zellen ausmachen“ (1870).

Auf eine mögliche Beteiligung katalytischer Teilreaktionen an hormonalen Prozessen (das Wort im weitesten Sinne genommen) weist immer wieder von neuem die *erstaunliche Wirkung schon kleinster Mengen sowie das ganzeinheitliche Zusammenwirken verschiedener Stoffe*

hin, das durchaus an die Mitwirkung von Aktivatoren, Kinasen, Inhibitoren u. dgl. bei den Enzymen erinnert. „Katalyse ist überall da zu vermuten, wo ungewöhnlich kleine Mengen ungewöhnlich große Wirkung ausüben“ (L. Anschütz).

Von den Hormonen und Vitaminen aber führt der Weg ohne scharfe Grenze zu den Vererbungs- und Entwicklungstoffen, die in der *Formbildung des Organismus* vom Ei ab in einem Grade und Umfang das biologische Geschehen beeinflussen, wie es sich ein Berzelius oder Liebig noch nicht träumen lassen konnten. Man braucht statt vieler anderen hier nur die Namen R. Goldschmidt und Spemann zu nennen, um diejenige Forschungsrichtung anzudeuten, die das Veranlassen und Lenken von Formbildungs- und Entwicklungsvorgängen in fortschreitender Organisation zu einem wesentlichen Teile auf die Wirkung stofflicher Faktoren zurückführt²⁸. So können schließlich Eizelle und Samenzelle als Depots erscheinen, die neben Substratstoffen auch *Urkatalysatoren* bzw. Mutter- oder Urahns-substanzen solcher für alles wesentliche künftige Geschehen der Epigenesis wohlgeordnet erhalten; jeder einzelne tätige Biokatalysator aber ist dem Weberschiffchen gleich, das so lange als möglich in Bewegung bleibt und in Bewegung hält.

Ein kurzes Wort ist noch der *Bedeutung der Katalyse für den kranken Organismus und seine Wiederherstellung* zu widmen. Man wird davon auszugehen haben, daß der gesunde Organismus ebenso wie durch einen günstigen eukolloiden Zustand auch durch einen eukatalytischen Zustand gekennzeichnet ist, der jedoch in dem oft feindlichen Gegenspiel von Körper und Umwelt nicht immer gewahrt bleiben kann. Danach ist es vielleicht nicht so sehr abwegig, wenn man vermutet, daß zahlreiche Dysteleologien und Erkrankungen durch *Fehlkatalysen* bedingt sind, die sich zu „Lawinenkatalysen“ und Katastrophenreaktionen steigern können. Die Tätigkeit des Arztes würde dann auf das Bestreben hinauslaufen, derartige Fehlkatalysen zurechtzurücken, sei es durch Gegen- oder Hilfskatalysen, sei es durch Anrufung höherer Instanzen der hierarchischen Ordnung des Organismus.

Schon Liebig hat 1870 gesagt: „Viele Arzneimittel wirken hauptsächlich dadurch, indem sie Richtung und Stärke der in dem Organ vorgehenden Tätigkeit ändern, sie beschleunigen, verlangsamen oder aufhalten.“ Schade (1907) führt die therapeutische Wirkung zahlreicher Stoffe auf Katalyse im Organismus zurück. Nach Eichholtz ist „für viele Substanzen mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß die physiologische Wirkung auf katalytischen Vorgängen beruht“. „Gifte können Enzyme hemmen oder selbst katalytisch wirken (Lundegardh 1914; s. auch weiter hinsichtlich der Bedeutung der Katalyse in Physiologie, Pharmakologie, Bakteriologie, Immunbiologie und Serologie Höber, Bechhold, Abderhalden, Domagk und andere).

Dabei würde hier, wie allgemein im Bereich der Hormone (im weitesten Sinne), die Darstellung unvollständig sein, wenn man sich nicht mit dem Begriff „*Reizwirkung und Reizstoff*“ auseinandersetzen wollte, der auf den gleichen Gebieten eine bleibende Stätte gefunden hat. Wenn Pfeffer 1896 Reize dahin definierte, daß sie „Aktionen einleiten, beschleunigen oder in neue Bahnen lenken“, oder wenn anderwärts gesagt wird, daß eine Reizwirkung eine nichtbilanzmäßige Bewirkung des Organismus ist, so klingt das ganz verdächtig an den Begriff der Katalyse an; und wenn auch zunächst alle Reizungen energetischer Art, also durch Schwerkraft, Wärme, Licht, Elektrizität usw., ausscheiden, so bleiben doch in den *stofflichen Reizungen, vorübergehenden oder dauernden, äußeren und inneren (d. h. hier vor allem hormonaler Art)* genügend Prozesse zurück, für die die Frage einen Sinn hat, ob die Reizwirkung wohl eine Form der Katalyse ist, positiv oder negativ, fördernd oder hemmend.

Finden wir ja doch in stofflichen Reizwirkungen verschiedene Eigentümlichkeiten wieder, welche die katalytischen und enzymatischen Prozesse von sonstigen chemischen Reaktionen unterscheiden: erstaunlich umfassende und weitreichende Wirkung schon kleinster Mengen, sehr ungleiche Wirkungen chemisch nahestehender Stoffe — z. B. Indolylelessigsäure und Indolylpropionsäure in bezug auf Wuchsanregung, oder Galakturonsäure und Glukuronsäure, Phenylalanin und Tyrosin in bezug auf Plasmaströmung (Fitting) oder bei den sexuellen Prägangsstoffen

die Umkehrung der Tendenz durch leichte Verschiebung der Doppelbindung (Butenandt) — und wiederum verblüffend ähnliche oder identische Wirkung chemisch außerordentlich verschiedener Körper — z. B. Nebenschilddrüsenhormon und Ergosterinpräparat A.T. 10 gegenüber Tetanie (F. Holtz); dazu schließlich ein ausgesprochen überadditives Zusammenwirken gleichzeitig anwesender Stoffe, eindrucksvolle Synergismen und Antagonismen, und im Endeffekt oft ganz auffallend „inadäquate“ Folgen.

Dennoch wird, sicher mit Recht, von Physiologen und Biologen auf einen wesentlichen Unterschied hingewiesen²⁹. Wenn schon bei enzymatischen Vorgängen, namentlich solchen komplizierterer Art, streng genommen *das Ganze der Zellstruktur* als physiologisches X (Cremer) mit in Betracht gezogen werden muß (Adsorptions-Elutions-Mechanismus und besondere Plasmaeinflüsse), so tritt bei typischen Reizvorgängen diese Abhängigkeit so stark in die Erscheinung, daß davon kaum mehr abgesehen werden kann. Das heißt: Zwischen Reizung und Gegenwirkung schaltet sich vor allem das rätselhafte *Protoplasma* ein mit dem Charakter eines dauernd in einem bestimmten Erregungszustand befindlichen labilen Stoff- und Funktionsgefüges, das Reize aufnehmen, weiterleiten, umformen, beantworten, ja auch in Engrammen für die Zukunft aufbewahren und mannigfach verwerten kann. Dennoch aber: da der Gesamtvorgang ja nicht außerhalb des Chemismus steht — selbst bei Beanspruchung des nervösen Apparates und bis in die Fälle, wo sich stoffliche Wirkungen in das gesamte psychophysische Gebaren des höheren Organismus mit seinen Trieb-, Instinkt- und Willenshandlungen hinein erstrecken —, so wird *der Reizbegriff den Katalysebegriff nicht ausschließen*. Vielmehr ist wahrscheinlich, daß neben anderen Geschehensformen auch die Katalyse in ihren verschiedenen Gestaltungen in den Dienst der Reizwirkung treten kann.

„Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift, und die Dosis macht, daß ein Ding kein Gift ist. Auch in allen guten Dingen ist Gift.“ Was hier Paracelsus „Gift“ nennt, ist vergleichbar dem, was heute Wirk- und Reizstoff heißt. Und wenn solche Wirk- und Reizstoffe nicht ohne weiteres Katalysatoren sind, so werden sie doch vielfach von

der Katalyse Gebrauch machen. „Wir haben uns daran gewöhnen müssen, in fast allen Energieumsetzungen des Organismus katalytische Impulse am Werke zu sehen“ (Woltereck). Die „Reizkausalität“ aber kann — wie schon Johannes Müller und Schopenhauer bemerkt haben — als die eigentliche typische Kausalitätsform des Organismus angesehen werden. Im übrigen ist der Katalysebegriff nur *einer* der zahlreichen Wegweiser und Wegbereiter, die wir für das Eindringen in das unübersehbare Dickicht des Stoffwechsels und der Formbildung der Organismen brauchen.

Sinn und Grenzen der Katalyse

Auf unsere Frage, wieweit sich der Katalysebegriff von J. Berzelius und W. Ostwald im Reich des Lebendigen verfolgen läßt, konnte geantwortet werden, daß in die so überaus wichtigen bestimmenden und richtenden stofflichen Faktoren, welche der lebende Organismus aus sich heraus erzeugt, die Katalyse als elementare Grundtatsache — der Katalysator als urtümlicher „Werdebestimmer“ — in mannigfaltigster Weise mit eingeht. Überall, wo man von Wirk- und Reizstoffen, Prägungs- und Spezialstoffen, Entwicklungs-, Organisations- und Vererbungsstoffen, von Exzitatoren und Initiatoren, von Drang- und Zwangfaktoren, von Induktoren und Regulatoren, von Stimulation und Chemotaxis, von Weckung, Lockung und Stichwortgebung, von Anregern und Auslösern spricht: *Katalyse (einschließlich Autokatalyse) wird wohl — als eine Art „Zauberstab“ (Schade) — immer dabei sein*, von den im Reiche der Lebewelt ganz universell oder sehr allgemein verbreiteten Formen der Biokatalysatoren des Stoffwechsels über die nur in bestimmten Klassen und Gattungen sich entfaltenden bis zu den art- und rassenspezifischen Katalysatoren, die in Wachstum und Formbildung die Entwicklung und Erhaltung des Genotypus bestimmen und schließlich zusammen mit den Umweltfaktoren auch für den Phänotypus des Individuums entscheidend sind. Immer aber, in Erhaltungskatalysen wie in formativen oder morphogenen Katalysen, wird sich der Katalysator als ein stoffliches Etwas kennzeichnen, das in den Dingen wirkt und doch nicht ohne weiteres in den Dingen aufgeht.

So nimmt unter all den großen stofflichen Erfindungen und Wundern der Natur die Katalyse ihre feste Stellung ein. Vor allem *die Welt der Organismen* ist ganz undenkbar: ohne die Tatsache der Reaktionsträgheit einerseits, d. h. des Vorhandenseins von Reaktionswiderständen, die einem plötzlichen und ungehemmten Ablauf aller möglichen chemischen Vorgänge — in der Richtung der Entropiezunahme — entgegenstehen, und ohne die Erscheinung der Katalyse andererseits, die durch Eröffnung neuer Reaktionswege jene Widerstände an geeigneter Stelle und in geeigneter Richtung zu überwinden erlaubt. Nach Ehrenberg ist „die Erforschung des Lebens die Erforschung der Enzyme“, nach Willstätter „Leben das geregelte Zusammenwirken enzymatischer Vorgänge“.

Wie sehr die *Biokatalyse mit ihren universellen Fähigkeiten auf engstem Raum und mit einfachsten Hilfsmitteln ihrer technischen Schwester mit deren vergleichsweise harten und groben Methoden überlegen ist*, ist oft ausgesprochen worden. Grundsätzlich unterscheidet sich jede einzelne Katalyse des Organismus — ortsfeste Katalyse oder Wanderkatalyse — von den Modellen des Chemikers darin, daß das Medium, in dem sie vor sich geht, nicht nur räumlich ungleichförmig ist, sondern auch zeitlich in dauernder Veränderung steht. Dazu die unscharfen Grenzen von „Substrat“ und „Führung“, indem der gleiche Stoff bald als Katalysator dienen kann, bald auch als Induktor oder als sonstige Reaktionskomponente, jedoch nicht ohne vorher durch Autokatalyse für Ersatz und Nachwuchs gesorgt zu haben; ferner ein unablässiges räumliches Umgruppieren, wobei der Katalysator bald zum Substrat wandert (durch Diffusion oder mit der Strömung von Körpersäften), bald das Substrat zum ortsgewundenen Gewebekatalysator; schließlich die unauflösbare Verknäuelung mit Oberflächenerscheinungen, die zu lebenswichtigen osmotischen und bioelektrischen (elektrokinetischen) Vorgängen führt.

Dennoch wird man gut tun, sich einen Satz vor Augen zu halten, den Berzelius in einem Briefe an seinen Freund Wöhler vom 20. Dezember 1836 ausgesprochen hat: „Gott behüte, daß wir nur nicht anfangen, der katalytischen Kraft zuviel zuzumuten!“ Dieser Warnung eingedenk, geziemt es sich, nach den *Grenzen des katalytischen Determinismus*

zu fragen und deutlich auszusprechen, was — von Zweifelhafem abgesehen — die Katalyse sicher *nicht* vermag. Das aber ist mit kurzen Worten gesagt: *Die Katalyse kann nur dienen und Aufträge ausführen, aber nicht herrschen; der Katalysator kann nicht wechselnd kombinieren, nicht während lokalisieren und nicht auf ein einheitliches Ziel hin dirigieren; der Katalysator als selbstloser Helfer und als „stofflicher Handgriff“ der Natur bleibt immer ein Einzelnes mit einer Einzelwirkung, die Sinn und Wert erst erlangt durch planvolle Einfügung in die Gesamtheit anderer gerichteter, katalytischer und nichtkatalytischer Prozesse, die dem gleichen ganzheitlichen Zweck der Lebenserhaltung, Lebenssteigerung und Lebensvermehrung dienen. Das Leben aber ist „ein Gebiet der Erfahrung für sich“ (Rubner).*

Wenn dem nun so ist: wenn uns Naturvorgänge nur unter dem menschlichen Bilde des *Wirkens und Gewirktwerdens* „begreiflich“ sind — der Urkategorie der wollenden und handelnden eigenen Persönlichkeit —, und wenn auch der Biokatalysator immer nur Hilfsmittel und Instrument eines solchen Wirkens sein kann, so erhebt sich die Frage, ob zugunsten einer „Biologie von oben“ in unserem durchgeführten Vergleich der Biokatalyse mit der chemisch-technischen Katalyse auch des „prospektiven“ Auftraggebers, Erfinders und Betriebsführers gedacht werden müsse, der die Katalyse für seine Zwecke handhabt, d. h. jeweils die richtigen Katalysatoren erzeugt und einsetzt, und ohne dessen Kunst Kessel und Büten leer und tot dastehen müßten. Nur werden hier — hinsichtlich einer Obergesetzlichkeit des Lebens — andere Worte gelten, etwa Hippokratische Physis, Archaeus des Paracelsus, Nisus formativus von Blumenbach, das vernünftig bildende Unbewußte (C. G. Carus), der schöpferische Wille oder schließlich Aristotelische Entelechie als Ganzheits-Werdebestimmer (Driesch). „Hinter den Werkzeugen sitzt die schaffende Werkmeisterin der Zelle“ (R. von Hertwig).

Als energetisch indifferente „Ursache“ und als „bilanzfreier Impuls“ könnte dabei der Katalysator auf niedriger Ebene zeigen, daß, menschlich gesprochen, „Richtfaktoren“ in der Natur — mit einer Obergesetzlichkeit des Lebens — existieren können, die mit den allgemeinen Energiegesetzen (als Rahmengesetzen) nicht in Widerstreit stehen

müssen. „Der Organismus, auch der Mensch, ist den chemischen Stoffen gegenüber ein Katalysator großen Stiles, zusammengesetzt aus einer unzähligen Menge elementarer Katalysatoren, die er selber erzeugt“ (Wundt 1914)³⁰.

Wir sind am Ende unserer Betrachtung über die Katalyse in Chemie und Biologie, mit bestimmten Ausblicken eines Vorwärtstragens des bewährten Katalysebegriffes in Neuland, wenn auch zunächst nur in heuristischer und arbeitshypothetischer Weise. Soviel ist sicher, daß Berzelius' kühn vorausahnender Satz von den Tausenden katalytischer Vorgänge, die im Organismus gleichzeitig geschehen, zu Recht besteht, und es ist zu erwarten, daß im anbrechenden zweiten Katalyse-Jahrhundert die katalytische Forschung ihren Schwerpunkt in der *Biologie* haben wird, ganz im Sinne des Schöpfers des Katalyse-Begriffes.

Wenn wir nun hier von Anfang bis zum Schlusse im Zeichen von Berzelius wandelten, so erscheint das, abgesehen von der unzweifelhaften sachlichen Berechtigung, auch aus dem Grunde gerade an dieser Stelle angebracht, weil Berzelius persönlich besonders enge Beziehungen immer zur deutschen Naturwissenschaft unterhalten hat, von der er 1837 rühmend sagte: „In Deutschland werden von der größeren Anzahl der Gelehrten die Wissenschaften ihrer selbst wegen bearbeitet.“ Und daß bei einer solchen Einstellung die Forderungen des Lebens nicht zu kurz kommen müssen, beweist der hervorragende Anteil, den gerade die deutsche Forschung an der Erzielung *praktischer Erfolge auf dem Gesamtgebiet der Katalyse* seit den Tagen von Berzelius genommen hat. —

„Die vollkommen richtige Deutung wird vielleicht nie erreicht. Aber auch, wenn dieses Ziel nie erreicht werden kann, laßt uns dennoch die Bemühungen, ihm näherzukommen, nicht mißachten.“ Berzelius.

Anmerkungen:

I Die „Einlage“ über „Einige Ideen über eine bei der Bildung organischer Verbindungen in der lebenden Natur wirksame, aber bisher nicht bemerkte Kraft“ ist am Anfang des Kapitels „Pflanzenchemie“ zu finden; mit gleichem Wortlaut auch in dem Lehrbuch der Chemie, 3. Aufl., Bd. E, deutsch 1837 (Abschnitt „organische Chemie“). Siehe hierzu Mittasch, Berzelius und die Katalyse. Leipzig 1935; sowie „Von Davy und Döbereiner bis Deacon“. Berlin 1932; ferner auch W. Ostwald, *Ältere Geschichte der Lehre von den Berührungswirkungen*. 1898; Vortrag „Über Katalyse“ bei der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte. Hamburg 1901; „Werdegang einer Wissenschaft“. 1908, S. 283 ff.; sowie

Nobelpreisvortrag 1909. — 2 Hier hat Berzelius die physikalisch-chemischen Verhandlungen am 29. September 1835 geleitet, einige Präparate und insbesondere „ausgezeichnete Kristalle von Codein“ gezeigt, über Katalyse aber anscheinend nichts verlauten lassen; s. Isis 1836. (So haben die deutschen Naturforscher und Ärzte weitere 56 Jahre warten müssen, bis ihnen dann Wilhelm Ostwald seinen berühmten Vortrag „Über Katalyse“ gehalten hat!) — 3 Eine ausführliche Darlegung, unter Berücksichtigung allgemeinerer Fragen, wurde vom Verf. gegeben in dem Buche „Über katalytische Verursachung im biologischen Geschehen“. Berlin 1935. Naturwiss. 1935, 361. — 4 Auf die geringen Schwankungen im Wortlaut der Umschreibungen, die Berzelius weiterhin noch formuliert hat (insbesondere hinsichtlich des Umstandes, ob der Katalysator an der Reaktion beteiligt sein könne), wird hier ebensowenig eingegangen wie auf die Begründung der Erscheinung auf „schlummernde Verwandtschaften“ und das Streben nach „größerer elektrochemischer Neutralisierung“. — 5 2. Aufl. von E. Mitscherlichs Lehrbuch der Chemie 1833; abgedruckt in Pogg. Ann. 31, 243 (1834). Mitscherlich hat folgende Reaktionen durch „Kontakt“ oder „Ferment“ zusammengestellt und als gleichartig bezeichnet; Chloratzerfall durch Gegenwart von Braunstein; Zersetzung von Wasserstoffsperoxyd durch Spuren von Platin, Gold, Silber, Braunstein usw.; Vergärung von Zucker in Alkohol und Kohlensäure; Oxydation des Alkohols zu Essigsäure; Zersetzung des Harnstoffs nach Gay Lussac; Umwandlung von Stärke in Zucker mit Schwefelsäure und die altbekannte Bildung von Äther aus Alkohol, an der er den Begriff „Reaktion durch Kontakt“ entwickelte. — 6 Über Berzelius' Gesamtwerk s. die Würdigung von P. Walden, Berzelius und wir; Z. angew. Chem. 1930, 325; in Bezug auf Berzelius als „Biochemiker“ auch Levne, Science (N. Y.) 1931, 23. Von der Medizin ausgehend, hat Berzelius sein Leben lang der Physiologie seine besondere Liebe gewidmet und ihr vor allen hat er seine „katalytische Kraft“ geschenkt. Daß dennoch der Katalysebegriff zunächst im wesentlichen nur der Chemie zugekommen ist und — von seltenen Ausnahmen abgesehen — in der Physiologie nur geringen Widerhall fand, ist bei dem damaligen Stande der Wissenschaft nicht verwunderlich. Demgemäß hat sich auch die Fermentforschung im 19. Jahrhundert vorwiegend selbstständig entwickelt — mit infolge Liebig's ablehnender Haltung gegenüber Berzelius' Katalysebegriff —, und erst seit der Neubegründung katalytischer Forschung auf reaktionskinetischer Grundlage durch Wilhelm Ostwald u. a. um die Jahrhundertwende ist hier ein Zustand fruchtbarer Wechselwirkung eingetreten, wie auch im übrigen Ostwalds katalytische Leistung in der Physiologie „eine neue Ära herbeigeführt“ hat (Höber). — 7 In Wirklichkeit hatte Scheele 1782—1783 die erste „organische Synthese“ ausgeführt, als er Graphit, Pottasche und Salmiak zu Cyankalium zusammenschmolz. Vorgänge, wie die künstliche Erzeugung des Harnstoffs, stehen aber nach Berzelius als „unvollständige Nachahmung“ allzusehr „auf der äußersten Grenze zwischen organisch und unorganischer Zusammensetzung“, „als daß wir jemals hoffen dürften, (wirklich) organische Stoffe künstlich hervorzubringen“ (Lehrbuch, 3. Aufl., 1837, Bd. 6, S. 26). Ähnlich war auch die Auffassung von Liebig, der bei aller „mechanistischen“ Einstellung in methodischer Hinsicht ebenso wie Berzelius an der „Lebenskraft“ (in geläutertem Sinne) niemals irre geworden ist. „Nie wird es der Chemie gelingen, eine Zelle, eine Muskulatur, einen Nerv, mit einem Wort einen der wirklich organischen, mit vitalen Eigenschaften begabten Teile des Organismus in ihrem Laboratorium herzustellen.“ Dabei gilt nach wie vor, daß Berzelius und Liebig, jeder in seiner Weise, besonders umstürzlerisch in bezug auf die alte traditionelle Auffassung der „Lebenskraft“ gewirkt haben, wie diese noch 1777 von Bergmann und 1797 von Gren verkündet worden war: „Was sich in den Gefäßen organischer Körper aus den Grundstoffen bildet, das macht kein Chemiker in Kolben und Schmelztiegel nach.“ (1817 schon gemäßigt F. Gmelin: „Organische Körper sind Produkte der durch Lebenskraft geleiteten Aifmität.“) — 8 Heute noch ist die „Lebenskraft“ unerschüttert in dem Sinne einer „Vorstellung von der erhaltungsgemäßen Organisation alles Lebenden“ oder eines allgemeinsten „biologischen Ordnungsprinzips für die Vorgänge im belebten Körper“; Wohl, Z. angew. Chem. 1928, 891; s. auch Walden, Naturwiss. 1928, 835. Vgl. da-

zu Liebig's Äußerung: „Unter dem Einfluß eines nichtchemischen Agens (Leben, Lebenskraft) wirken chemische Kräfte auch im Organismus. Durch die Leitung dieser dominierenden Kraft und nicht unabhängig ordnen sich Elemente in chemische Substanzen ein, in derselben Weise. In welcher der intelligente Wille des Chemikers sie zwingt, sich außerhalb des Organismus zu vereinigen.“ Damit ist die „Lebenskraft“ zu einem Ganzheitsproblem geworden. — 9 An anderer Stelle („Katalytische Verursachung im biologischen Geschehen“) wurde ausgeführt, daß die Physiologie schon oft an der einseitigen Zuspitzung der Katalyse auf das „Beschleunigungs“-Merkmal Anstoß genommen hat, und daß ihr mit einer der tatsächlichen Beobachtung gerecht werdenden „Synthese von Berzelius und Ostwald“ noch besser gedient sein wird. — 10 Es liegt in der Natur der Katalyse als einer Zeit, Energie und Stoff sparenden Beeinflussung stofflichen Geschehens, daß sie für die chemische Industrie ganz umfassende Bedeutung erlangt hat. Schon Döbereiner hat an technische Anwendungen gedacht: katalytische Herstellung von Essigsäure und Schwefelsäure mit Hilfe von Platin; katalytisches Feuerzeug, eine Art Explosionsmotor mit Platinzündung, ja sogar eine Herstellung von Zucker aus Alkohol und Kohlensäure durch Umkehrung der Gärungsreaktion! Von da geht eine ununterbrochene Reihe technischer Erfindungen, die auf der Katalyse aufgebaut sind, von Kuhlmann und Deacon über Cl. Winkler, Knetsch, Normann, Haber und Bosch usw.; und zu den „großen“ Katalysen der chemischen Großindustrie kommen noch unzählige Fabrikationszweige, in denen, wie bei der Herstellung von Farbstoffen und Arzneien, Anorganika und Zwischenprodukten, von dem Hilfsmittel der Katalyse weitgehend Gebrauch gemacht wird. Siehe hierzu Frankfurter u. Dürr, Katalyse (aus Ullmann, Enzyklopädie der technischen Chemie) 1930; Mittasch, Chem.-Ztg. 1934, 305; G. Wietzel u. A. Scheuermann, Chem.-Ztg. 1934, 737. Dabel handelt es sich auch in der Technik bald um eine einfache Beschleunigung (und dabel oft Ermöglichung), bald aber — und immer zunehmend — zugleich um Richtungsgebung und Reaktionsauslese. — 11 S. hierzu Bamann u. Salzer, Naturwissenschaftliche Betrachtungen über das Gebiet kleinster Mengen (Südd. Apotheker-Ztg. 1935, Nr. 16). — 12 Als eine besondere „Kontaktwirkung“ kann etwa auch der „mineralogische Fall“ gelten, daß amorphe Tonerde beim Erhitzen in Gegenwart geringer Mengen kristallinischer Kieselsäure leicht zum Kristallisieren zu bringen ist (ohne Silikatbildung). — Zur Frage der Katalyse im kolloiden System s. Fodor, Das Fermentproblem, 2. Aufl. 1929; W. Pauli u. Valko, Kolloidchemie der Eiweißkörper, 2. Aufl. 1933; Bechhold, Wo. Ostwald u. a. — 13 Der Gedanke eines Wählens und Richtens liegt schon in der Vermutung von Berzelius verborgen, daß „aus dem einen Blut oder Pflanzensaft“ die verschiedenartigsten Stoffe im Organismus entstehen können. — 14 Neben anorganischen Katalysatoren von sehr allgemeinen Fähigkeiten wie Platin, Eisen, Kupfer stehen andere mit engerem Wirkungsbereich wie Molybdän, Zinkoxyd, Borsäure, Phosphorsäure. Für fermentative Katalysen hat schon Liebig bemerkt (1839), daß Diastase auf Stärkemehl, nicht auf Amygdalin wirkt; Hefewasser auf Zucker, nicht aber auf Stärkemehl. Nach E. Fischer wird von den razemischen Methyl-d-Glukosiden nur die α -Form durch Hefeferment zersetzt, die β -Form nur von Emulsin; auf die entsprechenden Methyl-l-Glukoside aber wirkt keines von beiden Fermenten ein. Weiterhin baut nach Rosenthaler Emulsin aus Blausäure und Benzaldehyd unmittelbar d-Mandelsäurenitril bevorzugt auf. Neuere Forschungen haben ferner gezeigt, daß das Auswählen unter optischen Antipoden nicht durchaus der Konstitution des Enzyms selbst zugeschrieben werden muß, sondern auch auf assoziierte, optisch aktive Begleitsubstanzen zurückführbar sein kann. — 15 Die ältere Theorie der Säuren- und Basen-Katalyse, die nur die Konzentration der H- und OH-Ionen berücksichtigte (W. Ostwald u. Arrhenius), ist ersetzt worden durch eine „multiple“ oder „ganzheitliche“ Theorie, die auch andere Ionen und deren elektrostatische Wechselwirkungen sowie un-dissoziierte Molekeln des Substrats und gegebenenfalls auch des Lösungsmittels in Rechnung zieht (Brønsted, Bjerrum, Hinshelwood, Lowry, Debye und Hückel u. a.). — 16 W. Ostwald hat zuerst 1890 die Laktonehydrolyse als derartigen Fall reaktionskinetisch untersucht. Schon Horstmann hatte 1885 auf die merkwürdige Erscheinung hingewiesen,

daß „manche chemische Vorgänge durch die Gegenwart derjenigen Stoffe eingeleitet oder beschleunigt werden können, welche diese Vorgänge selbst erzeugen“ und als Beispiel das Rosten des Eisens und die Rolle von Mangansalz bei der Reduktion von Permanganat angeführt. — 17 Zur „Keimkatalyse“ s. Arbeiten von Volmer, Schwab, Prietsch u. a. Immer wird es sich, auch bei Plasmazuwachs, um die Fähigkeit einer Substanz handeln, aus einer bestimmten Umgebung, die gewissermaßen Gleichgewichtsüberschreitung in bezug auf jene Substanz zeigt, die „Übersättigung“ aufzuheben; für solche Angleichungsreaktionen aber wird immer Voraussetzung sein, daß bestimmte Verhältnisse des Potentials, der Wasserstoffionenkonzentration, der Anwesenheit oder Abwesenheit von Schutzkolloiden usw. die primären stofflichen Systembedingungen ergänzen. — 18 Vgl. hierzu Mittasch, Ber. dtsh. chem. Ges. 59, 13 (1926); Z. Elektrochem. 36, 573 (1930) sowie „Von Davy und Döbereiner bis Deacon“ 1932, S. 234. Von ersten Beobachtungen auf diesem Gebiete stofflicher Aktivierung sei genannt Döbereiners Beobachtung (1844), daß die katalytische Platinwirkung durch Alkali gesteigert werden kann, oder die Feststellung von Deacon (1873), daß die Wirkung von Kupfer bei der Chlorwasserstoffoxydation durch „accelerating substances“ wie Natriumsulfat erhöht wird. Für Enzyme sind analoge Beobachtungen über Kofenzyme, Aktivatoren, Kinasen u. dgl. erst in unserem Jahrhundert gemacht worden. — 19 Schon Döbereiner hat im Juli 1823 sein feinverteiltes Platin — und zwar nicht nur aus Sparsamkeitsgründen — mit feuchtem Töpferton zu „Pillen“ geformt (ihm als früherem Apothekergehilfen besonders geläufig!) und geglüht; auf Anregung von Döbereiner ist auch zuerst Platinasbest von R. Böttger und von Schweigger (um 1830) verwendet worden. — 20 Von alten Beobachtungen (Döbereiner, Turner, W. Henry, Faraday u. a.) sei nur vermerkt der „Pferdestallversuch“ von Döbereiners Schüler R. Böttger, ursprünglich Theolog, durch Döbereiners Feuerzeug für die Chemie gewonnen, nachmalige (1849) Erfinder der Sicherheitshölzer: An einem Döbereiner-Feuerzeug auf einer Domäne, das die Zündkraft des Platins verloren hatte, konnte Böttger 1831 feststellen, daß in dem über einem Pferdestall liegenden Zimmer Ammoniak vorhanden war; bei einem unversehrten Feuerzeug dahel konnte dann die Zündkraft durch Danebenstellen eines Fläschchens mit Salmiakgelst vernichtet, durch Ausglühen aber wiederhergestellt werden. — 21 Über Fermentmodelle (insbesondere hinsichtlich der „Kofenzyme“) s. die Zusammenstellung in „Katalytische Verursachung“ 1935, S. 26; ferner Langenbeck, „Die organischen Katalysatoren und ihre Beziehungen zu den Fermenten“ (1935), Shibata u. a. Besonders wichtig erscheint die Substitutionsmethode, sei es, daß man in einfache organische Katalysatoren durch fortgesetzte Einführung geeigneter Radikale die Wirkung immer spezifischer und intensiver gestaltet — wobei der Eiweißbestand des Fermentes außer Spiel bleibt — (Langenbeck), sei es, daß man in organische Träger bestimmte Wirkungsgruppen einführt: Bredig und Gerstner mit Einführung von Diäthylamin in Cellulose behufs Gewinnung eines „Faserkatalysators“, der z. B. die Bildung von optisch aktivem Mandelsäurenitril aus Benzaldehyd und Blausäure ebenso stark katalysiert wie ein Emulsinferment. — 22 Schon Döbereiner, Kuhlman u. a. haben gewußt, daß es für eine gute katalytische Wirksamkeit von Platin usw. jeweils stark darauf ankommt, in welcher Form es verwendet (als Blech, Draht, auf Trägern usw.), und Ähnliches ist dann für Kupferkontakte beim Deacon-Prozess beobachtet worden. Hinsichtlich späterer Forschungen s. Bredig, Schwab, Hüttig, Fricke, Eckell, H. S. Taylor u. a. — 23 Bei Schönbein nest man u. a. in einem Briefe an Liebig vom 5. März 1868 (kurz vor seinem Tode): „Ich habe früher schon die Ansicht ausgesprochen, daß jeder chemische Vorgang synthetischer und analytischer Art ein aus verschiedenen Acten zusammengesetztes Drama, ein wirklicher ‚processus‘ sei, d. h. einen Anfang, eine Mitte und ein Ende habe, welcher Ansicht ich noch immer bin.“ — 24 S. hierzu Mittasch, Zur Theorie der Katalyse im 19. Jahrhundert, Naturwiss. 1933, 729 ff.; E. Theis, Pharmaz. Ind. 1935, 568. Für die Atherherstellung mittels Schwefelsäure hatten Hiennel 1820 und Liebig 1834 die Äthylschwefelsäure als Zwischenglied erklärt, einen strengen Nachweis aber erst Williamson 1852 erbracht. Zum allerersten Male erscheint der Gedanke eines Verlaufes über Zwischenvorgänge bei Mrs. Fulham

1794. wenn sie bei ihren Ausführungen über die Notwendigkeit der Anwesenheit von Feuchtigkeit bei Oxydations- und Reduktionsprozessen dem Wasser eine Überträger- und Vermittlerrolle zuschreibt. Hinsichtlich der heutigen Theorie der Katalyse s. G. M. Schwab, Katalyse vom Standpunkt der chemischen Kinetik. 1931; Frankenburg u. Dürr, Katalyse. 1930. — 25 Noch heute wird die Vorstellung von Bunsen zutreffen, daß „die in einer Verbindung befindlichen Atome nur selten oder vielleicht niemals ihre Verwandtschaften so gesättigt haben, daß sie auf einen anderen mit ihr in Berührung gebrachten chemisch verschiedenen Atomkomplex gar keine Anziehung mehr ausüben“. Auch der größte Eiweißkörper ist noch unbefriedigt und zieht andere Körper heran, auf die Gefahr hin, daß dann schließlich doch unerträgliche Spannungen auftreten und die Komplexe aufreißen: der beste Boden eben für den Vorgang der Katalyse! — 26 „Katalytische Beschleunigungen lassen sich durch die Annahme erklären, daß bei jeder chemischen Reaktion eine kontinuierliche Folge von Zwischenzuständen durchlaufen wird, und daß der Katalysator, indem er mit den reagierenden Körpern in Wechselwirkung tritt, die Art der Zwischenzustände derart verändert, daß die Reaktion ermöglicht oder beschleunigt wird.“ (Wegscheider 1900; vgl. auch Horstmann-Ostwalds „Stufenregel“ und Skrabals „Regulierungsgesetz“.) Volle Beweise für den Verlauf katalytischer Reaktionen über Zwischenvorgänge und Zwischenzustände im homogenen wie heterogenen System, in der gewöhnlichen Katalyse (Federlin, Brode u. a.) wie der Enzymkatalyse (Michaelis u. a.) haben erst reaktionskinetische Messungen unseres Jahrhunderts erbracht. Auf die allgemeine Bedeutung labiler Zwischenverbindungen für physiologische Prozesse hat Abderhalden nachdrücklich hingewiesen (Naturwiss. 1930. 429). — 27 Auch enzymatische Hilfsmittel werden in der chemischen Industrie reichlich gebraucht: in der Gärungsindustrie, in Textilfärberei und Ledergewinnung, in der Nahrungsmittelindustrie usw. Einen kurzen Abriss über enzymatische Prozesse in der Technik gibt R. Hesse. Chem.-Ztg. 1934, 569. — 28 Driesch hat 1894 die Vermutung ausgesprochen, daß der Keim ein Gemisch von Fermenten sei, und J. Loeb hat im Befruchtungsvorgang das Eindringen eines postiven Katalysators in die Eizelle gesehen. — 29 Vgl. Flitig, Biol. Zbl. 1936, H. 1—2: „Hormone als physiologische Reizstoffe“; auch Forsch. u. Fortschr. 1935, 160. Bestimmte α -Aminosäuren zeichnen sich durch lebhaftere Anregung der Plasmaströmung (bei Vallisneria usw.) aus, am stärksten Histidin und Methylhistidin; ein direkter Nachweis solcher Verbindungen in der Pflanze ist jedoch noch nicht gelungen. — 30 In der Naturphilosophie des 19. Jahrhunderts, auch in der wissenschaftlich verankerten eines Schopenhauer, Lotze und Fechner, hat der Katalysebegriff keine Aufnahme gefunden, entsprechend seiner vorerst geringen Beachtung in der Biologie. Erst bei W. Ostwald, Wundt und Driesch beginnt eine philosophische Verwertung.

Über Autokatalyse in Chemie und Biologie*

Im Jahre 1885 berichtete Horstmann in Heidelberg über die „merkwürdige Erscheinung, daß manche chemische Vorgänge durch die Gegenwart derjenigen Stoffe eingeleitet oder beschleunigt werden können, welche diese Vorgänge selbst erzeugen“.

Als Beispiele führte er u. a. an die rasch fortschreitende Rostwirkung bei einmal vorhandenen Rostkeimen und die zunehmend raschere Reduktion von Kaliumpermanganat durch Oxalsäure nach Bildung der ersten Mengen Mangansalz. Wilhelm Ostwald hat dann 1890 dieser Erscheinung den Namen „Autokatalyse“ gegeben und sie an dem Beispiel der Laktonhydrolyse reaktionskinetisch erläutert, bei der die auf dem Wege der Spaltung erzeugte Säure (das Wasserstoffion) den Fortschritt der Reaktion beschleunigt¹. Weiterhin ist diese Autokatalyse mannigfach, so von J. Wagner, Haber, Hüttig, Vollmer, Schwab und Pietsch u. a. untersucht und bereits hier und da auf physiologische Vorgänge bezogen worden.

Die Eigen- oder Autokatalyse kann in sehr *verschiedenen Erscheinungsformen* auftreten, je nach der Formart (dem Aggregatzustand) der beteiligten Körper und der Art des Vorganges selbst: Bildung oder Zersetzung, Umsetzung, Abscheidung neuer Phasen usw. Als *physikalisches Vorbild* erscheint zunächst der durch einen vom Produkt ausgehenden „Anstoß“ erleichterte und beschleunigte Übergang eines in „metastabilem“ Zustande befindlichen Stoffes in eine neue, dem wahren „Gleichgewichtszustande“ entsprechende Formart. Hierher gehört das weite Gebiet der *Tröpfchenbildung* aus übersättigten Dämpfen, die durch Keim- oder Kernwirkung rasch vonstatten geht, sobald erst einmal irgendwie ein Anfang gemacht ist, und ferner das noch mannigfaltigere und viel bearbeitete Gebiet der *Abscheidung von Kristallen aus übersättigten Lösungen* und *unterkühlten Schmelzen*, die durch „Impfen“ schon mit sehr kleinen Mengen Kristallmehl als „Keim“ hervorgerufen oder beschleunigt werden kann; so stellte W. Ostwald fest, daß bei der Kristallisation von Glaubersalz schon ein Zusatz von 10^{-10} bis 10^{-12} g zur übersättigten

* Chem. Ztg. 60 (1936) 793—794.

Lösung genügt. (Auf die Wirkung isomorpher Verbindungen und auf ausgesprochene Fremdkeim-Wirkung, z. B. die allgemeine „Staubwirkung“, wird hier nicht eingegangen; auch sei auf die Bedeutung der Keimkatalyse in der Kolloidchemie nur kurz verwiesen.)

Eigentliche Autokatalyse im strengen Sinne liegt vor, wenn nicht nur ein Wechsel der Formart stattfindet, sondern eine „stoffliche Umsetzung“ zugrunde liegt, die sich in einer chemischen Reaktionsgleichung üblicher Art wiedergeben läßt.

A. Im homogenen System

Ein typisches Beispiel ist die oben erwähnte Beschleunigung der Permanganatreduktion durch Oxalsäure mittels schon vorhandenen Manganosalzes, die bekanntlich in der titrimetrischen Analyse verwendet wird (mit Bildung von Mangan-Ion, Wasser und Kohlensäure).



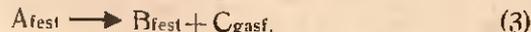
B. Im heterogenen System

Hier herrscht, den verschiedenen Möglichkeiten einer Kombination von Formarten entsprechend, eine sehr große Mannigfaltigkeit; zugleich stellt sich der Vorgang oft sehr „aufdringlich“ dar, indem er mit den Augen als „Zuwachskatalyse“ deutlich verfolgt werden kann. Zur Veranschaulichung seien einige besonders typische Fälle herausgegriffen (wobei die ersten noch den „physikalischen Vorbildern“ nahestehen):

Übergang einer metastabilen Kristallform in eine jeweils stabilere des gleichen Stoffes bei Berührung: z. B. von monoklinem in rhombischen Schwefel an der Grenzfläche der schon gebildeten rhombischen Kristalle.



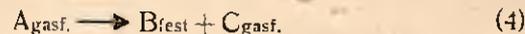
Ferner: Verwitterung kristallwasserhaltiger Salze an trockener Luft, d. h. Abgabe von Wasserdampf bis zur Gleichgewichtstension beschleunigt, z. B. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$, durch Berührung mit anhydriertem Salz. Es ist dies ein Sonderfall einer sehr verbreiteten Klasse von Spaltungs-Autokatalysen nach dem Schema:



Weitere Beispiele hierfür sind: die Verwitterung von Natriumbicarbonat gemäß $2\text{NaHCO}_3 \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ oder die Spaltung von Silberoxyd (bei erhöhter Temperatur) gemäß $2\text{Ag}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Ag} + \text{O}_2$.

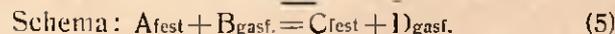
(Die autokatalytisch wirkenden Stoffe sind jeweils unterstrichen.)

Mannigfach sind auch Zersetzungs-Autokatalysen gemäß dem Schema:

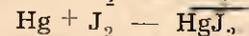
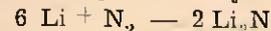


Beispiel: Zersetzung von Nickelcarbonyldampf, der in reinen Glasgefäßen auch bei höheren Temperaturen „Übersättigungserscheinungen“ zeigt, bei Gegenwart von Nickelmetall als Keim aber rasch der jeweiligen thermodynamischen Gleichgewichtslage gemäß $\text{Ni}(\text{CO})_4 \rightleftharpoons \text{Ni} + 4\text{CO}$ entgeht².

Eine Art Kombination von (2) und (4) ergibt sich bei Fällen wie der Reduktion von Oxyden mittels Wasserstoff oder Kohlenoxyd, z. B.



Betreffen (3) und (4) „Zersetzungen“, (2) und (5) „Umsetzungen“, so ergeben sich aus der Umkehrung von (3) und (4) „Bildungen“ oder „Synthesen“, z. B. die Bildung von Lithiumnitrid oder Quecksilberjodid gemäß



Bei der formalen Äquivalenz gasförmiger und gelöster Substanzen kann in allen diesen Schematen — wie schon (1) zeigt — statt „gasförmig“ auch „gelöst“ gesetzt werden, und hier eröffnet sich ein sehr weites Feld, das sich mannigfach in die physiologischen Prozesse fortsetzt. *Reaktionskinetisch* kennzeichnen sich alle Autokatalysen durch einen S-förmigen Verlauf; d. h. die Reaktionsgeschwindigkeit beginnt sehr langsam, schreitet mit der Zunahme der Autokatalysator-Produktion beschleunigt fort und nimmt mit Erschöpfung des Substrates wieder ab. Der Zuwachs kann mitunter so große Geschwindigkeit annehmen, daß

der Charakter einer explosiven Reaktion zutage tritt; ein wohlbekanntes Beispiel ist die durch gebildetes (oder von vornherein spurenhaltig zugefügtes) Stickoxyd beschleunigte Auflösung von Metallen wie Kupfer in Salpetersäure, gemäß dem Schema:



Statt noch weitere Schemata aufzusuchen, sei sogleich hinsichtlich der *Theorie* kurz bemerkt, daß auch hier, wie in der Katalyse allgemein, die Hypothese der *Zwischenreaktionen* und *Zwischenzustände* sich gut bewährt hat, ausgehend von der Annahme, daß primär eine labile *Anlagerungsverbindung* („ein Komplex“) des autokatalysierenden Endproduktes (bzw. auch einer Durchgangsstufe, wie bei der Nickelcarbonylzersetzung etwa des hypothetischen $\text{Ni}(\text{CO})_2$ statt Ni) mit dem Ausgangsstoff (oder einem Ausgangsstoff) entsteht, die erhöhte Reaktionsfähigkeit besitzt. Im einzelnen kann dabei im Reaktionsdrama (gleichwie in sonstiger Katalyse) auch die sog. „Kettenreaktion“ eine große Rolle spielen, indem Reaktionsprodukte ihre Energie jeweils stafettenartig, aber selektiv, an nichtumgesetzte Molekeln des Ausgangsstoffes abgeben, mit oft vielgliedriger „Radikalkette“ (bis Tausende und Millionen Glieder). Daß niemals aber „Zauberei“ im Spiele ist, sondern auch in den kompliziertesten Fällen nur thermodynamische Möglichkeiten zur Verwirklichung gelangen (nach Berzelius: „schlummernde Verwandtschaften“ den Ausgang und „größere elektrochemische Neutralisierung“ das Ziel bilden), mag der Vollständigkeit halber bemerkt werden.

Was aber hat das alles mit *Biologie* zu tun? Der „Brückenbau“ beginnt mit einem Satze, den Berzelius 1835—36 ausgesprochen hat: daß in den Geweben der tierischen und pflanzlichen Organismen aus dem *einen* Blut oder *einen* Pflanzensaft eine „Menge ungleichartiger Zusammensetzungen“ durch „*katalytische Prozesse zwischen den Geweben und Flüssigkeiten*“ hervorgerufen wird; und darauf schließt ein Satz von Wilhelm Ostwald von 1901 an: „Wenn wir das Blut als eine in bezug auf alle diese Stoffe“ (die sich im Organismus bilden können, d. Verf.) „übersättigte Lösung ansehen dürften, so wäre es verständlich, daß jedes Organ sich seiner Substanz nach auf Kosten einer

und derselben Flüssigkeit vermehren kann“. Als Modell eines derartigen Vorganges aber erscheint das Verhalten einer sehr verdünnten Lösung von Bleiacetat und Thio-sulfat, die in bezug auf das gebildete und gelöste Bleisulfid zunächst deutliche „Übersättigung“ zeigt, bei Berührung mit eingeführtem festen Bleisulfid indes sogleich eine Ausfällung gibt, analog der Abscheidung von Nickel aus Nickelcarbonyldampf an Nickelkeimen³.

Was existiert nun an *Beobachtungen* über derartige *Auto-, Keim- oder Zuwachskatalysen in der belebten Natur*? Vernon hat darauf hingewiesen, daß die Bildung von Trypsin aus dem „Trypsin-Zymogen“ langsam beginnt, aber rasch voranschreitet, sobald Spuren Trypsin vorhanden sind. Freilich handelt es sich hier wie in anderen Fällen um äußerst komplizierte und von zahlreichen „Systembedingungen“ abhängige Vorgänge, doch wird man solche wenigstens arbeitshypothetisch als Autokatalysen bezeichnen dürfen, also auch z. B. das Wachsen von Konkrementen bei Krankheitszuständen in Galle und Niere oder die rasche Bildung von Blutpfropfen bei einmal begonnener Blutplättchenabscheidung (Stich 1935). Und ähnlich wird es bei dem Blutgerinnungsstoff sein, der sich zunächst langsam, dann „explosionsartig“ vermehrt (nach Albert Fischer auf dem Wege der „Reaktionsketten“). Desgleichen dürfte bei der Vermehrung von Virus-Molekeln (etwa bei der Mosaikkrankheit des Tabaks) Autokatalyse im Spiele sein. Auch normale Wachstums- und Entwicklungsvorgänge sind schon unter dem Gesichtspunkt der Eigenkatalyse betrachtet worden. So können die umweltstabilen Gene bzw. ihre stofflichen Bestandteile heuristisch als Katalysatoren bzw. Autokatalysatoren erscheinen (R. Goldschmidt, J. Alexander). Im gesamten Vererbungs- und Entwicklungsgeschehen werden Stoffgruppen eine große Rolle spielen, „die ihren eigenen Zuwachs katalysieren“ (v. Euler). Die Vererbungssubstanz ist einer autokatalytischen oder homoiokatalytischen Vermehrung durch Substrat-Assimilation fähig (Schmalfuß). Die Lebensprozesse werden in hohem Grade gelenkt durch Katalysatoren: a) durch sich selbstreproduzierende Gene und b) durch Enzyme (J. Alexander)⁴.

So wird man schließlich Grund für die Annahme haben, daß ganz allgemein die lebenswichtigen und lebensbeständigen Stoffe eines jeden Organismus aus einem diese Stoffe latent (d. h. in ihren Ursprüngen) enthaltenden Medium auf dem Wege einer selektiven Autokatalyse erzeugt werden, wobei jeder dem Stoffwechsel unterliegende Stoff durch „Kooptieren“ selber dafür zu sorgen hat, daß seine Masse nicht ausgeht. „Das assimilationsmächtige Plasma hat die Fähigkeit, die assimilationsbedürftigen Stoffe sich selber anzugleichen und eine mit sich selber identische Substanz hervorzubringen,“ (André). Eine quantitativ verstärkte Autokatalyse aber wird überall da nötig sein, wo ein Stoff im Fluß des Stoffwechsels nicht nur mengenmäßig erhalten bleiben soll, sondern behufs späterer Zellteilung und Gewebewachstums sich notwendig vermehren muß, und zwar unter strenger Einhaltung seiner „chemischen Individualität“, da jede Abirrung in das nur „Ähnliche“ zu physiologischen Fehlleistungen führen würde!

Erkennt man derartige Gedankengänge als richtig an, so eröffnen sich Ausblicke auf die Behandlung einer Fülle wichtigster Probleme in Assimilation und Wachstum, Regeneration und Krankheitsheilung, ja auch hinsichtlich der staunenswerten Erhaltung von Genotypus wie Phänotypus. Das Werden und Wachsen des Individuums, ja sogar die Phylogenese erscheint so schließlich, nur stofflich gesehen (also einseitig), als Funktion einer Unsumme im Keim vorgebildeter und von Anfang an wohlgeordneter Katalysen, wobei als „ruhender Pol in der Erscheinungen Flucht“ und in der nie aufgehörenden Wechselwirkung mit der Umwelt irgendwie gegebene, sicher hochkomplizierte Stoffe (bestimmte Makromolekeln) mit eigenkatalytischen Fähigkeiten anzuerkennen wären.

Anmerkungen:

— 1 Siehe insbes. Ostwalds Katalyse-Vortrag von 1901 („Auslösung in übersättigten Gebilden“ und „Autokatalyse“ werden hier nebeneinander behandelt). — 2 Siehe Mittasch, Ztschr. f. phys. Chem. 1902, Bd. 40, S. 1 ff. — 3 Auch das Beispiel der Keimwirkung in der Entwicklung des photographischen Bildes wird hier von Ostwald schon angeführt. — 4 Jerome Alexander, Journ. of Heredity 1936, S. 139.

Katalyse und Lebenskraft

Ein Beitrag zu „Chemie und Biologie“*

Berzelius hat 1836 die „katalytische Kraft“ von der „Lebenskraft“ abgezwelgt. — Katalysatoren als stoffliche Vermittler oder Beschleuniger stofflichen Geschehens mit bestimmtem Richtungssinn auch in den Organismen. — Verstärkung und Vergiftung des Katalysators. — Der Katalysator schaltet sich ein und aus. — Katalyse vermutlich auch im Aufbaustoffwechsel von Bedeutung: katalytische Teilakte bei Hormonen, Wuchsstoffen, Vitaminen usw.

„Alle Erklärungen der Physiologie setzen die Lebenskraft voraus.“
(Schopenhauer)

Chemie als die Wissenschaft von stofflichen „Umsetzungen“ und Biologie als die Wissenschaft von den Lebensvorgängen: Was haben sie miteinander zu tun? — Sehr viel, da alles irdische Leben stoffgebunden erscheint und nicht ohne einen „Zusammenhang“ räumlich und zielstrebig geordneter und über die gesamte Lebensdauer fortlaufender chemischer Vorgänge denkbar ist. Indes sind die stofflichen Vorgänge im Organismus (biochemische Prozesse) nach Art und Ineinandergreifen vielfältig von denjenigen stofflichen Vorgängen unterschieden, die sich in der sogenannten „toten“ anorganischen Natur ereignen, oder welche der Chemiker im Laboratorium und in der Fabrikation zu beherrschen und zu leiten vermag; so nimmt es nicht wunder, daß man bis in das neunzehnte Jahrhundert hinein dazu neigte, die Besonderheit des stofflichen Geschehens im Pflanzen- und im Tierkörper unmittelbar einer besonderen „Kraft“ zuzuschreiben, die zumeist als „Lebenskraft“, als vis vitalis bezeichnet wurde¹. Das Verhältnis von „chemischer Umsetzung“ und „Lebensprozeß“ aber wurde aufgefaßt in der Weise, wie Gmelin in Heidelberg 1817 aussprach: „Organische Körper sind Produkte der durch Lebenskraft geleiteten Affinität“ (d. h. chemischen Verwandtschaft der Stoffe).

Zum Verständnis damaliger Denkweise muß man sich vergegenwärtigen, daß dazumal von den heute zugänglichen hunderttausenden organisch-chemischer Kohlenstoffverbindungen selbst die einfachsten, wie Essigsäure, Oxalsäure, Harnstoff usw., zwar bekannt, aber noch nicht „synthetisch“ aus ursprünglich anorganischem Stoff hergestellt worden waren, so daß es in der Fachwelt einiges Aufsehen

* Umschau 1936, 733—736.

erregte, als Friedrich Wöhler, dazumal in Kassel, aus einer als „anorganisch“ angesehenen Verbindung, dem cyansauren Ammon, durch „Umlagerung der Atome“ regelrechten Harnstoff herzustellen vermochte² (1828). Für die weitere Auffassung des Verhältnisses, in welchem die chemischen Vorgänge im Organismus zu denjenigen im chemischen Laboratorium stehen, ist indes die *Begriffsbildung der „Katalyse“* besonders bedeutungsvoll geworden, welche der berühmte Stockholmer Chemiker Jakob Berzelius 1835 bis 1836 geschaffen hat.

Mit diesem Ausdruck „Katalyse“ faßte Berzelius eine Anzahl damals bereits an sich bekannter Vorgänge zusammen, welche das Merkmal gemeinsam haben, daß bestimmte „Körper“ (Stoffe) „durch ihre bloße Gegenwart chemische Tätigkeiten hervorrufen, die ohne sie nicht stattfinden“. Beispiele derartiger Umsetzung waren Döbereiners Zündung von Knallgas mittels Platinschwamm 1823 (ein „synthetischer“ Vorgang: Wasserstoff + Sauerstoff \rightarrow Wasser) und Thénards Zersetzung von Wasserstoffsuperoxyd durch hineingebrachte Metalle, Metalloxyde usw. 1818 (ein „analytischer“ Vorgang: Wasserstoffsuperoxyd \rightarrow Wasser + Sauerstoff). Gleichzeitig aber betonte Berzelius — und das ist hier besonders wichtig —, daß *diese vom Chemiker eingeleiteten und beherrschten „katalytischen“ Vorgänge wesensgleich seien mit bestimmten damals an sich auch schon untersuchten chemischen Vorgängen in der lebenden Natur*, wie demjenigen der Vergärung von Traubenzucker zu Alkohol und Kohlensäure, wobei die Hefe den „Katalysator“ bilde, und demjenigen der Umwandlung von Kartoffelstärke in löslichen Zucker mit Hilfe der „Diastase“, die kurz vorher (1833) von Payen und Persoz abgeschieden und gekennzeichnet worden war. Ja, mit Seherblick geht Berzelius über den damaligen Stand des Wissens noch weit hinaus, indem er sagt: „Wir bekommen gegründeten Anlaß zu vermuten, daß *in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten vor sich gehen*“, so daß z. B. aus dem einen Pflanzensaft oder Blut eine Unmenge verschiedener chemischer Verbindungen hervorgehen, namentlich in den tierischen Ausscheidungsorganen, die so Milch, Galle, Harn usw. erzeugen.

War das auch, an dem Stand des heutigen Wissens gemessen, von Berzelius etwas allzu einfach und summarisch gedacht, der berühmte Aufsatz „über die katalytische Kraft“³ gab *Signal und Aufforderung für die chemische Wissenschaft einerseits, die physiologische andererseits*, die in Berzelius' Person noch eng verbunden auftraten, in Zukunft aber getrennt marschieren sind. Demgemäß spaltet sich die katalytische Forschung des seither vergangenen Jahrhunderts in die Erforschung von Wesen und Umfang der Katalyse in bezug auf *künstliche Katalysatoren des Chemikers* (in Laboratorium und technischer Fabrikation) und andererseits die Erforschung der *natürlichen Katalysatoren*, die in den Organismen ihre veranlassende und richtende, beschleunigende und regelnde Tätigkeit entfalten.

Wenn sich in der Wissenschaft lange Zeit die gewöhnliche Katalyse einerseits, die *biologische Katalyse* in Form der *Ferment- oder Enzymkatalyse* andererseits ziemlich selbständig entwickelt haben, so sind doch in unserem Jahrhundert beide in enge Wechselwirkung getreten. Haben ja tatsächlich beide das Gemeinsame, daß sie sich auf Stoffe beziehen, die durch ihre bloße Gegenwart (richtiger noch: durch den Anschein einer bloßen Gegenwart) chemische Reaktionen und Reaktionsfolgen nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmen. Die engen Beziehungen der Bio-katalyse zur „rein chemischen“ Katalyse, unbeschadet verschiedener, oft sehr augenfälliger Unterschiede, treten bei einer eingehenderen Betrachtung der „katalytischen Verursachung“ mannigfach hervor.

Stofflicher Zustand. Daß Katalysatoren *stoffliche* Vermittler stofflichen Geschehens sind, muß betont werden angesichts der Tatsache, daß chemische Vorgänge auch durch rein energetische Wirkungen ausgelöst und unterhalten werden können; es sei nur an das Beispiel der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser erinnert, die, theoretisch betrachtet, ein freiwillig, d. h. unter eigener Arbeitsleistung verlaufender Vorgang ist, in Wirklichkeit aber bei gewöhnlicher oder schwach erhöhter Temperatur nur dadurch bewerkstelligt werden kann, daß man entweder mit dem elektrischen Funken zündet, d. h. zur explosiven Vereinigung anregt, oder aber einen Katalysator wie feinverteiltes sauberes Platin darauf einwirken läßt.

Der katalytische Vorgang kann meist schon von geringen Stoffmengen veranlaßt (bzw. beschleunigt) und unterhalten werden (Spurenkatalyse und Dauerkatalyse). Nach Bredig (um 1900) zersetzt kolloidales Platin vielmillionenfache Beträge von Wasserstoffsperoxyd; und schon Schwann hat erkannt, daß das von ihm 1836 entdeckte Pepsin in minimalen Mengen die Eiweißverdauung bewirkt. Dabei können die allerverschiedensten *Elemente und Verbindungen* jeweils eine deutliche katalytische Wirkung ausüben, und zwar in den *verschiedensten Formarten* (Aggregatzuständen), gasförmig, flüssig oder fest, im gleichmäßig homogenen System (z. B. ein gelöster Stoff in einer Flüssigkeit mit reaktionsfähigen Bestandteilen) oder an bestimmten Grenzflächen (z. B. ein poröser fester Körper in einem Medium mit reaktionsfähigen Gasen, wie bei der Ammoniak-katalyse aus Stickstoff und Wasserstoff mittels eines bestimmten Eisen-Katalysators).

In den Organismen vollziehen sich die Katalysen in einem außerordentlich verwickelten, vornehmlich aus Flüssigkeiten und Kolloidsubstanzen bestehenden Medium. Dauernd sind die Bemühungen zahlreicher Forscher darauf gerichtet, gerade diese *Kolloidkatalysatoren des Organismus* beherrschen, d. h. isolieren und nachbilden zu lernen. Daß hierbei schon die Anreicherung und Abscheidung der Biokatalysatoren (insbesondere Fermente oder Enzyme) oft unüberwindlichen Schwierigkeiten begegnet, ist bekannt. Die Erfolge, die in verschiedenen Fällen erzielt worden sind, betreffen einerseits die Erkennung und Nachbildung bestimmter *Fermente*, andererseits die Aufklärung ihrer Wirkungsweise.

Richtungssinn und auswählende Wirkung. Von Anfang an ist den Forschern außer der oft überraschend starken Wirkung kleiner Stoffmengen der Umstand besonders aufgefallen, daß nur ausnahmsweise ein bestimmter Stoff *verschiedene* Katalysen gleich gut bewirkt, daß also im allgemeinen bestimmte chemische Umsetzungen nur durch bestimmte Körper hervorgerufen oder beschleunigt werden können. Mit einem sorgfältig ausgewählten und hergestellten Eisen-Katalysator erreicht der technische Chemiker die wirtschaftlich hochbedeutsame Ammoniak-katalyse, mit einfachen Kupferverbindungen die Chlorgewinnung

aus Salzsäure nach Deacon, mit Quecksilber oder Molybdän, Borsäure oder Phosphorsäure usw. usw. bestimmte Lenkungen bei organisch-chemischen Umsetzungen. Die zahlenmäßig und wirkungsmäßig unübersehbaren *Stoffwechsellenzyme sind jeweils auf ganz bestimmte Leistungen spezifisch abgestimmt.*

Liegen chemische Systeme vor, in denen die Erzeugung verschiedenartiger Produkte möglich ist — und das ist namentlich im Bereich der Kohlenstoffverbindungen die Regel —, so lassen verschiedene *Katalysatoren das Geschehen vom gleichen Ausgangsmaterial in verschiedener Reaktionsbahn laufen*; der Katalysator verhält sich „richtend“ und „steuernd“. Schon um 1800 wurde beobachtet, daß sich Alkohol an glühendem Ton unter Entstehung anderer Produkte anders spaltet als an glühendem Kupfer, und aus dem einfachen Gasgemisch Kohlenoxyd-Wasserstoff hat man in den letzten Jahrzehnten eine Fülle verschiedener Verbindungen synthetisch aufzubauen gelernt; so kann man mit einem Zinkoxyd-Chromoxyd-Kontakt Methylalkohol (Matthias Pier u. a., I. G. Farbenindustrie), mit wieder anderen Katalysatoren flüssige Kohlenwasserstoffe usw. erhalten (Franz Fischer u. a.) statt oder neben Methan, das zuerst Sabatier 1897 mit einem Nickelkatalysator gewonnen hat.

Mehrstoffkatalysatoren. Die stärksten, bestimmtesten und nachhaltigsten Katalysen kommen oft erst dadurch zustande, daß dem katalysierenden Hauptstoff noch bestimmte *Zusatzstoffe* hinzugefügt sind, wie bei der Ammoniak-synthese dem katalysierenden Eisen kleine Mengen Tonerde und Kali. Wirkt der Zusatzstoff bereits in kleinen Mengen günstig, so spricht man von *Aktivierung* und Aktivator; macht sich die vorteilhafte Wirkung aber erst bei Anwesenheit größerer Zusatzmengen, insbesondere großoberflächiger poröser Stoffe geltend, so liegt die altbekannte *Trägerwirkung* vor (z. B. Platin auf Asbest). Andererseits kann, wie schon aus den Anfängen katalytischer Forschung bekannt ist, ein katalysierender Stoff jeweils auch durch bestimmte Stoffe unwirksam gemacht oder „vergiftet“ werden (z. B. Eisen bei der Ammoniak-katalyse durch Spuren Schwefel). Diese Erscheinungen kehren bei den typischen Biokatalysatoren, d. h. bei den *Fermenten* wieder, die, wie

sich gezeigt hat, wohl durchweg aus einem kolloiden „Träger“ (einem Eiweißstoff) und zum mindesten einer damit mehr oder minder fest verbundenen „Wirkungsgruppe“ bestehen (das „gelbe Ferment“ z. B. aus einem Eiweißstoff und dem Vitamin B₂ — Laktoflavin als Wirkungsgruppe). Auch im übrigen zeigen die Biokatalysatoren vielfach Verstärkungs- und Zuspitzungs-Erscheinung beim Zusammenwirken (Kofermente, Aktivatoren, Kinasen usw.), während andererseits durch bestimmte andere Stoffe die Fermentwirkung geschädigt oder aufgehoben werden kann (Gifte, Paralytoren u. dgl.; z. B. Blausäure für die eisenhaltigen Atmungsfermente).

Wesen der Katalyse. Eingehende Studien der letzten Jahrzehnte haben die schon in den Tagen des Berzelius hervortretende Vermutung bestätigt, daß der Katalysator nur scheinbar durch seine bloße Gegenwart wirkt, tatsächlich aber in das chemische Geschehen mit eingeht, nur mit der Eigenart, daß er sich aus diesem Geschehen wieder auswickelt oder ausschaltet und so unter Umständen nicht nur Tausende, sondern viele Millionen mal „epetieren“ kann. Anders gesagt: Vermöge bestimmter, oft schwacher „Affinitäten“ geht der Katalysator bestimmte labile Zwischenverbindungen ein. Die erste Stufe ist in der Regel eine lockere (labile) Anlagerungsverbindung, welche der Katalysator mit den reaktionsfähigen Stoffen, oder mit einem von diesen bildet; und es ist sehr bemerkenswert, daß die Fermentforschung auf ihrem Gebiet selbständig zu einem im wesentlichen gleichen Ergebnis über die Betätigungsweise ihrer Katalysatoren gekommen ist (Michaelis, Willstätter, v. Euler, Neuberg u. a.) wie die allgemeine katalytische Forschung hinsichtlich ihrer künstlichen Katalysatoren. Wie der Verlauf im einzelnen sich gestaltet — meist außerordentlich verwickelt — und wie die so oft beobachtete „Beschleunigung“ oder Richtunggebung zustande kommt, das zu untersuchen ist Aufgabe der „Reaktionskinetik“, die hierbei neuerdings auch die Ergebnisse der Atomphysik und Quantentheorie zu Hilfe nimmt. Vielfach gehen auch katalytisch angestoßene „Reaktionsketten“ in das „Gesamtdrama“ ein, und andererseits wandelt sich die Katalyse oftmals zu der sogenannten „Reaktionskopp-

lung durch Induktion“ (z. B. im chemischen Prozeß der Muskelarbeit in äußerster Verwicklung vorliegend; Meyerhof u. a.).

Eine solche Art der Betätigung des Katalysators, als selbstloser Vermittler in einem ständigen Wechsel von eingeschaltetwerden und Sichwiederausschalten (mit einem Anklang an das so oft gesuchte und erstrebte Perpetuum mobile der Mechanik) ist nur dadurch erklärlich, daß der Katalysator nie und nirgends energetische Arbeit in physikalischem Sinne am „Substrat“ leistet; er kann vielmehr nur latente Möglichkeiten zur Wirklichkeit machen, die in einem an sich reaktionsfähigen System von „Reaktionspartnern“ schon bestehen; es kann nur an sich mögliche Reaktionen veranlassen und beschleunigen, er bringt im ganzen weder Energie in das System hinein, noch trägt er solche aus dem System hinaus. Damit ist aber nicht ausgeschlossen, daß auch bei solchen chemischen Vorgängen, die durch fremde Energie erzwungen werden, Katalysatoren hilfsweise tätig sind, z. B. bei elektrolytischen Abscheidungs-Prozessen und vor allem auch bei Strahlungswirkungen, wie der Kohlensäure-Assimilation im Licht (Sensibilisatoren, Photokatalysatoren).

So ist auch die katalytische Haupterscheinung erklärlich, die schon in den ersten Anfängen katalytischer Forschung aufgefallen ist und die im Grunde erst den Anstoß und den Anreiz zu der Beschäftigung mit dieser Erscheinungsgruppe gegeben hat: die Tatsache, daß ein Katalysator, sofern er überhaupt wirkt, unter günstigen Umständen Dauerwirkungen zeitigen kann, die jede einfache Zahlenbeziehung weit übersteigen (ein kg Eisen-Katalysator kann im Laufe der Zeit viele Tonnen Ammoniak liefern). Wenn dabei in Wirklichkeit „die Bäume doch nicht in den Himmel wachsen“, d. h. die Katalysatoren öfters doch früher oder später ihren Dienst aufsagen, „altern“ oder „sich erschöpfen“, so sind Nebenumstände im Spiel, von denen hier nur kurz angeführt sei: eine allmähliche, nicht umkehrbare ungünstige Änderung der physikalischen Struktur (etwa in der Richtung einer Vergrößerung des Kristallhabitus oder einer Veränderung des kolloiden Verteilungszustandes), eine allmähliche Festsetzung von „Giftstoffen“ des Mediums, oder — in dem Stoffwechsel der Organismen besonders

häufig — eine Zerstörung durch Nebenreaktionen, auf deren Möglichkeit schon Berzelius hingewiesen hat.

Verbreitung der Katalyse. Während in der anorganischen Natur — soweit sie nicht vom Menschen in seine Dienste gestellt wird — Katalysatoren nur wenig auffällig wirksam sind (etwa bei der Mineralbildung, beim Verwittern und Rosten), ist der Reichtum der Organismen an Assimilations- und Stoffwechselkatalysen ganz unerschöpflich und erst zu einem kleinen Teil erschlossen. Hierbei kann man zwischen allgemeinen Katalysatoren unterscheiden, die durch die ganze Lebewelt oder doch durch große Klassen und Gruppen von Tieren und Pflanzen zu finden sind, und besonderen Katalysatoren, die nur eine beschränkte Verbreitung zeigen. Oder man kann unterscheiden zwischen ortfesten Katalysatoren, die in den Zellen und Organgeweben fest „verankert“ sind (Gewebe-katalysatoren), und Wanderkatalysatoren, die durch Diffusion oder in strömenden Säften in den Körpern von der Erzeugungsstelle an den Ort ihrer Bestimmung geführt werden. Eine besondere Beachtung verdient auch die Sonderform der *Autokatalyse*, die darin besteht, daß ein chemischer Vorgang zunehmend beschleunigt wird, sobald erst einmal gewisse Mengen des Reaktionsproduktes (bzw. bestimmter dahin zielender Zwischenverbindungen) vorhanden sind. Als „*Zuwachskatalyse*“ kann diese Art der Katalyse in der Erhaltung lebensnotwendiger Körpersubstanzen und in den Wachstumserscheinungen eine wichtige Rolle spielen.

Auf die *Fermente oder Enzyme*, die in den Lebewesen der Assimilation körperfremder Stoffe, ihrer Verarbeitung in Spaltung und Aufbau und ihrer schließlichen Ausscheidung dienen, braucht hier nicht näher eingegangen zu werden; nur sei an die in aller Verwicklung wohlgeordnete Betätigung der verschiedenen Atmungsfermente (Warburg, Keilin u. a.) hingewiesen, welche dem oxydativen Abbau der zu erneuernden Gewebestoffe dienen. Wieweit bei der Wirkung von *Hormonen, Vitaminen und Wuchsstoffen* Katalyse mit im Spiel ist, ist noch unbekannt; ihre außerordentlich tiefgreifenden und weitverzweigten Wirkungen in dem Kolloidchemismus der Zellgewebe und des ganzen Organismus sind einer „physikalisch-chemischen Analyse“ schwer zugänglich. Ähnliches gilt von denjenigen Stoffen,

die bei Befruchtung, Vererbung und embryonaler oder auch weiterer organischer „Formbildung“ ihre richtende, regelnde und steuernde Tätigkeit entfalten und für die eine Beteiligung der Katalyse mehr und mehr wahrscheinlich wird: *Vererbungsstoffe* und *Organisationsstoffe* (nach R. Goldschmidt, Spemann u. a.). Außerdem ist im wachsenden wie im erwachsenen Organismus, in seinen gesunden und seinen kranken Zuständen ein Heer verschiedenster „namenloser Katalysatoren“ tätig, auf die Physiologie und medizinische Wissenschaft durch Forscher wie Höber, Schade, Bechhold, Eichholtz u. a. aufmerksam gemacht worden sind.

Eine eingehende Behandlung verdient das Verhältnis des Katalysatorbegriffes zu dem Begriff der *stofflichen Reizwirkung*, die eine typische Form der Verursachung im biologischen Geschehen ist (Johannes Müller, Pfeffer, Fitting, Bier u. a. m.) und der auch Hormone und Vitamine allgemein dienen. Es würde voreilig sein, Reizstoffe des Körpers schlangweg als echte oder eigentliche Katalysatoren zu bezeichnen, dafür ist das angestoßene chemische und kolloidchemische und kolloidphysikalische Geschehen allzu verwickelt und undurchsichtig. Insbesondere kommt in Betracht, daß *das Ganze der Zelle, ja des Organismus* den Reiz als Anlaß zu einer Änderung seines Erregungszustandes aufnimmt und diesen Reiz oft in kompliziertester Weise verbreitet, umformt und beantwortet. Soviel aber wird sicher sein, daß bei den verschiedensten Wirk- und Reizstoffen, Spezial- und Prägungstoffen, Giften und Gegengiften die Katalyse eine mehr oder minder wichtige Rolle spielt; die verblüffend weitreichende Wirkung schon kleinster Stoffmengen, die sich bis zur Lawinen- und Katastrophenreaktion steigern kann, wird immer wieder auf die Möglichkeit einer Beteiligung katalytischer Teilakte (als Zentralakte oder Hilfsakte) hinweisen.

Es ist schon mehrfach bemerkt worden, daß die zunächst völlig rätselhaft und geheimnisvoll erscheinenden Vorgänge in den Organismen ihres „mythischen“ oder „vitalistischen“ Charakters entkleidet sind, sobald es gelungen ist, sie als „katalytische“ Prozesse nachzuweisen, indem von diesen die Überzeugung herrscht, daß ein genügend geschickter Chemiker unter günstigen Umständen sie zwar nicht in ihrer

gesamten Reaktionsverknäuelung, wohl aber in Form einzelner isolierter Akte nicht nur im Modell, sondern schließlich sogar als solche im Reagenzglas oder sonstwie nachzubilden vermag. So betrachtet, hat Berzelius wohl mehr und Nachhaltigeres zur *Erschütterung der „summarischen“ älteren Vorstellung von der „Lebenskraft“* beigetragen als Wöhler mit seiner Harnstoffsynthese!

Dabei muß aber auffallen, daß Berzelius selber — und ebenso sein noch „mechanistischer“ denkender Gegenspieler Liebig — dauernd an der Annahme einer richtenden und zielenden Lebenskraft festgehalten hat⁴. Im ganzen ist es wohl so, daß jede einzelne Katalyse im Organismus für sich genommen nur die „zauberische“ Eigentümlichkeit der Katalyse überhaupt besitzt, d. h. daß sie nicht mehr oder minder „wunderbar“ ist wie die anorganische und organische Katalyse des Chemikers und Technikers in Laboratorium und Betrieb, so sehr sie auch in ihrer genialen Durchführung mit einfachsten Hilfsmitteln jene übertrifft. Darüber hinaus aber ist zu sagen, daß das Problem sich in der Frage ausspricht: Wie kommt es, daß gemäß Berzelius' seherischer Voraussagung im lebenden Körper tatsächlich Tausende von Katalysen jeweils *gleichzeitig* stattfinden, und zwar mit unzähligen andersartigen (chemischen und physikalischen) gerichteten Teilvorgängen in eine zeit-räumlich fließende Ganzheit zusammengekoppelt, die — im gesunden Organismus wohlgeordnet — den *Erfolg der Lebenserhaltung, Lebenssteigerung und Lebensvermehrung* zeitigt?

So betrachtet kann, menschlich gesprochen, an gewissen „höheren Richtkräften“ und schließlich an einem zusammenfassenden Etwas, das man früher „Lebenskraft“ genannt hat und das in der neueren, ganzheitlich gerichteten Biologie unter den verschiedensten neuen Namen erscheint⁵, kaum gezweifelt werden, um so weniger, als wir in der Katalyse selbst ein *einfaches Vorbild und Modell eines solchen „Faktors“ oder einer derartigen „Kraft“* (d. h. einer gleichförmig wiederkehrenden Ursache von Erscheinungen) besitzen, die *bestimmend und lenkend wirkt*, ohne in die energetischen Erhaltungsgesetze im mindesten einzugreifen⁶. Der Chemismus der Welt, zumal der Biochemismus und der seinen Zwecken dienende Kolloidchemismus, ist

durchaus nicht so „starr“, wie es einer allzu sehr vereinfachenden, streng mechanistischen Betrachtungsweise früher erscheinen mochte; der Wirklichkeit näher kommend wird das Bild einer *hierarchisch abgestuften Ordnung in der Natur* sein, die darin besteht, daß auf jeder Stufe (inneratomares, molekulares, körperhaftes, zelluläres und organismisches Geschehen) neue „Spielregeln“ auftreten, die nicht restlos aus denen der jeweils niederen Stufe, geschweige aus wenigen einfachen „Urregeln“ (heute etwa der Quantenmechanik) abgeleitet werden können! (siehe Oldekop u. a.) Zu solchen „Spielregeln“ oder „Naturgesetzen“ von bestimmtem Geltungsbereich gehören auch die Regeln der Katalyse, im anorganischen wie im organismischen Geschehen.

„Die große Frage bleibt, woher es kommt, daß der Organismus immer die passenden Katalysatoren einsetzt“ (Bavink). So wird in gewissem Sinne noch heute der Ausspruch von Wundt (Sinnl. u. Übersinnl. Welt 1914, S. 54) gelten, daß „der Vitalismus im Grunde nie überwunden“ worden ist. Wir meinen hierbei aber einen „Vitalismus“ in dem allgemeinen Sinne einer *Obergesetzlichkeit des Lebens*, die sich in dem Stufenbau oder der Rangordnung des Naturgeschehens auf der verhältnismäßig „niederen“ Gesetzlichkeit der anorganischen Natur aufbaut. „Der Organismus, auch der Mensch, ist den chemischen Stoffen gegenüber ein Katalysator großen Stiles, zusammengesetzt aus einer unzähligen Menge elementarer Katalysatoren, die er selbst erzeugt“ (Wundt). „In welchem Sinne verhält sich das Lebende etwa selbst als Katalysator und was heißt das?“ (Driesch).

Anmerkungen:

1 Paracelsus sprach einst von einem die Lebensvorgänge beherrschenden „Archaeus“, Blumenthal (In den Zeiten Kants) vom „nisus formativus“, d. h. der formbildenden Kraft, usw. — 2 Zehn Jahre später äußerte sich Justus Liebig siegessicher schon dahin, daß es einstmals gelingen werde, Stoffe wie Zucker, Salizin und Morphin künstlich herzustellen, und Döbereiner hat dabei schon an katalytische Mittel gedacht (Zucker durch Umkehrung des Gärungsvorganges!). — 3 In Berzelius' „Jahresbericht der physischen Wissenschaft“ über 1834, im Jahre 1835 verfaßt und 1836 in deutscher Übersetzung (von Fr. Wöhler) erschienen. — 4 „Unter dem Einfluß eines nichtchemischen Agens (Leben, Lebenskraft) wirken chemische Kräfte auch im Organismus. Durch die Leitung dieser dominierenden Kraft und nicht unabhängig ordnen sich Elemente in chemische Substanzen ein, in derselben Weise, in welcher der intelligente Wille des Chemikers sie zwingt, sich außerhalb des Organismus zu vereinigen.“ — „Nie wird es der Chemie gelingen, eine

Zelle, eine Muskulatur, einen Nerv, mit einem Wort, einen der wirklich organischen, mit vitalen Eigenschaften begabten Teile des Organismus in ihrem Laboratorium herzustellen." (Liebig). — 5 Wir führen nur an: Hippokratische Physis, schöpferischer Wille, gestaltendes Unbewußtes, Syntonie und Enkapsis, Impulsität, diaphysische Kräfte, Funktionshierarchie, Plan und Regel des Lebens, Aristotelische Entelechie als „Werdebestimmer“. Auch an das Begriffsbild eines biologischen „Führungs- und Determinationsfeldes“ sei erinnert (Gurwitsch, Reinke, P. Weiss u. a.). — 6 Vgl. den „Vitalismus“ von Driesch - Autonomie des Lebens - und den Holismus und Organizismus von Smuts, Haldane, A. Meyer, Alverdes u. a. m.).

Robert Mayer und die Katalyse*

Von Robert Mayers wissenschaftlichen Zeitgenossen sind uns mehrere geläufig, die sich irgendwie mit der Erscheinung der *Katalyse* befaßt haben, nachdem um das Jahr 1800 die ersten Fälle derartiger „irregulärer“ chemischer Vorgänge Beachtung gefunden hatten: vor allem Davy, Döbereiner, Mitscherlich, Berzelius, Liebig, Schönbein. Aber Robert Mayer? Wie soll er zu einer Beschäftigung mit Katalyse gekommen sein? Ist nicht sein großer Gedanke der „Unzerstörlichkeit“, der *Erhaltung*, der Beharrung (1840—1842) dem genau entgegengesetzt, was die Katalyse in sich faßt: *Veränderung*, Umwandlung, Fortschritt?

Von vornherein ist klar, daß es sich bei Robert Mayer nicht um eine *experimentelle* Beschäftigung mit Katalyse wie etwa bei Döbereiner handeln kann — auch Berzelius hat *in dieser Beziehung* nur wenig zur Entwicklung der Katalyse beigetragen. Vielmehr liegt lediglich eine *rein gedankliche* Beschäftigung mit der *Katalyse* vor, die in manchem Zuge an Berzelius erinnert, in erkenntnistheoretischer Beziehung aber noch etwas über Letztgenannten hinausgeht. Robert Mayers Leistung in bezug auf die Katalyse besteht darin, daß er diese *Erscheinungsgruppe*, deren Eigenart und Bedeutung er genau erkannt hat, *in Beziehung* setzt zu seiner *Kausallehre*, der andererseits auch sein *Erhaltungsprinzip* eingeordnet wird.

1. Was ist Robert Mayer von katalytischen Tatsachen bekannt geworden?

Hier ist es vor allem Döbereiners *katalytische Umwandlung von Knallgas* in Wasser mittels Platin (1823), die offenbar den stärksten Eindruck auf R. Mayer gemacht hat. Er spricht davon, daß die chemische Verbindung von H und O „durch Wärme oder einen elektrischen Funken oder durch Platinschwarz eingeleitet wird“ (M. I. 440)¹. Demgemäß gibt es ein „Knallgasäquivalent des Wassers“ (M. I. 250), mit dem das von ihm ermittelte „mechanische Äquivalent der Wärme“ vergleichbar sei.

Während der Name „Döbereiner“ — ebenso wie „Berzelius“ — in R. Mayers Schriften nicht vorkommt, hat er zu Liebig und Schönbein in mannigfachen Beziehungen,

* Chemiker-Zeitung 1940, 38—40.

auch solchen persönlicher Art, gestanden. Schönbeins Ozon hat offenbar starkes Interesse erweckt; so sucht er dessen Gedanken in der kühnen Spekulation weiterzuspinnen, daß der „Gehirnphosphor per contactum zur Ozonbildung dient, und daß durch das auf solche Weise gewonnene elektrische Agens die Nervensubstanz befähigt wird, den Willen und die Empfindung zu leiten“ (Brief an Moleschott in Turin. 13. Dez. 1867; M. II. 362).

Wie schon aus diesem Beispiel ersichtlich, ist R. Mayer in hohem Maße durch die Frage gefesselt, in welcher Weise die *Katalyse* in den *Dienst des Lebens* gestellt ist. Obwohl keine unmittelbaren Belege vorhanden sind, muß doch angenommen werden, daß er den grundlegenden Katalyse-Aufsatz von Berzelius, der in gleicher Weise durchaus von physiologischer Fragestellung ausgeht, ebenso gekannt hat, wie dies hinsichtlich wichtiger Arbeiten von Liebig über katalytische Erscheinungen auf dem Gebiete des Organischen tatsächlich der Fall ist. In dieser Beziehung ist es besonders kennzeichnend, daß R. Mayer in seinem Aufsatz von 1845 „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel“ bei Erörterung der lebensnotwendigen vitalen Oxydation von einem „Kontakteinflusse der Gefäßwandungen“ der Lungencapillaren und „der Organe“ spricht (M. I. 102), so wie Berzelius von den „Tausenden von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten“. Er schließt sich der „geistreichen und exakten Theorie“ von Liebig an, „daß in dem schwarzen Blute das Metall Eisen als Oxydul, in dem roten als Oxyd vorhanden sei“ (M. I. 104). „Der von den Blutkörperchen absorbierte Sauerstoff“ soll „mit kombustibeln Blutbestandteilen“ sich zu Kohlensäure und Wasser vereinigen. „Die Blutkörperchen spielen in dieser Beziehung bei dem Lebensprozeß, wie das Stickoxyd bei der Schwefelsäurebereitung, die Rolle eines Sauerstoffträgers“ (M. I. 103).

Bei solcher Einstellung versteht es sich gewissermaßen von selbst, daß R. Mayer auch über die *Wirksamkeit* der *Fermente* und über deren große Bedeutung für das Leben Bescheid weiß. Schon in der Abhandlung von 1845 („Die organische Bewegung“) wird neben Fäulnis und Verwesung auch die Gärung (z. B. von Traubensaft) erörtert (M. I. 91). In R. Mayers wichtigem Aufsatz „Über Auslösung“, von

1876 (M. I. 440—446) heißt es: Die „Fermentation“ einer Zuckerlösung wird durch „eine geringe Menge von Gärungsstoff, von Ferment... sofort eingeleitet und durchgeführt, ähnlich, als wenn man auf einen Haufen trockenen Sägmehles ein Stück glimmenden Zunder wirft“. Ferner: „Das Kontagium ist das Ferment, welches die pathologische Auslösung bewirkt, sei es z. B. die höchst wohlthätige Kuhpockenlymphe, sei es das entsetzliche Leichengift“ (M. I. 442, 445). So werden von R. Mayer schon fernerliegende physiologische Vorgänge normaler und krankhafter Art mit fermentativer Katalyse in Verbindung gebracht.

Wichtiger als diese Einzelheiten, die sicher sein katalytisches Wissen nur sehr unzulänglich bekunden, sind R. Mayers allgemeine Ausführungen über die *katalytische Kraft*, die *katalytische Kausalität*.

2. Wie stellt sich R. Mayer zu der „katalytischen Kraft“ von Berzelius?

Hier sind deutlich zwei Zeitepochen zu unterscheiden. Zu Beginn hat R. Mayer den Ausdruck „katalytische Kraft“ als „töricht, verderblich“ ebenso verworfen, wie er noch 1845 Liebigs Anschauung von der Lebenskraft bekämpfte (an Carl Baur 17. Juli 1842; M. II. 134; M. I. 132—135). Bald hat sich aber ein Wandel vollzogen², und zwar im Zusammenhang damit, daß er mehr und mehr dazu gelangte, eine *Doppelbedeutung* des Wortes *Kraft* anzuerkennen: „Kraft“ als meßbare Ursache einer Bewegung, und „Kraft“ als kurzer Sprachausdruck für bestimmte Fähigkeiten, Vermögen, Potenzen. So heißt es 1851: „Was insbesondere die Kräftefrage anlangt, so handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine „Kraft“ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir „Kraft“ nennen wollen“ (M. I. 260). Demgemäß hatte sich schon in dem Aufsatz von 1845 die anfängliche Ablehnung der „katalytischen Kraft“ in eine Duldung gewandelt. Es heißt daselbst (M. I. 101—102):

„Jedermann weiß, daß in zahlreichen Fällen chemische Aktionen von der bloßen Anwesenheit gewisser Stoffe bedingt werden, die für sich selbst an der vor sich gehenden Veränderung keinen Anteil nehmen. Will man voraussetzungslos einer konstatierten Tatsache einen Namen leihen, so kann man die Rolle, welche bei solchen Vorgängen die

unverändert bleibende Materie spielt, mit dem Ausdruck ‚Kontakteinfluß‘ bezeichnen; sonst pflegt man wohl auch bekanntlich von ‚katalytischer Kraft und katalytischer Wirkung‘ zu sprechen³; wenn aber unter Kraft nur ‚die einer meßbaren Wirkung *proportionale*, meßbare Ursache‘ verstanden werden soll, so darf aus begrifflichen Gründen der fraglichen Erscheinung eine spezifische Kraft nicht unterschoben werden“ (M. I. 101, 102).

Weiter heißt es:

„Katalytisch heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Größenbeziehung steht. Eine Lawine stürzt in das Tal; der Windstoß oder der Flügel-schlag eines Vogels ist die ‚katalytische Kraft‘, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt“ (M. I. 102; Fußnote⁴).

Im ganzen zeigt sich bei R. Mayer eine zunehmende *Duldsamkeit* und *Weitherzigkeit* in bezug auf den *Gebrauch des Wortes Kraft*. Mit heutigen Worten: es gibt energetische, arbeitsleistende, bewegende Kräfte, und es gibt nichtenergetische, „bilanzfreie“ Anlaß- und Richtkräfte; zu den letzteren gehören katalytische Kraft, Lebenskraft, Nervenkraft, Seelenkraft, Willenskraft. Diese Kräfte „zweiter Art“ sind durchweg dem *Auslösungs- und Anstoßgedanken* unterzuordnen; für die Kräfte „erster Art“ aber, die energetischen Kräfte, besteht ein *Erhaltungsprinzip*, das sich nach Robert Mayer in quantitativen Beziehungen bei allen Umwandlungen äußert⁵.

3. Wie bringt R. Mayer die Katalyse in Beziehung zu seiner Kausalitätslehre?

Er gesteht beiden entgegengesetzten Kausalsätzen Berechtigung zu: *causa aequat effectum*; und: Kleine Ursachen, große Wirkungen. Was er hinsichtlich des Ursachbegriffes und des Kraftbegriffes verlangt, ist jeweilige *Klarheit der Definition*; er will, daß man im Gebrauch des Wortes Kraft „konsequent“ verfare.

„Mit pedantischer Logik hege ich den frommen Wunsch, man solle unter Ursache und Effekt (in der leblosen Natur) entweder Dinge verstehen, welche in einem Größenverhältnis zueinander stehen, oder, welche nicht im Verhältnis zueinander stehen. Man sagt hier: der Funken a ist die

Ursache der Pulverexplosion b, und diese wieder die Ursache von dem Emporwerfen c der Erde“. (An Griesinger, 20. Juli 1844; M. II. 223).

Diesen Gedanken führt er in seinem ideenreichen Aufsatz von 1876 „Über Auslösung“ — seiner letzten Schrift weiter aus. Die Abhandlung beginnt mit den Sätzen: „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft, ‚die Auslösung‘ nennt“. Als Beispiele solcher *Auslösungs- oder Anstoßkausalität* führt R. Mayer an die Entzündung von Knallgas „durch Wärme oder einen elektrischen Funken oder durch Platinschwarz“, ferner die Entzündung eines Streichhölzchens durch „ein bißchen Reibungswärme“, das Abfeuern eines Schusses usw. Durchweg handelt es sich dabei um Vorgänge, bei denen „die Ursache der Wirkung nicht nur nicht gleich oder proportional ist, wo überhaupt zwischen Ursache und Wirkung gar keine quantitative Beziehung besteht, vielmehr in der Regel die Ursache der Wirkung gegenüber eine verschwindend kleine Größe zu nennen ist“ (M. I. 44). Hier überall, auch bei „Fermentation“, wird von „Auslösung“, Anstoß und Veranlassung geredet. In gleicher Weise wie physiologische Reizwirkung, Nervenimpuls und Willensantrieb ist nach R. Mayer die Katalyse dem Begriff der *Auslösungskausalität* unterzuordnen, die der *Erhaltungskausalität* ergänzend an die Seite tritt⁶.

Schluß. Es kann auffallen, daß R. Mayers Auslösungsaufsatz samt der wichtigen *Einordnung* der *Katalyse* unter den Begriff der *Anstoß- oder Auslösungskausalität* so wenig Beachtung gefunden hat. Auch *Wilhelm Ostwald* hat trotz seiner Vertrautheit mit R. Mayers Schriften seine eigene (gegenüber Berzelius abgeänderte) Katalyse-Definition ohne irgendwelche Beziehung auf R. Mayer gegeben. Man kann hierfür äußere Gründe suchen; der eigentliche tiefste Grund aber besteht darin, daß *Ostwalds Definition* in *bewußten Gegensatz* zu der *älteren Vorstellung* tritt, daß durch die Katalyse etwas „geschaffen“, „hervorgerufen“ und „erzeugt wird, was vorher in keiner Weise da war. (Nur die physikalische Keimwirkung, z. B. bei unterkühlten Schmelzen, wird als „Auslösung“ anerkannt.) Soll es

sich doch nach Ostwald bei „Katalyse“ durchweg um *Beschleunigung* an sich schon, wenn auch mit äußerst geringer Geschwindigkeit stattfindender Vorgänge handeln auf Grund des „Postulates“, daß „alle aus bestimmten Stoffen möglichen Produkte auch wirklich entstehen, wenn auch in sehr verschiedenen Verhältnissen und mit entsprechend verschiedenen Geschwindigkeiten“.

Wir wissen heute, daß eine brauchbare Definition der Katalyse an der Tatsache der *Zusammensetzung jeglicher chemischen Reaktion aus Partialreaktionen* nicht vorübergehen soll. Dann ist aber klar, daß z. B. im Falle der NH_3 -Katalyse eine leichte Bindung oder „Aktivierung“ des Stickstoffs, etwa durch Eisen, welche als notwendige Bedingung des Katalysierens erscheint, ohne die Gegenwart eben dieses Eisens nicht stattfindet; dieser *Teilvorgang* stellt also tatsächlich keine „Beschleunigung“, sondern eine „Hervorrufung“, wenn man will, eine „Auslösung“, dar. Faßt man aber die *ganze Reaktion* ins Auge, mit der Annahme, daß im Verlauf von Jahren oder Jahrtausenden hie und da doch einmal eine N_2 -Molekel auch unkatalytisch — dann also auf einem ganz anderen Wege — bei niedriger Temperatur in NH_3 übergehen könne, so ist der Ausdruck „Beschleunigung“ durchaus am Platze. Von jeder derartigen Unsicherheit hält sich eine neuere Definition frei, die als eine Art Synthese der „Hervorrufung“ von Berzelius, der „Auslösung“ von R. Mayer und der „Beschleunigung“ von W. Ostwald angesehen werden kann. Danach ist ein Katalysator „ein Körper, der durch seine Gegenwart eine chemische Reaktion oder Reaktionsfolge nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmt“⁷.

Anmerkungen:

¹ Es wird nach der Ausgabe von J. Weyrauch (1893) zitiert. Bd. I: Die Mechanik der Wärme, in gesammelten Schriften, 3. Aufl. = M. I.; Bd. II: Kleinere Schriften und Briefe = M. II. — ² R. Mayer begegnet sich hier mit Schönbein, der auch nur im Anfange (1838) die „katalytische Kraft“ abgelehnt hatte; Liebig dagegen hat dauernd auf seiner Verneinung bestanden (s. Berzelius und die Katalyse, S. 17). (Schönbeins Freund de la Rive spricht von einer „mysteriösen Kraft“.) — ³ Das Wort „Kontakteinfluß“ deutet auf Döbereiner und namentlich Mitscherlich (1833) hin; die an die Spitze gestellte Definition der katalytischen Kraft aber berührt sich eng mit mehreren Formulierungen bei Berzelius, z. B. „Gewisse Körper üben durch Berührung mit anderen einen . . . Einfluß aus . . ., ohne daß der Körper, dessen Gegenwart dies veranlaßt, im mindesten Anteil daran nimmt“ (1847). — ⁴ Dieser kühnen Verallgemeinerung des Begriffes der Katalyse ist die Wissenschaft begreiflicherweise nicht gefolgt; sie wird auch in späteren

Schriften nicht wiederholt. — ⁵ In der Entwicklung der Naturwissenschaft wirkt eine Auslese-Tendenz dahin, Einzelkräfte von Fall zu Fall dadurch überzählig und überflüssig zu machen, daß man sie in allgemeineren Kräften aufgehen läßt. So ist Galileis Fallkraft samt der Planetenbewegung in Newtons Gravitation ausgemündet, und so ist auch Berzelius' „katalytische Kraft“ dadurch entbehrlich geworden, daß man sie als eine Teilgestalt der allgemeinen chemischen „Affinitätskraft“ ansprechen lernte. — ⁶ Auf die bedeutsamen Äußerungen R. Mayers über biologische und psychophysische Auslösungserscheinungen kann hier nicht eingegangen werden. Siehe auch A. Mittasch, Bemerkungen zu Anstoß- und Erhaltungskausalität, Naturwiss. 1938, 177. Über die engen Beziehungen von R. Mayers Kausalbegriff zu demjenigen von Schopenhauer s. Mittasch, Schopenhauer und die Chemie 1938. Auch Berzelius nennt die katalytische Kraft „eine Ursache chemischer Tätigkeit“ (an Liebig, 11. Dez. 1840). — ⁷ Genaueres s. in A. Mittasch, Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie 1936; Katalyse und Determinismus 1938; Robert Mayers Kausalbegriff 1940.

Philosophisches in der Katalyse, Katalytisches in der Philosophie*

Naturforscher und Transzendental-Philosophen.
„Feindschaft sei zwischen euch! — Noch kommt das
Bündnis zu frühe: — Wenn ihr im Suchen euch trennt,
— wird erst die Wahrheit erkannt.“

So heißt es in einem vielbeachteten Spruche von Schiller. Fast 100 Jahre später (1872) sagt der Astronom Friedrich Zöllner, Leipzig: „Der Gegenwart verkünden tausend vernehmbare Zeichen den herannahenden Tag der Versöhnung. Entsprießen wird dann jenem Bündnisse der exakten Forschung mit einer geläuterten Philosophie die neue Weltanschauung des kommenden Jahrhunderts in nie geahnter Größe und Klarheit der Erkenntnis“¹.

Ist in dem Verhältnis von naturwissenschaftlicher Erkenntnis und naturphilosophischer Betrachtungsweise gegenwärtig jener Zustand harmonischen Zusammenwirkens erreicht, den Schiller für die Zukunft gewünscht und Zöllner angekündigt hat? Es scheint, daß eine solche Zeit einträchtigen Vorgehens tatsächlich angehoben hat.

Keine heutige Naturphilosophie hat den Ergeiz einstiger idealistischer und romantischer Naturphilosophie, der naturwissenschaftlichen Erkenntnis des Werktages eine andersartige *höhere Erkenntnis* entgegenzustellen, welche sich nicht auf „banausisches Experimentieren“, sondern auf eine innere „geistige Schau“ stützt, und die dann zu Aussprüchen wie den folgenden führt:

„Der chemische Prozeß hat das *Neutrale* seiner gespannten Extreme, welches diese *an sich sind*, zum Produkte.“ Die Luft ist „das Element der unterschiedslosen Einfachheit“, das Feuer „die materialisierte Zeit“. „Die Luft ist an sich Feuer, wie sie sich als Kompression zeigt“ (Hegel). Nach Schelling ist die Luft als „ein wirkliches chemisches Produkt“ aus Sauerstoff und Stickstoff anzusehen, das Feuer als „ein besonderer Grundstoff, der als solcher in den chemischen Prozeß mit eingeht.“ Der Stickstoff stellt in der Natur „das rein Allgemeine“, der Kohlenstoff „das rein

* Zeitschrift für physik. Chemie (A) 189 (1941) 44–62 (Max Bodenstein gewidmet).

Besondere“ dar. „Der Diamant ist ein zum Bewußtsein seiner selbst gekommener Quarz“².

Schon Schopenhauer hat derartige Luftgespinste als Aberwissen und „Hegelei“ grimmig verspottet, Liebig hat sich davon unwillig abgewendet, Robert Mayer hat jene „Faseleien der Naturphilosophen“ abgelehnt. Männer aber wie Hermann Lotze, Gustav Theodor Fechner, Eduard v. Hartmann und Wilhelm Wundt haben begonnen, in Deutschland eine *neue Naturphilosophie auf der Naturwissenschaft des 19. Jahrhunderts als Grundlage* aufzubauen. eine Naturphilosophie, die nicht den Ehrgeiz besitzt, eine höhere Erkenntnis außerhalb empirischer Forschung zu geben, sondern sich darauf beschränkt, ein Weiterdenken, ein Zu-Ende-Denken, dazu ein Sinndeuten sicheren positiven Wissens zu versuchen.

Wohl genügt für die Einzelforschung in der Regel die zuverlässige Denkmethodik, die sich innerhalb der Spezialwissenschaften jeweils herausgebildet hat. Sobald es sich jedoch um die Feststellung, Zusammenstellung und Ordnung allgemeiner Begriffe handelt, setzt *philosophisches Denken als Grundlagendenken* (Erkenntnistheorie) ein. Philosophie soll nach C. Siegel „durch fortschreitende Ausgestaltung eines *möglichst einheitlichen Weltbildes* das vereinigende Band um alle Wissenschaften schließen“. Wenn dann gar nach *Wesen, Zweck und Sinn des Naturgeschehens* gefragt wird, kommt zur „Physik“ (im allgemeinen Sinne des Wortes) die „*Metaphysik*“ als „*Wirklichkeitslehre*“ hinzu. Ihr ist es um eine Erörterung der Möglichkeiten zu tun, welche bezüglich der *Deutung des Naturseins und Naturgeschehens* für das menschliche Erkenntnisvermögen bestehen.

Es ist leicht einzusehen, daß die *Katalyse* als eine sehr umfassende und weitreichende Erscheinung naturphilosophischer Betrachtung durchaus zugänglich sein muß. Schon auf der Ebene subatomaren Geschehens spielt sie eine wichtige Rolle — es sei an die katalytische Betätigung des C¹²-Kernes beim Aufbau des Heliums aus Wasserstoff, nach H. A. Bethe, erinnert —; und sie erhebt sich aus dem anorganisch-chemischen Bereich bis in Gebiete, wo sie Lebensvorgänge entscheidend regeln und bestimmen kann. Demgemäß soll versucht werden, in Kürze die innigen

Beziehungen aufzudecken, die im Bereich der Katalyse zwischen dem streng gebundenen wissenschaftlichen und dem in das Allgemeine fortschreitenden philosophischen Denken bestehen, Beziehungen, deren Beachtung und Pflege dem Naturforscher ebenso wie dem Naturphilosophen obliegt.

Erkenntniskritisches Nachdenken über das Wesen der Katalyse

Philosophische Antriebe sind es gewesen, die vor ungefähr 100 Jahren Männer wie Johann Wolfgang Döbereiner, Christoph Schweigger, Louis Jacques Thénard, Eilhard Mitscherlich, Jakob Berzelius und Justus Liebig veranlaßten, über die Natur der damals bekannten, sonderbar „irregulären“, von einfacher Stöchiometrie nicht zu bewältigenden Reaktionen nachzudenken, um ihr gemeinsames Merkmal zu erkunden³. Neben Prozesse der präparativen Chemie, wie Beteiligung der Stickoxyde beim Bleikammerprozeß der Schwefelsäure, Zersetzung von Wasserstoff-superoxyd durch Fremdkörper, Knallgaszündung durch Platin usw. treten bereits auffällige Vorgänge organischer Art, wie die Wirkung der Hefe bei alkoholischer und sonstiger Gärung und die Verzuckerung der Stärke durch „Diastase“.

Als Erster drang Jakob Berzelius zu einer allgemeinen *Begriffsbestimmung* der Katalyse vor, die auch heute ihre Bedeutung noch nicht verloren hat. Von seinen mannigfachen Formulierungen stellen wir die Definition von 1835 in den Vordergrund. Danach sind Katalysatoren „Körper, die durch bloße Gegenwart chemische Tätigkeiten hervorrufen, die ohne sie nicht stattfinden“. Daß es sich hierbei jedoch nicht um zauberische Willkür, um ein Schaffen aus dem Nichts, sondern um bestimmte Gesetzmäßigkeiten der allgemeinen „chemischen Wahlverwandtschaft“ handelt, steht für Berzelius (und auch für Liebig) fest. Man muß annehmen, daß die Katalyse „eine eigene Art der Äußerung“ der „elektrochemischen Beziehungen der Materie“ darstellt, in welchen nach Berzelius das Wesen chemischer Affinität besteht. „Daß dabei Elektrizität, wie bei jeder Affinitätsäußerung, wirkend sei, sehen wir leicht ein“, hatte er schon 1824 geschrieben. Die „*katalytische Kraft*“ besteht also im Grunde darin, daß Körper durch ihre Gegenwart

„schlummernde Verwandtschaften wecken“, derart, daß eine Umsetzung in der Richtung einer „größeren elektrochemischen Neutralisierung“ möglich wird.

Weitere Stufen der Erkenntnis zu ersteigen war vor der Auffindung und Anerkennung des Gesetzes von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Kraft, der mengenmäßigen *Erhaltung der „Energie“* in allen ihren natürlichen Wandlungen unmöglich. Der Schöpfer dieses *ersten Hauptsatzes der Energetik*, Julius Robert Mayer selber ist es, der die „*katalytische Kraft*“ dadurch schärfer definiert, daß er sie zu seinem Erhaltungsbegriff, sowie auch zu dem *Begriff der „Auslösung“* in Beziehung bringt. Im Vordergrund steht der Satz: „Es handelt sich ja zunächst gar nicht darum, was eine Kraft für ein Ding ist, sondern welches Ding wir Kraft nennen wollen.“ *Arbeitsleistende Urkräfte* der Natur, die ineinander umwandelbar sind, gibt es nach R. Mayer nur wenige: Fallkraft (sonst „Schwerkraft“ genannt), Bewegung (heute „kinetische Energie“ genannt), Wärme, elektrische Kraft und „chemische Differenz der Materie“ (Affinität). Sie sind *Grundkräfte*, deren gegenseitige Umwandlungen nach festen Zahlenverhältnissen vor sich gehen, gemäß einer Art „*Isomerie der Kräfte*“, die für das Reich des Anorganischen und des Organischen gilt: *causa aequat effectum*.

Damit aber Kraftumwandlungen, Energieumsetzungen stattfinden, bedarf es in der Regel eines *Anstoßes*, eines äußeren *Anlasses*, oft sehr geringfügiger Art. So gesellen sich zu den Leibniz-R. Mayerschen *Erhaltungs- und Äquivalenzursachen Anlaß-, Anstoß- oder Auslösungsursachen*, zu den arbeitsleistenden Kräften auslösende oder richtende Kräfte, die mit den „*eigentlichen*“ Kräften (Wirkkräften) nur den Namen gemein haben; und zu diesen „auslösenden Kräften“ hat R. Mayer die „*katalytische Kraft*“ des Berzelius gerechnet. Er ist zunächst (1845) sogar geneigt, den Begriff „*katalytische Kraft*“ dahin zu erweitern, daß *jede* Auslösungswirkung, *jede* Anstoßkausalität darunterfällt: „*Katalytisch* heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keiner Größenbeziehung steht. Eine Lawine stürzt in das Tal; der Windstoß oder Flügelschlag eines Vogels ist die „*katalytische Kraft*“, welche zum Sturz das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt“.

Die „katalytische Kraft“ tritt somit in vollen Gegensatz — zugleich in Ergänzung — zur „bewegenden Kraft“, welche Massen zu beschleunigen und damit Arbeit zu leisten vermag (energetische Kraft). Nach einem Vergleich von R. Mayer: der Steuermann des Schiffes gegenüber der bewegendenden Dampfkraft⁴.

Späterhin, vor allem in seinem kurzen und doch so inhaltreichen Aufsatz „Über Auslösung“ von 1876 vermeidet R. Mayer, „katalytische Kraft“ und „Auslösung“ schlechthin gleichzusetzen. Die Katalyse wird nun vielmehr dem Begriff der „auslösenden Kraft“ untergeordnet; neben ihr stehen vor allem die physiologische Reizwirkung sowie die auslösende und veranlassende Kraft des Willens. „Der geistige Einfluß... lenkt, aber er bewegt nicht.“ D. h.: „Willenskraft“, „Geisteskraft“ — gleichwie „Lebenskraft“ — kann nicht in physikalischem Sinne Arbeit leisten, sondern nur potentielle chemische Energien des Organismus auslösen und richten, mithin: Arbeit leisten lassen.

Chemische Systeme, die über bestimmte latente Energien verfügen, können nach R. Mayer durch die auslösende Tätigkeit eines bestimmten Katalysators zu tatsächlicher chemischer Reaktion geführt werden. Damit ist die Katalyse in eine untrennbare Beziehung zu dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik gebracht; was bei Berzelius noch unbestimmt als „Erweckung schlummernder Verwandtschaften“ erscheint, ist nun Entthemmung gebundener Energien, Entfesselung gespannter Kräfte, kurz „Auslösung“.

Man erkennt leicht, daß der ganze Streit um die „katalytische Kraft“, der einst die Gemüter so stark erregt hatte (Liebig gegen Berzelius!), mit einem Schlage erledigt ist, sobald man nach Robert Mayer arbeitleistenden, energetischen Kräften „nichtenergetische Richt- und Formkräfte“ nach Art des Willens an die Seite stellt und die „katalytische Kraft“ in diese zweite Gruppe einreicht.

Auch W. R. Grove (Die Verwandtschaft der Naturkräfte, deutsch 1871) scheidet die katalytische Kraft von den arbeitleistenden Kräften. „Auf keinen Fall ist die Katalyse für uns eine neue Macht- oder Kraftquelle, vielmehr bedingt oder erleichtert sie lediglich die Tätigkeit der chemischen Kraft.“

Einer späteren Zeit blieb es vorbehalten, die Katalyse auch zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik in Beziehung zu setzen. Von unvollständig und rückläufig stattfindenden chemischen Reaktionen, also von veränderlichen „chemischen Gleichgewichten“, von einer Unterscheidung zwischen chemischer Gesamtenergie (wie sie in den thermochemischen Gleichungen erscheint) und zur Arbeitleistung verfügbarer „freier“ Energie hat R. Mayer noch nichts gewußt. Hier haben Helmholtz, Horstmann, van 't Hoff und Wilhelm Ostwald (anschließend an R. Clausius und W. Thomson) eingesetzt. Vor allem van 't Hoff und W. Ostwald haben es deutlich ausgesprochen, daß ein Katalysator die freie Energie eines chemischen Systems nicht erhöhen kann, daß er vielmehr an die thermodynamischen Arbeitsbedingungen gebunden ist. Als zwingende Folgerung ergibt sich, daß ein Katalysator Gleichgewichtslagen nicht verschieben, sondern nur ihr Einstellungstempo bestimmen, d. h. „freiwillig“ verlaufende Vorgänge beschleunigen oder verzögern kann⁵.

Es muß auffallen, daß W. Ostwald, trotz seiner guten Kenntnis der Schriften R. Mayers, sich nicht von vornherein mit der Auslösungsdefinition der Katalyse auseinandergesetzt hat. Nur den Keimwirkungen billigt er sogleich das Prädikat „Auslösung“ zu. Es heißt da (1901): „Der Keim der anderen Phase ist nicht die Ursache der Reaktion in dem Sinne, in welchem Robert Mayer das Wort gebraucht, denn er liefert nicht die für den Vorgang erforderliche Energie, sondern er ist nur die Auslösung eines Vorganges, der sich aus eigenen Kräften vollendet, nachdem er einmal in Gang gebracht ist.“ Für alle eigentlichen Katalysen aber gilt nach W. Ostwald, daß es sich um eine „Beschleunigung“ an sich schon, wenn auch nur spurenhaf, stattfindender Vorgänge handle.

Über die bestimmenden Gründe für Ostwalds Verhalten ist an anderer Stelle (Handbuch der Katalyse, Bd. I) einiges gesagt worden. Hier sei betont, daß dem Begriff der „Auslösung“ von vornherein die Vorstellung eines einmaligen Anstoßes anhaftet, während doch bei den allermeisten Katalysen eine Dauergegenwart des Katalysators vonnöten ist. Andererseits hat Ostwalds „Postulat“, daß jede für ein chemisches System mögliche Reaktion auch in gewissem

Umfang wirklich stattfindet, die ausschließliche Zuspitzung auf das Beschleunigungsmerkmal nahegelegt.

Von seinem panenergetischen Standpunkt aus hätte W. Ostwald die Katalyse folgerichtig von vornherein definieren können als Anregung, Auslösung und Realisierung potentieller (freier) chemischer Energien scheinbar durch bloße Gegenwart eines bestimmten Stoffes. Statt dessen zeigt sich ein gewisses Schwanken, genauer eine zeitliche Wandlung von mehr formalistischer zu scharfer erkenntnis-kritischer Erfassung des Begriffes „Katalyse“.

Über „Auslösungserscheinungen“ spricht W. Ostwald zwar bereits in der eigenartigen Schrift „Chemische Theorie der Willensfreiheit“ 1894. Als typisches Beispiel wird die Explosion des Knallgases durch den elektrischen Funken angeführt; die gleiche Initialzündung durch katalysierenden Platin aber wird außer acht gelassen.

In seinen „Vorlesungen über Naturphilosophie“ 1900 unterscheidet W. Ostwald dreierlei „Ursachen“: Erstens die „energetische Ursache“, im Sinne von R. Mayer, dem Energiegesetz als Kausalgesetz folgend: „das Vorhandensein freier Energie ist als Ursache eines Geschehens anzusehen“, eine gegebene Energiemenge wird transformiert in eine andersartige, größenmäßig äquivalente Energiemenge. Zweitens „Bedingungen des Zeitmaßes“, vor allem in der Chemie: die Energiegesetze enthalten keine Zeitgröße, der Katalysator aber bewirkt „die zeitliche Regelung eines energetischen Verlaufes“. Da „für chemische Vorgänge die Zeiteinheit frei ist, so ist es die natürlichste Sache von der Welt, daß durch die Anwesenheit fremder Stoffe über diese freie Zeiteinheit eine bestimmte Verfügung getroffen werden kann.“ „Katalysatoren wirken so, als würde durch sie die Einheit der Zeit geändert... Man verstellt also gleichsam mittels des Katalysators die Pendellinse an der Uhr des Vorganges.“ Drittens Ursache als „auslösendes Agens“ nach der Art des Funkens im Pulverfaß und des elektrischen Druckknopfes, gemäß der „unlogischen Regel: kleine Ursachen, große Wirkungen“. Für diese Auslösung sei immer eine gewisse Energiemenge notwendig, die nicht gleich Null werden könne.

Hier wird jeder Versuch unterlassen, eine Beziehung der Katalyse zu R. Mayers „Auslösung“ herzustellen; die

Tatsache, daß nicht jeder Fremdstoff wirkt und daß eine katalytisch verlaufende Reaktion regelmäßig einen anderen Reaktionsweg geht als die zum gleichen Ziele führende unkatalytische Reaktion, wird in allzu summarischem Vorgehen nicht beachtet. (Auch in dem Vortrage von 1901 übt W. Ostwald Zurückhaltung gegenüber der Zwischenreaktionstheorie.) Ganz anders in der „Philosophie der Werte“ 1913, S. 204 ff. Hier werden katalytische Reaktionen von der Art der Inversion des Rohrzuckers ohne weiteres als *typische Auslösungsvorgänge* bezeichnet, und zwar als „ge-regelte Auslösung“ statt „totaler Auslösung“; auch „Fermente“ wirken durch Auslösung. Allerdings setzt sich W. Ostwald damit in Widerspruch zu der noch in dem gleichen Werk vertretenen Anschauung, daß für die Auslösung freier Energien eine endliche fremde Energiemenge als bewirkend „unbedingt notwendig“ sein soll!

In diesem Spätwerke gilt also die Katalyse nicht mehr als eine besondere Kategorie von Ursachen, die zwischen energetische Ursache (Äquivalenzursache) und auslösende Ursache einzuschalten wäre, sondern R. Mayers *einfacher Dualismus ist wieder hergestellt*. (Ganz allgemein kann „Bedingung“ logisch der „Auslösung“ gleichgesetzt, oder die „Auslösung“ den „Bedingungen“ eingeordnet werden; demgemäß spricht man öfter von auslösenden „Bedingungen“ statt auslösenden „Ursachen“; eine Bedingungskonstellation ist eine Auslösungskonstellation.)

Ostwalds Katalysedefinition ist nicht ohne weiteres frei von Mißverständlichkeit: *Mechanische* „Beschleunigung“, nach deren Vorbild die katalytische Beschleunigung benannt ist, setzt die Betätigung von *energetischer* Wirkkraft (z. B. des Schwerefeldes oder einer elektrischen Feldspannung) gegen vorhandene Widerstände voraus, während die *katalytische* „Beschleunigung“ durch die potentielle Energie des beeinflussten Systemes selbst gespeist wird. Jedes Mißverständnis sucht eine neuere Umschreibung (Mittasch 1936) auszuschließen: „Ein Katalysator ist ein Körper, der scheinbar durch seine bloße Gegenwart chemische Reaktionen oder Reaktionsfolgen nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmt.“ Oder anders: Die Katalyse macht die Unbestimmtheiten oder besser Teilbestimmtheiten, die für chemisches Reagieren in bezug auf zeitlichen

Verlauf und Richtung des Geschehens vielfach vorhanden sind, durch ihr Eingreifen zu Vollbestimmtheiten.

Die sorgfältige *Zergliederung* ungezählter chemischer Reaktionen — unkatalytischer und katalytischer — in Teilakte (Urreaktionen, Elementarakte, Partialprozesse sukzessiver und simultaner Art) hat immer deutlicher die *Wirkweise des typischen Katalysators* herausgestellt. Dadurch, daß sich der Katalysator selber in ein chemisches Gleichgewicht mit seiner Umgebung zu setzen strebt, treibt er auch spezifisch geeignete, gleichgewichtsferne und reaktionsträge Stoffsysteme dieser Umgebung einem Gleichgewicht entgegen. Dieses kann entweder vorläufiger (intermediärer) Art — so in den allermeisten Reaktionen des lebenden Organismus — oder auch endgültiger Art (ein totales Gleichgewicht) sein. Wie groß und mannigfaltig die Zahl der Teilszenen und Teilakte des „Reaktionsdramas“ (nach Schönbein), die Fülle der Symphonieklänge (nach Skrabal) sein möge: als „heimlicher Mitspieler“ ist der Katalysator an *einem bestimmten Elementarakt* unmittelbar (energetisch) beteiligt, jedoch unter jedesmaliger Lösung aus der Umklammerung, so daß er in der chemischen Bruttogleichung weder stofflich noch energetisch auftritt und ein *Wirken scheinbar durch bloße Gegenwart* zustande kommt.

Wie unter anderem schon die neuerliche Aufnahme des Merkmales der „Richtunggebung“ in die Katalysedefinition andeutet, ist der *Erkenntnisfortschritt hinsichtlich des Wesens der Katalyse durchaus an den geschichtlichen Fortschritt der gesamten physikalisch-chemischen Wissenschaft gebunden*. Welche Stellung die Katalyse innerhalb des „Urphänomens“ des Chemismus überhaupt einnimmt, das ist durch die Entwicklung der chemischen Forschung immer deutlicher geworden, ohne daß „Philosophie“ dabei eine wesentliche Rolle gespielt hätte. Lediglich die *logische Einreihung der „katalytischen Kraft“, der katalytischen Kausalität in das System der Gesamterkenntnis* ist eine *philosophische* Angelegenheit. Anders gesagt: Die Einordnung der Katalyse in die Lehre der Reaktionskinetik ist Sache der Wissenschaft, ihre erkenntnistheoretische Einordnung in die gesamten Kausalbeziehungen der Natur Sache der Philosophie. Dabei ist aber kennzeichnend, daß auch diese

philosophische Arbeit in der Hauptsache von Männern geleistet worden ist, die Naturwissenschaftler und nicht Fachphilosophen waren.

„Nicht nur Wilhelm Ostwald, auch Robert Mayer und Helmholtz, der Physiker H. Hertz und der Chemiker van Hoff, sind Naturphilosophen und scheuen nicht zurück vor einer aus der exakten Forschung herauswachsenden philosophischen Betrachtung der Natur“ (Leopold Ziegler). „Es gibt keine aparte Philosophie, getrennt von der Wissenschaft; dort wie hier wird gleich gedacht. — Das philosophische Denken ist spezifisch gleichartig mit dem wissenschaftlichen“ (Nietzsche). Die Philosophie ist eben kein Buch mit sieben Siegeln, dem empirischen Forscher verschlossen, sondern sie kann und soll von jedem Naturforscher betrieben werden: ausgehend von einfachem logischen Durchdenken bis zu dem schärfsten methodischen Eindringen in die Beziehungen Ursache — Wirkung, Stoff — Kraft und dergleichen. Katalyse wird danach philosophisch zu definieren sein als eine *typische Form stofflicher Anlaß- oder Anstoßkausalität* (A. K.), die sich neben andere Formen solcher „Auslösungskausalität“ wie Reizwirkung und Willensbetätigung stellt.

Stellung der Philosophie zum Begriff der Katalyse

Aus den obigen Darlegungen geht schon hervor, daß es kaum Sache der Philosophie sein kann, der Wissenschaft bestimmte Forschungsmethoden vorzuschreiben; sie ist vielmehr selber inhaltlich völlig auf den Inbegriff wissenschaftlicher Erkenntnisse angewiesen. Was der Philosophie jedoch zukommt, das ist, wissenschaftliche Begriffe wie „Kraft“ und „Katalyse“ logisch zu erörtern und in ein Gedankensystem einzuordnen, sowie auch allgemeinste Beziehungen aufzusuchen und dadurch einem „Erweiterungs- und Deutungsdenken“ (nach Erich Becher) Bahnen zu eröffnen. „Die Philosophie wird auf keinem anderen Wege weiter kommen als auf dem, den auch die Naturwissenschaft gehen muß: mutiges Vorwärtstasten in Form kühner Spekulation, aber fortwährende Kontrolle derselben von der Welt der wirklichen Erfahrung“ (Bavink).

Wie an anderer Stelle (Schopenhauer und die Chemie, 1939) bereits ausgeführt, hat Schopenhauer als derjenige Philosoph, der in erster Linie berufen gewesen wäre, der

„Katalyse“ im System der Philosophie ihren Platz anzuweisen, leider allem Anschein nach nie etwas von der Katalyse gehört oder gelesen. Sonst hätte er sicher der „mechanischen Kausalität“, die nach seiner Darstellung vorwiegend dem Äquivalenzprinzip folgt — *causa aequal effectum* —, nicht nur die Reiz- und die Willenskausalität („Motivation“), sondern auch die *Katalyse* als eine besondere Form des Wirkens gegenübergestellt. Gilt doch von ihr ebenso wie vom Reize, daß „die Wirkung mehr zu enthalten scheint, als die Ursache ihr liefern konnte.“ Auch bei H. Lotze, G. Th. Fechner⁰, Eugen Dühring, E. v. Hartmann hat die Katalyse keinen bestimmten Platz gefunden.

Bemerkenswert ist die Einstellung von Friedrich Nietzsche. Er muß von der Katalyse etwas gelesen haben, obgleich das Wort „Katalyse“ in seinen Werken nicht vorkommt. Auf einer Postkarte an den Musiker Paul Köselitz (Peter Gast) vom 16. April 1881 sagt er über R. Mayers Schriften (die ihm jener als naturwissenschaftlicher Berater (!) anempfohlen hatte): „Über Auslösung ist für mich das Wesentlichste und Nützlichste in Mayers Buche.“ In Mayers Schriften aber, namentlich in dem Auslösungsaufsatz von 1876 ist die Katalyse als erste deutliche Form der „Auslösungskausalität“ scharf gekennzeichnet!

So hört der Kundige Unterklänge katalytischer Art, und zwar aus R. Mayers Werkstatt, wenn es bei Nietzsche 1882 in der „Fröhlichen Wissenschaft“ (§ 360) heißt: „Zwei Arten Ursachen, die man verwechselt. Das erscheint mir als einer meiner wesentlichsten Schritte und Fortschritte: Ich lernte die Ursache des Handelns unterscheiden von der Ursache des So- oder So-Handelns, des In-dieser-Richtung-, auf dieses Ziel-hin-Handelns. Die erste Art Ursache ist ein Quantum von aufgetauter Kraft, welches darauf wartet, irgendwie, irgendwo verbraucht zu werden; die zweite ist dagegen etwas, an dieser Kraft gemessen, ganz Unbedeutendes, ein kleiner Zufall zumeist, gemäß dem jenes Quantum sich nunmehr auf eine und bestimmte Weise ‚auslöst‘; das Streichholz im Verhältnis zur Pulvertonne, . . . treibende Kraft“ gegen „dirigierende Kraft, man hat dabei den Steuermann und den Dampf verwechselt.“

Ausgesprochene Beachtung hat die Katalyse bei späteren Philosophen gefunden, die selber aus der Naturwissenschaft

hervorgegangen sind. Hans Driesch († 1941) widmet in seinem bedeutsamen Buche „Naturbegriffe und Natururteile“ (1904), das sich mit der Naturwirklichkeit im allgemeinen und mit Energielchre, sowie mit biologischer „Eigengesetzlichkeit“ im besonderen beschäftigt, ein eigenes Kapitel der „Sondergesetzlichkeit des Chemisch-Aggregativen“. Hier wird zum Schlusse die *Katalyse* einer eingehenden Betrachtung unterworfen. Es heißt daselbst:

„Der Begriff der *Beschleunigung* chemischer Reaktionen ist es, der hier im Zentrum des Interesses steht, ja eine Zeitlang neigte die Ostwaldsche Schule wohl gar dazu, *nur* in einer Beschleunigung auch sonst ‚von selbst‘ verlaufender Reaktionen das eigentliche Grundkennzeichen katalytischer Vorgänge zu erblicken. Ebenso wie . . . die Temperatur . . . wirken in sehr vielen Fällen kleine Beimengungen fremder Stoffe auf Reaktionen: ohne das Gleichgewicht zu verschieben, beschleunigen sie ihren Verlauf“; und zwar ergibt sich, „daß sie auch stets die entgegengesetzte Reaktion beschleunigen müssen. Im übrigen kommt direkte oder quadratische, oder eine noch kompliziertere Proportionalität zwischen der Menge des Katalysators und der erzielten Beschleunigung vor. Wichtig ist das Vorkommen auch negativer, also verzögernder Katalysatoren; wichtig die Erscheinung der Autokatalyse.“ Es wird dann auf die vielfach beobachtete *Spezifität* katalytischer Wirkung und auf die *Enzyme* als „vom Organismus produzierte Katalysatoren“ hingewiesen.

Weiter wird gesagt: „Man rechnet jetzt theoretisch auch mit Katalysatoren, welche nicht nur ‚beschleunigen‘, sondern auch *ermöglichen*: man redet also ganz allgemein von Katalysatoren, falls gewisse für Reaktionsabläufe wirksame Stoffe sich nicht irgendwie in stöchiometrischen Verhältnissen am Gesamtergebnis der Umsätze beteiligen.“ Dann geht Driesch auf die Frage ein, auf welchem Wege eine wahrhafte „Einleitung oder Ermöglichung“ vor sich geht. Der Ausdruck „*Beseitigung von Widerständen*“ „bedarf offenkundig der Klärung“; die Theorie der Zwischenreaktionen (sowie auch gekoppelter Reaktion) führt zu besserem Verständnis. „Eine instabile Verbindung ist als primäres Resultat des zugesetzten Katalysators anzunehmen; sie ist das Kuppelnde, das Vermittelnde.“

Wenn es dann weiter heißt: „Energetisch muß sich ein Katalysator beteiligen, wenn er wirklich Geschehen ermöglicht“⁷, und wenn ferner die Frage verneint wird, „ob denn ein *bloß beschleunigender* Katalysator wirklich energetisch *durchaus unbeteiligt* an dem Geschehen sei“, so wird hier nicht hinreichend zwischen der katalytischen *Bruttoreaktion* — für die durchweg eine energetische Indifferenz des Katalysators besteht — und dem katalytischen *Elementakt* unterschieden, in welchem die katalysierende Molekel tatsächlich energetisch mitwirkt — jedoch unter raschem Rückgängigmachen in pulsierendem Geschehen, einem Dauerwechsel von Einschaltung und Ausschaltung.

Der Mayersche Begriff der „Auslösung“ spielt auch bei Driesch für die Katalysedefinition kaum eine Rolle; nur hinsichtlich der *Temperatur* (soll heißen „Temperatursteigerung“) wird behauptet, daß sie einen Vorgang unter Umständen „auslösen“ könne. Allgemein wird bemerkt, daß auf rein logischem Grunde eine „*strenge* Scheidung zwischen Beschleunigen und Ermöglichen“ hinfällig erscheine. „Was überhaupt ‚wirkt‘, *muß* auch in den Wirkungsvorgang eintreten, das erfordert der Kausalitätssatz, der *Begriff* des Wirkens; in diesem Sinne würde sich ‚das nur Beschleunigende‘ ebenso wie das Ermöglichende bei Stoff- oder Temperaturkatalysen *stets* beteiligen“ . . .

Die Erörterung des Katalysiebegriffes durch Driesch ist auf alle Fälle verdienstvoll, wenn sie auch erkenntnistheoretisch über R. Mayer und W. Ostwald kaum wesentlich hinausführt⁸. Beachtlich ist auch das, was Driesch (S. 179) über die *Rolle des Katalysators im Organischen* sagt. Von den Fermenten heißt es, daß „die eigentliche Leistung eines beliebigen *abgeschiedenen* Fermentes keine Lebensleistung mehr ist . . . Lebensleistungen liegen nur in der Bildung der Fermente oder des ‚Protofermentes‘ vor . . . oder wenn das Lebende *gleichsam selbst* als Protoferment abgeschiedene Protofermente aktiviert. Soweit also wahre isolierbare Fermente in Frage kommen, liegt nur in deren *Bildung* das eigentlich Vitale.“ Schließlich ist nach Driesch zu fragen: „In welchem Sinne verhält sich das Lebende etwa selbst als Katalysator, und was heißt das? Oder auch, am unzweideutigsten: nach welchem Gesetz

geschehen die chemisch-aggregativen Änderungen im Organismus, *einschließlich* der Fermentbildung und Fermentaktivierung?“

Wilhelm Wundt, dem schon von seinem persönlichen Umgange mit W. Ostwald her die Katalyse geläufig sein mußte, hat sich mehrfach über diese geäußert. In dem Werke „*Sinnliche und übersinnliche Welt*“ 1914 werden (von S. 63 ab) der Katalyse, vor allem der Biokatalyse, tiefgehende Betrachtungen gewidmet. „Die Komponenten der organischen Regulierungen lassen sich sämtlich auf katalytische Prozesse zurückführen, die ihrerseits Wirkungen der allgemeinen chemischen Affinitätskräfte unter besonderen Bedingungen sind. — Es sind die katalytischen Prozesse, die nicht bloß äußere Analogien zum Lebensprozeß bilden, sondern aus denen dieser nachweislich zu einem wesentlichen Teil selbst besteht“⁹. Der Organismus, auch der Mensch, „ist den chemischen Stoffen gegenüber ein Katalysator großen Stils, da er trotz der gewaltigen Veränderungen, die er an ihnen hervorbringt, selbst im Endeffekt unverändert bleiben kann“; ein Katalysator, zusammengesetzt „aus einer unzählbaren Menge elementarer Katalysatoren, die er selbst erzeugt.“

In der neuzeitlichen Naturphilosophie findet die Katalyse hauptsächlich durch Bernhard Bavink gebührende Beachtung. In dem Kapitel „*Physikalisch-chemische Grundlagen des Lebens*“ wird die *Biokatalyse* in den Vordergrund gestellt. Der alte Satz von Berzelius über die „Tausende katalytischer Reaktionen“ im Organismus wird weitergeführt: „Wie bringen es die Organismen nun fertig, die in Frage kommenden chemischen Reaktionen so zu leiten, daß das gewünschte Ergebnis . . . dabei herauskommt? Wie macht es der Organismus, daß aus demselben Blut an der einen Stelle Hornsubstanz . . . an der anderen Muskelsubstanz, an einer dritten Knochensubstanz usw. abgelagert wird? — Eine erste wichtige Gruppe von Erscheinungen, die uns hier weiter hilft, wird gekennzeichnet durch das Stichwort ‚Katalyse‘. — Die große Frage bleibt natürlich hinter all diesem bestehen, woher es kommt, daß der Organismus im richtigen Augenblick gerade immer die passenden Katalysatoren einsetzt“ (S. 337 bis 339). „Wer gibt im richtigen Augenblick das Zeichen zum richtigen

Einsatz?“ (S. 344, siehe auch S. 442). Berzelius würde hierauf antworten: der *spiritus rector* des Körpers; E. v. Hartmann: der unbewußte Wille; Driesch: die Entelechie; Nietzsche: die große Vernunft des Leibes.

In einem Aufsatz über „Steuermann Leben“ beschäftigt sich neuerdings ein Autor mit der „natürlichen Katalyse“, der organischen Steuerung. „Der ganzheitliche Organismus schafft und steuert seine Teilvorgänge, er bereitet sich seine Antitoxine, Immunitätsstoffe, Hormone, Vitamine, seine Wirk- und Triebstoffe wie seine Regler, holt sich das nötige Material dazu bei und bereitet es zu.“ Weiter heißt es, durchaus im Sinne von Robert Meyers „Auslösungskausalität“: „Die Analogie zwischen der Steuerung natürlicher und geschichtlicher Vorgänge ist vollkommen. In den geschichtlichen Vorgängen ist die katalytische Steuerung indessen an das Bewußtsein, an die ‚Freiheit‘ der steuernden Menschenkräfte gebunden. Das ist der wesentliche Unterschied zu den Naturvorgängen.“ Schließlich über „politisch-geschichtliche Katalyse“: „So steuert Wirtschaftspolitik die Wirtschaft, ohne selbst Wirtschaft zu sein; Politik ist der Katalysator der Geschichte“¹⁰. W. Ostwald spricht von der „katalytischen Wirkung“ der Kunst.

Letzte Ausblicke

„Es folgt . . . , daß die schlechte (d. h. inhaltlose) *Metaphysik* durch die bessere zu ersetzen ist.

Bernhard Bavink.

Was bisher über Philosophisches in der Katalyse, Katalytisches in der Philosophie gesagt wurde, betraf vorwiegend Erkenntnistheorie, d. h. die Frage einer logischen Einordnung der katalytischen Verursachung in den Gesamtbegriff der Naturkausalität (des Wirkens in der Natur)¹¹. Dabei zeigt sich eine Art Wechselwirkung von Wissenschaft und Philosophie, im Geben und Nehmen. Alles Philosophieren aber strebt über die Grenzen des positiv Gewußten hinaus in das Gebiet der Zielwertung und Sinndeutung und wird so schließlich zur *Metaphysik* — oder *Metapsychik*, trotz aller positivistischen Warnungen und Verbote. „Der Fisch kann nur im Wasser schwimmen, nicht in der Erde; aber er kann doch mit dem Kopf gegen Boden und Wände anstoßen“ (Fr. A. Lange). Es ist

noch kurz zu erörtern, ob auch bei diesem „An-die-Wand-Stoßen“ oder „Über-den-Zaun-Schauen“ die Katalyse eine Rolle spielt.

Den Ansatzpunkt bildet Robert Meyers *Nebeneinanderstellung der physischen Katalyse und der psychischen Willensbetätigung*, die beide dem Begriff „Auslösung“ oder „Veranlassung“, d. h. einer nichtenergetischen Richtkraft untergeordnet werden. Bildhaft kann man, wie wir gesehen haben, Triebimpulse und Willensmotive ohne weiteres als „psychische Katalysatoren“ bezeichnen, da sie mit dem chemischen Katalysator das Merkmal des Veranlassens, Lenkens und Regels gemein haben. Stufenförmig schließen sich im Gebiet der Auslösung, des bloßen Anlasses oder Anstoßes aneinander Katalyse, Reizwirkung (Erregung, Verstärkung, Steuerung) und Willenswirkung (Suggestier- und Befehlsgewalt). Die Katalyse wird das physische Modell des Willens, der Wille das psycho-physische Gegenbild der Katalyse. Der spezifische Katalysator entspricht dem jeweiligen Willensmotiv als Antrieb (Impuls), das reaktions„willige“ chemische System oder „Substrat“ dem arbeitsbereiten psychophysischen Gesamtzustand des Organismus. Auch die Autokatalyse kann als Modell für organismische Erscheinungen dienen. W. Ostwald stellt Beziehungen fest zwischen einem Vorgang autokatalytischer Auflösung von Metallen in Salpetersäure und der Fiebererscheinung, sowie Gewöhnung und Gedächtnis (siehe auch E. Herings „organisches Gedächtnis“), schließlich organismischem Wachstum, Regeneration, und „Überheilung“ Es gibt sogar „psychische Selbstverstärkung“ (nach v. Weizsäcker).

Folgt man nun den von Schopenhauer in seiner Abhandlung „Über den Willen in der Natur“ (1836) gegebenen metaphysischen Leitlinien, so kann man bei einer *Ausdehnung des Willensbegriffes auf sämtliche Kraftäußerungen in der Natur* auch in dem katalytischen Geschehen — auf organismischem wie auf anorganischem Gebiet — eine Art primitiver „Willensäußerung“ sehen. Die Ähnlichkeit wird zur Gleichsetzung: „der Wille ist die Kraft“. Dabei muß jedoch beachtet werden, daß „der Begriff Wille eine größere Ausdehnung erhält als er bisher hatte“, und daß der „vom Erkennen geleitete“ und „nach Motiven sich

äußernde“ Wille von Tieren und Menschen nur „die deutlichste Erscheinung“ eines sich dauernd in unendlich mannigfacher Weise betätigenden *Urwillens in der Natur* darstellt. Es ist überall „in allen Kräften der anorganischen und allen Gestalten der organischen Natur einer und derselbe Wille, der sich offenbart.“

Es wäre an Schopenhauer gewesen, „metapsychisch“ den Erscheinungen der Katalyse eine „Innerung“, d. h. ein inneres Wesen zuzuschreiben, das in Wahrheit ein *urtümliches Willenswesen* sein müsse. In den Verwicklungen der Wirk- und Reizstoffbetätigung und ebenso bei der Auswirkung höherer Impulse des Nervensystems wäre dann der niedere „Einzelwille“ des Katalysators in den Dienst eines übergeordneten Körperwillens, der seelischen Zentralmonade, der ganzheitlich wissenden und wollenden *Entelechie des lebenden Körpers* gestellt¹². Der Satz von Wundt, daß der Organismus „ein Katalysator großen Stils“ sei, enthält dann nicht mehr lediglich eine Analogie äußerer Art, sondern bekommt tieferen Wahrheitssinn. Für das Energiegetriebe der Welt — das zugleich ein universelles Willensgetriebe darstellt — gibt es danach eine Abstufung oder Staffelung des Eingreifens, Veranlassens und Richtens, von den einfachen Auslösungen nach Art der chemischen Katalyse bis zu anerkannt seelischer und überseelischer Führung, als „Katalysen“ hoher und höchster Ordnung. —

In zielbewußter Arbeit ist von der physikalisch-chemischen Wissenschaft in den vergangenen 50 Jahren ein mächtiges Gebäude *chemischer Reaktionskinetik* errichtet worden, mit einem ganzen Stockwerk katalytischer Forschung. Unser rüstiger siebzigjähriger Max Bodenstein hat durch Jahrzehnte unermüdlich hochbedeutsame und unvergängliche Beiträge hierzu geliefert¹³. Möge ihm, der so fest auf dem Boden der Tatsachen steht, ein Ausflug in das luftige Reich der Philosophie, als Beitrag zur Feier von seinem ältesten Schüler in freundschaftlicher Verehrung geboten, nicht unwillkommen sein!

Anmerkungen:

¹ Fr. Zöllner, Die Natur der Kometen. 2. Aufl. 1872. Siehe auch W. Wundt, Die Logik der Chemie, Philosoph. Studien 1 (1893) 474, sowie van 't Hoff's Vortrag „Die Phantasie in der Wissenschaft“; in Ostwalds „Große Männer“, Bd. 3, Cohens Biographie van 't Hoff,

S. 149 ff. Einen kurzen Abriss allgemeiner Wissenschaftslehre gibt H. Driesch im 28. Jahrb. der Schopenhauer-Gesellschaft. 1941, S. 3 bis 69. Die Formen des Erkennens und der Erkenntnistheorie. Philosophie ist nach Hans Driesch „das systematische Wissen von allem Gewußten und vom Wissen selbst“. — Siehe hierzu E. Förber, Hegels Philosophie der Chemie, Kant-Studien 1925, 91; Isis 1936, 114. R. Winderlich, Schelling und die Chemie, Chem.-Ztg. 1939, 680. B. Bavink, Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften. 6. Aufl. 1940, S. 25 ff. (über schlechte und gute Naturphilosophie). Auf den oberflächlichen Materialismus eines L. Buchner und K. Vogt, der als Gegenbewegung dem deutschen „Idealismus“ folgte, und den überbedenklichen Positivismus von Mill und Comte (in Deutschland Eugen Dühring, Mach, Schlick) braucht hier nicht eingegangen zu werden. — Noch im Jahre 1902 schrieb E. v. Hartmann („Die Weltanschauung der modernen Physik“): „Unter allen Zweigen der Philosophie war in den letzten Menschenaltern die Naturphilosophie wohl am meisten gemißachtet; schon ihr Name wirkte wie ein Zeichen für die schlimmste Ausgeburt menschlicher Geistesverwirrung“. Von wahrer Naturphilosophie gilt nach W. Ostwald, daß sie „nicht vom Leben abführt, sondern einen Teil unseres Lebens selbst zu bilden das Bestreben, ja das Recht hat.“ — Carl Siegel (Geschichte der Naturphilosophie 1913) rühmt W. Ostwalds Verdienst, die Naturphilosophie wieder zu Ehren gebracht zu haben. C. F. v. Weizsacker, Naturwiss. 1941, S. 185, fordert ein Zusammenarbeiten von Philosophie mit Physik, sowie mit den anderen Naturwissenschaften, „die alle zum Thema die organische Einheit des Wissens haben, welche selbst ein Teil der größeren Einheit des Lebens ist“. — 3 Hierzu und zu dem folgenden siehe A. Mittasch und E. Theis, von Davy und Doberneier bis Deacon 1932. A. Mittasch, Berzelius und die Katalyse, 1935. Kurze Geschichte der Katalyse, 1940. E. Theis, Wie wirkt ein Katalysator? Eine alte Frage und die Antwort von heute: Kraftstoff, 1940, 3. (Durch Doberneier hat auch Goethe von den „Kontaktprozessen“ Kenntnis erlangt. Sogar Hegel kann nach einem Schreiben von Fr. Xaver von Baader an Freiherrn Boris v. Uexküll. 19. Sept. 1823, von Doberneier „chemischer Reaktion durch bloße Berührung“ erfahren haben.) A. Mittasch, Über die Entwicklung der Theorie der Katalyse im 19. Jahrhundert, Naturwiss. 1933, S. 729, 745. — 4 Leopold Ziegler (Gestaltwandel der Götter, 3. Aufl., 1922, Bd. 2) geht auf R. Meyers „katalytische Ursache“ im Sinne der Auslösung, Antrieb, Anreiz nahe ein und stellt sie der „mechanischen Ursache“ gegenüber. — 5 Ostwalds Anschauungen über die Katalyse sind zusammengefaßt in seinen Vorträgen von 1901 und 1911 sowie in seinen naturphilosophischen Schriften, von den Vorlesungen über Naturphilosophie (1900) bis zur „Philosophie der Werte“ (1913). Auch die Dekanatschrift von 1898 „Ältere Geschichte der Lehre von den Berührungswirkungen“ ist zu nennen. Über die Zusammenhänge seiner katalytischen Forschung mit der Energetik äußert er sich in „Lebenslinien“ II (1927), S. 258 ff. Zahlreiche Forscher haben trotz Ostwald an der dualen Definition festgehalten: eine Reaktion ermöglichen (herbeführen) oder beschleunigen (siehe auch Driesch, S. 15). Tatsächlich ist nach Georg-Maria Schwab die Frage der besten Katalyse-Definition „eine philologische oder auch philosophische Frage“. Über „Beschleunigung“ in der älteren Fermentlehre siehe P. Walden, Geschichte der organischen Chemie seit 1880 (1941), S. 114. — 6 Durch seine Thénard-Übersetzung hat Fechner die Katalyse doch wohl gekannt. — 7 Alois Riehl (Der philosophische Kriticismus, I. Bd. 3. Aufl. 1928) hat darauf hingewiesen, daß in der Katalyse ein besonderer Fall der Auslösung vorliegt, bei welcher die übliche Definition: „Aktualisierung relativ großer Energiemengen durch Betätigung geringer Energiequantität“ nicht zutrifft, da hier das auslösende Agens für die Energiegleichung des Gesamtvorganges überhaupt bedeutungslos ist. (In der Sigwart-Festschrift 1900 hatte Riehl noch ziemlich undeutliche Vorstellungen über die Verträglichkeit der Katalyse mit dem Energieprinzip geäußert.) — 8 Auf einzelne zeitbedingte, mißverständliche oder unzutreffende Angaben (z. B. hinsichtlich „katalysierender Wärme“ oder „Temperaturkatalyse“) näher einzugehen erübrigt sich (Der Ausdruck „Temperaturkatalyse“ wird erhellt durch W. Ostwalds Satz: „Es gibt drei verschiedene Mittel, die chemische Reaktionsgeschwindigkeit

zu beeinflussen: Temperatur, Konzentration und Katalyse.") Wichtiger ist, daß Driesch auch in seinen späteren Arbeiten den katalytischen Gedanken stets hochgehalten hat. — 9 Ähnlich Willstätter 1929: „Die unermessliche Zahl chemischer Reaktionen in den lebenden Zellen wird durch die organischen Katalysatoren nach Richtung und Geschwindigkeit geregelt. Leben ist das Zusammenwirken enzymatischer Vorgänge.“ Daß auch in Hormonwirkung Katalyse anzutreffen sein kann, hat Ostwald schon in seinem Nobelpreis-Vortrag von 1909 betont: die Funktionen der Schilddrüsensekrete nennt er „ein ausgezeichnetes Beispiel für die Tätigkeit der Katalysatoren“. Bald darauf (1913) hat W. Nernst auch Vitamine als Katalysatoren angesprochen. In einer Anmerkung zu seinem Vortrage „Die Bedeutung des Stickstoffs für das Leben“ (Schriften und Vorträge des Deutschen Museums) heißt es: „Die Wirksamkeit der Vitamine kann wegen ihrer geringen Menge nur rein katalytischer Natur sein.“ (Siehe hierzu jedoch auch Staudinger.) Wie weit Horstmanns und Ostwalds „Autokatalyse“-Begriff heute in das Gebiet der Lebensvorgänge vordringt, zeigt deutlich ein Aufsatz von Pascual Jordan, Naturwiss. 1941, 89. — 10 Bei Erich Becher, W. Burkamp, A. Wenzl spielt die Katalyse kaum eine wesentliche Rolle. In Eislers Wörterbuch der philosophischen Begriffe, 4. Aufl. 1927 heißt es lediglich: „Katalysatoren sind Stoffe, welche den zeitlichen Verlauf eines chemischen Prozesses beeinflussen, ohne durch diesen eine bleibende Änderung zu erfahren. Nach Ostwald von Wichtigkeit für die Lebensprozesse (Abh. u. Vortr. III, 254 ff. Wundt, Sinnliche und übersinnliche Welt, S. 63)“. — 11 Schon die weitreichende Bedeutung der „katalytischen Kausalität“ als ein „Anlaßkausalität“ läßt erkennen, wie unberechtigt es ist, wenn in manchen Kreisen von „Akausalität“ schlechthin nur deswegen geredet wird, weil bestimmte vorgefaßte Meinungen mechanistischer Art im subatomaren Gebiet versagen. Jene „Akausalität“ ist in Wirklichkeit nur „Amechanität“ (im Sinne der klassischen Mechanik). „Der Streit um die Geltung der Kausalität in der Naturwissenschaft ist bis zu einem gewissen Grade müßig. Auch wenn nach unseren heutigen Anschauungen manche Naturgesetze einen statistischen Charakter besitzen, so kann dies nichts daran ändern, daß alle naturwissenschaftliche Forschungsarbeit auf der Annahme kausaler Zusammenhänge in der Natur aufbaut“ (C. Bosch, Naturwiss. 1934, Anhang S. 22). Siehe auch K. Groos, Zur Frage des ursachlosen Geschehens, Zschr. f. Deutsche Kulturphilos. 7 (1940) 25. Ferner A. Mittasch, Kausalismus und Dynamismus, nicht Mechanismus! Forsch. u. Fortschr. 1938, 127; sowie Hantzsch, Ber. dtsh. chem. Ges. 64 (1931) 687 über Mechanismus und Chemismus“. — 12 Ähnlich L. R. Grote: „Der Organismus schafft sich selbst Katalysatoren und beseitigt überflüssige.“ Von W. Ostwald war (1901) als Kennzeichen des Lebens genannt worden: „Eine selbsttätig geregelte Beschaffung und Verwendung der chemischen Energie für die Betätigung, Erhaltung und Regelung des Lebewesens.“ Gemäß W. Ostwalds Schrift „Chemische Theorie der Willensfreiheit“ (1894) besteht in der katalytisch — also auch biokatalytisch — gegebenen Möglichkeit, das Reaktionszeitmaß zu bestimmen, das physische Mittel dafür, daß der Wille „das Zeitmaß psychischer Vorgänge zu regeln vermag“; hiermit sei die Empfindung der Willensfreiheit verbunden (von einer Richtungsgebung, einer Wahl wird nicht unmittelbar gesprochen). Drieschs „Suspendierungstheorie“, die der Entelechie ein gewisses „Vetorecht“ in bezug auf energetische Umsetzungen im Organismus zubilligt, steht zu dem katalytischen Auslösungsbegriff in unverkennbarer Beziehung; das Gegenstück zu auslösen, anfachen, antreiben, einschalten, einleiten, hervorufen, Weisung geben, ist ja hemmen, bremsen, unterdrücken, ausschalten, aufheben, „suspendieren“. Siehe auch A. Wenzl, Wissenschaft und Weltanschauung 1936, S. 200; W. Ostwald, „Der Wille und seine physische Grundlegung“, Scientia 1911, 364. — 13 Die einheitliche große Linie in Bodensterns Werk zeigt sich äußerlich schon darin, daß der Titel der Habilitationsschrift von 1894: „Gasreaktionen in der chemischen Kinetik“ in einer zusammenfassenden Abhandlung von 1937 (Ber. dtsh. chem. Ges. 70, 17) wiederkehrt.

Wesentliches und Abseitiges zur Geschichte der „katalytischen Kraft“*

Gegenwärtig liegt es klar zutage, daß der Streit um den Begriff der „katalytischen Kraft“, der vor reichlich hundert Jahren in der Chemie — Liebig gegen Berzelius — entbrannte, erst durch Robert Mayers klare *Scheidung von arbeitsleistenden (energetischen) Wirkkräften einerseits, bloßen Anlaß- und Auslösekräften andererseits* grundsätzlich beendet werden konnte. „Katalytische Kraft“ gleichwie „Lebenskraft“ und „Willenskraft“ sind *Auslösekräfte, Trieb- und Richtkräfte*, die in das Gefüge chemischer oder sonstiger energetischer Wirkkräfte (Leistungskräfte) bestimmend, d. h. lenkend und regelnd eingreifen.

R. Mayers Erkenntnis, welche Bewandnis es mit den „Kräften“ der Natur habe, hat sich in mehreren Stufen vollzogen. Am Anfang steht der kritische Satz: „Es handelt sich ja zunächst nicht darum, was eine ‚Kraft‘ für ein Ding ist, sondern welches Ding wir ‚Kraft‘ nennen wollen.“ (M. I. 260)¹. Den Übergang zur Lösung bieten die Sätze: „Mit pedantischer Logik hege ich den frommen Wunsch, man wolle unter Ursache und Effekt (in der leblosen Natur) entweder Dinge verstehen, welche in einem Größenverhältnis zueinander stehen, oder welche nicht im Verhältnis zueinander stehen. Der Funke a entzündet das Pulver, die Mine fliegt auf. Man sagt hier: Der Funke a ist die Ursache der Pulverexplosion b, und diese wieder die Ursache von dem Emporwerfen c der Erde“ (1844; M. II, 222). So gelangt R. Mayer zu der Definition: „Katalytisch“ heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Größenbeziehung steht. Eine Lawine stürzt in das Thal; der Windstoß oder der Flügelschlag eines Vogels ist die ‚katalytische Kraft‘, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt —“ (1845; M. I, 102).

Voraus geht der Satz: „Jedermann weiß, daß in zahlreichen Fällen chemische Aktionen von der bloßen Anwesenheit gewisser Stoffe bedingt werden, die für sich selbst an der vor sich gehenden Veränderung keinen Anteil nehmen.“ („Kontakteinflüsse“, „katalytische Kraft“, „katalytische Wirkung“, M. I, 101)².

* Die Chemie 55 (1942) 375—376.

Eine abschließende Darstellung seiner Wirklehre gibt R. Mayer in seinem Aufsatz „Über Auslösung“ von 1876 (M. I, 440—446)³. Hier werden die Begriffe „Katalyse“ und „Auslösung“ nicht mehr einander gleichgesetzt, sondern die Katalyse wird als *eine* Form der Auslösung bezeichnet; physiologische Reizwirkung und psychophysische Willenswirkung stellen andere bedeutsame Formen der Auslösung dar. So kommt die *Willensbetätigung* eines Organismus formal in die Nähe der katalytischen Betätigung eines beliebigen Stoffgebildes. Denn, wie R. Mayer schon früher (1845) gesagt hatte: „Der geistige Einfluß“ — z. B. derjenige des Steuermanns auf das Dampfboot —, „er lenkt, aber er bewegt nicht; zur Fortbewegung bedarf es einer physischen Kraft, der Steinkohlen, und ohne diese bleibt das Schiff, auch beim stärksten Willen seines Lenkers, tot.“ (M. I, 87)⁴.

Robert Mayers Auslösungsgedanke hat, wie sich immer wieder zeigt, nicht diejenige Verbreitung und Würdigung gefunden, die er verdient hätte. Andererseits gewährt es Überraschung, wie hier und da auch an nicht vermuteten Stellen der Auslösungsgedanke eine bedeutsam Rolle gespielt hat, sei es in unmittelbarem Anschluß an Berzelius, sei es auf dem Wege über Robert Mayer (wie bei Nietzsche). Hier soll berichtet werden, in welcher Weise zwei bekannte Physiker des 19. Jahrhunderts den *katalytischen Gedanken* erfaßt und in bestimmter Richtung entwickelt haben.

Der Physiker *Wilhelm Weber*, Göttingen (1795—1878), bekannt vor allem durch seine starke Förderung der Elektrodynamik, schreibt im Anschluß an die Erörterung eines „Grundgesetzes der elektrischen Wirkung“⁵:

„Hiernach hängt also diese Kraft von der Größe der Massen, von ihrer Entfernung, von ihrer relativen Geschwindigkeit und außerdem endlich von derjenigen relativen Beschleunigung f ab, welche ihnen zukommt, theils infolge der Fortdauer der in ihnen schon vorhandenen Bewegung, theils infolge der von *anderen Körpern* auf sie wirkenden Kräfte.“

„Es scheint hieraus zu folgen, daß die *unmittelbare Wechselwirkung zweier elektrischen Massen* nicht ausschließlich von diesen Massen selbst und ihren Verhältnissen zueinander, sondern auch von der Gegenwart *drit-*

ter Körper abhängig sei. Nun ist bekannt, daß Berzelius eine solche *Abhängigkeit der unmittelbaren Wechselwirkung zweier Körper von der Gegenwart eines dritten* schon vermuthet hat, und die daraus resultierenden Kräfte mit dem Namen der *katalytischen* bezeichnet hat. Bedienen wir uns dieses Namens, so kann hiernach gesagt werden, daß auch die *elektrischen Erscheinungen* zum Teil von *katalytischen* Kräften herrühren.“

„Diese Nachweisung *katalytischer Kräfte* für die *Elektricität* ist jedoch keine *strenge* Folgerung aus dem gefundenen elektrischen Grundgesetze. Sie würde es nur dann sein, wenn man mit diesem Grundgesetz nothwendig die *Idee* verbinden müßte, daß dadurch nur solche Kräfte bestimmt wären, welche elektrische Massen aus der Ferne *unmittelbar* aufeinander ausübten. Es läßt sich aber auch *denken*, daß die unter dem gefundenen Grundgesetze begriffenen Kräfte zum Teil auch solche Kräfte sind, welche zwei elektrische Massen aufeinander *mittelbar* ausüben und welche daher *zunächst* von dem *vermittelnden Medium*, und *ferner* von allen *Körpern*, welche auf dieses Medium wirken, abhängen müssen. Es kann leicht geschehen, daß solche *mittelbar* ausgeübten Kräfte, wenn sich das vermittelnde Medium unserer Betrachtung entzieht, als *katalytische Kräfte* erscheinen, wiewohl sie es nicht sind. Man müßte wenigstens, um in solchen Fällen von *katalytischen* Kräften zu sprechen, den Begriff von *katalytischer Kraft* wesentlich modificieren. Man müßte nämlich unter *katalytischer Kraft* eine solche *mittelbar* ausgeübte Kraft verstehen, welche sich nach einer *allgemeinen Regel* bestimmen läßt, durch eine gewisse Kenntnis von den Körpern, deren Einflüsse das *vermittelnde* Medium unterworfen ist, jedoch ohne Kenntnis dieses *Mediums selbst*. Das gefundene elektrische Grundgesetz gibt eine allgemeine Regel zur Bestimmung *katalytischer* Kräfte in diesem Sinne.“

Der Historiker der Katalyse muß lebhaftere Freude empfinden, wenn er sieht, welche Strahlenwirkung von Berzelius' begrifflicher Erfassung der „Katalyse“ auch in entlegene Gebiete ausgegangen ist.

Wieder in anderer Weise hat, von seinem Freunde Weber angeregt, der verdienstvolle und phantasiereiche Astrophysiker Friedrich Zöllner in Leipzig (1834—1882)⁶ den

katalytischen Gedanken weitergeführt. In seinen „Wissenschaftlichen Abhandlungen“, II. Bd., 2. Teil, 1878, Aufsatz „Zur Metaphysik des Raumes“ sucht er das Bestehen *okkulten Kräfte* — im Anschluß an Ausführungen über die spiritistische Tätigkeit des Mediums Henry Slade — dadurch glaubhafter zu machen, daß er auf Berzelius' Begriff der „katalytischen Kraft“ zurückgreift. Auf S. 939 wird zunächst in gewisser Vorahnung späterer atomphysikalischer Erkenntnisse folgendes ausgeführt:

„Daß in der That im Innern aller Körper potentiell elektrische Kräfte schlummern, die, plötzlich entbunden, im Stande wären, die stärksten Effecte einer Dynamitladung zu überflügeln, habe ich bereits im ersten Bande meiner Wissenschaftlichen Abhandlungen S. 459 mit folgenden Worten erwähnt:

Es ergibt sich, daß in der Masse von 1 mg Wasser vorhandene elektrische Energie im Stande wäre, wenn sie plötzlich in Freiheit gesetzt werden könnte, eine Bewegungsgröße zu erzeugen, welche die Explosion einer Pulverladung von 16,7 kg in dem größten aller gegenwärtig existierenden Geschütze einem Geschosse von 520 kg zu ertheilen vermag.“*

Sodann heißt es in kühner Schlußfolgerung weiter:

„Es müßten demnach in der Gegenwart spiritistischer Medien uns bis jetzt noch verborgene, sog. katalytische Kräfte wirksam sein, welche einen geringen Theil der in allen Körpern aufgespeicherten potentiellen Energie zu entbinden und in lebendige Kraft zu verwandeln im Stande wären.“

Schließlich zieht Fr. Zöllner als Gewährsmann noch den Heidelberger Professor Muncke heran⁷, der „vor 50 Jahren“ (1836) in Gehlers „Physikalischen Wörterbuch“, Bd. V, S. 1007, gesagt hatte:

„Nicht wenige und mitunter übrigens vortheilhaft bekannte Gelehrte haben verschiedene unbekannte Kräfte in der Natur und namentlich bei den Menschen angenommen. Daß es dergleichen geben könne, aus deren Wirkung manche noch nicht enträthselte Erscheinungen des vege-

* Bemerkung 1947. Es ist erstaunlich, wie Zöllner auf Grund einer elektrodynamischen Theorie der Materie Atomzerstrahlungsergebnisse neuzeitlicher experimenteller Forschung spekulativ vorwegnimmt!

tabilischen und thierischen Lebensprocesses erklärlich werden könnten, läßt sich im Allgemeinen und im Voraus nicht geradezu leugnen, aber ganz gewiß ist es dagegen, daß bei der Annahme desselben die größte Vorsicht und ein dem Physiker sehr zu empfehlender Skepticismus nicht fehlen darf.“

Wenn es zunächst befremdend wirkt, daß der katalytische Gedanke bis in das Reich des *Okkultismus* vorgetragen wird, so muß doch andererseits anerkannt werden: Wird das Vorhandensein verborgener, etwa „spiritistischer“ Kräfte zugegeben, so können diese in logisch widerspruchsfreier Weise in *unsere Begriffe über Naturkausalität* nur so eingeordnet werden, daß man sie, wie es Zöllner getan hat, dem Begriff nichtenergetischer, d. h. nicht Arbeit leistender *Trieb- und Richtkräfte* (bilanzfreie Impulse) einordnet. Eine „Verletzung von Naturgesetzen“ ist dann auch bei „okkulten“ Kräften ebensowenig zu bemängeln wie bei der richtenden und gestaltenden Betätigung der wohlbekannten menschlichen Willenskraft, sowie bei der ebenso leitenden und gestaltenden „Lebenskraft“ als „großer Vernunft des Leibes“ (Nietzsche). Auch für *verborgenen* (unterbewußten wie überbewußten) Willen muß gelten, was R. Mayer für *offenbaren* Willen festgestellt hat, daß er, der katalytischen Kraft ähnlich, in das Energiegetriebe der Natur nur auslösend, wählend und ordnend eingreift, ohne jedoch neue Energie zu schaffen, d. h. aus seinem Eigenen Arbeit zu leisten

W. Webers und Fr. Zöllners Äußerungen über „katalytische Kraft“, so abseitig sie im Verhältnis zu dem zentralen Auslösungsgedanken von R. Mayer erscheinen, geben trotz Beanstandungen im einzelnen (zumal hinsichtlich der spekulativen Sätze von Zöllner) doch neue Belege dafür, wie anregend und zündend der *katalytische Gedanke* auch über den Bereich der Chemie hinaus wirken kann und stellenweise gewirkt hat. Dazu weiter: Im ganzen steht auch das Denken von W. Weber und Fr. Zöllner gleichwie dasjenige von Berzelius und Robert Mayer im Zeichen des Ausspruchs, den einst Kepler zu Galilei getan hat und mit dem Fr. Zöllner seine obige Abhandlung schließt: „Habe Vertrauen Galilei und schreite voran! Wenn ich

richtig sehe, werden wenige von Europas bedeutenden Mathematikern von uns abweichen wollen; so groß ist die Macht der Wahrheit!“

Anmerkungen:

1 Zitiert wird nach der zweibändigen Ausgabe von R. Mayers Schriften von Jakob Weyrauch 1893; M. I = Bd. 61 Mechanik der Wärme, M. II = Bd. II. Kleinere Schriften und Briefe. — 2 Auch Berzelius nennt die katalytische Kraft „eine Ursache chemischer Tätigkeit“ (An Liebig, 11. Dez. 1840). — 3 Der Aufsatz beginnt: „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft ‚die Auslösung‘ nennt.“ — 4 Über die formale Ähnlichkeit der katalytischen Kraft — die nach Berzelius „schlummernde Verwandtschaften erweckt“ — mit der auslösenden Kraft der Willensregung s. A. Mittasch, Arch. Rechts- und Sozialphilosophie 33, 236 (1941): Was hat Robert Mayers Kausallehre dem Juristen zu bieten?, Z. physik. Chem., Abt. A 189, 44 (1941); Philosophisches in der Katalyse, Katalytisches in der Philosophie, Nervenarzt 15, 1 (1942): Was vermag Robert Mayers Wirklehre dem Biologen zu bieten? — 5 Wilhelm Weber: Über ein allgemeines Grundgesetz der elektrischen Wirkung und das Potential der elektrodynamischen Atomistik, 1846; abgedruckt in Friedrich Zöllners Prinzipien einer elektrodynamischen Theorie der Materie, Bd. I, 1876; s. daselbst S. 57. — 6 Friedrich Zöllner hat sich durch sein streitbares Eintreten für eine saubere und dabei sinnvolle deutsche Naturforschung, andererseits aber auch durch seinen Kampf gegen anerkannte Autoritäten (Maxwell, W. Thomson, Helmholtz, E. du Bois-Reymond, A. W. v. Hofmann) und durch seine spiritistischen Neigungen viel Feinde erworben. Nietzsche ist seinerzeit durch Zöllners Dynamismus angezogen worden. Es ist sehr beachtlich, daß es Fr. Zöllner 1878 auf Grund von Webers elektrischer Theorie der Materie gelungen ist, in bezug auf die Äquivalenz von Masse und Energie Berechnungen anzustellen, deren Resultat mit heutigen Werten praktisch übereinstimmt (nachgerechnet von Dr. Hermann, I. G. Farbenindustrie, Werk Oppau). Heute heißt es: „Wir müssen die Hypothese wagen, daß aus der strahlenden Form der Energie ihre materielle sich wieder bilde. Damit aber schließt sich der Kreis, knüpft sich das Ende an den Anfang“ (Kleinle). — 7 Zöllner nimmt hier auf einen Autor Bezug, dessen weltanschaulich verschwommene Ausführungen über „Kraft“ in schärfstem Gegensatz zu Robert Mayers kristallklaren Darlegungen stehen!

Katalytische Kraft, Lebenskraft, Willenskraft: in stoffliche Spielraumgesetzlichkeit eingreifende Richtkräfte der Natur

Es wird wenige Begriffe geben, die in gleicher Weise umstritten sind wie der Kraftbegriff. So einleuchtend, ja selbstverständlich uns im Alltagsleben die Vorstellung einer „Kraft“ als Ursprung einer Arbeitsleistung ist, so schwer ist es der Naturwissenschaft gefallen, die „Kraft“ derart zu bestimmen, daß sie eine einwandfreie Stellung im System wissenschaftlicher Begriffe einnimmt.¹

Durch Robert Mayer (1814—1878) ist die „Unzerstörlichkeit der Kraft“, d. h. mit heutigen Worten die *mengenmäßige Erhaltung der Energie in allen Wandlungen ihrer Form*, eindeutig verkündet und in einem besonders wichtigen Falle (Verwandlung von Arbeit in Wärme) auch zahlenmäßig bewiesen worden. Hierdurch hat sich ferner die Möglichkeit ergeben, eine *Scheidung* vorzunehmen zwischen *arbeitleistenden Kräften* einerseits, wie Bewegungskraft oder mechanische Kraft, elektrische Kraft, chemische Kraft, und ganz anderen „Kräften“, die dadurch gekennzeichnet sind, daß sie nicht selber Arbeit leisten, sondern nur *Arbeitsleistung veranlassen*. Als wichtige Formen solcher *Auslöse- oder Anlaßkräfte* — die auch auswählende und auf Entsprechung (Resonanz) gestellte *Richtkräfte* sind — treten vor allem die katalytische Kraft, die Lebenskraft und die Willenskraft hervor.²

Als Jakob Berzelius 1835, sieben Jahre vor Robert Mayers Aufstellung des Prinzips der Erhaltung der Kraft, den Begriff „*katalytische Kraft*“ prägte, bezeichnete er hiermit das Vermögen eines chemischen Stoffes, in bestimmten Fällen lediglich durch seine Gegenwart eine chemische Reaktion hervorzurufen, die andernfalls nicht beobachtet wird. Das klassische Beispiel ist die von Johann Wolfgang Döbereiner in Jena 1823 beobachtete — und sehr bald auch Goethe mitgeteilte — Fähigkeit von feinverteiltem Platin, Knallgas (d. h. ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff) zu zünden und so die chemische Vereinigung dieser Gase zu Wasser einzuleiten. Berzelius war sich darüber klar und hat es schon in seiner Definition zum Ausdruck

gebracht, daß hier *keine Zauberei*, kein Erzeugen aus dem Nichts vorliegt, sondern daß das Platin nur, wie er sagt, „*schlummernde Verwandtschaften weckt*“. Was hier Berzelius „*schlummernde Verwandtschaften*“ nennt, bezeichnet die heutige Wissenschaft als latente, virtuelle oder potentielle Energie, noch deutlicher auch als „*freie*“, d. h. für Arbeitleistung verwertbare, Energie. Die Zündung von Knallgas durch Platin veranlaßt neben der Stoffumwandlung gleichzeitig eine Umwandlung von chemischer Energie in Wärmeenergie und in etwa durch Explosionswirkung zutage tretende Bewegungsenergie (kinetische Energie). Die heutige Chemie kennt unzählige derartige Fälle chemischer Auslösung. Arbeitbereite chemische Energie kann dadurch in Tätigkeit gesetzt oder „*realisiert*“ werden, daß man einen geeigneten Stoff als Vermittler, Beschleuniger, Auslöser, Befehlserteiler, kurz als *Katalysator* zufügt. Mit dem Worte „*Katalyse*“ wird also die Erscheinung bezeichnet, daß ein Stoff durch seine bloße Gegenwart (genauer: scheinbar durch seine bloße Gegenwart, in Wahrheit durch rasch-wechselndes Sich-Einschalten und Ausschalten) eine chemische Reaktion oder Reaktionsfolge nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmt. Auf der Verwertung solcher katalytischen Kraft beruht z. B. die fabrikatorische Herstellung von Schwefelsäure aus schwefliger Säure und Sauerstoff, die Gewinnung von Ammoniak aus den Elementen Wasserstoff und Stickstoff; auf solcher katalytischen Kraft beruht auch die Wirksamkeit der zahlreichen *Enzyme oder Fermente* in jedem lebenden Organismus.³ Durchweg handelt es sich um die Herbeiführung chemischer Reaktionen, die an sich theoretisch möglich sind, aber infolge gewisser *Hemmungen* eines besonderen Anstoßes, einer Vermittlung bedürfen, damit sie zur Wirklichkeit werden.

Von hier ergibt sich nun eine überraschende Beziehung der „*katalytischen Kraft*“ zu der jedem aus seinem eigenen Tun so wohlbekannten *Willenskraft*. Auch in diesem Falle werden durch einen bestimmten „*Anstoß*“, und zwar den „*Willensanstoß*“ (Beweggrund, Motiv, Willensimpuls), chemische (und elektrische) Kräfte zur Arbeitleistung angeregt.⁴ Ein Katalysator gibt Anstoß und Befehl für bestimmte chemische Einzelprozesse; der Willensentschluß

leitet eine wohlgeordnete ganze Reaktionskette und Reaktionsverfälschung ein. In beiden Fällen liegt ein Kommando, ein Befehl zur Entfesselung potentieller Energien vor; hier auf einen rein stofflichen Kreis des Geschehens beschränkt, dort unter Beteiligung einer übergeordneten Gewalt.

Allerdings darf man einen gewaltigen Unterschied zwischen „*Wille*“ und „*Katalyse*“ nicht übersehen: der Katalysator ist ein *Stoff*, in der Regel ein wohldefinierter greifbarer „*Körper*“, der Wille aber ein seelisch-geistiges Etwas, ein im Grunde unbestimmbarer psychologischer Sachverhalt.

Und doch bedeutet der Unterschied keine unüberbrückbare Kluft. Ein Katalysatorgebilde (z. B. eine Platinpille) stellt ein *Kraftfeld* dar, indem an der Oberfläche der Teilchen (Moleküle) Kräfte (Kraftstrahlen) wirksam werden, die auf Nachbarpartikel einwirken, etwa durch Bildung lockerer Zwischenverbindungen, die einerseits zum chemischen Produkt und andererseits zum Freiwerden des Katalysators für erneutes Tun führen. Und wie ist es beim Willensimpuls? Was ich in dieser Beziehung selber *innerlich* empfinde und erlebe, das kann feinste physiologische Beobachtung *von außen* als einen bestimmten elektrischen Zustand des Organismus, insbesondere des Gehirns, messen und beschreiben. Auch hier besteht ein Kraftfeld, wenngleich von unendlich verwickelter Art; in dieses schaltet sich das ein, was wir innerlich als „*Wille*“ erleben, um dann sofort für neue Entschlüsse wieder ausgeschaltet zu werden. Die letzten Geheimnisse der Willensbetätigung werden hiermit nicht aufgedeckt; soviel aber ist sicher: In gleicher Weise wie ein Katalysator, Tage, ja Monate lang — im idealen Falle unendlich oft und unendlich lange — sein Spiel mit immer neuem chemischem „*Material*“ fortsetzen kann, ohne stofflich und energetisch weniger zu werden, so wird auch der menschliche Wille durch seine Betätigung nicht weniger. Der Wille steht ebenso wie der Katalysator außerhalb der energetischen Gleichung des Vorganges; es handelt sich, mit einem Ausdruck von Richard Woltereck, um einen *bilanzfreien Impuls*, der immer und immer wiederholt werden kann, solange der Organismus lebt. „*Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Vermin-*

derung der freien Energie“ (Wilhelm Ostwald). Das gilt für den katalytischen Akt wie für den Willensakt: Gleichwie der Katalysator bestimmend und richtend in die Spielraumgesetzlichkeit chemischer Gebilde eingreift, also der Wille in die Spielraummöglichkeiten menschlicher Handlung. *Der Wille ist tatsächlich eine Art psychischer Katalysator*, veranlassend, beschleunigend und Richtung gebend. „Der geistige Einfluß lenkt, aber er bewegt nicht“ (Robert Mayer). „Der Stein muß gestoßen werden; der Mensch gehorcht einem Blick“ (Schopenhauer).

Und wie ist es nun mit der so viel umstrittenen „Lebenskraft“ des Organismus, über die vor hundert Jahren und auch weiterhin so viel und so heftig für und wider geschrieben worden ist? Im Lichte von Robert Mayers Kraftlehre und Wirklehre ist die Lösung des Rätsels ungemein einfach. Als Arbeit leistende *Wirkkraft* oder gar als eine aus dem Nichts Etwas schaffende *Zauberkraft* hat die Lebenskraft seit Robert Mayer endgültig ausgespielt. Unanfechtbar aber erscheint der Begriff der „Lebenskraft“, wenn man darunter die schlechterdings nicht abzuleugnende Tatsache versteht, daß *sämtliche Lebensvorgänge eines lebenden Organismus einheitlich oder „ganzheitlich“* zusammengehalten und gesteuert werden, mit weitverzweigten und rangmäßig geschichteten Zuordnungsverhältnissen, die als Koordination (Korrelation) und Subordination, als ein *Befehlen und Gehorchen* beschrieben und mit den weitverzweigten Verwaltungsverhältnissen eines Staates verglichen werden können.⁵

Kurz gesagt: Unter Lebenskraft verstehen wir heute *die Summe oder das Integral aller im lebenden Körper wirksamen Anlaß-, Auslöse-, Richt-, Gestaltungs-, Heil- und Entwicklungskräfte*. Sie umfaßt verschiedene Hauptvermögen des Organismus: empfangene Reize der Umwelt sowie der eigenen Innenwelt aktiv, wahlhaft, zielstrebig zu beantworten (Spontaneität, Selbststeuerung), sowie sich in Wechselwirkung mit der Umgebung zu erhalten und auszugestalten (Entwicklung), und schließlich diese Potenzen auch den Nachkommen zu überliefern (Vererbung). „Die Fähigkeit zum Schaffen (Gestalten, Erfinden, Erdichten) ist die Grundfähigkeit der organischen Welt“ (Nietzsche).

„Der Wille aus dem Unbewußten faßt Zwecke und sucht sie zu verwirklichen“ (Hauer).

Für Lebenskraft in diesem Sinne (auch Vitalenergie genannt) gilt Schopenhauers Wort: „Wer die Lebenskraft leugnet, leugnet im Grunde sein eigenes Dasein, kann sich also rühmen, den höchsten Gipfel der Absurdität erreicht zu haben.“ Dazu noch sein weiterer Ausspruch: „Allerdings wirken im tierischen Organismus physikalische und chemische Kräfte, aber was diese zusammenhält und lenkt, so daß ein zweckmäßiger Organismus daraus wird und besteht — das ist die Lebenskraft.“ Für eine solche Lebenskraft (das große physiologische X) sind im Laufe der geschichtlichen Entwicklung die verschiedensten Worte in Gebrauch gekommen: vom „Archeus“ des Paracelsus und Blumenbachs „Bildungstrieb“ (Goethes „Bildegesetz“) bis zu Nietzsches „großer Vernunft des Leibes“, Drieschs „Entelechie“ und Lieks „innerem Schöpfer“.⁶

Kann man sich in der „Lebenskraft“ die einzelnen Richtkräfte des Körpers einheitlich zusammengefaßt denken, so werden auf höherer Ebene die „Lebenskräfte“ der einzelnen Organismen und der Organismenarten in einem einheitlichen Lebensfeld der Natur zusammenfließen, das *gleichzeitig Wirkfeld und Lenkfeld* ist. —

Bei der gebotenen Kürze der Darstellung konnten die Beziehungen zwischen katalytischer Kraft, Lebenskraft und Willenskraft nur in groben Umrissen gezeigt werden. Wesentlich ist, daß es sich in *allen drei Fällen um Arbeit veranlassende, auslösende und steuernde Kräfte handelt*, die, mit den arbeitenden Wirkkräften der Natur eng verbunden, begrifflich doch von jenen geschieden werden können, ja müssen.

Noch aber bleibt ein Einwand: Sind das tatsächlich *Realitäten*, ist das nicht zu grobe Anmenschlichung, insofern Einbildung, Illusion und Fiktion? Es hat Zeiten gegeben, da man in positivistischer Bedenklichkeit glaubte, den Begriff „Kraft“ aus strenger Physik ganz ausmerzen zu sollen und nur den *Bewegungsbegriff* übrig zu lassen. Heute weiß man, daß der Begriff der Kraft dem Bewegungsbegriff *nicht* zu weichen braucht, gibt es doch Zustände wie die einer gespannten Feder, einer explosiven Substanz, eines elektrischen Sammlers oder gar eines Ra-

diumatoms, die als „Teilchenbewegung“ nicht treffend (adäquat) beschrieben werden können, wohl aber als Zustand des Potentials, der Kraft, der potentiellen Energie des stofflichen Gebildes.

Unmittelbar gegeben sind für mich nur meine Erlebnisse, Leidnisse und Wirknisse, alles andere ist begriffliche Ordnung und Gestaltung auf Grund der Sinneswahrnehmung und Verstandestätigkeit. *Auslöse- und Richtkräfte sind nicht mehr und nicht minder „real“ als die arbeitleistenden (energetischen) Wirkkräfte.*

Will man die drei Hauptformen der Richtkraft in der Natur und ihr Verhältnis zueinander kurz kennzeichnen, so kann man sagen: Die Katalyse als stofflich bedingte Befehlsausgabe stellt die einfachste und wissenschaftlich durchsichtigste Form, insofern eine Art *Schema aller Richt- und Gestaltungskräfte* dar. Die Willenskraft ist eine in der Rangordnung der Richtkräfte hochstehende und von jedem Menschen als „freier Wille“ erlebte Form. Die Lebenskraft aber ist, weil sowohl stofflich-energetisch, wie seelisch nicht voll faßbar, die rätselhafteste und geheimnisvollste Form: eine Art Willenskraft und Gestaltungskraft des *Unbewußten und Unterbewußten*. Den Übergang von der sich völlig im Reich des Unbewußten vollziehenden („vegetativen“), lenkenden und zuordnenden Tätigkeit der Lebenskraft zu dem Gebiet der im Menschen zur vollen Entfaltung gelangenden bewußten Willenskraft bildet das Zwischenreich von *Trieb und Drang, Affekt und Instinkt*, wie es sich schon in der Abstufung des Tierreiches darstellt.⁷

Zum Schluß noch eine Bemerkung über den inneren Zusammenhang der von uns kurz erörterten Auslöse- und Richtkräfte: Ein Wählen, Lenken, Zuordnen, Entwickeln ist der Willenskraft wie der Lebenskraft in jedem Augenblick ihrer Betätigung nur möglich, weil sie sich auf der Grundlage eines *Chemismus* erhebt, der, wesensverschieden von starrem „Mechanismus“, eine *Spielraumgesetzlichkeit* ist. In einem chemischen System von der Art der Protoplasmagebilde kann im Rahmen energetischer Ordnung jeweils sehr Verschiedenes geschehen, je nach dem Einsetzen dieses oder jenes Katalysators, sowie den sonstigen stofflichen oder sonstigen Bedingungen; man denke an den

„elektrischen“ Einfluß nervöser Steuerung, der sich der hormonalen Führung im Lebewesen zugesellt. Nur so wird die viel besprochene Biegsamkeit und Schmiegsamkeit, *Labilität und Plastizität* des organischen Seins ermöglicht, die uns in der Hinfälligkeit und Dauerbedrohtheit des individuellen Lebens erschreckend entgegentritt, andererseits aber auch die größten Aussichten für mannigfachste Entfaltung, Steigerung und Höherentwicklung bietet.⁸

Anmerkungen:

1 Den Ausgangspunkt bildet das persönliche Kraftgefühl, das eine ganzheitliche Bündelung vermischter Organempfindungen, vor allem der willkürlichen Muskulatur, darstellt: Bereitschafts- und Spannungsgedühl vor, Anstrengungsgedühl während, Befriedigungs- und Erschöpfungsgedühl nach der Handlung. Nach Lotze ist Kraft „die Fähigkeit und die Nötigung zu einer nach Art und Größe bestimmten zukünftigen Leistung“. In strenger Wissenschaft behauptet nach Max Planck „das Potential den Vorrang vor der Kraft“ (...). Jedoch muß zugegeben werden, daß der Begriff des Potentials nicht den einleuchtenden Vorteil der unmittelbaren Anschaulichkeit besitzt, welcher dem der Kraft vermöge seiner Beziehungen zum Muskelsinn innewohnt“. — 2 Im Jahre 1852 hat Robert Mayer gesagt: „Es kommt ja zunächst nicht darauf an, was für ein Ding die Kraft ist, sondern welches Ding wir Kraft nennen wollen.“ Schon in seinem großen Aufsatz von 1845 hat R. Mayer die „katalytische Kraft“ von den arbeitenden Wirkkräften abgehoben; eine übersichtliche Darstellung hat er 1876 in dem Aufsatz „Über Auslösung“ gegeben. S. hierzu A. Mittasch, *Kraft — Leben — Geist*. (Eine R. Mayer-Lese) 1942. — 3 Im Jahre 1835 hat Berzelius die Vermutung ausgesprochen, „daß in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten vor sich gehen“. Wilhelm Ostwald hat gegen Ende des Jahrhunderts mit zahlreichen Schülern das Studium der Katalyse aufgenommen; dazu sind in den letzten Jahrzehnten auf dem Gebiet der Biokatalysatoren nebst sonstigen Wirk- und Reizstoffen vorher ungeahnte Aufschlüsse gewonnen worden. — 4 Der vom Willen eingeleitete Muskelprozeß ist von außerordentlich verwickelter Art; seine Einzelheiten sind noch heute nicht voll aufgeklärt. Wesentlich ist, daß gewisse chemische Verbindungen in den Muskelfasern in Gegenwart von Atmungssauerstoff eine Umwandlung erfahren, die durch Enzyme vermittelt und durch den Nerv gesteuert wird, und die eine Betätigung des Muskels (unter gleichzeitiger Wärmeentwicklung) zur Folge hat. — 5 Man hat die katalytische Kraft des Berzelius als „legitime Nachfolgerin“ der alten zauberischen Lebenskraft (gleichwie auch des magischen Steines der Welsen) bezeichnet. Tatsächlich kann die Bildung verschiedenartigster Stoffe im Organismus, die einst völlig rätselhaft war, heute der Wirkung von Biokatalysatoren zugeschrieben werden. Zu beachten bleibt aber, daß eine Katalyse definitionsmäßig sich lediglich auf die Verwirklichung einer Reaktion (nebst Begleit- und Folgeprozessen), nicht aber auf die Gesamtordnung vieler Prozesse bezieht. „Die große Frage bleibt, woher es kommt, daß der Organismus immer die passenden Katalysatoren einsetzt“ (Bavink). „Der Organismus ist den chemischen Stoffen gegenüber ein Katalysator großen Stiles, zusammengesetzt aus einer unzähligen Menge elementarer Katalysatoren, die er selbst erzeugt“ (Wundt). — 6 Auch da, wo man an derartigen Wörtern für die vereinheitlichende und zielstrebige Kommandogewalt des Organismus Anstoß nimmt, wird doch die zusammenfassende, ordnende und entwickelnde Fähigkeit des Organismus anerkannt; man spricht da etwa von Dominanten und Determinanten, von Funktionshierarchie, von Obergesetzlichkeit des Lebens, von Gestaltungskraft, von Autokausalität (R. Woltereck), von „Sichselbstantun“ des Lebendigen (P. Bommersheim), von Zielstrebigkeit und von Pla-

nung (J. v. Uexküll). „Die Welt besteht aus Energien und Dominanten“ (Johannes Reinke). — 7 Nachdem Berzelius den Begriff der „katalytischen Kraft“ aufgestellt hatte, ist dieser stark bekämpft worden (z. B. von Liebig), mit der Begründung, daß ein solcher Begriff der weiteren Forschung Schranken setze. Man hat damit Forschungsdrang und Experimentierfreude des Chemikers unterschätzt: er beruhigt sich nicht bei dem Wort „Katalyse“, sondern will wissen, wie es die Katalyse macht! So dürfte es sich auch mit der Lebenskraft als Gestaltungskraft verhalten. Die ganze Physiologie, ja die ganze Biologie, hat es mit der Frage zu tun, wie es die Lebenskraft macht! Nur muß man sich darüber klar sein, daß Lebenskraft, Archeus, Entelechie usw. keine Dinge oder Personen sind, sondern Begriffe, Abstraktionen, unmenschliche Symbole, die vor allem der Vereinfachung in Mitteilung und Fragestellung dienen. Wenn schließlich von der Willenskraft einmal gesagt worden ist, es sei ihr noch kein Physiker begegnet, so wird es genügen, wenn der Physiker ebenso wie jeder andere Mensch diese Willenskraft in sich erlebt hat. — 8 Leben bedeutet Erleben und ist ohne seelische Potenzen der Innerung (auf höherer Stufe auch Erinnerung) nicht denkbar. „Ich setze Gedächtnis und eine Art Geist bei allem Organischen voraus. — Alles organische Leben ist als sichtbare Bewegung koordiniert einem geistigen Geschehen. Ein organisches Wesen ist der sichtbare Ausdruck eines Geistes. — Das Ich-Geistige ist mit der Zelle schon gegeben. — Das Nervensystem und das Gehirn ist ein Leitungssystem und ein Zentralsystemsapparat zahlreicher Individualgeister von verschiedenem Range“ (Nietzsche).

Die Bedeutung der Biokatalyse¹⁾

Die weit getriebene Spezialisierung der Naturwissenschaft erweckt zunehmend lebhaftere Bestrebungen, Verbindungslinien zwischen den einzelnen Disziplinen zu ziehen und auf diesem Wege mehr und mehr zu einem einheitlichen Naturbild zu gelangen. Zu den grundlegenden Begriffen, die in hohem Maße geeignet sind, hierbei nützliche Dienste zu leisten, gehört der *Katalysebegriff*, der seinem Inhalt nach von der Chemie bis in das Gesamtgebiet der biologischen Wissenschaften reicht.

Einige Vorbemerkungen mögen die Eigenart der Katalyse beleuchten. In der Körpermechanik gibt es nichts, was chemischer Katalyse unmittelbar an die Seite gestellt werden könnte. Katalyse setzt eine Spielraumgesetzlichkeit voraus, wie sie im Chemismus tatsächlich gegeben ist; und zwar handelt es sich um zweierlei Spielraum, um einen Spielraum hinsichtlich der Geschwindigkeit von Vorgängen und einen Spielraum der Art und Richtung ihres Verlaufes. Daß es einen Spielraum geben kann, rührt von der Eigenart des Chemismus her, indem hier energetisch und thermodynamisch mögliche, ja notwendige Vorgänge in der Regel nicht mit solcher Plötzlichkeit und Unvermeidbarkeit eintreten wie etwa astronomische Bewegungen. Gehen wir von hohen Temperaturen abwärts, so erscheinen zunehmend eigentümliche Hemmungen und Hinderungen, die zum Beispiel bewirken, daß man ein Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch bei gewöhnlicher Temperatur aufbewahren kann, ohne daß eine Wasserbildung beobachtet wird — trotz der starken Affinität der Gase zueinander und der hohen Wärmetönung der Reaktion.

In diesen Spielraum der Zeit kann der Katalysator beschleunigend eingreifen. Er kann aber noch mehr, wie wir an einem anderen Beispiel ersehen können: Ein Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemisch besitzt starkes Vereinigungs-Bestreiben, wenn auch nicht in dem Maße wie ein Sauerstoff-Wasserstoff-Gemisch. Auch hier findet bei niedrigen und mittleren Temperaturen von selbst keine Reaktion statt; sie tritt erst ein bei Gegenwart eines Katalysators. Hier kann aber je nach der Natur des Katalysators der

¹⁾ Universitas 1947,

Vorgang verschiedene Wege einschlagen: es kann Methan entstehen, oder Methanol oder flüssige Kohlenwasserstoffe und anderes mehr.

Bei all diesen Prozessen macht sich eine *Stufenregel* und eine *Haltepunktregel* des Chemismus bemerkbar. Die Stufenregel sagt, daß der chemische Vorgang nicht sprunghaft in die endgültige Gleichgewichtslage übergeht, sondern daß er verschiedene Zwischenstufen und Zwischenreaktionen durchläuft; und die Haltepunktregel stellt fest, daß der Vorgang je nach Umständen auf einer mittleren Station anhalten kann. Es gibt totale Gleichgewichte und Partialgleichgewichte; und es ist zumeist Sache eines Katalysators, nicht nur in welcher Richtung der Prozeß laufen soll, sondern auch wie und wo er anhalten soll.

Wir gelangen so ohne weiteres zu einer Begriffsbestimmung der Katalyse als einer „arteigenen chemischen Kausalitätsform“ (Othmar Spann). Katalyse ist stofflich vermittelte Auslösung, Befehlgebung und Steuerung chemischer Vorgänge, oder genauer: die Erscheinung, daß ein chemischer Körper, scheinbar durch seine bloße Gegenwart, chemische Reaktionen und Reaktionsfolgen nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmt. Das Wort „scheinbar“ ist wichtig. Wie genauere Untersuchung zeigt, wirkt der Katalysator, indem er seine eigenen Affinitäten hinzubringt und verfolgt; er wirkt in der Regel auf dem Wege rasch wechselnder Einschaltung und Ausschaltung in das System, unter Bildung von Anlagerungs- und Zwischenverbindungen oder auch auf dem besonderen Wege des Anstoßes von Kettenreaktion, letzteres zum Beispiel bei der zündenden Einwirkung von Platin auf ein explosives Knallgasgemisch. Nur *in summa*, hinsichtlich des Bruttovorganges hat der Katalysator keine Arbeit geleistet, aus der Gesamtbilanz fällt er heraus; und darum kann er auch immer wieder repetieren, sofern ihm neues Substrat gegeben wird, im Grenzfall unendlich viele Male und unendlich lange Zeit.

Hinzugefügt sei noch, daß Stoffgemische oft überadditives oder unteradditives Verhalten in katalytischer Beziehung zeigen. Eine Minderwirkung ist als Vergiftung schon lange bekannt; eine Mehrwirkung — quantitativ oder qualitativ — ist erst in den letzten Jahrzehnten als

„Aktivierung“ vielfach beobachtet worden. Systematisch verfolgt wurde dieser Aktivierungsvorgang zum erstenmal in den Jahren 1909—1910 von mir für den Vorgang der katalytischen Ammoniaksynthese.

Nur acht Druckseiten hat vor reichlich hundert Jahren Jakob Berzelius in Stockholm gebraucht, um seine nachmals so berühmt gewordene „*Idee von der katalytischen Kraft*“ der Welt vorzulegen („Jahresbericht der physischen Wissenschaften für 1834“, deutsch erschienen 1836, S. 237 bis 245). Zu einer Zeit, da die alte Vorstellung der „*Lebenskraft*“ als einer alle stofflichen Vorgänge in den Organismen unmittelbar verursachenden und leitenden geheimnisvollen Macht immer mehr in Zweifel gezogen wurde, stellte Berzelius die kühne Vermutung auf, daß es in unzähligen Fällen *chemische Stoffe* seien, die durch ihre bloße Gegenwart die stofflichen Umsetzungen in den lebenden Körpern ebenso gesetzmäßig bestimmen und vermitteln, wie dies vermöge der Kunst des Chemikers in anorganischen Gebilden geschieht. Ebenso wie — nach Entdeckungen jener Zeit — eine Spur Metallstaub unbeschränkte Mengen Wasserstoffsperoxyd in Wasser und Sauerstoff zu zersetzen vermag, ohne dabei selber irgend eine sichtbare Veränderung zu erleiden (Thénard 1818), und wie eine kleine Menge Platinschwamm durch seine bloße Gegenwart beliebig viel Knallgasgemisch schon bei gewöhnlicher Temperatur entflammt, das heißt in Wasser verwandelt (Döbereiner 1823), so sollen in den Organismen Tausende derartiger sonderbarer, von Berzelius „katalytisch“ genannter Vorgänge — in den Körpersäften und an deren Grenzen — sich ereignen, die dadurch gekennzeichnet sind, daß ein reaktionsfremder und scheinbar „indifferenter“ Stoff unter passenden Umständen irgendwie imstande ist, bestimmte chemische Vorgänge hervorzurufen und zu lenken, und zwar derart, daß kleinen stofflichen Ursachen große stoffliche Wirkungen entsprechen.

Wir wissen, daß diese Begriffsbildung von Berzelius eine ungemein glückliche und erfolgreiche gewesen ist. Die in späteren Zeiten fortgesetzte und insbesondere durch Wilhelm Ostwald (siehe seinen Nobelpreis-Vortrag von 1909) reaktionskinetisch — mittels der Vorstellung einer „*Beschleunigung*“ — wesentlich vertiefte katalytische For-

schung, ferner die große Zahl blühender katalytisch-chemischer Industriezweige wie etwa der Kontaktschwefelsäure, der Chlorgewinnung nach Deacon, des synthetischen Ammoniaks, des Methanols und des Hydrierbenzins, und schließlich die gleichfalls in den vergangenen Jahrzehnten zu großartiger Entfaltung gediehene Erforschung der Stoffwechsel-Enzyme als Biokatalysatoren legen hiervon Zeugnis ab.

Konnte man zu Berzelius' Zeiten diejenigen biochemischen Vorgänge, die als katalytische Prozesse anzusprechen waren, noch an den Fingern abzählen (Hefegärung; Stärkeverzuckerung durch Diastase; Pepsin als Verdauungsferment: Schwann 1836; Amygdalin-Spaltung durch Emulsin: Liebig und Wöhler 1837), so bedarf es heute schon dicker Bücher, um den Reichtum des Wissens über die Enzyme des Stoffwechsels — in Auf- und Abbau — niederzulegen.

Dabei regen sich seit geraumer Zeit wissenschaftliche Bestrebungen, die noch eine wesentliche Erweiterung in der Anwendung des Begriffes „*Biokatalysator*“ versprechen.

In den wichtigen Gebieten der Vererbung und der Formbildung des Wachstums und der Entwicklung sind mehr und mehr *Stoffe* als die unmittelbare und nächste „*Ursache*“ des Geschehens erkannt worden. Wir erinnern an Hormone, Vitamine und Wuchsstoffe, an die „*Organisatorstoffe*“ von Hans Spemann und anderen, sowie an die für die Vererbung von Formbildung und Merkmalen maßgebenden „*Genstoffe*“ usw. Bei stofflichen „*Reizwirkungen*“ im Leben von Pflanzen und Tieren spielt die Katalyse eine wichtige Rolle in dem Sinne, daß thermodynamisch mögliche, aber infolge der „*Reaktionsträgheit*“ der meisten chemischen Stoffe nur mit ungenügender Geschwindigkeit oder gar nicht stattfindende chemische Reaktionen und Reaktionsfolgen durch bestimmte Stoffe als „*entgeltfreie Helfer*“ oder „*bilanzfreie Impulse*“, also durch Katalysatoren hervorgerufen und gesteuert werden.

Dabei darf auch der Fall der *Autokatalyse* (Keim- oder Zuwachskatalyse) als einer Beschleunigung chemischer Reaktionen durch reaktionseigene Stoffe (End- oder Zwischenprodukte) nicht übersehen werden: in Assimilation und Regeneration, in Wachstum und Vererbung ist Autokatalyse in Verbindung mit Allokatalyse (Fremdkatalyse) tätig.

Krankheiten können irgendwie durch *Fehikatalysen* verursacht sein — S. Hahnemann sprach einst zum Beispiel von Ansteckungszunder —, so daß das Tun des Arztes darauf hinausläuft, die katalytischen „*Entgleisungen*“ durch Hilfs- oder Gegenkatalysen oder durch Anrufung höherer Instanzen der hierarchischen Ordnung der Organismen zurechtzurücken.

Allerdings wird man sich hüten müssen, sämtliche im Chemismus und Kolloidchemismus des gesunden oder kranken Körpers sich betätigenden Wirk- und Reizstoffe, Gift- und Ansteckungstoffe, Spezial- und Prägungstoffe ohne weiteres als „*Katalysatoren*“ anzusprechen, so sehr der in der Regel geltende Satz von kleinen stofflichen Ursachen und großen stofflichen Wirkungen dafür spricht. Entscheidend für das Vorliegen einer Katalyse wird immer die Frage sein, ob der als Biokatalysator angesprochene Stoff dadurch wirkt, daß er sich auf dem Wege neuer Zwischenreaktionen vorübergehend in das Geschehen einschaltet, unmittelbar anschließend aber auch wieder ausschaltet, so daß er also im idealen Falle dauernd, praktisch indes — weil selber im Flusse vom „*Werden* und *Vergehen*“ stehend — eine Zeitlang zu „*repetieren*“ vermag; dies aber festzustellen, begegnet oft den allergrößten Schwierigkeiten und wird dann schließlich nur durch vereinte Bemühungen von Physiologen und Chemikern erreichbar sein.

So liegt hinsichtlich der stofflichen Bewirkung stofflicher Vorgänge in den Organismen, insbesondere auf dem Gebiet organischer Formbildung, ein ungeheuer weites und dankbares Arbeitsfeld auch für die Zukunft vor, wobei ein Brückenbau von der katalytischen Chemie zur Biologie reiche Erfolge verspricht. Daß die katalytische Forschung der Kulturnationen auch derartigen schwierigen Aufgaben gewachsen sein wird, läßt sich bei dem weit fortgeschrittenen Zustand der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsmethoden erwarten, zumal auch die Theorie der Katalyse neuerdings, begünstigt durch die Entwicklung von Atomphysik und Elektronik, einen bedeutsamen Aufschwung genommen hat.

Bei einem Vorwärtstragen des Katalyse-Begriffes in neue Arbeitsgebiete der Morphologie und Entwicklungslehre

(morphogene Katalyse oder Formkatalyse) wird man sich indessen der Grenzen der katalytischen Leistung bewußt sein müssen, die immer nur ein Einzelnes bedeutet. Es bleibt also die große Frage nicht nur nach der Entstehungs- und Wirkungsweise des Biokatalysators im Einzelfalle, sondern vor allem nach der Ursache des planmäßig erscheinenden (ganzheitlichen) Zusammenwirkens der unzähligen Katalysatoren im gesunden pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismus. Hierfür gilt noch immer das 1847 gesprochene Wort von Berzelius: „Wie ernstlich wir uns auch bemühen, einen Blick in diese Laboratorien des Lebens zu werfen, so nehmen wir doch niemals den *spiritus rector* wahr, welcher diese Kräfte bestimmt, nach seinen Zielen zu wirken. Inzwischen erlauschen wir doch hier und da etwas von seinen Geheimnissen, und wie weit wir damit bei einer fleißigen Forschung in Zukunft kommen werden, kann niemand voraussehen. Eines von diesen erlauschten Geheimnissen haben wir in der Anwendung gefunden, welche die lebende Natur von der katalytischen Kraft macht.“

Zweiter Teil:

ÜBER DAS WIRKEN IN DER NATUR

Da Katalyse eine der Weisen ist, in denen der Mensch gemäß dem ihm innewohnenden Kausalprinzip ursächliche Zusammenhänge in die Natur legt, so hat sich bei der Verfolgung des katalytischen Gedankens ganz von selbst die Notwendigkeit ergeben, auch die anderen Formen von „Kausalität“ in Betracht zu ziehen. Der nun folgende zweite Teil der Abhandlungen steht darnach unter dem Zeichen des Wirkens in der Natur, wobei auch einige andere erkenntnistheoretische Fragen, insbesondere der „Ganzheit“ als einer Wohlordnung in der Gleichzeitigkeit — statt der kausalen Wohlordnung in der Aufeinanderfolge von Ereignissen — gestreift werden.

Begreiflicherweise ist die sachliche Scheidung keine vollkommene, indem bereits im ersten Teil neben der katalytischen Bewirkung hie und da andere Wirkformen der Natur berücksichtigt wurden. Als Hauptbegriff tritt in den Aufsätzen des zweiten Teiles Robert Mayers Auslösungsbegriff hervor.

Über Ganzheit in der Chemie*

„Das Ganze ist mehr oder anders als die Summe seiner Teile.“
Adolf Meyer-Abich.

„Das Ganze lebt in jedem seiner Teile.“

Fr. Kottje.

Heißt es nicht offene Türen einrennen, wenn man chemischen Fachgenossen zur Anregung etwas über „Ganzheit“ in der Chemie sagen will? Da doch schon dem chemischen Anfänger klar wird, daß die Welt der Stoffe nicht ein gleichförmiges Nebeneinander elementarer „Bausteine“ ist, sondern in einer dauernd beweglichen „Rangstufenordnung“ besteht, die, vom Elektron, Proton und Neutron ausgehend, über Atome, Molekeln, Aggregate und „Körper“ zu immer höheren Einheiten fortschreitet, und zwar in den oberen Stufen und Schichten so offenkundig zu wirklichen *Neubildungen* fortschreitet, daß die wissenschaftliche Betrachtung sehr bald zu sprachlich-begrifflichen Unterscheidungen kommen mußte! Und läuft nicht die Entwicklung der chemischen Systematik zu einem großen Teil darauf hinaus, daß die *begriffliche Festlegung und Scheidung der verschiedenen „chemischen Ganzheiten“ immer schärfer und präziser wird?* Es sei in dieser Beziehung nur an die Entwicklung der Kolloidchemie in den letzten Jahrzehnten erinnert und an die gegenwärtige lebhaftige Erörterung über die Valenzkräfte in „Makromolekeln“ u. dgl. auf dem Gebiete der Faserstoff-, Eiweißstoff- und Kunststoff-Forschung!¹

Es wird sich demnach hier nur um eine kurze andeutende Prüfung der *begrifflichen Grundlagen* handeln, im Anschluß an die gegenwärtigen „Ganzheits“-Betrachtungen in anderen Naturwissenschaften und zu dem Zweck, aus einer ersten übersichtlichen Darstellung womöglich zu neuen Fragestellungen zu gelangen. Wir unterscheiden dabei — im Anschluß an den gewöhnlichen, sowie den wissenschaftlichen Sprachgebrauch — *fünf mögliche Formen der Ganzheit:*

1. Algebraische oder niederste Ganzheit: das Ganze ist gleich der Summe seiner Teile (einfache Summenhaftigkeit).

* Angewandte Chemie 49 (1936) 417—420.

2. „Mechanische“ Ganzheit (Vollständigkeit und Lückenlosigkeit): das Ganze mehr als die Summe seiner Teile, wenn es *dynamisch* betrachtet wird.
3. und 4. Höhere oder *eigentliche* Ganzheit: das Ganze mehr *und anders* als die Summe seiner Teile (Funktions- und Gliedganzheit, höhere Einheit einer „Gestalt“). 3. Chemische Ganzheit, 4. Organische Ganzheit (nach Driesch *eigentliche* Ganzheit).
5. Höchste metaphysische Ganzheit: das Ganze *vor* den Teilen und in diesen wirkend (platonische Idee; aristotelische Entelechie).

Übersummativ Ganzheit besteht für ein Gebilde immer dann, wenn dafür nicht zutrifft, daß die „Teile“ in der „Zusammensetzung“ unverändert weiterbestehen. Dieses Unverändertbleiben ist schon nicht vollkommen gegeben, wenn neue „Beziehungen“ und „Zusammenhänge“ auftreten, noch weniger aber, wenn die Teile beim Zusammengefügtwerden ihr eigenes Wesen, ihre eigene Tätigkeit ändern. „Was auf höherer Basis in Gemeinschaft mit anderem als Baustein erscheint, ist, genau für sich besehen, Vorgang“ (Müller-Freienfels). „Weder ist die Ganzheit aus den Teilen, noch sind die Teile aus dem Ganzen ableitbar“ (Oldekop). „Das Ganze ist in einem bestimmten Zustand, die Teile nicht“ (Schrödinger). „Der Zustand der Teile ist vom Ganzen her bedingt“ (A. Wenzl).

Hiernach läßt sich zu den Formen der Ganzheit folgendes sagen:

1. Diese Ganzheit besteht im Grunde nur in der algebraischen Abstraktion: $4 = 3 + 1$ usw., indem von den realen physikalischen Bedingungen völlig abgesehen wird und lediglich das Schema als „Fiktion“ zurückbleibt.
2. Scheinbar ist die niederste Form 1 der Ganzheit noch in *Artefakten* und in sonstiger „Komposition“ vorhanden: so wenn das Kind aus Bauklötzchen einen Turm baut, der Vogel ein Nest, der Ingenieur mit seinen Arbeitern eine Maschine, oder wenn der Künstler ein Bildwerk schafft. Sieht man genau zu oder tritt man sogar mit genauen physikalischen Messungen heran, so zeigt sich alsbald, daß zumal *an den Grenzen der zusammengefügt* Teile unter den neuen „Systembedingungen“ neue Verhältnisse auf-

treten: Druckveränderungen der Oberflächen, elektrostatische Grenzpotentiale und Doppelschichten, Kohäsions- und Adhäsionskräfte (auch van der Waalssche Kräfte) usw. Nimmt man das Moment der Zeitdauer hinzu, so wird es noch deutlicher, daß der *Begriff einfachster algebraischer Ganzheit schon hier überschritten* ist: ein Haufen Heu verhält sich anders an Sonne und Luft als die gleiche Anzahl Halme auseinandergestreut, eine Masse Apfel wird an einzelnen Exemplaren bald Druckstellen, Verfärbungen usw. aufweisen. Immerhin wird in solchen Häufungen oder „Artefakten“ der algebraische Ausdruck der tatsächlichen Ganzheit noch einigermaßen adäquat erscheinen, wobei indes bei Produkten wie Webstoffen, Bau- und Bildwerken schon Übergänge nach 3 erscheinen.

3. und 4. Hier ist die *Domäne der chemischen Ganzheiten einerseits, der organischen andererseits*, mit einem scharfen Einschnitt und einer deutlichen Rangordnung in dem bekannten Sinne, daß bei organischen Ganzheiten als neues Moment die *Belebtheit* hinzukommt. Demgemäß beobachten wir wohl die Entstehung von Molekeln durch Zusammentritt der Atome, von Gasen, Flüssigkeiten und Kristallen aus Molekeln, nie aber die Entstehung einer Zelle durch freiwilligen Zusammentritt verschiedenartiger Molekeln und Makromolekeln. „Lebendige Struktur“ entsteht nur aus lebendiger Struktur.

5. Von der Betrachtung organischer Ganzheit — die in der psychophysischen und psychologischen Ganzheit ihr „innerliches“ Gegenstück hat — kommt man zu der philosophischen Vorstellung, daß das Ganze als das Beherrschende und Beherrschende wohl zeitlich und ursächlich irgendwie dem Einzelnen vorangehen müsse².

Wir haben es hier lediglich mit *einer* Form der höheren oder eigentlichen „Ganzheit“ zu tun, und zwar mit der „*chemischen Ganzheit*“ (3), wobei wir in der glücklichen Lage sind, für die *atomphysikalische Grundlegung* zuverlässige Kronzeugen anrufen zu können. So lesen wir bei P. Jordan³, daß das Neutron nicht notwendigerweise als aus den drei Bestandteilen Proton, Elektron, Neutrino „zusammengesetzt“ aufgefaßt werden müsse. „Die angemessene Auffassungsweise wird also die sein, daß wir Elektron und Neutrino (bzw. Positron und Neutrino) als

erst beim Umwandlungsprozeß Neutron-Proton (bzw. Proton-Neutron) erzeugt ansehen, ebenso wie wir ein von einem Atom emittiertes Lichtquant als erst im Emissionsakt erzeugt ansehen.“ Und ähnlich bei Niels Bohr⁴: „Wir müssen uns zunächst klar machen, daß wir nicht einmal die Berechtigung haben, die Existenz der Teilchen, die bei Kernumwandlungen frei werden, im Kern selbst anzunehmen.“ Man wird vielmehr gezwungen „zu der Annahme, daß der β -Zerfall ein Prozeß ist, bei dem ein Elektron als eine Einheit im mechanischen Sinn erst erzeugt wird“. Der „außerordentlich dichte Zustand der Materie im Kern“ aber erscheint als eine „fundamentale Äußerung der Atomistik der Elektrizität, die durch die gegenwärtigen Theorien des Atombaus nicht erklärt werden kann.“ Ähnlich auch L. Meitner und M. Delbrück⁵, wonach nicht gesagt werden kann, das Wasserstoffatom bestehe aus einem Kern, einem Elektron und einem Lichtquant; ferner F. v. Weizsäcker⁶, mit Betonung der Austauschfähigkeit der „elektrischen Ladung“ zwischen Proton und Neutron im Kern.

Das Atom der Quanten- und Wellenmechanik steht dann nicht „in sinnloser Abgeschlossenheit dem sogenannten leeren Raum gegenüber wie ein demokritisches Atom“ (Kottje), hat damit aber auch jede „Anschaulichkeit“ eingebüßt.

Wird diese Unzulänglichkeit jeder „Billardkugelmechanik“ für die Beschreibung „inneratomaren“ Geschehens berücksichtigt und dazu noch allgemein der Doppelaspekt der letzten „Bausteine“ der Materie als „Korpuskel“ und „Welle“, sowie die Möglichkeit einer „Zerstrahlung“ von Materie und einer Rückbildung aus Energie⁷, so nimmt es nicht wunder, wenn Heisenberg kurzweg erklärt: „Jede Art von Bild, das unsere Vorstellung vom Atom entwerfen möchte, ist eo ipso fehlerhaft“⁸. „Ereignisse sind von einem Ganzen abhängig, das sich nicht räumlich-zeitlich in immer kleinere Teile zerlegen läßt (Burkamp)⁹.“

Was aber hat das für den Chemiker zu bedeuten? Nicht weniger, als daß das altgewohnte Bild der „Zusammensetzung“ aus „Wirklichkeitsklötzchen“ (Paulsen) in der Atomphysik im Stiche läßt, und daß hier *wirklich und wahrhaft das Ganze eines Atoms mehr und ganz anders*

ist als die Summe der „Teile“; funktionell dynamische Zusammenhänge einer mehr oder weniger reversiblen „Entstehung“ müssen dann an Stelle des mechanistischen und topographischen Bildes einer (für gedachte „Mikroaugen“ sichtbaren) „Zusammensetzung“ treten, eines Bildes, das für tieferes Eindringen endgültig und restlos erkenntnistheoretischen Wert und reale Bedeutung verloren hat.

Die Folgerungen aber, zu denen eine derartige Überwindung jeder Bauklötzchen-Atomistik führt, sind sehr groß und weitreichend. Ist es doch so, daß alle *unsere sprachlichen Ausdrücke auch für Nichtmechanistisches doch mechanistische* (d. h. zeiträumliche) *und hoministische Urbedeutung haben*, wie die Worte „Aufbau“, „Zusammensetzung“, „Umsetzung“, und „Zersetzung“, „Verbindung“ und sogar „Glied“ und „Ganzheit“ deutlich zeigen, die aus dem Wirkungskreis des Menschen und aus seiner „Erfahrung“, vornehmlich auf Grund des Gesicht- und Tastsinnes, stammen und demnach nicht anders als räumlich-mechanisch „vorgestellt“ werden können (vorstellen — auch wieder ein „mechanistischer“ Ausdruck!). Für die wahren und wirklichen Verhältnisse im Atom fehlt darum jede raumzeitliche Vorstellungsmöglichkeit, und nur mathematische und andere *begriffliche Symbole „unanschaulicher“ Art* können dazu dienen, die atomare Wirklichkeit zu ordnen und zu beherrschen¹⁰.

Wenn es sich dergestalt aber mit dem „Aufbau“ des Atomes verhält, von dem längst anerkannt ist, daß streng genommen das geniale Modell von N. Bohr nicht viel mehr als eine erste Annäherung bedeutet, ist es dann etwa mit dem *Aufbau von Molekeln aus Atomen viel anders?* Schon Hegel hat an dem Bilde der „Zusammensetzung“ von „Verbindungen“ wie Chlornatrium aus Chlor und Natrium Anstoß genommen und die „Zusammensetzung“ als *niederste Form der Ganzheit bezeichnet*¹¹. So zeigen denn schon ältere energetische Betrachtungen mehr summarischer Art, noch mehr aber die neuere atomphysikalische, speziell auch spektroskopische Durchdringung der Verhältnisse, daß in Wahrheit auch die *Molekel nicht einfach aus Atomen „zusammengesetzt“* ist und daß die Modelle, die wir uns davon machen — und die uns

senr gute und unentbehrliche Dienste leisten — doch das Beste und „Innerlichste“ nicht wiedergeben: die Art der „Zusammenhänge“ und „Beziehungen“, die wir uns wiederum nur rein mechanisch vorstellen und durch gezogene Drähte und Stäbchen und hängende Fädchen („Strich“valenzen) „ausdrücken“ können¹²! Um ein extremes Beispiel zu nehmen: Selbst wenn in einer komplizierten Molekel mit dem Molekulargewicht von sagen wir 10 000 oder mehr ein einfaches H-Atom durch eine CH₃-Gruppe „ersetzt“ wird, wird *dieser Ersatz das Ganze der Molekel bis in ihre äußersten entgegengesetzten Enden nicht unbeeinflusst lassen — nur daß zunächst die Worte fehlen, um die Änderung des Ganzen in dem veränderten „Felde“ präzis wiederzugeben.* (So bilden ja nach Hückel u. U. die nicht paarweise in Einzelbindungen unterzubringenden „p-Elektronen“ eine über die ganze Molekel ausgebreitete zusammenhängende Ladungswolke.) Ähnlich wird es sein, wenn bei einer Polymerisierung an eine makromolekulare Radikalkette von sagen wir 100 einzelnen molekularen Gliedern ein 101. Glied sich anfügt (s. Meyer und Mark, Staudinger, Heß, Herzog u. a.). Nur sind hier die Beeinflussungen des Ganzen durch das hinzukommende Neue thermochemisch-energetisch und demgemäß auch stofflich oftmals so geringfügig, daß man praktisch davon absehen kann. Andererseits finden sich in der Kolloidchemie mannigfache Übergänge der „Makromolekeln“ zu „Häufungen“ (s. 2), die theoretisch noch kaum recht beherrscht werden (s. Wolfgang Ostwald u. a.). Der Wert, den zukünftige verschärfte Ganzheitsbetrachtungen auf streng wissenschaftlicher Grundlage für den Begriff der „Valenz“, für die Beherrschung der verschiedenartigen Makromolekeln und für die „Komplexe“ und „Aggregate“ der Kolloidchemie mehr und mehr gewinnen können, ist sicher recht hoch zu veranschlagen¹³.

Wird jede Abweichung von rein additivem Verhalten einer Gesamtheit gleichartiger oder ungleichartiger Einheiten (beliebigen Grades) und jede gegenseitige „Beeinflussung“ (man beachte wieder den ursprünglichen Wort-sinn!) als Hinweis auf höhere „ganzheitliche“ Verhältnisse angesehen, so erscheint als eine rein mechanische „Häufung“ mit deren einfachen statistischen Gesetzmäßigkei-

ten lediglich der Zustand des „idealen Gases“, während jede stoffliche Gesamtheit mit kolligativen und konstitutiven Eigenschaften Züge echter chemischer Ganzheit trägt. Eine Lösung z. B. ist „eine durch gleichmäßige Verknüpfung aller Molekelteile durch Restvalenzen bestehende Ganzheit“ (K. L. Wolf).

Als ein besonderer Fall ganzheitlicher chemischer Verhältnisse sei angeführt das *ganzheitliche Zusammenwirken von Einzelstoffen bei Mehrstoffkatalysen* (stoffliche Aktivierung), mögen dabei die einzelnen zusammenwirkenden Stoffe dauernd räumlich vereinigt sein — wie bei den festen Mehrstoffkatalysatoren der Technik und den Enzymen der Biochemie — oder in einem homogenen Medium gleichmäßig verteilt (z. B. gemeinsam katalysierende Cu- und Fe-Ionen in wäßrigen Lösungen). Unzählige Fälle sind heute für ein nicht-additives Zusammenwirken der einzelnen „Teile“ des einheitlichen Ganzen eines Mehrstoffkatalysators bekannt, und wenn auch eine Totalanalyse des katalytischen Gesamtprozesses letztthin vielleicht *das ganze Resultat als Gesamtfunktion der Wirkungen der Einzelbestandteile* nachzuweisen imstande ist¹⁴, so kann *von einfacher Summation* derjenigen Vorgänge, die jeder „Teil“ für sich allein gegebenenfalls verursachen würde, *in keiner Weise die Rede sein.* Auch hier verhält sich das Ganze anders und „höher“ als die einfache Summe seiner Teile!

„Die arcana der Elemente sind unsichtbar“ (Paracelsus). „Die Bausteine der Materie = ein Gefüge von Kräften“ (E. Becher). „Gestalten werden nicht durch Summation aufgebaut“ (Wo. Köhler). „Die chemische Struktur ist höchstwahrscheinlich mechanistisch nicht erklärbar. Schon die untersten Stufen der Formbildung, wie Atom-, Molekül-, Kristallbildung scheinen der rein mechanistischen Erklärung verschlossen zu sein“. „In jeder neuen schöpferischen Einheit oder Ganzheit der Form haben wir es mit einer nicht weiter ableitbaren Urtatsache der Natur zu tun; jede Stufe repräsentiert einen wahren schöpferischen Akt der Natur“ (Oldekop).

Wie dann auf *höherer biologischer Stufe* wiederum neue stoffliche Gesetzmäßigkeiten auftreten, die kaum den „Urbestandteilen“ der Materie ohne weiteres imma-

nent sein können, zeigt besonders deutlich das Beispiel der in den Mendel-Gesetzen und deren Weiterführung hervortretenden „Wohlordnung“ des Vererbungsgeschehens, die sogar mathematisch faßbar ist, ohne daß — bei aller Verträglichkeit — mit einem zukünftigen Aufgehen in die Quantenmechanik oder dergleichen gerechnet werden kann.

Die kurzen Andeutungen über die chemische Ganzheit als eine „Ordnungsform im Gleichzeitigen“ mögen genügen, den Blick der Fachgenossen auf eine Betrachtungsweise der chemischen Dinge hinzulenken, die sachlich keineswegs neu ist, in methodischer und sprachlicher Hinsicht aber Brücken baut zu analogen Verhältnissen auf anderen Gebieten, ja auch in ganz anderen Wissenschaften, wie Biologie, Medizin, Psychologie, Ökologie, Volkswirtschaft, Politik und Geschichte¹⁵. Ein *verstärktes Aufsuchen und Beachten dynamischer Ganzheitsbeziehungen in der Chemie* wird demnach nicht nur im einzelnen zu bestimmten neuen Fragestellungen und Fragebeleuchtungen führen (weniger wohl zum Lösen von Problemen!), sondern auch dem „Ziehen von Fäden“ aus einem Gebiet in das andere zuträglich und darum besonders wertvoll und zeitgemäß zu sein.*

Einer oberflächlichen Betrachtung konnte einst die Welt des Stoffes als ein einfacher „Aufbau“ aus unveränderlichen „Ur-Teilchen“ (früher „Atomen“, später deren „Urbestandteilen“) erscheinen, die auch im höheren Zweckverband „unverändert“ beharren wie der Ziegelstein im Mauerwerk, so daß die „Spielregeln“ jener Urbestandteile („Naturgesetze“ genannt) unmittelbar die Ordnung des Makrokosmos ergeben. Einer tiefer dringenden Analyse erscheint eine andere Auffassung sachgemäßer: Nicht nur, daß das, was im Atom oder in der Molekel wie ruhendes *Sein* aussehen kann, in Wirklichkeit ein kaum zu entwirrendes *Dauergeschehen* ist (und zwar im

* Bemerkung 1947: Als Beispiel für die seither in Ganzheitsbetrachtung gemachten Fortschritte sei die Anwendung auf die Formen chemischer Bindung und auf Werkstoff-Forschung genannt (K. Daeves, Stahl und Eisen 1938, 1397). Auch an die „Energiewanderung“ in Molekulargebildern sei erinnert. „Es gibt für den Naturforscher gar keinen anderen Weg, das Ganze zu verstehen, als, immer tiefer eindringend, die Wechselwirkung der Teile zu analysieren“ (W. J. Schmidt, Naturwiss. 1938, 181). Siehe auch H. J. Feuerborn: „Zum Begriff der Ganzheit lebender Systeme“, Naturwiss. 1938, 763.

Verband jeweils ein anderes Geschehen als in der Isolierung): *es gelten auch auf jeder Stufe der Stoffhierarchie neue Spielregeln*, die nicht restlos aus denen der Unterglieder abgeleitet werden können. Damit verliert die *mechanistische Weltformel* von Laplace u. a. ihren lockenden Schein; an ihre Stelle tritt eine geordnete, geschichtete und abgestufte „Geltungskontingenz der Naturgesetze“ (Boutroux), die ein zwar schwer übersehbares, dafür aber schließlich befriedigenderes, weil der „Wirklichkeit“ näherkommendes Weltbild zu begründen vermag. „Das neue Weltbild wird *dynamische Naturanschauung* sein, nicht *mechanische*“ (Wundt). —

Anmerkungen:

1 S. K. L. Wolf u. Trieschmann, „Valenzkraft und theoretische Chemie“, Z. ges. Naturwiss. 1, 1 (1936); H. G. Grimm mit seinen Arbeiten über die Systematik der chemischen Verbindungen, vgl. diese Zeitschrift 47, 53, 594 (1934); Rideal über Makromolekeln, ebenda 49, 60 (1936); Mark über Polymerisation u. a. m., ebenda 49, 229 (1936). Besonders sei an die intermetallische Bindung erinnert, wo die Bindungselektronen „als Leitungselektronen zur Gesamtheit der Atome des Metalls gehören“ (Vogt, ebenda 47, 734 (1934); Dehlinger, Naturwiss. 24, 391 (1936); ferner W. Biltz, Hückel, G. Hahn u. a. — 2 Über die Beziehung des Ganzheitsbegriffes zu Kausalität und Finalität s. das Schema in des Verfassers „Katalytische Verursachung im biologischen Geschehen“, Berlin 1935, S. 68. — 3 Fortschritte der Theorie der Atomkerne, Naturwiss. 24, 213 (1936). — 4 Neutroneneinfang und Bau der Atomkerne, ebenda 24, 242 (1936). — 5 „Aufbau der Atomkerne“, 1935. — 6 Forsch. Fortschr. 1936, 171; s. auch Debye, Kernphysik 1935. — 7 S. auch Schrödinger, „Über Indeterminismus in der Physik, 1932. — 8 Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft 1936, S. 43. — 9 Die Antworten, die ein Atom dem Experimentator auf energischen Zuspruch erteilt, sind nicht mehr als eine „Signalgebung“ — auch im Falle höherer Materiegrade, die schließlich das Atom zur Selbstaufgabe zwingen —, ohne daß dabei eine genaue „Topographie“ des Ganzen gewonnen würde. Und wenn Heisenberg weiter sagt, daß ein Verständnis „erster Art, für die Welt der Atome unmöglich ist“, so wird dies für die gesamte Welt der Physik und Chemie (auch die makroskopische) gelten; nur die Qualität der gefühlbetonten Empfindung (genauer der ganzheitlichen Wahrnehmung) und der bewußte Willensakt sind dem menschlichen Verständnis unmittelbar zugänglich. Über ganzheitliche Betrachtung in der Physik s. z. B. Planck: „Zu einem Verständnis der physikalischen Gesetzmäßigkeit gelangt man erst, wenn man „das physikalische Gebilde als Ganzes betrachtet.“ (Ähnlich Schrödinger über die Aussichten der „Gestalttheorie“ für die Physik. — 10 Daß Determinismus der „Konstellation“ für die atomare Welt versagt, ist oft ausgesprochen worden; s. z. B. Madelung in „Das Weltbild der Naturwissenschaften“ 1931. — 11 Vgl. hierzu die Ausführungen von Paneth. „Über die erkenntnistheoretische Stellung des chemischen Elementbegriffes“, Schrift. Königsb. Gel.-Ges. 1931, Heft 4, mit seiner Doppelbedeutung als „Grundstoff“ und „einfacher Stoff“. Nach Oldekop ist die „Form“ eine Einheit, die nicht auf die Vielheit ihrer Glieder restlos zurückführbar ist, wie umgekehrt die Vielheit der Glieder nicht aus der Einheit der Form abgeleitet werden kann. — 12 Es sei an die ergötzlichen Worte erinnert, die Chr. Schönbein am 25. Mai 1854 an Schelling schrieb: „Man hatte allerhand außerhalb der Atome liegende Mittel nötig, um diese an und für sich toten Dingerchen herum zu puffen: man leimte ihnen, der Himmel weiß wie, Elektrizitäten, Wärme, Affinitäten usw. auf, gleichsam als Leitseile, an denen man sie hin und her zerre.“ — Die Unentbehrlichkeit räumlicher und raum-zeitlicher Modelle

(in Raumchemie, Strukturchemie und „Reaktionsmechanik“) wird indes hierdurch nicht erschüttert. — 13 S. Wo. Ostwald, *Metastrukturen der Materie* 1935. — Es wird auch vermutlich heute die Behauptung nicht mehr als ketzerisch gelten, daß die „Aufspaltung“ der konkreten Wirklichkeit in Diskontinua und Quanten nicht die volle und wahre Wirklichkeit wiedergibt, sondern — neben dem korrespondierenden Feldbegriff — nur ein Hilfsmittel zur begrifflichen Ordnung und Beherrschung der Wirklichkeit ist, mithin ebenso wie die Relativitätstheorie nur eine, wenn auch denkwürdige „Fiktion“ darstellt, die der Begrenzung der Verstandeskräfte des Menschen durch Sinne und Veranlagung auf seine Umwelt entspricht. Die wahre Wirklichkeit wird etwas „Innerliches“, zeiträumlich nicht Vorstellbares sein, das einigermassen adäquat schließlich nur nach Analogie des eigenen psychischen Wesens geahnt und gedacht werden kann. (S. Lotze, Fechner, Wundt, E. Becher, Riezler, v. Uexküll u. a.). — 14 Einen einfachen Fall (NH₂-Oxydation mit Eisenoxyd-Wismutoxyd) hat v. Nagel untersucht; s. Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. 36, 754 (1930). — 15 Es sei hier kurz auf Wo. Köhlers „Physische Gestalten“ und auf die weitreichende, „ganzheitliche“ Betrachtungsweise der neueren Biologie hingewiesen, wie sie sich vor allem an den Namen Driesch („Ganzheitskausalität“) knüpft; entsprechend auch der „Holismus“ von Smuts und Haldane, Heidenhain (Syntonie und Enkapsis), Adolf Meyer, Alverdes u. a. Eine kurze und allgemeine Übersicht gibt E. Oldekop, *Das hierarchische Prinzip in der Natur*, 1930. S. auch O. Koehler, *Das Ganzheitsproblem in der Biologie*, 1933; Burkamp, *Naturphilosophie der Gegenwart* 1930; Bavinck, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, 5. Auflage, 1933; A. Wenzl, *Wissenschaft und Weltanschauung* 1936; Bertalanffy u. a. m. — Wird der Umstand genügend beachtet, daß in der „Hierarchie der Natur“ vom Elektron und Proton bis zum höchsten Organismus auf jeder Stufe immer wieder neue „Ordnungen“ und neue „Spielregeln“ auftreten, dann büßen gewisse Folgerungen formaler statistischer Methode, bei denen dieses „Schachtelsystem“ vernachlässigt oder ganz übersehen wird (z. B. bei Perrins „Ziegelsteinwunder“) sehr viel oder alles von ihrer Glaubwürdigkeit ein; s. von Kries' kritische Ausführungen in seiner „Spielraumstheorie“: Die zahlenmäßige Bewertbarkeit einer Wahrscheinlichkeit stellt einen an ganz besondere Bedingungen geknüpften Ausnahmefall dar.“ — „Um die Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung heranziehen zu können, ist stets ein bestimmtes Maß völlig sicheren Wissens von objektiver Bedeutung erforderlich“; vgl. auch Wagemann, *Narrenspiegel der Statistik*, 1935. („Dualismus individueller Freiheit und kollektiven Zwanges“) — „Das seinem Wesen nach einheitliche, uns aber unfaßbare Lebensgeschehen zerfällt für unser Anschauungsvermögen in die einander durchdringenden polaren Aspekte des Mechanistischen und des Ganzheitlichen“ (gleichzeitig Autonomie und Subordination, Selbstbehauptung und Ganzheitsbezogenheit). „Die Form ist emergent und resultat zugleich“ (Oldekop). „Es ist Ordnung in den Dingen, so daß dem Höheren und Edleren das Niedere untertan ist“ (Sennert, um 1620).

Über Fiktionen in der Chemie*

„Letzthin werden wir in Bildern reden müssen.“

Rudolf Eucken

I.

Fiktionen in der Wissenschaft: damit ist schon gegeben, daß es sich nicht um ganz willkürliche und haltlose Einbildungen, Erdichtungen und Schimären handeln kann, sondern um „Setzungen“, die trotz ihres „als ob“ oder „wie wenn“ Sinn und Bedeutung haben. Unter brauchbaren Fiktionen in der Naturwissenschaft, besonders der Chemie, verstehen wir im Anschluß an Lotze und Vaihinger solche theoretische Annahmen, die trotz ihrer offensbaren oder tatsächlichen „Unrichtigkeit“ bzw. Unzulänglichkeit oder Nichterweisbarkeit die Forschung fördern, indem sie vor allem der „Vorstellbarkeit“ von Zusammenhängen und Beziehungen bei der ordnenden Synthese der Erlebnisinhalte dienen und so Folgerungen erlauben, die in neuen Versuchen geprüft werden können; oder nach Schopenhauer: „Schemata oder Regulative, welche man sich hütet als objektiv wahr festzustellen, jedoch davon Gebrauch macht, um die Erscheinungen in Verbindung zu setzen, da sie in Hinsicht auf das Resultat und das Experiment ungefähr dasselbe leisten wie die Wahrheit selbst.“

Andere Umschreibungen der „Fiktion“ (insbesondere naturwissenschaftlicher Art) sind: Verstandes- oder Vorstellungsvehikel von heuristischem Wert, oft von begrenzter Lebensdauer; gewagte und gewalttätige Kunstgriffe des logischen Denkens, vielfach idealisierend oder personifizierend, für deduktive Zwecke; anschauliche Modelle oder Symbole (Gedankensymbole) für seinem Wesen nach Unanschauliches, durch die „der Schein des Begreifens“ entsteht; Begriffe ohne reale Bedeutung als Hilfsmittel zur Überwindung von Denkschwierigkeiten und zur Versinnlichung, Ordnung oder „Rechnung“ (Wundt; „Rechnungsergiebigkeit“ guter Fiktionen nach Laas); „Umwege, die der Wahrheit gleichgültig, aber dem Suchenden unver-

* Angew. Chemie 50 (1937) 423—433. Bemerkung 1947: Da dem Worte „Fiktion“ im Alltagsgebrauch ein Minderwertigkeitsmoment anhaftet, ziehe ich neuerdings vor, wissenschaftliche Analogiebilder von methodischem Wert nach dem Vorgang von Helmholtz (S. 332) als Figuren zu bezeichnen.

meidbar sind“ (Vaihinger); Analogien (mit „vollkommener Annlichkeit zweier Verhältnisse zwischen ganz unähnlichen Dingen“ nach Kant), die „ihre ursprüngliche Sinnlichkeit verlierend, zu reinen Formen werden“ (Lotze); irreguläre und illegitime „zwitterhafte“ Gedankengebilde und „Pseudo-Wahrheiten“, die dennoch zum Vorhersagen von Tatsächlichem dienen können; „erschlichene Vorstellungen“ (Kant), oft „mit verschmitzter Klugheit ersonnen“, als *modus dicendi et cogitandi* (Leibniz) oder „Denkfiguren“ (Lotze). oder auch: Auslegung durch Vergleich¹.

Die Fiktion steht demnach im Gegensatz nicht nur zur Konstatierung von Tatsachen und Realitäten, sondern auch zur wissenschaftlichen Hypothese als einer Vermutung, d. h. einer denkenden Vorwegnahme von Kenntnissen oder Erkenntnissen, die aus „intuitiver Betätigung der Urteilskraft“ an noch unzureichend Eingesehenem hervorgehend, früher oder später, direkt oder indirekt bewiesen und bestätigt — oder widerlegt werden kann, also prüfbar und verifizierbar ist (die Fiktion nur „justifizierbar“); und schließlich ist die Fiktion ihrer Natur nach verschieden von den mathematischen *Formalisten*, die kleinere oder größere Erscheinungsgebiete theoretisch und in den Folgerungen auch praktisch zu beherrschen gestatten, ohne jedoch — gleichwie die Fiktion — irgendeinen Einblick in „das innere Wesen“ jener Erscheinungen zu gewähren und zu beanspruchen.

Nach Driesch ist „Hypothese“ eine „vermutende Ergänzung des positiv Gewußten“; nach Lotze will die Hypothese eine Angabe einer Tatsache sein, die Fiktion aber eine Annahme, die man „mit dem Bewußtsein der tatsächlichen Unmöglichkeit“ macht. Die sprachlichen Ausdrücke für Hypothese und Fiktion sind im Deutschen die gleichen: als ob, als wenn, wie wenn (warum kein „wie ob?“). Nur die Hypothese kann sich in die Sprachform kleiden: es könnte sein, daß —, während es bei der Fiktion heißen würde: es wird unterstellt, daß —². Die Hypothese hat es mit der Urteilsform der Möglichkeit zu tun, die Fiktion dagegen gewissermaßen mit dem Satz des Widerspruchs. Der „innere Widerspruch“, den Vaihinger der „Vollfiktion“ anheften wollte braucht indes nicht vorhanden zu sein.

Zur Verdeutlichung der verschiedenen „Wertformen“ der Erkenntnis diene ein Beispiel aus der Physik:

Tatsachenkonstatierung. Der Stein fällt auf die Erde.

Hypothese Im luftleeren Raum werden Stein und Flaumfeder gleich schnell fallen

Fiktion Es ist, als ob von der Erde her eine „Anziehungskraft“ wirkte

Mathematischer Formalismus „Fallgesetze“ in exakter Formulierung

Wie das Beispiel zeigt, begibt sich die Fiktion gern auf das Feld der Vermenschlichung, der „Anthropismen“ oder „Hominismen“, d. h. ausgesprochener Analogien zu Konstatierungen, die an die menschliche Tätigkeit anknüpfen. Ebenso wie der Mensch mittels seiner „Muskelkraft“ einen Stein oder Stock an sich heranziehen kann („kraft“ seines Willens), so zieht eine unbekannte „Kraft“ (eine *qualitas occulta*) die Gegenstände oberhalb der Erdoberfläche an diese heran. „Die Vorstellung, daß sich die Körper anziehen, ist nur eine Einbildung“ (Vaihinger). „Wäre der Planet tot, so könnte er von der Sonne nicht angezogen werden“ (Oken).

Von anderen mathematischen und physikalischen Fiktionen, die „mit logisch nicht ganz einwandfreien Taten“ (Lotze) erzeugt wurden, seien angeführt: der mathematische Punkt, die (vollkommen) gerade Linie, negative und imaginäre Größen, Differential, Schwerpunkt, der (vollkommen) leere Raum, das ideale Gas, der absolut starre oder der absolut schwarze Körper, der Massenpunkt, der Lichtstrahl, Maxwells Modelle zur Veranschaulichung der elektromagnetischen Theorie, der „Aufbau“ eines Photons aus zwei „Neutrinos“ u. a. m. Kant: „Man kann den Raum als leer denken, aber es gibt keinen wirklich leeren Raum“³. E. du Bois-Reymond: „Es gibt im Grunde weder Kraft noch Materie, das sind nur Abstraktionen.“ Ferner: „Es ist, wie wenn das Licht aus korpuskularen Teilchen mit der Energie hu bestände“, oder „es sieht aus, wie wenn ein Körper oder ein Lichtstrahlteilchen materiell sich bewegte“ (Hopf).

Da alles Denken und Sprechen notwendig an die menschlichen Anschauungs- und Denkformen gebunden ist (Raum, Zeit und Kausalität), so können sprachlich fixierte Fiktionen letztlich nur anthropistisch oder hoministisch sein, d. h. der Art entsprechen, wie sich der menschliche Intellekt mit seiner Umwelt abfindet. Demgemäß kann man subjektive psychistische (besonders voluntaristische) und objektive zeiträumliche (mechanistisch-materialistische) Fiktionen unterscheiden. In der Biologie haben die psychistischen Fiktionen die Oberhand infolge des Umstandes, daß jeder Organismus sich so benimmt, als ob ein planender, zusammenfassender und lenkender (manchmal auch irrender) Wille Entwicklung und Formbildung zuwege brächte (so wie er die Triebhandlung und absichtliche Handlung zuwege bringt); daher hier die weitgehende Verwendung voluntaristisch-teleologischer Allgemein- und Spezialbegriffe wie Trieb und Drang, Gestaltung, Entwicklung, Anpassung, Selbststeuerung, Sicherung und Regulierung, Differenzierung, Regeneration und Restitution, Organisation. „Es ist, wie wenn ein Baugedanke den ganzen Aufbau einheitlich und zielstrebig leitete“ (E. Becher). „Jede Zelle kennt den Bau- und Funktionsplan des ganzen Organismus“ (Adolf Meyer-Abich).

In Physik und Chemie hingegen überwiegen die mechanistisch-materialistischen Fiktionen mit ihrer Möglichkeit einer modellmäßigen Darstellung in Zeit und Raum. Durch sie werden Erkenntnisse, die sich auf ein im letzten Grunde „Unanschauliches“ beziehen, in anschaulichen Wortsymbolen niedergelegt und versinnlicht, ohne daß jedoch auf diese Weise die wahre Wirklichkeit getreu und adäquat „abgebildet“ werden könnte. Ein prägnantes Beispiel ist die substantielle Äthertheorie der Optik, die nach mannigfachen Schicksalen und nach Leistung wertvoller Dienste schließlich nicht nur so anspruchsvoll, sondern auch in sich so widerspruchsvoll geworden ist, daß sie ihre ehemalige Bedeutung verloren hat. „Äther ist nun das Medium, in dem die Maxwell-Gleichungen gelten“ (Hopf); „der Begriff der Bewegung darf auf ihn nicht angewendet werden“ (Einstein). Von bleibender Bedeutung aber sind mathematische Symbole, sofern sie als „Ordnungsgesetze“ die Maßbeziehungen von Vorgängen getreu wiedergeben.

„Erstrebt wird, in einem Minimum von Formeln ein Maximum von Voraussagungen „zusammenzufassen“ (E. v. Aster). „Nicht der Physiker sucht das Buch der Natur in mathematischen Symbolen zu schreiben, sondern die Natur selbst hat es so geschrieben“ (Wundt). (Die anorganische Welt als „gefrorene Mathematik“: A. Wenzl). Dabei gilt: „Nichts ist praktischer als eine gute Theorie“ (Boltzmann), die „neue Harmonien der Natur an das Licht bringt“ (Heisenberg). (S. auch Bennewitz, Sombart u. a.)

Die anschaulichen Fiktionen der Naturwissenschaft, die zur Verbildlichung abstrakter, oft nur in Zahlensymbolen genau formulierbarer und definierbarer Begriffe dienen (man denke an die „Bilder“: Ladung, Spannung, Strom und Stromstärke, Widerstand, Wirbelströme, Elektrizitätsatome usw. in der Elektrizitätslehre), stehen den vorwissenschaftlichen primären Fiktionen oft poetisch-mythischer Art (schließlich Zeus' Donnerkeil und Thors Hammer!) als Produkte einer höheren Entwicklungsstufe gegenüber, indem sie eine Art sekundäre Anschaulichkeit schaffen, an die sich der Forscher hält und an die er sich so rasch gewöhnt, daß er den bildlichen Charakter der Begriffe mitunter vergessen kann. „Die mechanische Erklärungsart“ aber „ist der Mathematik am fügsamsten“ (Kant), so daß sie regelmäßig da einsetzt, wo neue Theorien, zunächst in rein mathematischer Form, auf die Fülle der Erscheinungen angewendet werden sollen.

Immer geht der Weg der Erkenntnis über begriffliche Abstraktion; bei der sprachlichen Konkretisierung indes, die zum Zweck der Veranschaulichung, der Mitteilbarkeit und der Anwendbarkeit nötig ist, schlüpft die Fiktion als Kunstgriff mit ein. Neue mathematisch-physikalische Theorien setzen neue Fiktionsbildung in Tätigkeit, mit vorübergehender „Krise der Anschauung“. Durchweg zeigt sich dabei eine fortschreitende Verfeinerung der Fiktion im Fortschreiten der Wissenschaft, oft mit Beibehaltung der ursprünglichen „grob sinnlichen“ Bezeichnungen, wie z. B. „Welle“ und „Stoß“. Die „Frequenz“ eines „Oscillators“ in der „Wellenmechanik“ ist begrifflich etwas ganz anderes als die primär anschauliche Schwingungsfrequenz eines Pendels oder einer Saite, und auch noch etwas anderes als die immer noch konkret vorgestellte „Schwingungs-

frequenz des Äthers“ nach Huyghens; jeder quantenhaften Frequenz kann man eine mechanische „zuordnen“ (s. N. Bohrs Korrespondenz-Prinzip). Was aber eine glückliche anschauliche fiktive Namengebung vermag, zeigt die neuere Entwicklung einer „anschaulichen“ Elektronik, besonders drastisch in der Fiktion des „verschmierten Elektrons“, die, weil ganz konkrete Erinnerungsbilder hervorrufend, dem Chemiker viel leichter in den Sinn eingeht als bestimmte andere, unanschaulich „farblose“ Wortbilder der Physik, wie etwa „Entropie“, die doch mathematisch mindestens ebenso exakt definiert ist!

Trotz des starken Überwiegens anschaulicher, d. h. raumzeitlicher Fiktionen in Physik und Chemie fehlen doch auch bildhafte *Anklänge an teleologisch-psychologische Fiktionen* nicht völlig. So begegnen wir in der Physik dem „Prinzip des kleinsten Aufwandes“; oder man spricht von chemischer „Trägheit“, oder von der „Begierde“ des Aldehyds nach schwefliger Säure (Liebig); in der Reaktionskinetik von „Freiheitsgraden“ der Molekeln, von „angeregten“ Zuständen und „Lebensäußerungen“ oder dem „Innenleben“ der Atome, von „Zustands-Vererbung“ usw., und auch an Verboten fehlt es nicht völlig. In der Katalyse treffen wir die Ausdrücke „selektive“ Wirkung „Lenkung“ und „Richtungsgebung“; die „Planung“ aber wird (fast) durchweg der Biologie überlassen (s. Driesch, v. Uexküll u. a.). Auch begegnen wir einem „Erinnerungsvermögen“, z. B. gelöster Celluloseacetate (K. Heß), oder fester Stoffe wie Tonerde (Hüttig; vgl. auch E. Hering: Über das Gedächtnis als eine allgemeine Funktion der organischen Materie; H. Schmalfuß über das „Merken und Wirken“ von Stoffen in ihrer „Umwelt“). Man denke ferner an Sätze wie die folgenden: „Die Atome oder Massenpunkte eines Systems bewegen sich so, als ob sie die geringste Unlustsumme produzieren wollten“ (Friedrich Zöllner). „Die Strahlbahn des Lichtes ist so, als ob es dem Licht darauf ankäme, so schnell wie möglich einen Ort zu erreichen“ (Schrödinger). „Die energieärmeren Planeten werden vom Zentralgestirn auf engeren Kreisen festgehalten, in denen sie sich durch schnellere Bewegungen vor dem Hineinstürzen in den Sonnenball schützen“ (Zimmer). „In Kernferne ist ein Elektron sehr wenig behütet“ (Wulf). In

das Kerninnere einzudringen wird es aber „gehindert“ (Thirring). „Wir stellen durch den Versuch das Elektron vor die Entscheidung; die Natur hat sich für jeden Einzelfall die Entscheidung bis zuletzt vorbehalten“ (P. Jordan). (Hinzugefügt könnte werden, daß die Natur dabei Rücksicht auf die „Nachbarschaft“, ja schließlich auf die gesamte Weltlage nimmt!)

In dem allen Naturwissenschaften gemeinsamen, unentbehrlichen und „berühmten“ *Kraftbegriff* (abgeleitet von „greifen“), dessen Ursprung in der — gleichzeitig „innerlichen“ und „äußerlichen“ — Willenshandlung des Menschen liegt, treffen schließlich beide Gruppen von Fiktionen, psychistische und mechanistische, deutlich zusammen: „Naturkraft“ genommen jeweils als „personifizierter“ Gedanken-Inbegriff für die Verursachungs-Möglichkeiten von Gruppen ähnlicher, regelmäßig und regelläßig wiederkehrender Ereignisse, oder als „permanente Bedingung“ (Wundt), d. h. eine gedachte allgemeine „Bedingung“ oder verdinglichte „Voraussetzung“ konstanter Art, ohne die große Gebiete von Beobachtungen und Erscheinungen für den Intellekt keinen „Zusammenhang“, keine „Ordnung“ erkennen lassen würden; im einzelnen Schwerkraft, elektrische Kräfte, Kräfte des Atomkerns, Affinitätskräfte „wahlhafter“ Art, Lebenskraft usw.; mit der deutlichen Tendenz einer allmählichen Verringerung der Zahl der Kräfte durch zunehmende Verallgemeinerung auf dem Wege einer „natürlichen Auslese“ unter Ausscheidung „überflüssig“ gewordener Kräfte, etwa von der Art der „vis dormitiva“! „Die Kraft hält wohl kaum noch irgend jemand mehr für eine Realität“ (Boltzmann). (Das Verhältnis von „Naturkraft“ und „Natur-Ursache“ aber ist nach Schopenhauer dem Verhältnis von „Charakter“ und „Motiv“ analog zu setzen.)

Nicht immer können Fiktionen und Hypothesen, modellmäßige Annahmen und reale Mutmaßungen so sauberlich voneinander geschieden werden, wie es nach dem Beispiel auf S. 313 erscheinen könnte. Sind ja doch zur Zeit der Aufstellung eines derartigen „synthetischen“ Satzes die Unterlagen für eine Beurteilung oft noch gar nicht gegeben, ob jene Behauptung durch die Erfahrung bestätigt bzw. widerlegt werden kann, oder ob sie abseits von aller

Erfahrungsmöglichkeit liegt. „Oft ist es schwer zu sagen, ob eine hypothetische Lehre in Zukunft einer direkten Entscheidung zugänglich werden wird“ (E. Becher). So war das *Atommodell* von N. Bohr in einem bestimmten Zeitpunkt, „dem optimistischsten der ganzen Physikgeschichte“ (Hopf), nahe daran, als voll adäquater Ausdruck der Wirklichkeit angesehen zu werden; und doch drängten bestimmte Beobachtungen und deren Einordnung in das Gesamtbild dazu, jenes hypothetische Modell zu einer bloßen veranschaulichenden und idealisierenden Fiktion zu „degradieren“, die zwar gewisse Vorgänge einigermaßen „anschaulich“ verständlich macht, andere aber nicht. Auch in anderen Fällen können und konnten oftmals Sätze, die als Hypothesen ausgespielt hatten — ausgedient und invalide —, ihr Dasein, und zwar ein noch recht behagliches Dasein, als Fiktionen ungefährdet weiterfristen, z. B. die „Wellentheorie“ des Lichtes.

Weit seltener ereignet sich ein Übergang einer „Fiktion“ zu einer Hypothese oder gar schließlich zu einer vollen Realität. Als besonderes Beispiel seien die tierischen und pflanzlichen „Versteinerungen“ genannt die durch Jahrhunderte als „Naturspiele“ angesehen wurden — als ob in der Natur „Vorübungen“ für die Schaffung von organischen Gebilden gemacht worden wären —, bis dann, anfänglich gegen harte Widerstände, die Hypothese sich durchsetzte, daß ihr Ursprung tatsächlich auf lebende Organismen der Vorzeit zurückzuführen ist. Zumeist aber läuft, wie gesagt, die „Metamorphose“ im umgekehrten Sinne, d. h. von der Hypothese zur Fiktion.

Bei genauem Zusehen zeigt sich, daß in den allgemeinen Begriffen und Theorien, zu denen man auf dem Wege „generalisierender Induktion“ gelangt, *Fiktionen, Hypothesen und Realitäten in der Regel eng verwoben und verknüpft auftreten*, so daß oft schwer zu erkennen ist, wo die fiktiven Momente anfangen oder aufhören. Die „Ganzheit“ z. B. ist an sich kein fiktiver, sondern ein sehr realer Allgemeinbegriff; doch kommt man unabweislich zu Hypothesen und Fiktionen, sobald es im Einzelfall — z. B. bei einer Makromolekel — zu zeigen gilt, durch welche Art von „Zusammenhängen“ das Gebilde zu einer (nicht zerfallenden) Ganzheit wird. Ebenso ist „Katalyse“ gewiß ein

sehr realer Begriff mit empirischer (phänomenologischer) Definition, der erst dann, wenn im Einzelfall (oder allgemein) der Vorgang auf das genaueste beschrieben und „erklärt“ werden soll, Hypothesen und Fiktionen anschaulicher Art nötig macht⁴. *Die Verfilzung heterogener Begriffselemente in Allgemeinbegriffen mehr oder weniger abstrakter Art ist oft so innig*, daß das Vorhandensein fiktiver Elemente ganz übersehen wird; z. B. bei dem durch Jahrzehnte unentschiedenen und unentscheidbaren Streit der klassischen organischen Chemie um das Wesen der „Valenz“; und die kritische Besonnenheit des Forschers offenbart sich in hohem Maße in dem Grade, wie er Tatsächliches, Formalistisches, Hypothetisches und Fiktives auseinanderzuhalten vermag⁵.

Immer ist zu verlangen, daß allgemeine Begriffe und Theorien in Physik und Chemie von der Art, daß man sie mit Rücksicht auf das *Vorhandensein maßgebender fiktiver Bestandteile* oft schlankweg als „Fiktionen“ bezeichnet (Äther-Fiktion, Atom-Fiktion usw.; auch Quanten-Fiktion? Relativitäts-Fiktion?), doch *auf Realitäten, d. h. letztlich auf Beobachtung und wirklicher Anschauung (d. h. „Schauung“, „Hörung“ und „Tastung“)* beruhen und dazu die Möglichkeit exakter Definierung im Anschluß an präzise mathematische Formulierung von „Gesetzen“ aufweisen; erst dadurch können sie methodischen und heuristischen Wert gewinnen und so ihre Daseinsberechtigung erweisen: „Wunderkraft der Fiktion“ (Novalis).

Ohne erkenntniskritisch tiefer eindringen zu wollen, sei doch kurz bemerkt, daß *Fiktionen auch in der fortgeschrittenen Wissenschaft immer unentbehrlich* sein werden. Dient doch als Instrument des Denkens die *Sprache*, deren Begriffssymbole, so „abstrakt“ sie schließlich gebraucht werden, doch hoministisch-mechanistische Urbedeutung haben, die auch bei höchster Erhebung über den Einzelfall mitklingt und die Darstellung „anschaulich“ und „konkret“ macht, so daß sie „Glanz“ und „Farbe“ gewinnt⁶. Man betrachte nur einmal Worte wie be-greifen (= umgreifen), er-klären, er-fahren, vor-stellen, zusammen-hängen, ab-hängen, zusammen-fassen, über-tragen, be-ziehen, be-ruhen, an-schließen, grund-legen, ver-binden usw. Nicht ein einziges ist darunter, das einst — als frische Münze —

keine zeiträumliche Urbedeutung gehabt hätte, so sehr auch später von dieser Urbedeutung „abstrahiert“ (abgezogen) worden ist, um zu vielanwendbaren allgemeineren Begriffen zu gelangen. *Mechanistisch-anschauliche Fiktionen mit glücklicher Namengebung im Anschluß an mathematisch-physikalische Theorien⁷ und auf Grundlage der „Beobachtung“ machen das aus, was man heute die „Anschaulichkeit“ einer neuen physikalischen Theorie nennt; eine sekundäre, auf schließlich Nichtzeiträumliches sich beziehende „Verbildlichung“ gegenüber der primären Anschaulichkeit der Naturbilder früherer Zeiten⁸. Dabei wird man zweckmäßig an den Ausspruch von Erich Becher denken: „Das Ziel der kinetischen Naturauffassung, alle Naturvorgänge als zeiträumlich aufzufassen, ist keineswegs erreicht, und es ist ein unbegründetes Dogma, wenn von vornherein gefordert wird, alle Eigenschaften auf raumzeitliche zurückzuführen. Niemand kann a priori wissen, ob die Natur so einfach und so arm an Eigenschaften ist.“ (Ähnlich vorher schon Mach; sowie Boltzmann: „Nicht alles ist mechanisch zu erklären.“)*

II.

Durch die allgemeine Orientierung über die Bedeutung naturwissenschaftlicher Fiktionen überhaupt ist die Grundlage dafür gewonnen, daß an einem *Beispiel der Chemie*, indes an einem besonders wichtigen, angedeutet wird, wie hier die Verwicklung von Denkelementen verschiedenen Ranges: Tatsachen, Formalismen, Hypothesen und Fiktionen sich gestaltet. Es handelt sich um die „stoffliche Zusammensetzung“ nebst entsprechender „Zersetzung“ und „Umsetzung“ (oder „Verbindung“ und „Zerlegung“). Wir wissen, daß die „Atomhypothese“ aus einer Art „gedanklicher Übertreibung“ von Erfahrungen hervorgegangen ist, die der Mensch in seiner Betätigung an den Körpern seiner Umwelt gemacht hat, die sich zerteilen, zusammenfügen und umgruppieren lassen, daß also diese „Hypothese“ auf einer Art „Extrapolation“ oder einem „Transponieren“ (alles wieder bildliche Ausdrücke!) *in das Gebiet des ganz Kleinen* beruht, in welchem gleichfalls die Erscheinungen des „Zusammensetzens“, „Verbindens“ usw. gültig sein sollen, jedoch mit einer bestimmten letzten

Grenze, d. h. bis zu unteilbaren Ur-Einheiten, an denen die Vorstellung haltmacht: „Atom“ als kleinste im Weltgetriebe sich bewegende Stoffmenge.

Grundvoraussetzung ist zunächst die Vorstellung oder „Einbildung“ einer unfassbar großen, jedoch endlichen Zahl an sich unveränderlicher diskreter letzter Teilchen oder Korpuskeln. Für diese soll gelten:

1. Das arithmetische Summenprinzip: Das Ganze aus der Summe der Teilchen bestehend⁹.
2. Ein geometrisches Anordnungsprinzip: Die Teilchen befinden sich in bestimmter, in Euklidischer Geometrie beschreibbarer und durch nachbarliche Einflüsse veränderlicher Lagerung (Struktur, Konfiguration, Konstitution, Gestalt und Größe).
3. Ein kinetisches Bewegungsprinzip: Stoffliche (chemische) Änderung besteht letztthin in der gegenseitigen Ortsveränderung der kleinen und kleinsten Teilchen. (Vgl. Wundt: „Die Ortsveränderung ist die einzig vorstellbare Veränderung der Dinge, bei der diese selber identisch bleiben.“)
4. Ein dynamisches Kausal-Prinzip: Zusammenhalt wie Ortsveränderungen (Verschiebungen, Umsetzungen) werden durch Impulse und Kräfte von verschiedener Größe und Richtung bewirkt: thermische Bewegungsenergie, Affinitäts- und Valenzkräfte mit „Anziehung und Abstoßung“.

Die rein mechanisch-materialistische Auffassung einer „Demokratischen Stoßwirklichkeit“ hat zunächst durch den *elektrochemischen Dualismus* von Berzelius u. a. eine Vertiefung erfahren, und zwar in der Richtung einer *gemischt elektrisch-mechanischen Theorie*, die in unseren Tagen durch eine rein *elektronisch-dynamische Theorie* abgelöst wird. Dabei werden aber die älteren Begriffe nicht völlig beseitigt, sondern durch veränderte Definition zu verfeinerten und modifizierten „Bildern“ umgestaltet, vielfach unter Beibehaltung der altgewohnten Ausdrücke. „Alles chemische Geschehen hängt qualitativ und quantitativ nur von der Natur der Ausgangsstoffe und von dem Wettkampf zwischen ihren Stoßzahlen und Aktivierungsgrößen ab“ (Trautz).

A. Der Molekularbegriff

1. Wenn es heute — der Kürze halber — immer noch heißt, die NaCl-Molekel *bestehe* aus einem Na- und einem Cl-Atom, so weiß doch jeder Chemiker, daß das „gebundene“ Chlor im Kochsalz nicht identisch ist mit dem elementaren „freien“ Chloratom; schon die große Wärmeentwicklung bei der Entstehung der „Verbindung“ — ganz abgesehen von der totalen Änderung der sinnfälligen Eigenschaften des Chloratoms wie des Natriumatoms — hat seit langem auf tiefgreifende Veränderung bei der „Vereinigung“ beider Elemente hingewiesen. Das Bild des „Bestehens aus“ ist mithin im Grunde eine Fiktion; streng richtig ist nur, daß NaCl aus Na und Cl (bzw. Cl₂) reversibel *entstehen* kann. Die einfache Summenformel versagt, wenn man vom Formalen in das Wesentliche übergehen will; das Ganze ist mehr und anders als die Summe seiner Teile. So würde also z. B. in der organischen Chemie ein und dasselbe individuelle C- oder H-Atom, wenn es durch sämtliche möglichen Verbindungen hindurchlaufen könnte, in *jeder* Verbindung mehr oder weniger „anders“ sein, identisch also nur im Hinblick auf die Möglichkeit, in den wohldefinierten Anfangszustand des freien Atoms zurückgeführt werden zu können. Immerhin gibt es in der Stöchiometrie der chemischen Verbindungen eine Reihe additiver oder nahezu additiver Eigenschaften (wie Ruhmasse, Röntgenspektren, Leitfähigkeit), und wo „kolligative“ und „konstitutive“ Einflüsse (W. Ostwald) hinzukommen, läßt sich doch vielfach, wie beim Atomvolumen und Brechungsvermögen, eine Art Additivität höherer Art konstruieren, als eine Vereinigung von „Inkrementen“ und „Funktionen“, die zur „Ganzheit“ führt. (Für die Raumbeanspruchung s. W. Biltz; vgl. auch Schmalfuß: „Die vorhandenen Planteile fügen sich zum Plan zusammen. Nicht nur Stoff und Plan sind unzertrennlich, sondern auch schon Stoffteil und Planteil.“)

2. Es ist schon oftmals als einer der größten Erfolge für Strukturchemie (Kekulé 1865), Stereochemie und Kristallographie mit ihren Isomerien und Allotropien gebucht worden, daß — vor allem für den festen Zustand — *eine bestimmte räumliche Anordnung* der durch chemische Symbole bezeichneten Atome (bzw. Ionen) in der Molekel

oder in dem „Aggregat“ des Raumgitters durch physikalische Meßmethoden wie Röntgenstrahl- und Elektronenstrahl-Interferenzen tatsächlich *nachgewiesen* werden konnte, womit auch die Korpuskulartheorie gemäß 1. eine feste Stütze erhalten hat¹⁰. Hier ist die „Hypothese“ in hohem Maße zur Gewißheit geworden, und Fiktionen sind in bezug auf die räumliche Anordnung zunächst nicht in Sicht. Das „ganzheitliche“ Moment tritt dabei scharf zutage in der Tatsache, daß die gleiche Zahl und Art der „Bausteine“ bei ungleicher Anordnung Gebilde mit verschiedenen Eigenschaften ergibt. Die Stereochemie entwickelt sich allmählich zu einer „Kinetochemie“ (Schaum).

Daß gegenüber früheren Vorstellungen eine bedeutsame Verfeinerung des Molekularbildes mit seiner „Atomverkettung“ erreicht worden ist, offenbart sich schon darin, daß die „geometrische Struktur“ der Molekeln heute zugleich als eine „elektrische bzw. quantentheoretische Struktur“ erscheint, die Molekel mithin als „elektrisches Gebilde“ mit einem der Elektronenverteilung folgenden Kraftfelde angesprochen wird (Debye, Heisenberg u. a.). Dies gilt auch für den flüssigen oder quasikristallinen Zustand, der mit seinen *Coulombschen* Wechselwirkungen und sonstigen Ganzheitseinflüssen der Theorie allerdings besonders große Schwierigkeiten bietet (vgl. die Verhandlungen der Faraday-Society im September 1936). Schließlich lassen sich auch für die Einzelmolekel Atomabstände und Orientierung in „Richtungen“ und damit eine „Gestalt“ — infolge dauernden Wechsels des Zustandes als *Mittelwert* — mehr oder minder genau feststellen. Hinsichtlich der Abgrenzung der „Molekel“ bleibt jedoch bestehen, daß der Begriff in voller Strenge nur für den Gaszustand gilt, im flüssigen und noch mehr im festen Zustande indes fiktive Momente erhält. „Die Chemie betrachtet ihre Substanzen so, als ob sie unter allen experimentellen Bedingungen die Molekulargröße des idealen Gases oder der verdünnten Lösung besäßen“ (Eggert).

3. Es bedarf nur eines Hinweises auf die große Leistung der kinetischen Gastheorie für sich und in ihrer Anwendung auf die „Molekularkinetik“ *chemischer Umsetzungen* (einschließlich katalytischer), die von mechanischen Begriffen, wie Stoß und Stoßausbeute, ausgehend, neben

fortschreitender Bewegung auch Schwingung und Rotation der Molekeln beachtend und den Wahrscheinlichkeitsbegriff der Gesetze der Statistik zu Hilfe nehmend, zu einer umfassenden, im einzelnen jedoch vielfach auch fiktiven Darstellung des Reaktionsgeschehens gelangt ist (im Anschluß an Maxwell, Boltzmann, van 't Hoff, Bodenstein, Nernst, Haber, Bredig, Trautz, Christiansen, Hinshelwood u. a. m.).

4. Hier, auf dem Gebiet der „Valenzbetätigung“ und der „Affinitätsbeanspruchung“, ist das eigentliche Dorado der Fiktionen, von den zwischenatomaren Verschlingungen mit Leitseilen und Häkchen der älteren Chemie über die Bindestriche der Strukturchemie bis zu dem „Elektronenschema“ der heutigen atomphysikalischen und quantenmechanischen Valenzlehre. Dabei zeigt sich auf diesem dynamischen Gebiet besonders deutlich die *innige Verquickung von Tatsächlichem, hypothetisch Vermutetem und fiktiv Angenommenem* im Anschluß an die fortschreitende mathematische Formulierung der „Gesetze“, eine Verquickung, über die zunehmend Klarheit zu erhalten Aufgabe einer immer tiefer schürfenden Valenzforschung ist (Bohr, Sommerfeld, Born, Heitler und London, Eucken, E. Hückel, W. Hückel, K. L. Wolf u. a.; vgl. auch die „Invariantentheorie“ von Gordon und Study, 1900).

Liebigs „Konventionalismus“: Wie man sich die Elemente in den chemischen Verbindungen gruppiert denkt, beruht nur auf Übereinkunft, die durch die Gewohnheit geheiligt wird — und noch mehr Schönbeins radikale Skepsis sind durch die Folgeentwicklung nicht gerechtfertigt worden. Der Begriff einer räumlichen Anordnung diskreter „Teilchen“ zu einem Gebilde von stationärer (mittlerer) Gestalt und Größe ist für die *Molekel* wohlbegründet, allerdings mit bestimmten Einschränkungen hinsichtlich des „Zustandes“ der Atome in den Molekel- oder Kristallgitterverbänden mit ihren Dipolen, Ionen usw. Für die *Valenzlehre* einschließlich Koordinationslehre (Werner, Pfeiffer) hat die Atomphysik zu tieferen Einblicken und zu einer willkommenen Systematik der verschiedenen Arten chemischer Bindung in Beziehung zum Atombau (H. G. Grimm u. a.) geführt, wobei „die physikalischen Methoden neben einer Präzisierung eine glänzende Bestätigung der auf rein

chemischem Wege zuerst gewonnenen Ansichten über den räumlichen Bau der Moleküle geliefert haben“ (Debye).

Hinsichtlich der organischen Verbindungen insbesondere steht fest, daß einerseits das Modell des Kohlenstoffs als eines vorzugsweise in Form eines regelmäßigen Tetraeders wirkenden Gebildes den Tatsachen noch immer weitgehend gerecht wird und daß andererseits die auf Grund von Reaktionsweisen entwickelten Strukturformeln und Raummodelle gut brauchbare Schemata auch bezüglich der geometrischen „Lagerung“ der Atome in der Molekel geben können, obgleich sie hinsichtlich der „chemischen Feinheiten“ (einschließlich der „Ganzheitseinflüsse“ des Feldes) oft versagen (s. W. Hückel u. a.). Auch für die Bildung von *Makromolekeln* durch „Hauptvalenzverknüpfung“ geeigneter Grundmolekeln besitzt der Begriff der „sterischen Zusammensetzung“ weitgehend reale Bedeutung (Staudinger, Mark u. a.). Durchweg ist dabei für die „Aufteilung des Gesamtmomentes auf Einzelmomente der Bindungen“ ein guter Anfang gemacht worden (Debye).

In bezug auf die anziehenden und abstoßenden „Kräfte“ dagegen, die die Atome, Ionen usw. in der Molekel und in den höheren Aggregaten, insbesondere im Kristallgitter und in Flüssigkeiten „zusammenhalten“ — oder wieder trennen, ist man noch heute in hohem Maße auf *fiktive Schemata* angewiesen, wobei indes die Vorstellungen im *Elektronenschema* quantenmechanischer Molekelmodelle eine bedeutsame Verfeinerung erfahren haben, die sich zunehmend in der Möglichkeit wertvoller *Voraussagungen* auswirkt, welche einer primitiven rein mechanischen Atomistik unmöglich waren. Übereinstimmung herrscht auch darüber, daß die „außermolekularen“ Kräfte (Kohäsion, Adsorption, van der Waals-Kräfte, Nebenvalenzen usw.) als den „innermolekularen“ wesensverwandte „Affinitätskräfte“ anzunehmen sind, betreffs deren die Wellenmechanik gleichfalls mit erfolgreichen Berechnungen vorgeht; die Potentialkurve zweier sich nähernder Atome, ja Molekeln, beginnt „verständlich“ und im Prinzip berechenbar zu werden. Was aber die „chemische Bindung“ in ihren verschiedenen Formen *wirklich* und eigentlich bedeutet, ist „unvorstellbar“, und „auch die neue Elektronenlehre der Valenz führt in diesem Punkte nicht viel

weiter“ (W. Hückel), wengleich sie lehrt, daß Valenz in einer elektrischen Wechselwirkung zwischen Atomen bzw. chemischen Polen und im Vorhandensein einer „Austauschenergie“ besteht, die „auf Verkopplung der Ladungsverteilung der Elektronen in den aufeinander einwirkenden Atomen beruht“ (E. Hückel), die chemische Bindung also „aus einer Ladungsverteilung in der Elektronenhülle und ihrer Veränderlichkeit hervorgeht“ (Fromherz). So dringt beim Zusammenkommen von H-Ion und Cl-Ion der H-Kern beträchtlich in die Elektronenwolke des Cl-Ions ein (Debye)¹¹. „Einsame Elektronenpaare liegen latenten Valenzen zugrunde“ (W. Hückel). „Auch die Atomkräfte kann man nicht mit den Augen besehen, noch betasten mit den Händen“ (Carrière). Die „Zusammensetzung“ der Molekel erscheint so als „ein Sich-Tragen einer Gestaltganzheit infolge der funktionellen Wechselwirkung aller Teile“ (Burkamp).

B. Der Atombegriff

Es wurde bereits (S. 318) darauf hingewiesen, daß Niels Bohrs hypothetisches *Atommodell* (ein „Sonnensystem“ im kleinsten Raume, das „erstaunlich stabil“ ist: Born) sehr rasch seine *fiktiven Merkmale* aufgewiesen hat. Wohl wird nach wie vor ein „Atomkern“ von einigermaßen bestimmten Dimensionen (d. h. primärer Wirkungssphäre) angenommen, dem jeweils eine bestimmte Zahl unmittelbar beeinflusster Elektronen entspricht. Jedoch ist es weder streng richtig, daß der Kern aus Protonen und Neutronen bestehe (er kann nur solche im Marterkabinett des Atomforschers entstehen lassen), noch können den Elektronen bestimmte Ruhelagen und Bahnen zuerteilt werden. In bezug auf 1. bis 4. (S. 321) werden also *Fiktionen unvermeidlich*, sobald man daran geht, den beobachteten Sachverhalt, der durch die heutige Quanten- und Wellenmechanik formal getreu „wiedergegeben“ werden kann, in *Sprachsymbole* anschaulicher, d. h. zeiträumlicher Art überzuführen¹². Für das Atominnere ist jede Geometrie unanwendbar, übrig bleibt nur Mathematisierung (M. v. Laue, Schrödinger).

Innerhalb des Atomes versagt also nicht nur das Summenprinzip, sondern auch das Prinzip der genauen räumlichen Anordnung und der geometrischen Gestalt. Nicht

nur, daß ein „bedauernswertes Valenzelektron“ (Eddington) innerhalb des Atoms oder ein Staub- oder Gasionen-Elektron etwas wesentlich anderes ist als ein rasch dahinfliegendes Elektron im Kathodenstrahl, das sich anderer Freiheiten und anderer „Wahrscheinlichkeiten“ erfreut; auch die genaue Lokalisation eines Elektrons im „Elektronennebel“ (in der „Elektronenwolke“) des Atoms läßt im Stich (Heisenbergs Unbestimmtheitsrelation).

Eine Mikrophysik nach dem Muster der klassischen Mechanik hat sich mithin als undurchführbar erwiesen, und Schopenhauers Satz, daß „die Gesetze des Mechanismus nicht mehr gelten, wo der Chemismus wirkt“, hat insofern in den letzten Bausteinen der Chemie eine überraschende Bestätigung erfahren. Was man Atom nennt, ist schließlich ein funktionelles Etwas, das in energetisch sehr verschiedenen „Zuständen“ existieren kann, die formal getreu nur durch verwickelte mathematische Symbole wiedergegeben werden können, oder (nach Schrödinger) „ein Beugungsphänomen einer vom Atomkern gewissermaßen eingefangenen Elektronenwelle“. Das Elektron selber erscheint als „Wellenpaket“. (Aber: Welle von was? „Wahrscheinlichkeitswellen“.)

Zur weiteren Illustrierung mögen verschiedene Äußerungen zuständiger Forscher dienen (größtenteils wörtlich). Eddington: Grundlage der Erscheinungen ist ein Schema von Symbolen, die durch mathematische Gleichungen verknüpft sind. L. Leitner und Delbrück: Man kann nicht sagen, das Wasserstoffatom *bestehe* aus einem Kern, einem Elektron und einem Lichtquant. Debye: Bei dem Übergang vom Neutron in Proton und umgekehrt wird ein (— oder +) Elektron *erschaffen*, wie aus energiereichen γ -Strahlen beim Durchlaufen von Materie Elektronenzwillinge. Dirac: Man muß die Annahme machen, daß Teilchen erschaffen und vernichtet werden können. Rutherford: Dem Atomkern wie dem Elektron kann ein gewisser Wirkungsdurchmesser zugeschrieben werden. Die Atommechanik hat in der Makromechanik kein Analogon. Die Kräfte, die Neutron und Proton im Kern zusammenhalten, sind unbekannt. Die Äquivalenz von Materie und Energie scheint durchaus erwiesen zu sein. P. Jordan: Die Ladung des Elektrons ist irgendwie verschmiert über den ganzen Rauminhalt der Atome. Das

einzelne Atom ist eine Wolke elektrischer Ladung mit Energiestufen und Übergangswahrscheinlichkeiten. Das heutige Atom ist nicht mehr das Demokritische Atom. Ein *symbolisches* Schema bleibt: der Raum, in dem die Materiewellen sich ausbreiten, ist ein symbolischer mathematischer Raum. Ein Neutron kann im β -Prozeß liefern ein Proton, ein Elektron und ein Neutrino; nicht aber kann man sagen, daß es daraus bestünde. Das Elektron hat keine Individualität mehr¹³; das Atom aber ist aller sinnlichen Realität entkleidet und nur noch durch ein System von mathematischen Formeln charakterisierbar: ein durch ein Formelgerüst gekennzeichnete Hilfsbegriff zur Ordnung von Tatsachen. Schrödinger: Die Begriffe Ort, Bahn sind überspannt, wenn man sie in so kleinen räumlich-zeitlichen Dimensionen anwendet. Die Kreis- oder Ellipsenbahnen innerhalb der Atome: an die glaube ich nicht. Die Bahn eines Massenpunktes verliert ihre eigentliche physische Bedeutung und wird zu einer Fiktion wie der Lichtstrahl. Heisenberg: Jede Art von Bild, das unsere Vorstellung von Atom entwerfen möchte, ist eo ipso fehlerhaft. Das Atom der modernen Physik kann zunächst symbolisiert werden durch eine partielle Differentialgleichung in einem vieldimensionalen Raume. Erst das Experiment, das der Beobachter an ihm vornimmt, erzwingt von ihm die Angabe eines Ortes usw. Eine Wellenfunktion bestimmt die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer Korpuskel. Hopf: das Elektron kann nicht als Körpermasse im üblichen Sinne gedeutet werden. Die Zusammenhänge in der Welt der Atome sind nicht raumzeitlich. *Es ist, wie wenn sich Körper materiell bewegten.* Die Gesetze der Quantentheorie sind nicht mehr denkbar als Beziehungen in Raum und Zeit, sie sind unanschaulich und dennoch eindeutig. Das Wasserstoffatom ist ein „Wellenzustand“ über den ganzen Raum. Die vier Quantenzahlen des Elektrons (Masse, Ladung, magnetisches Moment, Drehimpuls) haben nur symbolische Bedeutung. Jeans: Es gibt keine raumzeitliche Beschreibung der Elektronen und Protonen, die allem gerecht würde, nur die mathematische Theorie ist widerspruchsfrei.

E. Hückel: Atomare Vorgänge können nicht mehr durch Bewegung von Teilchen oder durch Wellen im gewöhn-

lichen Raum beschrieben werden, sondern nur in einem Raume von höherer Dimensionszahl, dem Konfigurationsraum. W. Hückel: Die Kerne chemisch verbundener Atome liegen relativ zueinander im Raume fest: mittlere Lage der einzelnen Ladungen, mittlere Abstände und eine gewisse Symmetrie und Polarisierbarkeit, Wahrscheinlichkeitsgesetzen der Quantenmechanik folgend in aufeinander spezifisch abgestimmten Molekularfeldern. Elektronenbahnen und mechanische Frequenzen haben ihren Sinn verloren. Die der mechanischen Kinetik entnommenen Bezeichnungen der Reaktionskinetik wie „Geschwindigkeit“, „Widerstand“, „Gefälle“ sind ohne tiefere Bedeutung. Das additive Schema ist unhaltbar. Die strenge Theorie aber kann nur die einfachsten Fälle chemischer Zusammensetzung und Umsetzung bewältigen. Fromherz: Die Atome und ihre Wirkungen sind als solche unanschaulich und nicht durch entsprechende Atommodelle zu beschreiben; ein Modell gilt jeweils nur für eine bestimmte Eigenschaft (z. B. „akustische“ Analogien oder schwingende Doppelpendel, elektrostatisch aufgeladene Drähte usw.). Im ganzen verhält sich das Atom analog einem schwingungsfähigen und schwingenden Gebilde, das wie eine pulsierende Kugel in diskret verschiedenen, durch Quantenzahlen charakterisierten Zuständen schwingen kann, und zwar mit stehenden elektrischen Schwingungen der Ladungsdichte der den Atomkern umgebenden Elektronenwolke. Aus der Ladungsverteilung in der Elektronenhülle und ihrer Veränderlichkeit geht die „chemische Bindung“ hervor, die spezifischer Art ist.

Was ist hier von den starren (oder einfach elastischen) „Wirklichkeitsklötzchen“ (Paulsen) der alten Demokritischen (und „anschaulichen“) Atomistik mit ihrem „materialistischen“ Weltbild und von dem strengen chemischen „Mechanismus“ von Boyle, Berthollet, Lothar Meyer, K. Fr. Mohr u. a. übriggeblieben?¹⁴

Wenn aber der ursprüngliche Begriff der chemischen „Zusammensetzung“ seit Dalton und Avogadro eine Verfeinerung, ja sozusagen „Vergeistigung“ erfahren hat (die Materie — nach Russell — „gespensterhaft“ geworden ist), so gilt dies in gleichem Maße von dem korrespondierenden Begriff der chemischen *Umsetzung* (Zersetzung und

Wechselwirkung). Eine solche wird von vornherein gedacht als eine räumliche „Umordnung“, hervorgehend aus bestimmt gerichteten *Bewegungen* von Teilchen und Teilchengruppen, die dann stattfinden, wenn „der chemische Gleichgewichtszustand“¹⁵, d. h. „die wahrscheinlichste Anordnung“ eines Gebildes (oder auch der stationäre Zustand bei reaktionsträg „eingefrorenen“ Systemen) irgendwie aufgehoben wird, in der Regel durch energetische oder stoffliche Einflüsse der Umgebung, im letzteren Falle ausschließlich auf dem Wege nachbarlicher Berührung (dem klassischen „Zusammenstoß“). Daß hier, auf dem ausgedehnten Gebiete der „Reaktionskinetik“, die gleichen fiktiven Bestandteile — und noch neue dazu — in die Gedankenwelt des Chemikers eingehen müssen, ist von vornherein klar; und auch in der gegenwärtig in Ausbildung befindlichen *Affinitäts- und Reaktionslehre auf elektronischer und quantenmechanischer Grundlage* fehlt es nicht an mehr oder minder „gewalttätigen“ Idealisierungen und Veranschaulichungen fiktiver Art.

Solche fiktive Momente gehen mit ein in Vorstellungsbilder wie „Dehnungen, Lockerungen, Zerrungen, Spreizungen im Atomverband“ als Vorstufe der Umsetzung, Stoßzahlen und Stoßausbeuten (nicht nur auf Molekeln und Atome, sondern auch auf Elektronen angewandt!), Bindungsenergien als Funktion der Atomabstände, rein kinetische Natur der „Reaktionswärmen“, „Deformationen“ von Atomen und Ionen, Abschirmung von Valenzkräften, Blockierung und sterische Hinderung: Begriffe, die, wenn sie auch auf streng mathematischen Symbolen und Definitionen beruhen, exakt ableitbar und durchaus wertvoll und „fruchtbar“ sind, doch unvermeidlich von zeiträumlichen fiktiven Ausdrücken Gebrauch machen, da anders eine sprachliche Beschreibung unmöglich ist. (Dem physikalischen Chemiker namentlich ist hier die wichtige Aufgabe gestellt, neue Anweisungen der theoretischen Physik in bare Münze für den chemischen Verkehr umzuwandeln; so entsteht immer neue wissenschaftliche „Anschaulichkeit“.)

Im ganzen ergibt sich, daß der im praktischen Leben voll bewährte „mechanistisch-materialistische“ *Begriff der „Zusammensetzung“* sowie „Zersetzung und Umsetzung“

beim Festhalten seiner zeiträumlichen Urbedeutung um so mehr fiktive Elemente gewinnt, je weiter man in das submikroskopisch Kleine, in das Gebiet der geringsten Dimensionen vordringt (und ähnlich wird es umgekehrt auch beim Übergehen in astronomische Raum- und Zeitverhältnisse sein). Eine „Zusammensetzung“ mit ihren Teilen wird in der Chemie um so mehr zur „Ganzheit“ mit ihren Gliedern, je beträchtlicher die Energieänderungen sind, in denen sich die „Zusammenfügung“ der niederen Einheiten äußert; am schärfsten in den Atomkernen, wo die Energieänderungen als Massenzuwachs oder Massenabnahme in Erscheinung treten. Hier „kann Physik nicht länger als Mechanik betrieben werden“ (Haldane).

Es gibt noch ein einigermaßen getreues Bild der Wirklichkeit, wenn man etwa den Granit aus Quarz, Feldspat und Glimmer *zusammengesetzt* sein läßt. Immerhin beweist ja schon der feste Zusammenhalt jener Bestandteile, daß besondere „Ganzheitskräfte“ vorhanden sind, die sich nicht ohne weiteres aus den Eigenschaften der Bestandteile additiv ergeben; und jede feinere physikalische Messung wird bestätigen, daß schon hier das Ganze in gewissem Sinne, d. h. dynamisch, mehr und anders ist als die Summe seiner Teile, aus denen es sich zusammengefügt hat und in die es wieder „mechanisch“ zerteilt werden kann. Dasselbe gilt für die „*Metastrukturen*“ der Materie (Faden-, Film-, Micellar- und Kolloidzustand), die nach W. Ostwald u. a. auch nicht einfache Summen von Atom- und Molekelstrukturen sind, sondern besondere hinzukommende Eigenschaften zeigen; und ebenso wird es sich mit den Aggregaten der Biochemie (z. B. den „Erbstoffbeständen“ nach Schmalfuß) und mit dem rätselhaften Protoplasma verhalten. (Vgl. auch V. Kohlschütters „Somatoide“ als „chemische Gestalten“ von ungleichförmiger und doch ganzheitlicher Beschaffenheit, mit Bestandteilen, die nur im Gesamtgebilde beständig sind.) „Man kommt dem Wesen eines Gebildes nicht auf die Spur, wenn man es immer weiter in seine Bestandteile zerlegt“ (Planck).

In besonders hohem Grade tritt, wie sich gezeigt hat, das Fiktive der „Zusammensetzungs“-Vorstellung zutage, wenn man vom „Körper“ zur Ganzheit der Molekel zurückgeht, und beim Atom (Dimension = etwa 10^{-8} cm, Atom-

kern etwa 10^{-12} cm) versagt schließlich, streng genommen, das Prinzip der Additivität ebenso wie die Vorstellung einer inneren „Topographie“ des Gebildes und einer wahren und strengen „Kinetik“ nach Art der klassischen Massen-Mechanik. So behält schließlich Helmholtz Recht mit seinem Ausspruch: „Vielleicht sind auch Stoffe „Figmente“ der erklärungsduerigen Intelligenz“¹⁶.

Immer aber sind auch die *Fiktionen der Chemie* — d. h. die nützlichen und überdauernden, im Gegensatz zu „Eintagsfliegen“ und „Irrlichtern“ — *nicht willkürliche Setzungen*; sie entstehen mit einer Art Denknötwendigkeit, teilen jedoch das Schicksal jeder theoretischen „Überhebung“ in Hilfsbegriffen, Wandlungen zu erfahren und zu gegebener Zeit vielleicht durch etwas noch Besseres ersetzt zu werden. So ist die mechanistisch-materialistische Betrachtungsweise des Chemikers nicht nur als heuristisches Prinzip wertvoll, sondern in gewissem Sinne sogar „richtig“; irreführend und falsch werden derartige Begriffsbildungen erst dann, wenn man das Bild und Symbol als adäquate *Darstellung der vollen Wirklichkeit* nimmt, also als etwas, das unabhängig vom Beobachter genau so existiere, wie es von diesem vorgestellt und gedacht wird. Von hier fällt Licht auf einen alten Satz von Lotze: „Fiktionen sind mit Bewußtsein vollzogene Unterordnungen eines gegebenen Begriffes oder eines vorliegenden Falles unter ein Allgemeines, unter welches beide genau genommen nicht gehören. *In diesem Sinne ist die Atomistik eine Fiktion.*“¹⁷ Hierzu F. A. Lange: „Das Atom darf nicht zu einem Glaubensartikel werden.“ Daß aber die völlige „Degradierung“ der Mikrostruktur-Hypothese zu einer Fiktion abzulehnen ist, hat schon Erich Becher 1914 ausgesprochen.

III.

Es hat sich gezeigt, daß die „chemische Grundfiktion: *Zusammensetzung*“ einer „Anatomie und Physiologie“ stofflicher Gebilde nur verstanden werden kann, wenn man sie bis in die Tiefen der Atomphysik verfolgt, daß aber durch deren Fortschritt die alte (primäre) Bauklötzchen- oder Billardkugel-Anschaulichkeit und „Handgreiflichkeit“ für immer verlorengegangen ist. Die Forschung

läßt deutlich erkennen, „daß im Innern des Atoms die Grenze für die Anwendbarkeit unserer gewohnten Denk- und Anschauungsmittel liegt“ (Bavink). In bezug auf die Eigenschaften des „Stoffes“ im Zusammenspiel der Atome gilt dann nicht nur, daß keine stofflichen Änderungen ohne entsprechende energetische Änderungen stattfinden und daß andererseits sämtliche energetischen Änderungen auch unter stofflichem Gesichtspunkt betrachtet werden können, sondern es sind auch schließlich Strahlungsenergie und „Stoff“ in ein Verhältnis gegenseitiger Ummwandlungsmöglichkeit getreten.

Daß dabei immer ein „Als ob“ mitspielt, beweist am besten das *antinomistische Nebeneinanderbestehen der Korpuskelfiktion und der Feld- oder Wellenfiktion* sowohl auf stofflichem wie auf energetischem Gebiet. Was einst E. Becher als möglich vorausgesagt hat: „Unter Umständen könnten zwei leistungsfähige, aber *miteinander unvereinbare* Theorien zugleich Anwendung finden“, das ist in großartigem Stile in dem „Hartgegeneinanderstehen“ des Wellen- oder Kontinuumbildes und des Korpuskularbildes sowohl für Elektrizität und Strahlung als auch für die Materie zur Tatsache geworden, indem jedes dieser zwei „Bilder“ („gepaarte Symbole“ nach Eddington) jeweils nur bestimmte Seiten des Seins oder Vorganges wiedergeben kann, ohne daß eine Möglichkeit sichtbar wird, beide Grundfiktionen in einem höchsten Bilde des Vorstellens zu vereinigen. Zuweilen, so in der Art der „Fortpflanzung“ (mit Interferenzen), kann sich das „Licht“ benehmen, als ob es eine stetige „Wellennatur“ hätte; in anderen Fällen, so beim Energieaustausch, als ob es aus „Korpuskeln“ (Quanten, Photonen) bestünde, und ähnlich verhält es sich mit den „Grundbausteinen“ des Stoffes, wie Elektronenbeugung, kosmische Höhenstrahlung usw. zeigen.

F. Jordan: „Experimente, die die Wellennatur des Lichtes heraustreten lassen, drängen die korpuskulare Natur ins Unbekannte zurück und umgekehrt.“ Heisenberg: „Wir sehen das Elektron einmal als Teilchen in einer Wilson-Kammer seine Bahn beschreiben und stellen ein andermal fest, daß es an einem Beugungsgitter wie eine Welle reflektiert wird.“ Burkamp: „Der elektromagnetische Feld-

zustand wie die Materie“ sind beide sowohl „diskontinuierlich korpuskulare wie auch kontinuierlich sich wandelnde Größen“. Schrödinger: „Weder die Korpuskulartheorie noch die Wellentheorie vermag für sich allein den Tatsachen gerecht zu werden, sie beleuchten zwei ganz verschiedene Seiten des Phänomens, die wir noch nicht wirklich in Einklang zu bringen gelernt haben.“ (Dabei gilt „Welle“ als „Konstruktion, die sich der Mathematiker in Räumen von mehr als drei Dimensionen veranschaulichen kann“. P. Jordan.) Weyl: „Den tatsächlichen Betrieb der physikalischen Forschung beherrscht der Dualismus von Materie und Feld.“ Trautz: „Eine Einheitlichkeit des physikalischen Weltbildes ist wohl nie zu erreichen“, und „eine unvollständige Weltauffassung wird man ertragen lernen müssen“ (Mach).

So mündet tatsächlich die neuere Entwicklung der Atom- und Quantenphysik mit ihrer „die Grundvorstellungen unseres naturwissenschaftlichen Weltbildes umgestaltenden Revolution“ (P. Jordan) in einer gewissen *Resignation in bezug auf die Erkenntnis des „inneren Wesens“ des atomaren Seins und Geschehens* aus, indem mehr und mehr erkannt wird, daß die physikalische Wissenschaft zwar Ordnung und Zusammenhang in unsere Beobachtungen bringen kann, daß sie aber über das „wahre Wesen“ von Stoff, Naturkraft, chemische Umsetzung usw. nichts Bestimmtes und Endgültiges auszusagen vermag. Das bedeutet zugleich den „Verzicht auf ein die Natur anschaulich und adäquat beschreibendes Modell“ (Grete Hermann).

Heisenberg: „Mit jeder großen Entdeckung werden die Ansprüche des Naturforschers auf ein Verstehen der Welt im ursprünglichen Sinne immer geringer. Ein Verständnis erster Art ist für die Welt der Atome unmöglich.“ Westphal: „Es ist schon eines der wichtigsten Erkenntnisse unseres Jahrhunderts, daß das, was wir die objektive Wirklichkeit hinter den Erscheinungen nennen können, nicht so beschaffen ist, daß es durch ein mechanisches Weltbild beschrieben werden könnte. In mathematischen Gesetzen ist der Wahrheitsgehalt der Physik enthalten.“ (Ähnlich Planck über die fortschreitende „Entanthropomorphisierung“ und „Entsinnlichung“ in der physikali-

schen Wissenschaft und P. Jordan über „Inhaltsverarmung“.) Hopf: „Vom Verstehen wird immer weniger verlangt. Jedes einfache Bild, das wir von physischen Erscheinungen entwerfen möchten, bleibt in seiner Anwendbarkeit beschränkt. Der elementare Vorgang in der Natur ist Feld und Korpuskel in einem. Es bleibt ein für die Anschauung nicht erfaßbarer Dualismus Welle und Korpuskel.“ Eddington: „Alles ist Wasser und Welle“¹⁸.

Was indes in einer Beziehung eingebüßt wurde, das wird in anderer Beziehung wieder reichlich eingebracht. Dem Verlust unmittelbarer Anschaulichkeit im neueren physikalischen Weltbilde steht — was manchmal übersehen wird — ein *überragender Gewinn* insofern gegenüber, als hier an entscheidender Stelle der *Materialismus und Mechanismus*, der — bei allen wertvollen Leistungen in methodischer Hinsicht — zweifelsohne den Geist nicht voll zu befriedigen vermag, in strenger empirischer Forschung seine „philosophische“ (erkenntnistheoretische) *Selbstaflösung* erfahren hat, so daß auch in der Wissenschaft die Bahn für andersartiges Denken völlig frei geworden ist.

Dabei gilt, daß „die Anschauung den Weg auch da noch weist, wo sie schließlich nicht mehr zu folgen vermag“ (Madelung) und daß, was als *Dogma* zu verwerfen ist, als nützliche, ja denkwürdige *Fiktion* beibehalten werden kann und muß. Die Gefahr aber, daß anschaulich vorgestellte Hilfsbegriffe (z. B. der Affinitätsbegriff) „der Wissenschaft gefährlich“ werden könnten, „ist nicht groß“ (Vaihinger), vorausgesetzt, daß man sich immer bewußt bleibt, in den Wesenskern der Dinge — Ding und Vorgang an sich — nicht vorgestoßen zu sein.

Wenn also auch die friedlichen und selbstgenügsamen Zeiten unwiederbringlich dahin sind, da der Chemiker sich seine Atome so vorstellen konnte, daß sie gewissermaßen mit Mikrohänden ergriffen und betastet werden konnten, und da in der Wissenschaft nur einzelne Skeptiker und Ketzler (wie Schönbein und W. Ostwald) Zweifel an einer *derartigen Realität* der Atome äußerten, so ist damit doch kein resignierender Agnostizismus oder Pragmatismus eingeführt. *Wir wissen heute, daß die gestaffelten Vorstellungsgebilde Elektron — Atom — Molekel — Aggregat*

usw. in ihrer „Äußerung“ durchaus „real“ sind und daß uns nur ihre „Innerung“ verborgen bleibt. „Das Elektron ist nicht mehr und nicht minder hypothetisch“ (richtiger: fiktiv) „wie ein Stern“ (Eddington), und „das Atom ist ebenso sicher wie eine Zelle“ (Fechner). Die Atomistik als „eine Ansicht, die einen Nexus von Tatsachen repräsentiert“, „hat ihre größten Leistungen stets so still im Schoße der Wissenschaft vollbracht und ist dagegen stets so laut von seiten der Philosophen angegriffen worden“ (Fechner).

Zutreffend bleibt nach wie vor die Vorstellung einer *diskontinuierlichen Gliederung des Geschehens bis in das Gebiet der atomaren Dimensionen*; die Fiktionen aber, die sich einfinden, wenn man die in mathematischer Symbolik niedergelegten Erkenntnisse in Wortsymbole überführen will, sind nicht Willkür, Konvention und „zufällige Setzung“, sondern entspringen aus inneren Denkgesetzen des in Wechselwirkung mit der Natur stehenden menschlichen Intellektes. Was vermieden werden muß, ist nur eine Überbelastung solcher Hilfsbegriffe, eine „logische Überbeanspruchung“ von „Naturgesetzen“ (Nernst), oder gar ihre Erhebung zu weltanschaulichen Dogmen. Hat doch selbst Ernst Haeckel anerkannt, „daß wir dem innersten Wesen der Natur heute vielleicht noch ebenso fremd und verständnislos gegenüberstehen wie Anaximander und Empedokles vor 2400 Jahren“. „Benutzt wird ein Formalismus, der die mathematische Beschreibung auf die einfachste und vollkommenste Weise besorgt, der jedoch zur qualitativen Deutung und Erklärung der Naturwirklichkeit völlig unbrauchbar ist“ (May). Bei einer solchen ergänzenden Deutung braucht indes die Wissenschaft sich nicht zu scheuen, nach wie vor „hoministisch“ vorzugehen — das ist unser Schicksal —; nur wird es gut sein, immer nach Klarheit darüber zu trachten, wo streng logische Wahrheit (Geltung) und Realität aufhören und Hypothese und Fiktion anfangen¹⁹.

Ist durch die Erkenntnis von dem unvermeidlichen Eindringen fiktiver Elemente in die Grundbegriffe der Chemie volle Freiheit gewonnen, die *wahre und wirkliche Natur desjenigen, was zugleich Sein und Geschehen ist, sich beliebig zu denken: was liegt dann näher, als sich jenes nach näherer oder entfernterer Analogie des eigenen We-*

sens vorzustellen, das uns unmittelbar bewußt ist, das zugleich aber auch „stoffgebunden“ erscheint? So entsteht eine „andere Atomistik“ mehr innerlicher Art, anschließend an Sennert und Leibniz, und es macht sich eine bedeutsame *psychistische Symbolik geltend*, die darauf hinausläuft, den Stoff der Welt als „Geiststoff“ (Eddington), oder als unter „seelischer Führung“ stehend (Becher u. a.) anzunehmen, oder ihm eine „Fühlung“ und „Innerrung“ zuzuschreiben (s. auch S. 313). Haldane: „Schon in der physikalischen Welt müssen Keime von Personalität vorhanden sein.“ Weyl: „Materie ist im Innern vielleicht Leben und Wille.“ E. Becher: „Es könnte so etwas wie Lust und Schmerz, Begehren und Widerstreben schon im inneren Wesen der Atome geben.“ A. Wenzl 1936: „Die Elemente der Physik können letzten Endes als seelische Wesenheiten erscheinen, deren Bestrebungen sich mathematisch ausdrücken lassen. Die im Organismus vereinigten Elemente sind Willensträger, die unter der Suggestion des zentralen Willensträgers stehen“²⁰.

Für die *Naturwissenschaft* ist damit jedoch sachlich nicht viel gewonnen, und bei einem Wettbewerb im Voraussagen und Anwenden dürfte die psychistische Fiktion gegenüber der elektronenmechanischen oder quantenmechanischen schlecht abschneiden. E. Becher: „Der Metaphysiker mag versuchen, das „An sich“ der Atome oder Elektronen zu erfassen, etwa als seelische Wesen; dem Naturforscher bleibt das Wesen an sich verschlossen.“ M. Hartmann: „Die Arbeit des Naturforschers gilt dem erkennbaren Teil des Seins und nur diesem; den irrationalen Teil müssen wir in Bescheidenheit hinnehmen.“ P. Jordan: „In den Wesenskern können wir nicht eindringen.“ Schopenhauer: „Jede Erklärung läßt ein Unerklärliches zurück. Die Hauptsache bleibt uns ein Mysterium.“ Vaihinger: „Wenn es gelingt, alles Geschehen auf Atombewegung zu reduzieren, so ist damit die Welt noch nicht begriffen. Und versucht man, das Physische auf Psychisches zurückzuführen, so kommt man wieder bei einem letzten Unbegreiflichen an.“ A. Schweitzer: „Leben und Welt sind irrational.“

Dennoch aber: „Eine gewisse Erkenntnis der wirklichen Welt ist möglich“ (Becher), trotz der unausweichlichen Fiktionen, die sich in den Denkprozeß einmischen, wenn

es gilt, im tiefsten Grunde Unerkennbares und „Unanschauliches“ anschaulich wiederzugeben und eine mathematische Symbolik der Wirklichkeit in Worte zu fassen. Hierbei gewinnt schließlich *noch ein weiterer Hilfsbegriff* zunehmende Bedeutung, der insbesondere mit Rücksicht auf seinen sprachlichen Ausdruck gleichfalls als *Fiktion* gekennzeichnet werden kann, ja muß: der *Begriff der Rangordnung oder Staffeln* im „Stufenreich der Wirklichkeit“ (A. Wenzl), der sich vom Atom bis in das biologische, ja bis in das psychisch geistige Geschehen erstreckt, darin ähnlich dem *Kraftbegriff*, mit dem er auch eine Art psychologischen Ursprungs gemein hat, nur daß die Zuerkennung eines „Ranges“ eine Bewertung voraussetzt, also auf das Gefühl sich gründet, der Kraftbegriff aber auf den verursachenden Willen. Wie wichtig, ja unentbehrlich dieser Begriff der Rangordnung und ihrer Harmonien schon auf rein stofflichem Gebiet ist, wird (z. B. in angewandter Wahrscheinlichkeitsrechnung) oft übersehen, und doch ist es so in der Natur, daß „dem Höheren und Edleren das Niedere untertan ist“ (Sennert um 1620). Dabei ist wieder zu beachten, daß Dinge wie Rangordnung, Ursache, Stoff und Kraft nicht eigentlich in der Natur „sind“, sondern vom Intellekt „vollzogen werden“. Die Mathematik aber, die auf den niederen Stufen der Rangfolge der Wirklichkeit so Grundlegendes und Ausgezeichnetes leistet, scheint auf den oberen Stufen allzu komplizierter Erscheinungen nur noch als eine bescheidene Dienerin auftreten zu können.

Die Chemie hat es mit der *Rangordnung von Ganzheiten oder „Wirkeinheiten“* (Schmalfuß)²¹ in einer „molekulare-hierarchischen Welt“ (Selety) zu tun, oder mit einer „Stufenfolge von Weltbausteinen“ (E. Becher), vom Proton, Neutron und Elektron über Atom und Molekel bis zu den Kristallen und sonstigen „Aggregaten“ und Körpern, wobei die kolloiden „Metastrukturen“ eine besonders ausgezeichnete Stellung einnehmen. Von diesem Stufenbau gilt, daß die „Spielregeln“ jedes Gebildes sich nicht rein additiv und restlos aus denen der Bestandteile oder Glieder ableiten lassen. „Die Form ist emergent und resultant zugleich“ (Oldekop). „Der Zustand der Teile ist vom Ganzen her bedingt“ (A. Wenzl). Was dabei „auf höherer Basis in Gemeinschaft mit anderem als Baustein erscheint, ist genau

für sich besehen Vorgang“ (Müller-Freienfels). „Die niederen Ränge sind Planteilträger der höheren Ganzheiten, und diese lassen sich aus ihnen aufbauen. Ein höherer Plan nimmt niedere in sich auf“ (Schmalfuß). Niemals aber „läßt sich ein Gebilde höherer Dimension aus den Gebilden der niederen Dimension erklären“ (K. Hildebrandt). So ergeben sich hier in dem „aristokratischen Ordnungsplan der Natur“ Analogien zu dem *Gebiet des Psychischen*, wo gleichfalls jedes bedeutsame Gebilde sich als eine Art „Neuschöpfung“ — und nicht als bloße „Undverbindung“ von Vorgängen — darstellt, geleistet in dauernder „schöpferischer Synthese“ inmitten einer Stufenbau-Ordnung mit unendlichen Wechselbeziehungen und Rangfolgen (W. Wundt u. a.).

Was man mitunter als „Krise“ der gegenwärtigen physikalischen Wissenschaft bezeichnet, ist in Wirklichkeit der Prozeß einer gewaltigen Verinnerlichung und Vertiefung und einer Befreiung von den drückenden Fesseln der *Vorherrschaft oder Alleinherrschaft des mechanistischen Determinismus* (nicht etwa einer Aufhebung des Determinismus überhaupt); anders gesagt, der Sturz des mechanistischen Materialismus — oder „Stoffwahn“ —, der durch Jahrhunderte mit einem Eifer und einer Zähigkeit verfochten worden ist, die einer besseren Sache würdig gewesen wären. (Freilich ist „mechanische Kausalität die faßlichste von allen“, Schopenhauer; und „erklärende Fiktionen haben die Tendenz, die Naturvorgänge auf Mechanik zurückzuführen“, J. Schultz.) „Durch die moderne Physik ist der materialistischen Philosophie ihre naturwissenschaftliche Fundamentierung endgültig entzogen“ (P. Jordan).

Die Chemie aber hat an dieser Befreiung — die von einer „Nachtansicht“ zu Fechners „Tagesansicht“ der Welt zu führen vermag, in der schließlich „primäre“ und „sekundäre“ Qualitäten ihre Plätze vertauschen — ihren vollen Anteil, und es wird ihr nichts ausmachen, daß dabei so manche primäre und „handgreifliche“ Anschaulichkeit und scheinbare „Leichtverständlichkeit“ zum Opfer gebracht werden muß. Läßt sich doch im Anschluß an das Lehrgebäude der fortgeschrittenen Theorie eine neue „sekundäre Anschaulichkeit“ erzeugen, die allerdings weitgehend fiktiver Art ist, die für das Verständnis und für die Anwen-

derung der mathematischen Symbolik auf die empirische Forschung indes (nach dem schon herangezogenen Ausspruch von Schopenhauer) „ungefähr dasselbe leistet als die Wahrheit selbst“. So wird für den Chemiker weiterhin gelten: „Du sollst Dir ein Bildnis und Gleichnis machen“, und er wird sich demgemäß der Fiktion bewußt und gern bedienen als einer Gehilfin, deren Leistung man nicht überschätzen, aber auch nicht unterschätzen soll, und die schließlich — wenn man sie nur recht zu nehmen weiß — merklich besser ist als ihr alter Ruf.

„Naturwissenschaft kann nur auf dem Wege der Erfahrung, d. h. durch Beobachtung, Versuche und Analogien gefördert werden.“
J. W. Döbereiner

„Die strenge Durchführung sinnlicher Anschaulichkeit ist imstande, unsere Erkenntnis vor dem weit gefährlicheren Spiel mit Worten zu bewahren.“
F. A. Lange

Anmerkungen:

1 Über die Arten der Fiktion und deren große theoretische und vor allem praktische Bedeutung in Wissenschaft, Kunst und Leben s. Vaihinger. Sehr bedeutsam erscheinen die „fiktiven Begriffs- oder Wortpaare“: Das Ganze und seine Teile, Subjekt und Objekt, Ding und Eigenschaften, Ursache — Wirkung, Stoff — Form, Materie — Kraft, Sein — Geschehen, deren Glieder real nicht zu trennen sind. Auch das „Naturgesetz“ erscheint gewissermaßen als (psychistische) Fiktion: der Einzelfall ist nicht realiter vom „Gesetz“ abhängig, sondern dieses bedeutet nur eine formale Zusammenfassung gleichförmig wiederkehrender Fälle behufs Vorhersagung neuer. Über „Semifiktionen und Vollfiktionen“ s. auch Willrodt 1933; in bezug auf Vaihingers „positiven Idealismus“ sowie über „kritischen Realismus“ Wenzl, E. Becher, Bavink u. a. — 2 Trotz Lotzes und Vaihingers scharfer Scheidung werden die Ausdrücke „Fiktion“ und „Hypothese“ in der Naturwissenschaft oft nicht recht auseinandergehalten, insbes. insofern, als man ganz ausgesprochene Fiktionen, d. h. völlig Unerweisbares oder gar in sich Widerspruchsvolles als Hypothese bezeichnet, z. B. „Substanzhypothese“ des Athens statt „Substanzfiktion“. — 3 Vgl. hierzu Kassel, O. v. Guericke's Forschungswege, Naturwiss. 24, 305 [1936]. — 4 Auch in der Abstammungslehre z. B. sind Tatsachen nicht nur mit Hypothesen (teilweise bereits widerlegten), sondern auch mit fiktiven Bestandteilen eng vermischt, insbes. mit solchen extrem „mechanistischer“ Art. (Es gibt auch den Fall, daß zwei gegensätzliche, als Hypothesen sich gebärdende Fiktionen einander wechselseitig verdächtigen, Fiktionen zu sein; so einstmals F. Zöllner gegen „Kraftlinien“, Maxwell gegen „Fernkräfte“! „Kraftlinien, die zu einem Körper gehören, als wären sie ein Teil von ihm.“) — 5 Vaihinger: „Leicht werden logische Gebilde in reale Wesen verwandelt. Man verwechselt Faktum und Fiktum.“ „Im Handumdrehen ist aus der Fiktion ein Dogma geworden.“ (Über Fiktionen in der Physik, speziell Elektrizitätslehre, s. auch J. Schultz, Ann. Phil. 1921, S. 41, 521; hinsichtlich Molekularphysik O. Lehmann, ebenda 1921, S. 203; über die „Grundfiktionen der Biologie“ J. Schultz 1930; über „Analogien in der Physik“ L. v. Strauss u. Torney, Erkenntnis 1936, S. 1.) — 6 Bei Fremdwörtern verblaßt die anschauliche Urbedeutung leichter und rascher; daher ihre Bequemlichkeit im Gebrauch, aber auch ihre Gefährlichkeit, denn (nach Jean Paul): „Bei Fremdwörtern hört man nicht so genau“. Sind doch

auf völlig inhaltsleer gewordenen Worten, wie „das Absolute“, schon ganze philosophische Systeme errichtet worden! — 7 Westphal (in Kosmos, Dezember 1936): „Das Weltbild der Physik besteht aus Modellen, und keines ist endgültig oder gar in irgendeinem Sinne richtig. Nicht in den Modellen ist der Wirklichkeitsgehalt der Physik enthalten, sondern in den mathematisch ausgedrückten Gesetzen, denen wir mit Hufe der Modelle auf die Spur kommen.“ Jedes Modell der Theorie dient als Gerüst, das abgebrochen wird, wenn man es nicht mehr braucht (Lothar Meyer, Vaihinger). Mathematische Formeln aber können die „wunderbare Eigenart“ haben, „daß man sie zuverlässig handhaben kann wie ein Werkzeug, dessen Herkunft man nicht kennt“ (Gerlach), so „als wohne ihnen ein selbständiges Leben und eigener Verstand inne“ (H. Hertz). S. auch Fr. Hund über „Wandlungen der Begriffsbildung in der neueren theoretischen Physik“ in Blatt. f. deutsche Philos. 6, 94 [1932—33]. — 8 Auch die Gewöhnung spielt hinsichtlich der „Anschaulichkeit“ von Theorien eine große Rolle; man denke an die fiktiven Begriffe der Elektrizitätslehre, mit denen heute schon der Anfänger vertraut wird und unbedenklich operiert, während man sich einst z. B. gegen Ohms „elektrischen Widerstand“ heftig gestraußt hat. „Wir wissen nicht, was spätere Generationen als „anschaulich“ bezeichnen werden. Stumpft sich das Gefühl doch selbst gegen Widersprüche allmählich ab“ (Gerlach). („Über Anschaulichkeit physikalischer Theorien“ s. auch Ph. Frank, Naturwiss. 16, 123 [1928]; ferner Bennewitz über „konstruktive“ Anschaulichkeit). — 9 Vgl. hierzu und zu dem Folgenden: Mlttasch, „Über Ganzheit in der Chemie“, Ang. Chemie 49, 417 [1936]. Nach Wo. Köhler sind reine „Undverbindungen“ durch völlige Unabhängigkeit der Summanden voneinander gekennzeichnet; in einer „Gestalt“ oder „Ganzheit“ aber ist der Zustand an jeder Stelle von dem an den übrigen Stellen nach festem Gesetz abhängig. Hinsichtlich Struktur und Ganzheit als haltbarer Gliederung und sinnbedingter Bezogenheit („abgeschlossen allseitiger Wechselwirkung“) s. auch F. Krüger, O. Spann, O. Kochler, W. Burkamp u. a. — 10 Daß fiktive Momente doch hineinspielen, ist schon daran zu erkennen, daß man sich die Gebilde Molekel und Atom (gedanklich vergrößert) wohl nur in einer bestimmten „Formart“, und zwar als fest (bzw. elastisch schwingend) vorzustellen vermag, obgleich man weiß, daß „Formart“ (Aggregatzustand) nur für Ganzheiten aus zahlreichen einzelnen Molekeln bzw. Atomen und Ionen gelten kann. Eine Art vereinfachende „arithmetische Fiktion“ wird es auch sein, wenn man Anionen und Kationen einfach als Summe oder Differenz von Atom oder Molekel + Elektron ansieht. — 11 Die ungeheure Komplizierung des Systems der Elemente mit ihren abgestuften spezifischen Eigenschaften bringt es mit sich, daß nur die einfachsten Fälle chemischer Bindung und Umsetzung bisher mit Erfolg theoretisch bewältigt werden konnten. W. Hückel spricht von einer „Verschleierung des Nichtwissens“ (d. h. des Nichtvorausagewissens) und betont, daß es eine brauchbare Theorie der Affinität und ein allgemeines Maß für diese noch nicht gebe. „Man glaubte oft Erscheinungen theoretisch zu erfassen, wenn man sie mit unzulänglichen Bildern beschrieb.“ (Schon Fechner hatte angenommen, daß in jedem Atom + und — Elektrizität vorhanden sei und daß sich diese bei der Verbindung von Atomen „teilweise trennen.“) Über die Valenzelektronen des Kohlenstoffs: Unfreie A-Elektronen („im Kasten“, mit Potentialwällen als hindernder Wand) und lockere B-Elektronen (für Mehrfach-Bindung) s. O. Schmidt. „Auf der Anwesenheit solcher mit A-Elektronen gefüllten Räume beruht offenbar die Eigenart der organischen Substanzen“ (dazu die tetraedrische Ladungsverteilung und der kleine Atomradius des C). (Vgl. auch Raman-Effekt-Studien.) — 12 So hat sich auf dem fruchtbaren Boden der Elektronik bereits eine üppig wuchernde Flora anschaulicher Hilfsbegriffe entwickelt, von der eine kleine Auslese gegeben sei: Elektronengas, -dampfdruck (in Metallen), -drall (Drehimpuls, Spin), -ladungsdichte, -konfiguration, -kristall (bei Supraleitfähigkeit), -strahl, -nebel oder -wolke, -schalen, -zwillinge, -schauer und -garben, -oktette, -temperatur, -platzwechsel, -verschlebung und -verteilung usw. Dazu kommen andere „verwandte“ Fiktionen: Ionenwolke, Dipolmoment, schwingende Ladung, Resonanzkopplung und Resonanzniveau, Potentialschwelle und „Potentialtopf“

(P. Jordan), Kaskadensprünge, Isomerien und metastabile Zustände des Atomkerns, Deformation der Atomhülle, Wellenpakete, elektrische Polsterung und Abschirmung, gewinkelte Valenzen, Drehung und Spreizung von Valenzrichtungen u. a. m., entwickelt in einer „anschaulichen Quantentheorie“ und einer „anschaulichen Valenzlehre“. — Werden derartige Fiktionen überbeansprucht und zu weit verfolgt, so ergeben sich Scheinprobleme, sinnleere Sätze und Widersprüche. Zu welchen Paradoxen man aber schließlich gelangt, wenn man atomphysikalische Bilder für vollgültige Münze nimmt, zeigt ergötzlich Eddingtons Schilderung der unüberwindlichen Schwierigkeiten, die einem theoretischen Physiker beim Überschreiten einer „atomphysikalischen“ Türschwelle begegnen (s. auch Wulf u. a.). — 13 So ist auch die individuelle Konstanz des „Ur-Teilchens“, die zum Dogma der alten Atomistik gehörte, durchaus verlorengegangen, und Weyls „Weltlinien“ verlieren ihren Sinn. Stellt man sich etwa vor, daß im Anfang aller Dinge tausend Demokritische Atome „signiert“ worden wären, so müßten diese nach der alten Atomistik am Ende aller Dinge unverseht vorhanden sein, so daß sie der „universelle Geist“ von Laplace herausuchen könnte. Die Tatsachen der Radioaktivität, der Atomumwandlung (mit Isotopen) und Zerstrahlung von Materie (nebst entsprechender Möglichkeit einer Neubildung) haben dergleichen Spekulationen ein Ende bereitet und der Atomistik alten Stiles den letzten Stoß versetzt. Demgemäß sind auch Elektron und Proton keine absolut stabilen Gebilde, also keine eigentlichen letzten „Ur-Teilchen und Stoffklumpchen“ mehr. „Ein Elektron für sich hat keine Eigenschaften“ (Eddington). (Vgl. hierzu „Massendefekte“ sowie auch die „Reaktionskette“ der angenommenen „wechselnden Umwandlung“ von Korpuskularstrahlen in Photonen und umgekehrt in der kosmischen Ultrastrahlung, nach Regener u. a.) — 14 J. Schultz erörtert noch 1935 die geometrische Beschaffenheit der Atome bzw. „Uratome“ (als wirklich letzte Teilchen) und spricht da von „Kugeln mit Nullmantel“, von „Hohlkapseln“ oder „schalenartigen Gebilden“. Becher hat 1914 gefragt, ob die „Ladung“ an der Oberfläche des Elektrons hart oder ganz in das Innere falle. „Wenn das Elektron räumliche Größe hat, so hat es auch eine Gestalt.“ (Man vgl. hiermit die mathematische „Signalgebungssymbolik“ der neuen Elektrotechnik, wobei durch das Eingehen der Zeitdimension in das Wirkungsquantum eine weitere Komplikation hereinkommt.) — Die „Uraktion“ der Naturwissenschaft, die Summierungsformel, wird zum Irrritum, wenn man meint, daß das Ganze der Welt wirklich und wahrhaftig aus einzelnen diskreten Teilchen zusammengesetzt sei; räumlich aus Stoffteilchen, zeitlich aber aus Urakten und Wirkungsquanten. Das Primäre ist immer das Ganze, das Kontinuum, das Feld. „Das eigentlich Existierende ist das „Hier-jetzt-so des Feldes“ (Schrödinger). Erst der ordnende Verstand schafft die „Teile“, da er anders die „Vielfalt in der Einheit“ nicht zu bewältigen vermag; die „Urteilskraft“ aber geht sodann an das noch weit schwierigere Geschäft der Synthese, um die verlorene „Einheit in der Gliederung“ wiederherzustellen. — 15 Auch hierzu ließe sich im Hinblick auf „Fiktion“ einiges sagen. Kottje: „Man mache sich einmal klar, eine wie merkwürdige Sache das chemische Gleichgewicht ist.“ Über „Molekülbau und Reaktionsgeschwindigkeit“ s. W. Hückel, Ber. dtsh. chem. Ges. 67, 129 [1934]. — 16 Außer der „Uraktion“ der „Zusammensetzung“ (besser: „Gliederung“), und vielfach im Zusammenhang mit dieser, finden sich in der chemischen Literatur zahlreiche „Sonderaktionen“. Wir führen nur ein einziges Beispiel aus der Biokolloidik an, bei dem von vornherein nicht ausgemacht ist, ob es sich um eine Hypothese oder um eine Fiktion handelt: „Die Zellen verhalten sich hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit für gelöste Stoffe so, als ob sie von einer lipoiden Membran umhüllt würden“ (Höber). — 17 Zur Geschichte der Atomistik s. auch Fr. Paneth: Erkenntnistheoretische Stellung des chemischen Elementbegriffes 1931. A. Ostrogovich: Etude critique sur l'origine et le développement de la théorie atomique-moléculaire 1926—1927. E. Fürber, Stoff und Eigenschaft usw., Isis 1931, 425, 1936, 99. „Nur einer oberflächlichen Betrachtung könnte es erscheinen, daß der Stetigkeitsbegriff durch die Atomistik abgelöst und überwunden wäre.“ S. auch Sommerfeld, Ang. Chemie 41, 1 [1928]. Weyl: „Die Materie erregt das Feld, das Feld wirkt auf die Materie.“

Boltzmann, Wied. Ann. 61, 231 [1897] (Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik): „Diese Vorstellung ist uns nur ein Bild, das wir nicht anbieten.“ A. Bojanowsky, Ann. Philos. 7 239 [1928] über „Atomismus und Kontinuum“; H. Buchholz in „Grenzfragen der Philosophie“ 1927, über „das Problem der Kontinuität“. — 18 Es ist lehrreich, zu sehen, wie Schopenhauer, der eine so ausgezeichnete Umschreibung der „Fiktion“ gegeben hat und der auch das Wort „Fiktion“ (neben „Schema“) in unserem Sinne öfters anwendet, sich nicht dazu entschließen konnte, diesen Begriff — als eines zwar im Grunde unzutreffenden, aber durchaus nützlichen Gleichnisses — auf die Physik und Chemie seiner Zeit anzuwenden; viel Mißverständnis und Verdruß hätte ihm so — wie vorher schon Goethe hinsichtlich der Farbenlehre — erspart bleiben können, namentlich in bezug auf die „krasse Atomistik, als ob wirklich die Kristallform ihren Grund hätte in einer geradlinigen Anordnung der Atome!“ So aber kam es zu einer völligen Verkennung der Bedeutung von Männern wie Newton, Helmholtz und Liebig. Freilich hat auch die Gegenseite ihre Lehre in der Regel nicht als Hypothese oder Fiktion, sondern als Dogma verteidigt. Noch heute wollen es Fiktionen oft nicht wahr haben, Fiktionen zu sein; sie beanspruchen den Rang von Dogmen und pflegen in diesem Zustand der Erstarrung sehr rechthaberisch und intolerant zu sein, indem sie in jeder Anzweiflung nicht nur eine intellektuelle Unzulänglichkeit sehen, sondern dazu noch gern einen moralischen Mangel argwöhnen, der demgemäß zu behandeln sei. Über Fiktionen kann immer viel und heftig gestritten werden. (Zum Verhältnis Newton — Goethe — Schopenhauer s. K. Wagner, Jahrb. d. Schopenh.-Ges. 1936, 92; auch Hugo Fischer in „Grenzfragen der Philosophie“ 1927 über „Erlebnis und Metaphysik“.) — 19 So hat sich Schopenhauer einer — wenn auch begrifflichen — Selbsttäuschung hingegeben, wenn er in seiner Spätzeit (1854) Äußerungen von Forschern über „konstatierten Willen in der Natur“ (auch schon im Anorganischen) als „Bestätigung“ seiner Philosophie willkommen hieß. Physikalische Fiktionen von Metaphysik geschieden werden, und so bleiben psychische Fiktionen einer „Feiertags-Chemie“ vorbehalten, mit der die Alltags-Chemie zunächst nichts zu tun hat. Dann mag man schließlich zu einer Art Pan- oder Psychovitalismus, Holismus oder spirituellem Realismus gelangen, ausgehend von dem Gedanken, daß, „wenn auf der Spitze der Geist ausschlüpft, er irgendwie zu unterst als künftige Möglichkeit schon stecken mag“ (Fr. Th. Vischer). Oder nach Kant: „Das, was der Erscheinung der Materie, als Ding an sich, zum Grunde liegt, möchte vielleicht dem Gegenstand des inneren Sinnes so ungleichartig nicht sein.“ — 20 Einer metaphysischen Spekulation hinsichtlich der „geradezu geistvollen Feinstruktur der Materie“ (Mie) ist hier volle Freiheit gegeben. Schon E. Häckel billigt sogar den Atomen eine „Seele“ zu (mit besonderer Rühmung der „Carbonseele“) und spricht weiter von „Kristallseelen“, „Zellseelen“ usw.; Sommerfeld deutet eine „Entleerung“ im Atom an; schon Plato kannte Sternseelen. Zehender läßt die Seele erst bei der Molekel beginnen; nach Lenard ist sehr großen Molekeln, „die zu fortdauernder Abgabe und Neuaufnahme von Atomen geeignet sind“, die Fähigkeit zuzusprechen, „Geist festzuhalten“. „Will man jedem Atom Geist zusprechen, so würde „Geist“ dann etwas anderes bedeuten — vielleicht den Äther, an dem jedes Atom Anteil hat.“ Die „chemische Verwandtschaft“ aber hat schon Schopenhauer als „dumpe Sehnsucht“ umschrieben und als „tiefes Geheimnis“ bezeichnet. Schmalzfuß findet „dunklen Lebensdrang“ bereits in Stoffen und „Planung“ schon in den niederen Stoffrängen. In scherzhafter Weise gibt H. Kopp 1886 eine extrem „anthropistische Darstellung über das Leben und Treiben der Atome, beobachtet in „Versuchsstationen zur wissenschaftlichen Mißhandlung von Molekülen“. Wir erfahren da von ihrem Fühlen, Denken und Pflichtenhandeln in wechselndem Benehmen mit „Handreichungen“ und Tänzchen, in Wahlverwandtschaftsbeziehungen“ ungleichen Legitimitätsgrades, mit Kampf ums Dasein und mit gelegentlichen Revolutionen usw. Weiter aber heißt es: „Wären wir nur erst mit den Molekülen so weit, wie die Botaniker mit ihren Blumen, für deren Teile sie die wirkliche Anordnung im Raume kennen! In Wirklichkeit aber sind (nach Kopp) unsere Vorstellungen über die „Konstitution“, mag man völlig „gleiche Dignität“ gleichnamiger Atome in einer Molekel oder eine „verschiedene Be-

deutung“ je nach der „Stellung“ annehmen, „nur Fiktionen und mangeln des Ruhmes!“ — 21 Es ist unberechtigt, wenn Biologen den „Ganzheitsbegriff“ ihrer Wissenschaft vorbehalten wollen. Schon im anorganischen Sein und Geschehen ist das Ganze (die „physische Gestalt“) mehr und anders als die Summe seiner Teile, und schon im Atom resultiert das, was vor sich geht, nicht aus der „Konstellation der Teile“. Gleicht doch das „neue“ Atom einem Wunderkabinett, dessen Innerem Betriebe man mit dem Metermaß nicht beizukommen vermag; die ganze Wirklichkeit aber gibt ein großes fließendes Geschehen mit zahllosen eingelagerten reversiblen Prozessen, die eine einfache stoffliche „Zusammensetzung“ vortäuschen. Jede eine Zeitlang bestehende und gegliederte „Gestalt“, von den niedersten Rangstufen ab, zeigt jeweils einen „schöpferischen Akt“ an. Freilich soll die tiefe Kluft zwischen den nichtlebenden und den lebenden „Rangordnungsganzheiten“ nicht übersehen werden, eine Kluft, die schon beim niedrigsten Einzeller nach wie vor wissenschaftlich unüberbrückbar erscheint. „Die Ganzheit des Atoms“ (und man kann hinzufügen: auch die phasentheoretische Ganzheit anorganischer Gebilde) „ist wesensanders als die echte Ganzheit des Organismus“ (Driesch). „In der ganzen Natur ist keine Grenze so scharf gezogen wie die zwischen Organischem und Unorganischem“ (Schopenhauer). (Über den Aufstieg stofflicher Ordnungszustände bis in das Organische s. auch v. Bertalanffy u. a.)

Bemerkungen über Anstoß- und Erhaltungskausalität in der Natur*

„Naturerkenntnis kann nur mit der Kategorie der Kausalität errungen werden.“
Max Hartmann

Stellt man unbefangen zusammen, was unter „Kausalität“ im Leben und in der Forschung verstanden wird, so sondern sich die Aussagen — soweit sie positiv eingestellt sind — in zwei Gruppen, die in den Sätzen ausmünden: *causa aequat effectum*; Ursache und Wirkung gleichen sich oder sind einander proportional, und: kleine Ursachen, große Wirkungen. Die naturwissenschaftliche Verfolgung der ersten Kausalitätsform hat zu den *Erhaltungsgesetzen* allgemeiner und speziellerer Art geführt, vor allem: Erhaltung des Stoffes und der Energie, samt wechselseitiger Transformierbarkeit, bei allem, was sich an Veränderungen in der Natur ereignet (einschließend allgemeinste Richtungsgesetze, wie „Zunahme der Entropie“ = „Entwertung“ der Energie durch Ausgleichung von Intensitätsunterschieden), diejenige der zweiten zu Begriffen wie Anstoß und Anlaß, Anregung und Auslösung, Lenkung und Führung, Katalyse und Reiz, Motiv und „Willensimpuls“¹.

I. Wesen und Zusammenhang von Anstoß- und Erhaltungskausalität

An einfachsten Beispielen soll zunächst die *Gegensätzlichkeit und der Zusammenhang beider Arten des „Kausalitäts-Sehens oder -Vollziehens“* erläutert werden, wie sie dem Verstande in seiner Wechselwirkung mit der Außenwelt „aufgezwungen“ worden ist.

Zwei Steine sehr verschiedener Größe werden in einen See geworfen: der kleine verursacht geringe Wellenbewegung, geringes Aufrühren des schlammigen Grundes und geringes Geräusch, der große „entsprechend“ größere Wirkungen. Der Physiker kommt und führt aus, daß die potentielle Energie des gehobenen Steines in kinetische Energie und deren Auswirkungen, teilweise auch in Schall und Wärme sowie (in den feinen Spritzern) in elektrische Energie gesetzmäßig und verlustlos übergegangen ist — an

* Naturwissenschaften 26 (1938) 177—183. Bemerkung 1947: Erst in späteren Jahren habe ich nach R. Mayers Vorgang das Wort „Auslösung“ statt „Anstoß“ in den Vordergrund gestellt.

der Erhaltung des Stoffes wird hier niemand zweifeln — und daß, genau betrachtet, eine *strenge Äquivalenz von Ursache und Wirkung* bestehen muß, wobei ein Stein von 10facher Masse 10fache Bewirkung zeigt.

Jetzt werden zwei dergleichen Steine im Hochgebirge an den Kamm zweier ganz gleich gedachter, schneebedeckter Steilabhänge gebracht, die derart sein mögen, daß der Schnee locker liegt und auch im übrigen so beschaffen ist, daß eine Bewegung talwärts nur eine Frage der Zeit und der Umstände, also „latent“ und „potentiell“ schon gegeben ist. Jeder von den 2 Steinen, oben angesetzt, rollt hinab, indem er zugleich eine Lawine „anstößt“ und veranlaßt, in die er schließlich beim zerstörenden Aufprall der Lawine im Talgrund „eingewickelt“ sein möge. Hier wird die von dem großen Steine „angeregte“ und „angebahnnte“, eingeleitete und induzierte Lawine nicht notwendig 10mal so groß sein wie diejenige des kleinen Steines; die gesamte Auswirkung des kleineren der beiden Steine wird vielmehr unter ganz gleichen Verhältnissen derjenigen des größeren praktisch gleich sein, wobei die Eigenwirkung eines jeden Steines im Verhältnis zu derjenigen der Gesamtmasse verschwindend gering ist und vernachlässigt werden kann.

Analoge Fälle des „In-Gang-Setzens“ im Gebiete der Mechanik bieten das Aufziehen der Schleuse eines Wasserfalles, das Ankurbeln und Anlassen einer Maschine, das Auslösen eines Rädermechanismus, in der Chemie das Feueranzünden, die Auslösung von Detonationen und Explosionen sowie das ganze Gebiet der Katalyse, in der Elektrik das Ein- und Ausschalten eines Stromes, Relais- und Verstärkerwirkung, in Physiologie und Biologie stofflicher und energetischer Reiz, in der Psychologie schließlich Motive als „Willensanstöße“. Dabei ist von Bedeutung, daß, gemäß der Beschränkung des menschlichen Intellektes auf die Urtatsachen der Empfindung und Wahrnehmung, sowie die Ur-Ordnungsformen von Zeit und Raum, *der sprachliche Ausdruck auch im Nichtmechanischen doch fast immer mechanischen*, d. h. zeiträumlichen und somit der „äußeren“ Erfahrung des Menschen entnommenen Ursprungs ist; die Worte be-wegen, an-stoßen, an-bahnen, an-kurbeln, an-regen, an-lassen oder ver-an-lassen, herbei-führen (auch

in-duzieren), ver-mitteln, ein-fließen (Einfluß und be-einflussen), aus-lösen, be-stimmen, hervor-rufen, er-zeugen, ur-heben (Ur-heber), ur-springen (Ursprung), treiben und an-treiben (Trieb), ver-binden, ent-stehen, hervor-gehen, können ihren „mechanischen“ Ursinn bei ihrer Anwendung bis in das Gebiet des Biologischen und Psychologischen nicht verleugnen, auf diese Weise immer wieder das *Vorurteil* weckend und nährend, *daß das mit Worten mechanischer Urbedeutung Bezeichnete auch von mechanischem Wesen sei*².

Jeder Vorgang, jede Aktion kann als eine „Funktion“ angesehen werden oder als eine Abhängigkeit, in welche Konstantes und Variables eingeht. Besteht dabei ein „nicht-umkehrbarer Richtungssinn“ zweier Glieder des „Zusammenhanges“, so redet man von *Kausalität*, im Gegensatz zu reversibler Abhängigkeit mit Vertauschbarkeit der Glieder, z. B. bei der mathematischen Funktion.

Im Gesamtgebiet der Physik und Chemie — um das Einfachere voranzustellen — sind *Erhaltungs- oder Gleichbleibungskausalität (E.K.) und Anstoßkausalität (A.K.)* mehr oder weniger eng verbunden und gekuppelt, und erst die begriffliche Analyse kann ergeben, was unter den Begriff des Anstoßes und Anlasses fällt und was unter dem Begriff des „Gleichbleibens und Erhaltenbleibens in neuer Form“ zu ordnen ist.

Das klarste Beispiel einer *relativen Selbständigkeit von A.K. und E.K.* im Begriff bei enger Verbundenheit im Wirklichen stellt die *Katalyse* dar. Eine Glaskugel mit einem Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch kann bei gewöhnlicher Temperatur jahrelang aufbewahrt werden, ohne daß eine „Verbindung“ zu Wasser, die dem hohen „Vereinigungs-Potential“, der „latent“ vorhandenen starken „Affinität“ beider Gase entspräche, nachweisbar einsetzte und weiterliefe; erst der eingebrachte „Platinschwamm“ führt die Vereinigung herbei, er „stößt“ sie an und vermittelt sie und bleibt selber chemisch unverändert, hat also am Ende der (allmählichen oder explosiven) O₂-H₂-Reaktion selber keine „Arbeit“ im physikalischen Sinne geleistet und kann das, was er veranlaßte oder auch „beschleunigte“, tatsächlich „müheles“ noch tausende Male und mehr wiederholen. *Arbeitsleistend ist das chemische*

System O₂-H₂, selber, das aus dem reaktionsträgen Zustande unter dem „Einfluß“ des Katalysators zum „aktiven Handeln“ gemäß eigener latenter Energien übergeht; der Katalysator aber ist — vermöge gewisser „Resonanz“, oder besser eigener verborgener spezifischer „Affinitäten“ — der „Anstoßer“ und „Auslöser“, „Vermittler“ und „Herbeiführer“, der die „chemischen Widerstände überwindet“ und „neue Wege bahnt“ und schafft (auch wieder mechanistische Ausdrücke).

Daß und inwiefern derselbe katalytische Anstoß- und Auslöse-Vorgang auch in dem anderen mechanischen Bilde der „*Beschleunigung*“ (Reaktionsbeschleunigung = Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit) mit großem methodischem Erfolg dargestellt und verfolgt werden kann, zeigt die Geschichte der Katalyse in den letzten Jahrzehnten zur Genüge; auch „*Beschleunigung*“ ist hier eine *Verursachung*, indem eine vorhandene geringe „Geschwindigkeit“ durch einen energetischen oder stofflichen „Impuls“ zu einer großen wird. In vielen Fällen, insbesondere bei Reaktionen organischer Verbindungen, ist die katalytische *Anstoßgebung* oder „Herbeiführung“ und „Hervorrufung“ und „*Beschleunigung*“ zugleich eine *Richtunggebung* oder *Lenkung*, indem von den thermodynamisch möglichen Reaktionen (bei CO-H₂-Gemischen z. B. Bildung von Methan oder Methanol usw.) eine bestimmte ganz oder fast ausschließlich gewählt oder „vorgezogen“ wird (selektive Katalyse)³. So wird A.K. auf höherer Stufe zur *Lenkungs- und Führungskausalität*, E.K. aber zur *Umsetzungskausalität* mehr oder minder komplexer Art.

Der Ausdruck „*Beschleunigung*“ für katalytische Erhöhung chemischer Umsetzungsgeschwindigkeit (richtiger „*Umsetzungsergiebigkeit*“) darf nicht dazu verleiten, hier irgendwelche Identität mit der „*Beschleunigung*“ der Mechanik anzunehmen. Geschwindigkeitserhöhungen von Bewegungen bedürfen einer äußeren „*Kraft*“, sind also an Betätigung fremder Energie gebunden. *Katalytische* „*Beschleunigung*“ aber ist eine Aktion, die von dem Energievorrat des reaktionsfähigen Systems selbst zehrt, und der Katalysator hat nichts anderes zu tun, als den Vorgang anzustoßen und zu vermitteln, und zwar — im ganzen — ohne eigene Arbeitleistung.

In angenähert gleich reiner Gestalt wie bei der Katalyse (der einfach „*chemischen*“ und der enzymatischen) tritt die A.K. als eine *bilanzfreie Verursachung* noch weiterhin vielfach auf. In der Mechanik kann als einfachstes Beispiel gelten die auf einer Spitze balancierende Kugel, die schon durch einen leisen Anhauch zum Herabfallen gebracht wird. Irgendwie wird auch die im Windhauch vorhandene und von der Kugel aufgenommene mechanische Energie „*umgesetzt*“ und insofern am Leben „*erhalten*“, in der von der fallenden Kugel auf einer nachgebenden oder starren Unterlage hervorgerufenen Endwirkung spielt jedoch jene geringfügige Anstoßenergie keine nennenswerte Rolle mehr. Ähnliches findet sich z. B. in der Elektrik zur Genüge, sowie in den Beziehungen verschiedener Energieformen zueinander. Ein einziger elektrischer Funke kann unbeschränkte Mengen Knallgas zur Detonation bringen, eine schwache Erschütterung den explosiven Jodstickstoff; ein Lichtquant kann die Vereinigung großer Mengen Chlor- und Wasserstoffatome anstoßen oder „*induzieren*“ (in „*Kettenreaktionen*“) usw.

Auf höherer Ebene, im Lebensgeschehen, erscheint als herrschende Form ausgesprochener A.K. die *Reizwirkung*. Schon Schopenhauer hat bemerkt, daß bei der Reizkausalität (R.K.) — nach Joh. Müller der typischen Kausalitätsform des Organismus — die Wirkung „*mehr zu enthalten scheint, als die Ursache ihr liefern konnte*“. Ein Reiz kann stofflicher oder rein energetischer Natur sein und kann wie der Katalysator in einem quantitativen Mißverhältnis zu den angestoßenen Reaktionsfolgen stehen, welche bestimmte Stoffgebilde des Organismus vermöge *eigener Vorräte an „freier Energie“* durch den Anstoß erleiden oder betätigen. Je höher dabei im Physiologischen gestiegen wird — von Assimilations- und Erhaltungsfunktionen bis zu den Vorgängen im Nervensystem —, desto geringfügiger sind die Energiemengen, die jeweils zum Anstoß, zur Dirigierung und Regulierung ausreichen.

Auf höchster Stufe betätigt sich der *psycho-physische bewußte Wille mit seiner Motivkausalität (M.K.) in jedem seiner einzelnen Akte als ein Anstoß-Urheber*, gleichgültig ob man seine rein seelische Seite betrachtet, oder ob man ihn zugleich als einen bestimmten und spezifischen Aktivi-

tätzustand des Zentralnervensystems oder auch des ganzen Organismus mit seinem „Feldzustand“ ansieht. Für sich, als rein seelischer und seinerseits durch Motive bestimmter Entschlußakt, ist jeder Willensanstöß dem Katalysator sicher insofern vergleichbar — bei aller grundsätzlichen Verschiedenheit —, als auch hier eine *bilanzfreie Verursachung ohne energetische Betätigung*, ein reiner Anstoß ohne „Arbeitsleistung“ vorliegt; und die Frage, wie bewußter Wille oder auch unbewußte „Entelechie“ richtend und ordnend „wirken“ können, ohne über *ureigene Energiequellen* zu verfügen, verliert ihren Sinn, wenn man daran denkt, daß auch der typische Katalysator — allerdings als ein *stoffliches Agens* — in der Gesamtbilanz des von ihm verursachten chemischen Vorganges herausfällt. (Bei genauerem Zusehen zeigt sich doch meist eine „wirkliche“ *Betätigung des Katalysators in Zwischenreaktionen*, in welche die katalytisch wirksamen Atome und Molekeln „verwickelt“ werden, etwa in der Weise eines sich dauernd wiederholenden Cyclus von bestimmter energetischer Betätigung und sofortiger Rückgängigmachung, von „Sich-einschalten“ und „Ausgeschaltetwerden“, so daß *in brutto* vom „Fremdkörper“ keine Arbeit geleistet wurde.)

Psychische „Energie“ (McDougall u. a.) oder unbewußter, unterbewußter und bewußter Wille ist, genau betrachtet, *bilanzfreie psychische A.K.*; diese wirkt analog der katalytischen A.K. und hat mit physikalischer „Energie“ nur insofern etwas zu tun, als sie sich im Rahmen der freien Energie des Stoffsystems mit dessen vorhandenen Potentialgefällen irgendwelcher Art zu halten hat, d. h. an die thermodynamischen und elektrodynamischen Möglichkeiten gebunden ist, welche jenes System in bezug auf eigene Arbeitsleistung in sich birgt. Schließlich kann der Gesamtorganismus, das Lebende selbst (die Lebens-Entelechie als dirigierendes „Es“ oder „Ur“ im Gesamtzustand des Leibes) als „Katalysator hohen Stiles“ angesprochen werden (Wundt, Driesch); Katalysator wie Entelechie können übereinstimmend ein Stoffsystem nur insoweit veranlassend und führend beherrschen, als es dessen freie physikalische und chemische Energien jeweils zulassen.

Die *reinsten Formen von E.K.* andererseits begegnen uns auf dem Gebiete einfacher physikalischer oder chemi-

scher *stationärer Zustände*¹. Hierher gehört das einzelne Atom, das heute nicht mehr als ein gleichförmig beharrendes „Ding“ angesehen wird, sondern als ein „Zustand rhythmischen Geschehens“, der schon im einzelnen Atom ein dauernd wechselnder Zustand von bestimmter zeitlicher Ordnung ist, und Ähnliches gilt von der Einzelmolekel, etwa H_2 oder H_2O . *Stationäre Zustände sind beeinflussbare Zustände*, und so können im Atom innere Zustandsänderungen angestoßen werden (durch „Beschleunigung“ mit Photonen, Elektronen, Protonen, α -Strahlen usw. oder durch Annäherung eines neuen Atoms mit bestimmter „Affinitäts-Resonanz“), wie auch weiterhin jede Molekel beliebige Änderungen auf mannigfachste Weise erfahren kann, in denen A.K. und E.K. gekoppelt sind. Wird aber *ein einzelnes Atom, eine einzelne Molekel isoliert von jedem äußeren Einfluß gedacht*, so liegt in wahrhaft stationärem Zustand eine wahrhafte und reine E.K. vor, indem der Gesamtzustand in jedem Zeitdifferential erhaltungsgemäß den Gesamtzustand im folgenden restlos bestimmt und bedingt. Das Gleiche gilt einigermaßen (d. h. vor allem in bezug auf die Körpermechanik des Systems) auch z. B. für unser Sonnensystem, das ebenfalls so angesehen werden kann, daß der Gesamtzustand in jedem Zeitpunkt den Gesamtzustand im folgenden mit „Notwendigkeit“ herbeiführt. Solange dem stationären System keine Änderung durch „Anstoß“ oder „Zusammenstoß“ widerfährt, herrscht und gilt streng und allein E.K.

Der Unterschied, den die Chemie zwischen „bloß“ stationären Zuständen und wirklichen chemischen Gleichgewichten macht, sei nur andeutungsweise berührt: In einem Gemische von Stickstoff und Wasserstoff geschieht noch bei 200—300° nachweisbar nichts Chemisches, obwohl thermodynamisch die Bedingung für eine partielle Ammoniakbildung gegeben ist. Die Gase stehen im *physikalischen Gleichgewicht* gemäß der klassischen Gaskinetik; ihr stationärer Zustand physikalischer Wechselwirkung aber ist kein *chemisches Gleichgewicht*, das vielmehr erst zustande kommen kann, wenn durch die Einführung eines Katalysators (zweckmäßig zwischen 400 und 600° und bei erhöhtem Gasdruck) die Ammoniakbildung in chemischer Wechselwirkung (W.W.) vor sich geht. Bei jeder physikalischen

(phasischen) und erst recht bei ausgesprochen chemischer Umwandlung wird die E.K. zur *Umsetzungskausalität* mehr oder weniger komplexer Art. „Anstoßend“ oder veranlassend aber kann oft bereits eine Nachbarschaft kälterer oder wärmerer Beschaffenheit wirken.

Solange in physikalischen und chemischen Systemen nichts Neues, sondern immer nur das Gleiche geschieht, also im Falle stationärer Zustände und dynamischer Gleichgewichte mit strenger E.K., wird kaum von „Verursachung“ gesprochen, da „Kausalität“ und „Verursachung“ im *Allgemeinbewußtsein mit der Vorstellung der Herbeiführung einer Änderung* — durch äußeren oder inneren Anstoß — verbunden ist; wohl aber spricht man hier von „*Bedingungen*“, von Systembedingungen des beharrenden Gebildes und von einer *Wechselwirkung* der Teile oder Glieder des Systems, einer W.W., die von oben statt von unten angesehen, auch als Gliederung oder „Ausgliederung“ einer *Gestalt* oder einer *Ganzheit* erscheinen kann⁵.

Die Gesamtheit der Bedingungen und erfüllten Voraussetzungen, die da sein müssen, damit in einem bestimmten Falle bestimmte Änderungen durch bestimmten Anlaß stattfinden, stellt in jedem Einzelfalle den *Anteil der E.K. an der Gesamtkausalität* dar und wird vom Forscher behufs Beherrschung der Erscheinungen mit fiktiver Verdinglichung jeweils einer bestimmten *Kraft* oder *einem System von Kräften* zugeschrieben: Schwerkraft im ganzen Universum, Atomkräfte (die wieder spezialisiert werden), elektrische und magnetische „Feldkräfte“, chemische Affinitätskräfte usw. bis zur „Lebenskraft“, *vis formans*, und zur einstmaligen „*virtus dormitiva*“!

Der Begriff „Ursache“ aber zieht sich mehr und mehr zurück von der *Gesamtursache*, die E.K. und A.K., *Kraft und Anlaß, Systembedingungen und wirkenden Anstoß umfaßt*, auf denjenigen Anteil, der eben gerade „interessiert“ und das ist für den Naturforscher in 90 von 100 Fällen der *Anstoß* selbst, der *Anlaß* als die bestimmende und richtende „*Teilursache*“ oder die „*eigentliche*“ bewirkende Ursache.

In der Regel vollzieht sich ein neues Geschehen (z. B. im Organismus) auf Grund mehrerer oder vieler gleichzeitiger oder rasch aufeinanderfolgender „Anstöße“ (*Reize*

oder „*Erregungen*“ äußerer und innerer Art) und innerhalb zahlreicher mehr oder weniger stationärer Verhältnisse. Derjenige Anstoß, welchem jeweils das Hauptinteresse zugewendet oder die größte Bedeutung beigemessen wird, erscheint dem Denken als (vergleichsweise) entscheidende oder *Hauptursache* oder als *eigentliche Wirkursache*, der gesamte „Rest“ von Partialursachen jedoch (die stationären Wirkumstände inbegriffen) als *Bedingung*; diese schließt also vor allem die für das Geschehen unentbehrliche „*Intensitätsdifferenz*“ oder Spannung ein, das „*Gefälle*“ allgemeiner oder besonderer Art (auch „*Resonanz*“ für W.W.). Regelmäßig wiederkehrende Bedingungen — als wesentlicher Teil der Gesamtursache — werden im Urteilen gern verdinglicht oder personifiziert und so als „*Kraft*“, „*Vermögen*“, „*Fähigkeit*“, „*Faktor*“, „*Potenz*“ angesprochen.

Wirkliches Geschehen ist anerkanntermaßen immer und überall durch eine Gleichzeitigkeit verschiedenster Bedingungen und bewirkender und anstoßender Ursachen bestimmt, ganz streng genommen durch die „*Konstellation des Universums*“. Wie auch weit Entlegenes wirken kann, zeigen die Fixsterne, wenn sie aus entferntesten Himmelsgebieten „*Photonen*“ auf die Erde senden und wirken lassen; und jeder Kubikzentimeter stoffgefüllter oder auch „*leerer*“ Raum ist ein Gebilde, durchzuckt von mannigfachen energetischen Zuständen wechselnder Art, die im Gesamt-Kontinuum begründet sind, die indes erst dann zur Beobachtung gelangen, wenn sie auf diskret verteilten Stoff stoßen, der in absorptiver oder sonstiger „*Resonanz*“ dazu steht. Immer und überall, wo Geschehen am Stoff und im Stoff beobachtet wird — anderes Geschehen entzieht sich unserer unmittelbaren Beobachtung, unserem Sehen, Hören und Tasten —, ist, *wörtlich oder nur bildlich, etwas da, das anstößt, und etwas, das den Anstoß aufnimmt und in seiner Weise beantwortet; zugleich ist etwas da, das gleich bleibt, wenn auch in immer neuen Formen und Verteilungen und „Umsetzungen*“.

Auf E.K. beziehen sich schließlich sämtliche Konstanten und Invarianten mathematischer und sonstiger Art, deren Ermittlung sich die Naturwissenschaften in ihrem ordnenden Bemühen angelegen sein lassen: E.K. in einer „*Welt*

identischer Fälle“ — als Schablone der wahren Wirklichkeit mit ihrem unübersehbaren Zusammenspiel von A.K. und E.K.

Trotz der innigen Verquickung von Veränderung und Gleichbleiben Wandlung und Beharren in jedem Geschehen ist es doch von Wert, *begrifflich* zwischen A.K. und E.K. zu unterscheiden, gleichviel ob, wie bei der Katalyse, die A.K. an besondere „Agenzien“ gebunden ist oder ob, wie beim Anstoßen eines Pendels oder bei einfachen chemischen Vorgängen oder bei der „anregenden“ und belebenden Wirkung der Sonnenenergie auf Gebilde der Erdoberfläche. Anstoß und Energielieferung am gleichen Agens haften. Demgemäß läßt sich die *Frage allgemeiner Naturkausalität* in zwei Unterfragen teilen:

1. Gelten die Erhaltungsgesetze für Stoff und Energie?

Wir wissen, daß die „Erhaltung“ als universelle Erscheinung nicht einfache Tatsache ist, sondern ein *Glauben*, wie ja auch nach neueren Feststellungen Stoff und Energie in einem bestimmten Verhältnis gegenseitiger Umwandelbarkeit unter extremen Bedingungen stehen, das zur Vorsicht in bezug auf Betonung „apriorischer Gewißheiten“ mahnt⁶. Schließlich handelt es sich um ein immer erneut durch die Erfahrung gestütztes *Postulat*; ist ja noch neuerdings die Erhaltung der Energie im inneratomaren Geschehen Gegenstand lebhafter Diskussion gewesen.

2. Gilt der Satz, daß ein „Anstoß“ irgendeine Folge hat?

Diese Frage erscheint überflüssig, da Ursache und Wirkung, Anstoß und durch den Anstoß Verändertes, in der Beobachtung immer als *Eines* gegeben sind und erst im Denken als „fiktives Begriffspaar“ geschieden werden. Die Mannigfaltigkeit der Möglichkeiten einer Wirkung und Auswirkung, auch zunächst verborgener Art, ist jedoch so groß, daß die Frage in jener genaueren Form doch durchaus nicht sinnleer ist: *Welche* Veränderung zieht der oder jener Anstoß innerhalb der immer wieder bewährten Gültigkeit der Erhaltungsgesetze nach sich? —

Wo aber bleibt die viel besprochene „Akausalität“ im inneratomaren Geschehen? Sie ist zusammengeschrumpft zur „Amechanität“, d. h. zur Preisgabe des Satzes, daß für die Vorgänge „innerhalb“ des Atomes eine Mechanik nach

dem Muster der Newtonschen Mechanik mit ihrer strengen Berechenbarkeit des Geschehens betrieben werden könne; das aber bedeutet einen „Rückbildungsprozeß“ des „Allmechanismus“, den niemand bedauern wird, dem eine Verinnerlichung und „Vergeistigung“ der Physik und damit der gesamten Naturwissenschaft am Herzen liegt⁷. Für das „*Innere*“ des Atoms versagt die Geometrie und die übliche Kinematik; „im Inneren des Atoms sieht es vielleicht überhaupt nicht aus“ (Zimmer), und die räumlichen Vorstellungen, die man sich z. B. über Elektronenbahnen und Elektronensprünge macht, sind fiktiver Art — darum aber durchaus nicht wertlos! *Streng gilt hier anerkanntermaßen nur das mathematische Symbol*. Daß damit auch die Möglichkeit eines bestimmten Voraussagens in bezug auf Ort oder Geschwindigkeit sich bewegender „Teilchen“ entfällt, wird nicht an der Gültigkeit allgemeiner Kausalität irre machen dürfen, zumal wenn bedacht wird, daß schon in der Chemie das „Voraussagen“ sich auch nicht auf Orte, Strecken und Streckengeschwindigkeiten bezieht: Wenn der Chemiker 34 g NH₃ und 98 g H₂SO₄ geeignet zusammenbringt, entstehen immer und immer wieder voraussagbar nach „Ganzheitsgesetzen“ 132 g (NH₄)₂SO₄ nebst entsprechender Wärmetönung, ohne daß dabei von klassischer Mechanik irgendwie die Rede wäre.

II. E.K. und A.K. in der Ganzheitskausalität (G.K.)

und in der Rangordnung der Naturkausalität

Die begriffliche Scheidung von A.K. und E.K. zusammen mit dem Begriff der W.W. verbreitet auch Licht über den vielumstrittenen Begriff der „Ganzheitskausalität“ (Driesch). Unter „*Naturganzheiten*“ im allgemeinen Sinne verstehen wir bestimmte beobachtete und mehr oder minder beständige *Ordnungen im Gleichzeitigen*, also im Jetzt — So und Anders (meist unter Beziehung auf den Raum: Hier jetzt so — dort jetzt anders) gegenüber (primären) *Kausalismen* als Ordnungen im *Nacheinander*: Jetzt-So, Nachher-Anders (meist auch unter Beziehungen auf den Raum: Hier jetzt so, hier nachher anders)⁸.

Zur *näheren Bestimmung* einer — urtümlichen oder hochentfalteten — Naturganzheit gehört: a) eine gewisse räumliche Abgeschlossenheit des Gebildes, wenn auch mit

zeitlich wechselnden Grenzen, b) ein Zustand innerer W.W., so daß, dynamisch betrachtet, das gegliederte Ganze mehr und anders ist (und anders sich verhält) als die Summe seiner Teile. In diesem Sinne ist schon der „Atomkern“ — zumal höherer Ordnungszahl — eine ausgesprochene Ganzheit: nicht eine „räumliche Konstellation“ von Protonen und Neutronen, nicht ein „Klumpchenatom“ (Nietzsche), nicht eine extensive (geometrisch angeordnete) Mannigfaltigkeit, nicht ein Aufbau und eine Zusammensetzung aus Stücken nach Backsteinmanier, sondern eine *intensive Mannigfaltigkeit* von ihrem Wesen nach unbekannter Art, die bei bestimmtem Zusammentreffen mit diesem oder jenem anderen stofflichen oder auch nur energetischen Gebilde dies oder jenes unter eigenem Wandel entstehen lassen kann. Entsprechendes gilt vom ganzen Atom mit seiner „Elektronenwolke“ in W.W. mit dem Atomkern, das gleichfalls zu verschiedenem Entstehenlassen angeregt werden kann, ohne daß sich, streng genommen, sagen läßt, es habe schon vorher und überhaupt aus Elektronen, Protonen, Neutronen und Energiequanten bestanden⁹.

Wird eine Ganzheit aus sich heraus oder durch einen „Anstoß“ oder „Zusammenstoß“ (wörtlich oder figürlich) mit einer anderen Ganzheit oder auch mit einer Nichtganzheit (z. B. schon dem elementaren Gebilde eines Photons, eines Elektrons) zur „Resonanz“ und anschließend zu einer Veränderung in aktivem Tun gebracht, so liegt G.K. vor. Eine Art G.K. wird also schon beobachtet, wenn ein Atomkern auf einen Zusammenstoß mit rein energetischer oder korpuskularer Strahlung aktiv und wahlhaft reagiert, nicht ohne eine, wenn auch minimale „Überlegungszeit“, physikalisch gesprochen eine Zwischenzeit bestimmter Anregungs- und Zwischenvorgänge und -zustände. Analoges gilt vom ganzen Atom und von der aus Atomen entstehenden Molekel im Falle chemischer oder katalytisch-chemischer Reaktionen, nur daß hier auch gewisse *räumliche Anordnungen und Verschiebungen*, mit „Platzwechsel“ im Verhältnis der Glieder zueinander (wenigstens fiktiv) angenommen werden können, ja müssen. Dabei ist bedeutsam, daß das Verhalten eines einzelnen Atomkerns, eines einzelnen Elektrons, eines einzelnen Atoms bei beliebigem Anstoß oder Zusammenstoß kaum streng vorausgesagt

werden kann — ungleich dem Verhalten einer in bestimmter Richtung getroffenen Billardkugel —, sondern daß volle Bestimmtheit und Voraussagungsmöglichkeit erst zustande kommt in einer Mehrheit oder Vielheit mit ihrer großen Zahl, die durch „Ganzheits-“ oder „Wahrscheinlichkeitsgesetze“ bestimmter Art beherrscht wird. Statistik aber kann nie das letzte Wort und die letzte Wahrheit sein; diese „steht noch dahinter“ und kann, soweit es sich um Physik handelt, oft nur in hohen mathematischen und sonstigen Symbolen als „Form“ eingefangen werden.

Daß „höhere“ oder „eigentliche“ G.K. in den Lebensäußerungen der Organismen mit ihren „prospektiven Potenzen“ und „harmonisch-äquipotentiellen Systemen“ (Driesch) zutage tritt, und daß Reizkausalität (R.K.) nebst M.K. diese G.K. ist, braucht nur noch kurz ausgeführt zu werden. Wir nehmen als Beispiel das Auftreten eines Photons oder mehrerer Lichtquanten geeigneter „Wellenlänge“ auf „lichtempfindliche“ Bestandteile der Retina. Welch ungeheuerliche Verknüpfung mannigfachster Kausalismen der verschiedensten Art ist nötig — in A.K., E.K. und W.W. —, damit der Reiz im nervösen Zentralorgan landen und im aktiven Handeln des Organismus zur „Empfindung“ werden kann! Die gesamte Physiologie hat es mit den komplexen Kausalismen innerer und äußerer, stofflicher und energetischer Reize und Reizwirkungen zu tun. und die Genetik, ja die gesamte Biologie und Psychologie in gleicher Weise. Es gibt nichts im Lebewesen, das nur „mechanisch“ vor sich ginge, d. h. durchaus mit den Methoden und nach den Gesetzen der klassischen Mechanik beschreibbar wäre: Chemismen, Katalismen, Kolloidismen, Elektrismen usw. in ganz ungeheuerlicher Verknäuelung sind die Regel, und schon der sog. „mechanische Reflex“ ist, auch seiner phylogenetischen Entstehung nach, ein komplizierter Ganzheitskausalismus, jedoch mit dem Eingehen mechanischer Bestandteile, insbesondere in das Endresultat.

Eine Bewältigung all der Naturkausalismen im menschlichen Denken wäre ein aussichtsloses Unternehmen, wenn nicht — stillschweigend oder ausgesprochen — die Vorstellung einer Rangordnung oder Stufenfolge zu Hilfe käme, die, wie auf dem Gebiete des Seins, so auch auf dem Gebiete des Geschehens postuliert werden muß. Soll

es aber auch in der Kausalität Rangordnung nach der Art eines geordneten Staatswesens geben, so dürfte es nötig sein, daß in dem Stufenbau des Geschehens auf jeder Stufe Unbestimmtheiten und Freiheiten oder auch „Trägheiten“ bestehen, in welche übergeordnete „Faktoren“ und „Potenzen“ veranlassend, bestimmend, anfeuernd, richtend, regulierend, zusammenfassend und ordnend eingreifen. Unter diesem Gesichtspunkte gewinnen wohl die vielbesprochenen „Unbestimmtheiten“ und Mehrdeutigkeiten im Elektronen- und auch im Atomkern-Geschehen einen neuen Aspekt, indem man nun sagen kann, daß jene Unbestimmtheiten, Ungenauigkeiten und Mehrdeutigkeiten notwendig bestehen müssen, damit höhere Gesetzmäßigkeit — zunächst die vom Ganzen ausgehende und in Wahrscheinlichkeitsgesetzen zu formulierende — ordnend und bestimmend (entscheidend) eingreifen kann.

Besonders deutlich zeigen sich derartige Unbestimmtheiten im Gebiet des Chemischen. Hier ist es vor allem die natürliche „Reaktionsträgheit“ der meisten Gebilde mit ihren „chemischen Widerständen“ und „sterischen Hindernissen“, die den zeitlichen Ablauf des Geschehens wie auch seine Richtung an sich sehr häufig unbestimmt machen, und die auch bei mittlerer und höherer Temperatur oft erst durch das Eingreifen und Anstoßen von Katalysatoren überwunden werden, welche — innerhalb eines gegebenen Spielraumes — unter Schaffung neuer Elementarakte aus Unbestimmtheit Bestimmtheit und aus Richtungslosigkeit Gerichtetheit machen.

Die Zahl der Freiheiten steigert sich — quantitativ und qualitativ — noch ganz außerordentlich im Gebiet der Kolloidchemie mit ihren zahlreichen kapillar- und dispersphysikalischen Erscheinungen und deren elektrokinetischen Wechselwirkungs-Kopplungen. Für das Leben ist es ein „glücklicher Umstand“ — ja Grundvoraussetzung —, daß die Atomstruktur des Kohlenstoffs derart ist, daß er mit anderen Elementen, insbesondere Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, eine unbegrenzte Zahl verschiedenster chemischer Verbindungen auch hochmolekularer Art mit „unwahrscheinlichsten“ Verkettungen und Gestaltungen liefern kann, und daß gerade jene makromolekularen Verbindungen (insbesondere amphotere Proteine und Proteide)

in Gegenwart oder auch in Abwesenheit von Wasser sowohl chemisch wie kolloidisch und osmotisch, durchaus hochempfindlich, reizbar und labil und damit allermannigfachster W.W. bei geeignetem „Anstoß“ fähig sind.

Nutznießer und Beherrscher aller dieser Freiheiten in A.K. und W.W. ist dann der *Organismus*, wie schon an den einfachsten Lebewesen, z. B. Amöben und Infusorien, deutlich sichtbar wird. Als Beispiel des Eingreifens „höherer“ Kausalismen in niedere diene der Fall der *Hormone und Vitamine*, die sichtlich den enzymatischen Stoffwechsel lenken und dirigieren und koordinieren, unter Benutzung der Kolloidik des Zellplasmas und der Zellwände, und die so, hemmend und enthemmend, bremsend und stimulierend, gewissermaßen als „Oberkatalysatoren“ wirksam sind. Die Hormone wiederum weisen gleichfalls Rangordnungen — nicht nur synergetische und antagonistische W.W. — auf, besonders deutlich in den Regulierungen und Koordinierungen, die von der Hypophyse ausgehen.

Die „Wahlfreiheit“, die übergeordneten Instanzen zukommt, gelangt in der Rangordnung tierischer Kausalismen zur höchsten Steigerung im *Zentralnervensystem* mit seiner eigenen Rangordnung des Anstoßens, Richtens und Lenkens. Jede „Regulation“ zeigt eine Rangordnung von Anstoß- oder Lenkungskausalität an, so wie jede „Koordination“ Ganzheiten in Wechselwirkung. *Rangordnung der Kausalismen und Stufenbau stofflicher Ganzheiten aber sind aufeinander angewiesen* und nicht eines ohne das andere denkbar.

Was einem doktrinären „*Allmechanismus*“ die größten Denkschwierigkeiten bereiten muß: die Tatsache ausgeklügelt unwahrscheinlicher *Zielstrebigkeiten (Telien) der Funktions-Zuordnung, der Formbildung und der Instinkthandlung von Organismen*, das rückt ohne weiteres in den Kreis der Denkmöglichkeit, wenn freies entelechiales Richten und Lenken — das die Gültigkeit der „Naturgesetze“ mit ihrer E.K. nicht im mindesten berührt — als äußerste Konsequenz einer „psychischen Schau“ der Welt fingiert wird, mit der Annahme einer Rangordnung von A.K., die in die Mannigfaltigkeit der E.K. eingreift und neue Mannigfaltigkeiten höherer und höchster Ordnung

schaft („Entwicklung“ und „Anpassung“ in aktivem „Handeln“ nach „holistischen“ Gesetzen).

Auch „Rangordnung“ ist im Grunde ein *symbolischer Begriff*, eine psychistische Fiktion gegenüber dem Begriff der „Anstoß“- und „Richtungs“kausalität als einer mechanistischen Fiktion; beides also schließlich menschliche „Ersatzwahrheiten“ (nicht bloße „Scheinbarkeiten“) mit „Deutung durch Vergleich oder Unterstellung“. Kann aber wohl der Intellekt mit seiner Gebundenheit an die eigenen Erlebnisinhalte und an die „Ordnungsformen“ von Raum und Zeit anders, als daß er auch in wissenschaftlicher Begriffsbildung Worte von mechanischem oder psychischem Ursinn gebraucht und somit durchweg in menschlichen Gleichnissen spricht? „Letzthin werden wir in Bildern reden müssen“ (R. Eucken).

Aus der Beschaffenheit der diskursiven Verstandestätigkeit folgt, daß jedes kausale Denken ein Einzeldenken, jedes Schauen ein Einzelschauen ist, während eine gleichzeitig allseitige Betrachtung und Würdigung der Naturvorgänge: von unten und oben, von außen und innen, also eine wahrhaft ganzheitliche Schau der Dinge dem Menschen versagt ist. Die Naturforschung fügt in ihrem Suchen nach Naturgesetzmäßigkeiten Stein an Stein und fördert planmäßig und zielbewußt den Aufbau des riesenhaften Wissenschaftsgebäudes, wohl wissend, daß der Bau nie vollendet werden kann. Dabei besteht die Besonderheit, daß gegenwärtig — und schon seit geraumer Zeit — nach Errichtung tragender Gerüste und vorläufiger Stützmauern gleichzeitig in sämtlichen Stockwerken am Aufbau und Ausbau gearbeitet wird; von einzelnen „Ebenen“ und „Abteilungen“ nennen wir andeutend nur Atomphysik, allgemeine Physik und Chemie, Mineralogie, Geologie, Astronomie, Physiologie und die übrigen Gebiete der Biologie. Vielfach werden in den verschiedenen Bezirken verschiedene Sprachen gesprochen, so daß die unmittelbare gegenseitige Verständigung mitunter Schwierigkeiten macht und Übersetzung und Verdolmetschung nötig wird (etwa zwischen organischer Makromolekular-Chemie, Kolloid-Chemie, Physiologie und Genetik).

Der Philosoph, der nicht warten kann und mag, arbeitet unverdrossen an der Bedachung, indem er — wenn er

vorsichtig ist — öfters nach unten schaut. Der unbefangene Beobachter aber bemüht sich, das Ganze der Welt nach jenem Modell des Wissenschaftsbaues von unten nach oben aufsteigend, oder von oben nach unten absteigend, „aufplanend“ oder „abplanend“ (Schmalfuß) zu betrachten. Bei der ersten Weise erscheint alles als Ursache und Wirkung, Grund und Folge, Zwang und Notwendigkeit; bei der anderen — schwierigeren — Weise aber als Ziel und Zweck, Absicht und Erfolg, Telos und Logos, Plan und Sinn und schließlich als freie entelechiale, seelische oder auch „überseelische“ Führung¹⁰.

„Wir brauchen uns nicht zu scheuen, die Umwelt in anthropomorphem Lichte zu schauen. Unwahr und falsch wird das Weltbild erst, wenn wir ihm objektive Gültigkeit beimessen wollen.“ Steinmann

Anmerkungen:

¹ In den folgenden Ausführungen bedeutet durchweg: A.K. = Anstoß- oder Anregungskausalität, E.K. = Erhaltungskausalität, K.K. = katalytische Kausalität, G.K. = Ganzheitskausalität, R.K. = Reizkausalität, M.K. = Motivkausalität, W.W. = Wechselwirkung. „Kausalität ist eine Grundform des Denkens, nicht eine Aussage über die Wirklichkeit“ (A. Wenzl). Bildlich gesprochen erscheint die Kausalität als ein Gefäß mit vielen Ausflüßrohren, genauer: als ein Denkverlangen des Intellektes, das in sehr verschiedener Weise befriedigt werden kann (s. auch Bavink u. a.). — 2 Vgl. hierzu auch die Worte be-ziehen, ab-hängen, zusammen-hängen, fördern, stel-gern, hemmen, abschwächen, ferner „Erhaltung“ — das fest Gehaltene, Zustand = das Zu- oder Zueinander-Stehende, und Vorgang = das Vor-Gehende oder Vor-sich-Gehende; ferner auch die Ausdrücke „empfinden“ = gegen sich finden, wahr-nehmen, vor-stellen, be-greifen. Nur Zahl und Psyche können sich schon in der Wortsymbolik über das zeiträumliche Hier-dort-jetzt-vorher-nachher erheben: die Quantitäten drei, vier usw. und noch mehr die „Qualitäten“ grün, blau, sehen, schmerzen, froh, traurig, denken, fühlen, wollen — haben mit Lage im Raume und mit Bewegung unmittelbar nichts zu tun. „Ursache“ bedeutet ursprünglich den vor das Gericht gebrachten Streitgegenstand, der zur Verhandlung kommt, als vordringliche „Sache“; „Wirkung“ als ein „gewirktes“ Werk läßt ebenfalls den anthropistisch-voluntaristischen Ausgangspunkt erkennen. Dagegen zeigt „Grund“ deutlich eine rein räumliche, „Folge“ eine rein zeitliche Urbedeutung. Der „Ur-heber“ aber war früher da als die Ur-sache: in der wollenden und wirkenden „Persönlichkeit“ als einer „Ur-kategorie“, von der Kausalität wie Teleologie ihren Ursprung herleiten. Dabei ist die zeiträumliche Urbedeutung von „Ziel“ und „Zweck“ ebenso wie von „Streben“ (auch in Zusammensetzungen wie „Strebe-pfeiler“) und „Richten“ (geometrische Lagebestimmung und Bewegungsbestimmung) unverkennbar. — 3 Es ist lehrreich, zu sehen, wie in den Wortbegriffen „richten“ und „lenken“ fast unmerklich der mechanistische Sinn in einen psychistischen Sinn übergeht. Wenn die Handmuskeln einen Steinhaufen auf-richten, einen Zaun er-richten, einen Wasserlauf neu richten, so sind das Geschehnisse in Raum und Zeit; wird aber weiter gefragt, „was dahintersteht“, und wird dieses Dahinterstehende in dem anstoßenden und verursachenden Willen gefunden, der in Gedanken und Ab-Sicht (innerem Schen) schon vor-gerichtet hat, so ist man mitten im Psychischen. Der Wille richtet; der Katalysator wählt: hier ist der Psyche ein mechanischer Begriff, dem Stoff ein psychischer Begriff als „Fiktion“ zugesellt; das „Richten“ hat seinen geometrischen Ursinn, das „Wählen“

seinen voluntaristischen Ursinn aufgegeben und in eine neue „Bedeutung“ (von bedeuten = bei-deuten) gewechselt. Philosophische „Standpunkte“ aber unterscheiden sich oftmals darin, ob man bei Muskelbewegungen — und deren Analogien in der Natur — als letztem Modell der Wirklichkeit anhält und stehenbleibt: „Mechanismus“, oder ob man bis zu dem „dahinterstehenden“ und wirkenden Willen tatsächlich oder angenehmer (singerter) Art vorstößt: dynamischer Kausalismus, Psychismus und Vitalismus. — 4 Man kann unterscheiden stationäre Systeme erster Art, von denen mangels äußerer Anstöße oder Infolge „Innerer Trägheit“ keinerlei äußere Arbeit geleistet wird, in denen also an denselben Körpern und Stoffen (makroskopisch oder mikroskopisch oder noch darunter) dauernd dasselbe geschieht, ohne Verlust an freier Energie: ein nichtradioaktives Atom, eine Molekel, eine ruhende Gasmasse oder Flüssigkeit (selbst wenn sie, wie ein Knallgasgemisch, eine Wasserstoffsperoxydlösung, kein endgültiges chemisches Gleichgewicht bedeutet); und stationäre Systeme zweiter Art, in denen an dauernd wechselndem Stoff immer das Gleiche geschieht, unter Verlust an freier Energie: der Wasserfall, die brennende Kerze. Stationären Systemen der zweiten Art ist der Organismus in groben Umrissen vergleichbar. — 5 Es liegt im Sinne vorliegender, mehr auf Begriffsverbindung als auf Begriffsspaltung gerichteter Darlegungen, wenn auf die besonderen Schattierungen nicht voll „synonymer“ Ausdrücke nicht genauer eingegangen wird. Dies gilt nicht nur für die Worte „stationärer Zustand“ und „Gleichgewicht“, sondern ähnlich auch für „Ganzheit“, „Form“ und „Gestalt“, die hier nicht unterschieden, ja schließlich sogar — mit gewissen Einschränkungen — dem „Ding“ des Alltagslebens nahegebracht werden. Auch auf die „Stufen“ der Naturganzheit (mechanische, chemische, organische und psychische G.) kann nur kurz hingewiesen werden: siehe hierzu A. Mittasch, Über Ganzheit in der Chemie, Angewandte Chemie 1936, 417. — 6 Noch bei Schopenhauer ist „Erhaltung des Stoffes“ eine apriorische Gewähr, eine Denknöwendigkeit. In bezug auf Erhaltung der Energie im atomaren Geschehen, insbesondere des Atomkernes, siehe P. Jordan, Naturwiss. 1937, 273 (speziell „Neutrino“-Hypothese bzw. -Fiktion); ferner Bothe u. a. — 7 Jeder Anstoß ist im Grunde ein Zusammenstoß, jede Wirkung im Grunde eine Wechselwirkung oder eine grandiose Symphonie von Wirkungsquanten und Stoffquanten. Wie aber kann im Ernste, sofern man Wirkungsquanten gelten läßt, Kausalität Verursachung abgestritten werden, die ja das „begriffliche Destillat“ des beobachteten Wechselspiels von Wirkungsquanten und Stoffpartikeln ist? Die sprachliche Gleichsetzung indes: Mechanismus = Kausalismus, Mechanik = Kausalik, Mechanität = Kausalität, die schon so viel Verwirrung gestiftet hat, sollte endgültig aufgegeben werden, unter Beschränkung des „Mechanismus“ auf sein eigenes Gebiet: die Gesetze der Bewegungsvorgänge von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern. S. auch Robert Mayer über „Auslösungen“, 1876. — 8 Es wird nicht eine Entwertung des Begriffes der „Ganzheitskausalität“ bedeuten, wenn sie schon dem Atom, der Molekel — die nicht „mechanisch“ reagieren — in primitiver Form zugebilligt wird. Daß darüber sich aufbauende biologische G.K. mit ihrer wunderbaren „Verflechtung“ von Kausalismen und vor allem mit der Urtatsache des aktiven Lebens noch etwas ganz anderes ist, wird dadurch nicht angedrückt. — 9 Siehe hierzu auch Mittasch, Über Fiktionen in der Chemie, Angew. Chemie 1937, 423 — L. v. Bertalanffy, Vaihingers Lehre von der analogischen Fiktion; in Vaihinger-Festschrift, Vaihingers Lehre von der analogischen Fiktion; 1932. — 10 Näheres siehe in dem Buche des Verfassers: Katalyse und Determinismus 1938; sowie auch: Über katalytische Verursachung im biologischen Geschehen 1935; auch Naturwiss. 1935, 361. Daß in die Rangordnungs-Pyramide der A.K. in der Natur auch Psychisches — also etwas „Heterogenes“ — mit aufgenommen wird, kann heute kaum noch als unzulässig erscheinen. „Materie“ und „Feld“ sind gleichfalls „heterogen“ genug; W.W. von Energiequanten und Stoffpartikeln widersteht jedem (primären) anschaulichen „Einsehen“ und ist dessenungeachtet Tatsache. S. auch Forschg. u. Fortschr. 1938, 16.

Über Kausalitäts-Rangordnung*

Alles Sein ist „ein Inbeziehungstehen“ (Lotze), aber auch ein Herrschen und Beherrschtwerden, wie es am sinnfälligsten in dem Bilde einer „Rangordnung“ (auch Stufenfolge, Stufenbau, Hierarchie) zutage tritt. Für stoffliche Gebilde ist diese Rangordnung allgemein anerkannt. Wir wollen nicht an kosmische Sonnen denken, deren Zustandsverhältnisse mit ihren energiereichen „angeregten“ Atomen und Ionen doch allzu unsicher sind, sondern lediglich an die Erde mit ihrer Stufenfolge vom Proton — Neutron — Elektron über Atom und Molekel (auch Makromolekel) in das anorganische Reich mit seinen Kristallen, Aggregaten und Körpern einerseits und in das organische Reich mit seinen Zellen, Geweben, Organen und Organismen andererseits.

Da jedes Sein aber zugleich ein Geschehen ist, so muß eine entsprechende Rangordnung auch in dem walten, was „vor sich geht“; und zwar ist es eine Rangordnung der Verursachung oder der Kausalität, die der Intellekt in der Ordnung der Naturvorgänge sieht und „vollzieht“. Überwunden erscheint ein materialistischer „Allmechanismus“ mit seinem Bewegungsspiel der Atome, der eine solche Rangordnung nicht kennt, der aber in der Entwicklung der neueren Atomphysik mit deren „Amechanität“ (oft fälschlich „Akausalität“ genannt) seine endgültige Selbstauflösung erfahren hat.

In einem dynamischen Weltbilde herrscht eine Rangordnung der Kausalität, die sich auf die dauernden „gesetzmäßigen Veränderungen“ im Stufenbau der stofflichen Gebilde bezieht und auf der Aufspaltung der einen „Urenergie“ des Feldes in verschiedene Teilenergien (elektrische, magnetische, chemische, mechanische, thermische) bei ihrer Wechselwirkung (W.W.) mit dem Stoffe, nebst „Teilung in Wirkungsquanten“ in unendlicher Verknäuelung und Entknäuelung beruht.

Wie aber ist eine Rangordnung der Kausalität mit der Gültigkeit der physikalischen Erhaltungsgesetze (in bezug auf Stoff, Energie, Impuls) verträglich, in der oft der eigentliche Sinn der Naturkausalität gesehen wird? So

* Forschungen und Fortschritte 14 (1938) 16—17.

wird gesagt, daß in physikalischer Kausalität „der Grad der Wirkung objektiv durch den Grad der Ursache bestimmt wird“: *causa aequat effectum*. Dabei wird jedoch übersehen, daß jene *Erhaltungsgesetze* nur „*Rahmengesetze*“ sind, die sehr unbestimmt lassen, was im vorkommenden Falle wirklich und tatsächlich von der Fülle der Möglichkeiten geschieht. Jede Veränderung aber — und alles Geschehen ist Veränderung — kommt erst dadurch zustande, daß ein Gebilde mit einem anderen zusammentrifft, wörtlich oder bildlich: „zusammenstößt“, so daß der vorhandene stationäre Zustand oder das vorhandene Gleichgewicht gestört wird und einem neuen Platz machen muß, welches das Schicksal weiterer Veränderung bei neuem Zusammenstoß auch schon wieder in sich trägt. *Bei jedem Vorgang in der Welt ist wörtlich oder bildlich etwas, das anstößt (oder anregt oder veranlaßt), und etwas, das angestoßen und durch den Anstoß verändert wird; zugleich aber ist etwas da, das gleichbleibt, wenn auch in immer neuen Gestaltungen und Verteilungen.* So kann in jedem Geschehen Erhaltungs- oder Gleichbleibungskausalität (E.K.) gesehen werden, zugleich aber auch Anstoß- oder Anregungskausalität (A.K.). A.K. ist es, für die der Satz geprägt wurde: *Kleine Ursachen, große Wirkungen, und A.K. ist es, für die eine Rangordnung der Kausalität oder des Determinismus gilt.*

Oft sind A.K. und E.K. so innig verbunden, daß sie lediglich begrifflich geschieden werden können. Dies trifft zu z. B. für das Anstoßen eines Pendels, wobei diesem zugleich die Energie übertragen wird, von der es beim Schwingen zehrt; und dies gilt ferner für eine Wassermühle, für die Wirkung eines auftreffenden Meteors, für elektrolytische Metallabscheidung und für zahlreiche photochemische Vorgänge gemäß Äquivalenzgesetzen, sowie auch für einfache chemische Umsetzungen gemäß typischen „Reaktionsgleichungen“. Hier ist überall „Anstoß“ oder „Zusammenstoß“ zugleich „Energiefieferung“.

In anderen Fällen aber ist A.K. *deutlich von E.K. unterscheidbar*, und zwar immer dann, wenn das angestoßene Gebilde seine nötige Energie bereits in sich trägt, seine Betätigung gegenüber Widerständen also nur ausgelöst und angeregt wird. Einfachste Beispiele sind eine auf einer

Spitze balancierende Kugel, die durch einen Anhauch zum Herabfallen gebracht wird; das Ankurbeln einer Maschine, das Ein- und Ausschalten elektrischer Ströme, Relais- und Verstärkerwirkung, Katalyse, Reizwirkung und „Motivation“. In allen solchen Fällen kann man von einer „Eigenaktivität“ des angestoßenen Systems reden, die nach Wegräumung eines Hindernisses — oder positiv ausgedrückt: nach Herstellung geeigneter Bedingungen — zur Auswirkung kommt.

A.K. und E.K. zusammen ergeben „*Ganzheitskausalität*“ (G.K.) (Driesch), wenn noch W.W. der Glieder eines Ganzen gemäß seiner „Aktivität“ hinzukommt. G.K. steht der einfacheren „mechanischen“ Kausalität gegenüber, die grundsätzlich berechenbar ist, und wird dann beobachtet, wenn *eine Ganzheit irgendwie angestoßen, d. h. in ihrem Gesamtzustand nebst Systembedingungen erschüttert wird und auf diese Erschütterung gemäß eigenem Energievorrat aktiv wahlhaft antwortet*; von außen gesehen umfaßt sie A.K., E.K., W.W.; von innen gesehen erscheint sie als *Aktivität und Zielstrebigkeit*.

In einfacher Form tritt uns G.K. bereits in dem aktiven Reagieren eines Atomkerns, eines Atoms, einer Molekel beim Aufprall geeigneter stofflicher oder energetischer Gebilde entgegen, in höherer — und darum vielfach allein anerkannter — Form in der „Reizkausalität“ (R.K.) des biologischen Geschehens, in den Lebensfunktionen und deren Regulation und Koordination, Steuerung und „Entwicklung“.

Soll innerhalb A.K. samt G.K. und R.K. Rangordnung von Kausalität möglich sein, so ist es notwendig, daß *auf jeder Stufe des Geschehens Unbestimmtheiten und Freiheiten oder auch „Trägheiten“ existieren, die ein Eingreifen übergeordneter Potenzen und Faktoren erlauben*. Das ist tatsächlich der Fall, und schon die bekannten Unbestimmtheiten und Ungenauigkeiten des inneratomaren Geschehens bekommen ein „anderes Gesicht“, wenn man sie als Grundlage und Bedingung für das Eingreifen höherer Kausalität erkennt. Was die elementaren Unbestimmtheiten zu Bestimmtheiten macht, das sind zunächst „Ganzheitsgesetze“ (die in Form statistischer Wahrscheinlichkeitsgesetze er-

scheinen), sodann aber auch Gesetzlichkeiten der nächsthöheren Gebilde.

Im Verhalten von Atomen müssen Unbestimmtheiten bleiben, damit molekulare „chemische“ Gesetzmäßigkeiten sich betätigen können; Molekeln muß „Reaktionsträgheit“ und Unbestimmtheit in bezug auf den Zeitfaktor (die chemische „Reaktionsgeschwindigkeit“) anhaften, damit der Katalysator veranlassend, beschleunigend und lenkend eingreifen kann; noch mehr Freiheiten muß der kolloide Zustand mit seiner Kopplung an oberflächenchemische und elektrokinetische Erscheinungen bieten, damit organischemische R.K. als G.K. und „Systemgesetzlichkeit“ in Erscheinung treten kann. So greifen ja Hormone und Vitamine in das Spiel der Enzyme ordnend und regelnd ein, und sie selber unterliegen im höheren Tier wiederum der koordinierenden und dirigierenden Tätigkeit des Nervensystems.

Jede physiologische Funktion, jeder einfache Reflex, jeder Tropismus, jede Taxie, von unten gesehen als ein komplexer Kausalismus (übertragender- und irreführenderweise oft „Mechanismus“ genannt), als verwickelter Aufbau und eine verknäuelte Zusammenfügung von zahlreichen physikalischen und chemischen Reaktionen der verschiedensten Art erscheinend, ist zugleich Äußerung einer „Ganzheitskausalität“ in der Stufengliederung biologischer Kausalität, beherrscht von einem „Gliedgedanken“, der wiederum Plan und Regel des ganzen lebendigen Organismus untertan ist. Jede Biologie ist mehr oder weniger Rangordnungs-Biologie, jede wahre Heilkunde nicht nur Ganzheitsheilkunde, sondern auch Rangordnungs-Heilkunde.

Der Begriff einer Rangordnung von A.K. in der G.K. des Organismus eröffnet auch Ausblicke auf das Leib-Seele-Problem insofern, als der — unbewußte und bewußte — Wille als die höchste Form einer A.K. erscheint, die hier zugleich Richtungs-, Führungs- und Entfaltungskausalität großen Stiles (mit ständiger „Erhöhung der Mannigfaltigkeit“) geworden ist. Dreierlei ist hier beachtlich:

1. Bei A.K. brauchen Anstoßendes und Angestoßenes, Geber und Empfänger nicht gleichartig zu sein; genug, daß eine gewisse „Resonanz“, eine gegenseitige „Abstimmung“ vorhanden ist, die W.W. erlaubt.

2. A.K. kann von einem „bilanzfreien Impuls“ oder von einem im physikalischen Sinne keineswegs „Arbeit“ leistenden Etwas ausgehen. Schon im physiologischen Geschehen wird die erforderliche Regulierungsenergie um so geringer, je höher man in der Rangordnung des Geschehens aufsteigt. Im Katalysator haben wir sogar Erscheinung und Modell eines Etwas, das überhaupt keine Arbeit (Bruttoarbeit) leistet, sondern in dauerndem Sich-ein-und-ausschalten ein zunächst „passives“ System zur aktiven Betätigung seiner eigenen freien (latenten) Energien anregt¹.

3. Die Tatsache einer Rangordnung gewährt die Möglichkeit, das System der Kausalität entweder von unten aufsteigend oder von oben absteigend zu verfolgen; von unten gesehen ist alles „Ursache und Wirkung“, Grund und Folge; von oben nach unten aber Zielung, Ausgliederung und Führung. Ein wahrer und universeller Determinismus — der mit mechanischem Determinismus nichts zu tun hat — umfaßt dann Notwendigkeit und Freiheit, Bedingtheit und Bestimmtheit; eine Verursachung von unten (oder außen) nach „Kausalgesetzen“ und eine Verursachung von oben (oder innen) nach Ziel und Zweck, Plan und Sinn (Teleologie).

So wird man dahin kommen, „psychophysischen Parallelismus“ und „leibseelische Wechselwirkung“ als ein „fiktives Begriffspaar“, als ein „komplementäres Begriffssystem“ anzusehen, das in der Rangordnung der Naturkausalität seine feste Stelle hat, ohne wissenschaftlich in einer einzigen „Schau“ aufgehen zu können. In der Geschichte des Einzelorganismus und in der Geschichte der Gesamtlebewesen, einschließlich Menschheitsgeschichte, prägt sich „seelische Führung“ aus, die keinen Widerspruch zu allgemeiner Kausalität (als E.K.) bedeutet, sondern Vollendung und höchste Spitze einer Rangordnung irdischer Verursachung darstellt².

Anmerkungen:

¹ Erscheint lenkende und wählende Katalyse als ein niedriges Modell des richtenden und führenden Willens, so geben Vorgänge der Auto-katalyse mit ihrer „aktiven“ Selbsterhaltung und Selbstvermehrung das einfachste Vorbild des sich selbst gestaltenden und immer erneuernden Einzelorganismus. — 2 S. auch A. Wenzl, „Unsere Welt“ 1937, Novemberheft S. 305: Die Welt „ein Stufenbau beselter Wesenheiten“, mit der Tendenz zum Ausdruck durch Führung“.

Was ist Ganzheitskausalität?*

„Das Geeinte zu entzweien, das Entzweite zu einigen,
ist das Leben der Natur.“
Goethe

Um die Jahrhundertwende hat H. Driesch für die Biologie den Begriff der *Ganzheitskausalität* (G.K.) aufgestellt als einer Bestimmtheit des Einzelnen, des Gliedes, durch das Ganze mit seinen Regeln. Die G.K. wird in Gegensatz gestellt zu der „mechanischen Kausalität“ als einer aus räumlicher Konstellation materieller Körper und Teilchen gemäß den Gesetzen der klassischen Mechanik hervorgehenden „maschinellen“ Bewirkung¹. G.K. ist darnach dem Gebiet des Lebenden vorbehalten als „organische Werdeform“ und bedeutet eine Verursachung „von oben“, d. h. eine richtunggebende Verursachung nicht-energetischer Art, die sich in der Erzeugung „harmonisch-äquipotentieller Systeme“ und in der Erhöhung vorhandener Mannigfaltigkeit ausspricht. Sie setzt demgemäß Naturfaktoren und „Potenzen“ nicht-räumlicher und „prospektiver Art“ voraus, welche jeweils als „ganzmachendes“ — und immer neue Ganzheit schaffendes — und zielsetzendes Agens, als „Entelechie“ und „Psychoid“ im Rahmen der Energiegesetze tätig sind. Der Entelechie kommt eine Art „Primärwissen und Primärwollen“ zu: ihre „Arbeit“ sieht aus, „wie von einem Wollenden gemacht“; sie erscheint als eine *causa finalis*, wie wenn sie die Vorstellung eines Zieles in sich trüge. G.K. zeigt sich in jeder Reizwirkung, die mit Beziehung auf ein Ganzes und dessen Bedürfnisse Tätigkeiten auslöst oder hemmt, richtet oder „suspendiert“ und kompensiert, lokalisiert und „inseriert“, ohne ein quantitatives Sichentsprechen von Ursache und Wirkung.

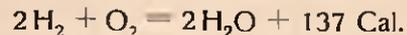
I. Anstoßkausalität und Erhaltungskausalität als Hauptformen des Kausalität-Vollziehens

Im folgenden soll erörtert werden, wie etwa der Begriff „Ganzheitskausalität“ in ein allgemeines Kausalsystem eingeordnet werden kann, mit besonderer Berücksichtigung chemischer Verhältnisse. Stellt sich ja jedes ein-

* Acta Biotheoretica A 4 (1938) 73—84.

zelne Geschehen im Biologischen zunächst dar als „eine Änderung des chemischen und aggregativen Charakters von Stoffen“ (Driesch)².

Wir gehen aus von einer der üblichen Handhabung des Kausalbegriffes entsprechenden Unterscheidung von *Anregungs- oder Anlaß- oder Anstoßkausalität* (A.K.) und *Gleichbleibungs- oder Erhaltungskausalität* (E.K.). Die erstere ist durch den Satz: „Kleine Ursachen, große Wirkungen“ gekennzeichnet; die zweite durch den Satz: die Ursache gleicht oder „entspricht“ in Grad und Art der Wirkung. E.K. findet man überall in der Natur, wenn bei stofflichen und energetischen Umsetzungen auf die *Erhaltung des Stoffes und auf die Erhaltung der Energie* geachtet wird, und es gibt noch heute Autoren, welche den Sinn und das Wesen physikalischer und naturgesetzlicher Kausalität lediglich in dieser Erhaltungsgemäßheit finden³. So gesehen gibt z. B. bei dem Vorgange der Wasserbildung gemäß



die linke Seite der Gleichung die „Ursache“, die rechte die „Wirkung“ wieder; und analog verhält es sich bei Gleichungen der Mechanik hinsichtlich des Übergangs von potentieller in kinetische Energie (z. B. „Aufziehen“ einer Uhr und nachfolgendes „Gehen“) oder in Vorgängen gemäß dem elektrochemischen und dem photochemischen Äquivalenz-Gesetz.

Andererseits aber gibt es unzählige Vorgänge, die, obwohl mechanisch oder thermodynamisch auf Grund vorhandener freier (latenter) Energie möglich, doch nicht „von selbst“ angehen, sondern eines Anstoßes, eines Anlasses, einer Anregung bedürfen, und dieser Anstoß, diese Anregung (auch Impuls, Induktion usw. genannt) kommt von einem stofflichen oder energetischen Gebilde (Körper, chemische Verbindung, Elektron, Strahlung korpuskular „materieller“ oder rein energetischer Art), das selber dabei in der Regel eine gewisse Arbeitsleistung vollbringt, jedoch eine solche, die im Vergleich mit der angeregten Arbeitsleistung des Systems gering, ja oft verschwindend gering ist und in der Gesamtbilanz keine Rolle spielt. Beispiele hierfür sind: das Anrühren einer auf einer Spitze

schwebenden und schon auf einen Anhauch herabfallenden Kugel, das Aufziehen einer Schleuse, das Öffnen eines Hahnes, das Ankurbeln einer Maschine, das Ein- und Ausschalten eines elektrischen Stromes, Relais- und Verstärkerwirkung, Katalyse (K.K.), Reiz- und Motivwirkung (R.K. und M.K.). Der Schall eines gesprochenen Wortes kann eine Lawine zum Absturz bringen.

Bei der *Katalyse* liegt, wie schon öfters ausgeführt, der Fall vor, daß der Anreger, Anstoßer und Vermittler selber gar *keine Arbeit* (Bruttoarbeit) *leistet*, sondern aus der Energiebilanz des veranlaßten Vorganges völlig herausfällt; nur *freiwillig verlaufende* Vorgänge, denen aber zunächst „chemische Hindernisse“ entgegenstehen, können — wie schon Liebig geahnt und Ostwald und Van t' Hoff deutlich ausgesprochen haben — vom Katalysator hervorgerufen oder beschleunigt oder gelenkt werden, *der Katalysator ist ein bilanzfreier Impuls*, ein reiner Veranlasser, eine reine Anstoß- oder auch Richtungs-Ursache, die zu einem „chemischen Gleichgewicht“ führen kann.

In den *Vorgängen der Natur* treten E.K. und A.K. immer eng verknüpft auf, teils so, daß sie überhaupt auch begrifflich kaum geschieden werden können: so bei dem Anstoßen eines Pendels als Zuerteilung der potentiellen Energie, von der es sodann in der Betätigung kinetischer Energie (und deren Rückverwandlung in potentielle) lebt. Bei der chemischen Induktion regt der „Induktor“ die fremde chemische Reaktion eines „Acceptors“ in der Weise an, daß er selber vom gleichen Aktor eine entsprechende Umwandlung erfährt, meist unter Abgabe von Energie aus der induzierenden an die induzierte (nicht freiwillig verlaufende) Reaktion.

Die *begriffliche Scheidung* von E.K. und A.K. ist auf nicht-mechanischem Gebiet am leichtesten zu vollziehen bei den Vorgängen der Katalyse, der Reizwirkung und bei dem Anstoß des (unbewußten oder bewußten) Willens; als besondere *Aktoren der A.K.* erscheinen also stofflicher Katalysator, stofflicher oder energetischer Reiz und das psychische Motiv. Zugleich ist bei E.K. und A.K. immer in mehr oder minder hohem Maße *Wechselwirkung* (W.W.) vorhanden: schon im Einzelatom, in der Einzelmolekel, dann im Vorgang der chemischen „Bindung“ und „Ver-

bindung“, in den Beziehungen von Katalysator und Substrat, Reizgeber und Reizempfänger, Sinneseindruck und Funktion usw.

II. Ganzheitskausalität (Holistische Kausalität) vereinigt Anstoßkausalität, Erhaltungskausalität und Wechselwirkung

Als „Ganzheitskausalität“ bezeichnen wir nun Formen und Erscheinungen von Naturkausalität, in denen eng gekoppelt A.K., E.K. und W.W. enthalten sind, genauer vom zergliedernden Verstand vollzogen werden können. und zwar derart, daß *das ganzheitliche Gebilde mehr oder minder aktiv und wahrhaft auf den Anstoß anspricht*. Dabei kann man G.K. niederer Art unterscheiden, wie sie schon im Bereich des Anorganischen, des Nichtlebenden auftritt, so im Verhalten des Atomkerns, des Atoms, der Molekel; und höhere G.K., die identisch mit der physiologisch-biologischen *Reizkausalität* ist und sich im Psychophysischen bis zur psychischen *Motivkausalität* erhöht. In diesen letzten beiden Formen vor allem, der G.K. im eigentlichen Sinne, wird deutlich sichtbar, daß *ein Ganzes mit eigenem Energievorrat durch einen „Anstoß“ — von außen oder von innen — zu eigener Betätigung angeregt wird*: Aktivität, Spontaneität, Impulsität, Zielstrebigkeit.

G.K. steht der rein *mechanistischen Kausalität* gegenüber als einer Übertragung bestimmter Bewegungen von Körpern auf Körper gemäß den Gesetzmäßigkeiten, welche in der Wirkung stoßender und „anziehender“ (auch „abstoßender“) mechanischer „Kräfte“ mit ihren Impulsen walten. Eine Kugel *trifft* etwa einen Kegel und hierauf noch einen zweiten, diese stoßen vielleicht wieder an andere an, so daß schließlich u. U. sogar alles umgeworfen ist. Und doch ist hier keine G.K., weil von vornherein nur eine räumliche Konstellation, *nicht aber innere W.W. in Beziehungen des empfangenden Systems* vorhanden ist; von einer Art primitiver G.K. könnte man vielmehr erst höchstens dann reden, wenn sämtliche Kegel in gewissen „unterirdischen“, verborgenen, z. B. an elektrische Kontakte und Ströme gebundenen Zusammenhängen und „Relationen“ zueinander stünden, die sich darin äußern könnten, daß schon beim ersten Aufprall der Kugel auf einen Kegel der oder jener andere Kegel sogleich in „Mitleiden-

schaft“ gezogen werden kann oder muß. In diesem Sinne könnte wohl auch bei einer Dampfmaschine, bei einer Dynamomaschine, bei einem Rundfunksender und -empfänger oder auch bei chemischen Reaktionen von einer gewissen „Ganzheitskausalität“ gesprochen werden, da hier A.K., E.K. und W.W. geregelt und geordnet zusammenwirken; jedoch fehlt immer noch das Merkmal eines „Wählens“ und „Zuordnens“, einer Aktivität und Spontaneität besonderer Art.

Eine genauere Definition der G.K. setzt eine scharfe *Begriffsbestimmung der Ganzheit* voraus, die wir im Anschluß an den Sprachgebrauch derart geben, daß wir von Ganzheiten im niederen oder uneigentlichen Sinne und von Ganzheiten im höheren oder eigentlichen und wahren Sinne reden.

Unter *Ganzheit* verstehen wir in der Naturwissenschaft zunächst bestimmte *Ordnungen im Hier — so, Dort — anders*, während die „Kausalität“ Ordnungen im Jetzt — so, Vorher (oder Nachher) — anders setzt. Äußerlich gesehen, gehört zur Ganzheit vor allem eine innige W.W. der Teile oder Glieder, so daß das Ganze dynamisch mehr und anders ist als die Summe seiner Glieder. Mechanismen selbst kompliziertester Art wie Uhrwerke, beliebige Maschinen und Automaten oder andere Artefakte werden kaum als „Ganzheiten“ im besonderen Sinne bezeichnet, desgleichen auch kaum natürliche Analoga hierzu wie Gletschermühlen. Mehr und mehr hat sich ein Gegensatz zwischen „mechanisch geordnet“ und „ganzheitlich geordnet“ herausgebildet derart, daß *in eigentlichen Ganzheiten Mechanisches zwar enthalten und eingeschlossen sein kann, jedoch immer so, daß das Nichtmechanische überwiegt*, ja sogar die eigentliche Grundlage und Voraussetzung der gesamten „Anordnung“ ist. Ob man also Dynamomaschinen und Rundfunksender das Prädikat wirklicher „Ganzheit“ zubilligen soll, könnte demnach noch angezweifelt werden; nicht zweifelhaft aber ist, daß, um auf Naturgebilde überzugehen, schon *der Atomkern und das Gesamtatom, die Molekel und die Makromolekel Ganzheiten sind*: keine Konstellation räumlicher Art, aus denen man ein Stück hinwegnehmen könnte, ohne daß der gesamte Rest und alle seine verbleibenden Glieder in Mitleidenschaft gezo-

gen würden, — ganz anders als ein Mauerwerk, aus dem ein Ziegelstein herausgenommen werden kann, ohne daß das Zurückbleibende (zunächst) anders als an der Schönheit leidet; auch ist noch nie beobachtet worden, daß in einem solchen Falle die Lücke von der Mauer selbsttätig geschlossen worden wäre.

III. Biologische Ganzheitskausalität als wahlhafte Reiz- oder Erregungskausalität

Den *chemischen und physikalischen Ganzheiten* oder „Gestalten“ (Wo. Köhler) stehen dann, anscheinend durch eine unüberbrückbare Kluft getrennt, die höheren *biologischen Ganzheiten* gegenüber, für die man zunächst den Ausdruck „Ganzheit“ reservieren wollte: Zellen, Gewebe, Organe, Organismen und deren Biozöosen.

Was ist aber dann genau gesagt *Ganzheitskausalität*? G.K. liegt vor, wenn *eine Ganzheit, von einem beliebigen stofflichen oder energetischen Gebilde verursachend „angestoßen“, sich aktiv und ganzeinheitlich verändert*, möge jener Anstoß von einem fremden elementaren Gebilde wie einem Photon, einem Elektron ausgehen, oder von Ganzheiten wie Atomen, Molekeln oder höheren energetisch-stofflichen Gebilden, oder auch schließlich aus dem eigenen „Inneren“ der Ganzheit stammen. *Bewegung* kann Anlaß, Begleiterscheinung und letzte Folge der G.K. sein (man denke an physiologische Reflexe, Tropismen und Taxien), ist aber nie letzter Grund und innerstes Wesen derselben.

So verstanden, ist es ohne weiteres klar, daß die *eigentliche Domäne der G.K. das Reich des Lebendigen* mit seinen „Koordinationen“ und „Regulationen“ ist, in welchem G.K. höherer und höchster Art unendlich vielgestaltig, mit mannigfachster Namengebung und in unendlichen Verwicklungen mit anderen einzelnen Ganzheitskausalismen zutage tritt. Ebenso klar aber ist es, daß diese G.K. identisch ist mit der schon von Johannes Müller als eigentliche Kausalitätsform des organischen Lebens erkannten und von Schopenhauer nachdrücklich der anorganischen Kausalität entgegengesetzten *Reizkausalität*. R.K. des Organismus ist G.K. und ist „Systemgesetzlichkeit“ (Bertalanffy). in der A.K., E.K. und W.W. in immer neuen Formen und Verknäuelungen enthalten sind, möge es sich um stoffliche

oder energetische Reizwirkungen auf den Gesamtorganismus oder auf einzelne seiner Glieder handeln, um innere Reize (hormonale Reize, Nervenreize aus dem Central-system usw.) oder äußere Umweltreize (Sinnesreize), um Reize hinsichtlich Erhaltung und Formbildung, Entwicklung und Rückbildung, Erkrankung und Gesundheit usw. (s. hierzu auch den „Holismus“ von Smuts und Adolf Meyer, ferner J. S. Haldane, Léemann u. a.).

Es ist darnach ohne weiteres einleuchtend, daß sich G.K. als R.K. bis in das Psychophysische fortsetzt, wo schließlich das Bewußt-Psychische die Oberhand gewinnen kann, und die R.K. in die Motivkausalität (M.K.) des — bewußten oder unbewußten — Willens übergeht.

Ein bestimmter akustischer Reiz in Hypnose kann den Organismus zu bestimmten Organfunktionen innerer und äußerer Art veranlassen. Äußeres kann von innen, d. h. psychisch — bzw. von einem dem psychischen Vorgang untrennbar anhaftenden ganzheitlichen physischen Zustand — angestoßen werden. „Die Reichweite des Seelischen erstreckt sich im Körpergeschehen so weit, wie lebendige Funktionen des Organismus spielen“ (J. H. Schultz). Ein Kommandowort, ein Blick, ein eigener freier Willensentschluß, auch ein Affekt können weitreichende körperliche und stoffliche Folgen anstoßen und zeitigen, immer innerhalb der (allgemeinen und speziellen) „Erhaltungs- und Richtungsgesetze“ der Physik und Chemie als „äußeren Rahmen“ des Geschehens.

IV. Stellung biologischer Ganzheitskausalität in der Rangordnung der Naturkausalität

Schließlich aber ist A.K. im allgemeinen und K.K., R.K. und M.K. im besonderen nur denkbar und möglich innerhalb einer Rangordnung der Kausalität, einer Stufenfolge von Kausalismen niederer und höherer Art, wobei höhere Anstoß- und Richtungs-Kausalismen in die Freiheiten und „Trägheiten“ niederer Ebenen eingreifen und die Unbestimmtheiten niederer Kausalismen zu Bestimmtheiten höherer Kausalismen machen⁴. Als ein Beispiel auf mittlerer Ebene sei die *Vitamin- und Hormonwirkung* genannt, die, so verschiedenartig sie sich im einzelnen vollziehen möge, doch sicher das Gemeinsame hat, daß sie in die

Wirkung der Enzyme vermittelt einer Kopplung kolloid-chemischer und elektrokinetischer Vorgänge richtend und regulierend eingreift (s. hierzu Willstätter 1937), ihrerseits aber bei höheren Tieren wiederum vom übergeordneten Nervensystem gelenkt und gesteuert wird. Jede Regulation, jede Steuerung, jede Restitution und Heilung setzt eine Rangordnung physiologischer Kausalismen, genauer „Anstoßkausalismen“ voraus, für die ein gewisser „Spielraum“ der Betätigung besteht.

Man kann schematisch eine Rangordnungspyramide biologischer Kausalität entwerfen, mit atomphysikalischer K. an der Basis, chemischer und physiologischer (einschließlich mechanischer) in mittleren Zonen und der Kausalität des bewußten unräumlichen Willens an der Spitze, wobei aber in deren Nähe ein ebenso unräumliches „Zentrum“ und „Fünklein“ des eigentlich organischen Geschehens zu fingieren ist, dem die verschiedensten Namen zugelegt worden sind: Physis, Entelechie, Archeus, Horme, Morphe (auch Mneme), Lebenskraft, der „Urwille“, das wirkende Unbewußte, das große physiologische X usw. Es veranlaßt und stößt an, es richtet und steuert, es reguliert und formt; meist auch: es denkt und will.

Der Beobachter hat die Wahl, diese Pyramide der Kausalitäts-Rangordnung von unten nach oben oder von oben nach unten zu durchlaufen; von unten nach oben gesehen ist alles causa, A.K. und E.K., von oben nach unten gesehen aber telos, Plan und Ziel und Sinn, durchweg in einer Art prästabiliert Harmonie. In dieser Rangordnung findet auch der (echte) „Mechanismus“ seine Stelle, aber eine untergeordnete, nur als „Äußerung“, dem eine im Grunde unbekannte „Innerung“ gegenübersteht.

Man soll die *Physiologie und Biologie vergangener Tage* nicht darum schelten, daß sie vorwiegend mechanistisch gewesen ist, indem sie alle Lebensäußerungen auf Bewegung zurückführen wollte; sie ist dabei der Physik ihrer Zeit gefolgt, die noch zu Helmholtz' und Lord Kelvins Zeiten ganz überwiegend mechanistisch war. Stutzig konnte allerdings schon der Umstand machen, daß die *Chemie*, auf der man vor allem aufbauen muß, nie eigentlich „mechanistisch“ gewesen ist (trotz der Absichten und Ansichten eines Berthollet und Lothar Meyer). Nie ist ernsthaft versucht

worden, die Mannigfaltigkeit der chemischen Umsetzungen mit ihrem der Mechanik fremden Begriff der „Wahlverwandtschaft“, der spezifischen Auslese im Reagieren und ihrem besonderen „Massenwirkungsgesetz“ auf die Galilei-Newtonsche Mechanik zurückzuführen. Männer wie Döbereiner, Berzelius und Liebig haben eine Chemie sui generis, also von nichtmechanistischer Art ausgebildet, in die Mechanisches nur als Bild, Analogie, Hilfsbegriff und „Fiktion“ eingehen durfte und mußte; und Berzelius hat in genialer Vorschau sogar „Stoff“ und „Affinität“ schon auf „Elektrik“ mit ihrer Polarität zurückführen wollen: eine erste Andeutung und Vorahnung dessen, was heute in einer quanten- und elektronentheoretischen Behandlung der Atome Erfüllung zu werden beginnt; und er hat ferner den Begriff der *Katalyse* geschaffen, der nichts Mechanisches an sich hat⁵.

Wie ist im ganzen *der heutige Stand der Dinge?* Die Chemie, die sich gegen völlige Mechanisierung immer ablehnend verhalten hat, findet einen festen Unterbau „elektrischer“ und „quantenmechanischer“ Art in der neuen Atomphysik. Gleichzeitig hat die organische Chemie (neben der anorganischen) einen bewundernswert hohen Stand erreicht, die Chemie der Naturstoffe eingeschlossen. Auch die makromolekulare Chemie, die einen wertvollen Übergang zur organischen Kolloidchemie liefern kann, beginnt, gestützt auf röntgenographische und sonstige physikalische Feinmethodik, sich lebhaft zu regen; der chemische und physikalische Nachweis von Stoffspuren schreitet dauernd vorwärts. Damit ist aber auch die Zeit gekommen, da Chemie dem Physiologen noch viel sicherere Stützen als in früheren Zeiten liefern kann, und *Chemie und Katalytik werden sich in Hormonlehre und Genetik immer neue Gebiete erobern — ohne daß indes Gefahr bestünde*, daß je Physiologie und Biologie in Physik und Chemie aufgehen würden. Gleichzeitig jedoch, und durch jene günstigen Umstände bedingt, sind auch die Schwierigkeiten der Forschung immer größer geworden, indem in früher ungeahnter Weise planvolle Gemeinschaftsarbeit von Forschern verschiedener Herkunft und Artung erforderlich ist, um der unendlichen „ganzheitlichen“ Verstrickung der Erscheinungen gerecht zu werden.

Damit sind wir wieder bei „Ganzheitskausalität“ angelangt. Sie führt ihren Namen in mehrfacher Beziehung zu Recht, auch insofern, als in jenem Begriff sehr verschiedene Momente schwer entwirrbar verkoppelt sind, und ferner indem sie verlangt, immer *das Ganze als Anfang und als Ende aller Forschung* anzusehen: *nicht so, daß etwa das „Ganze“ in verdinglichter Form zur vera causa des Geschehens zu machen wäre*, wohl aber so, daß darin schließlich alle kausalen Bemühungen ausmünden. „Ganzheitskausalität“ als ein Reiz- und Motiv-Kausalität umfassender und demnach selbst nach der Psychologie und nach den Geisteswissenschaften Brücken schlagender Begriff hat auch in Zukunft seine Berechtigung und seine Aufgaben“.

Mußten wir im Anfange die G.K. ihres „mystischen Schimmers“ entkleiden, so sind wir jetzt zum Schlusse gehalten, ihr diesen gewissermaßen zurückzugeben. Je schärfer kausal zergliedert wird — und jede Forschung ist kausale Zergliederung —, um so deutlicher tritt der „irrationale Rest“ hervor als Urgrund und innerstes Wesen der Erscheinung, dem keine empirische Wissenschaft beikommen kann.

„Wir tappen in Geheimnissen“

Goethe

Literatur

- Alverdes, F. (1937). Kausalität, Finalität und Ganzheit. — Acta Biotheor. III, S. 167—180.
- Bertalanffy, L. von (1932). Vaihingers Lehre von der analogen Fiktion in der Naturphilosophie. — Vaihinger Festschrift.
- Driesch, H. (1901). Die organischen Regulationen. — Leipzig, W. Engelmann, xvi + 228 S.
- , (1936). Zur Kritik des „Holismus“ — Acta Biotheor. I, S. 185—202.
- , (1937). Studien zur Theorie der organischen Formbildung. — Acta Biotheor. III, S. 51—80.
- Haldane, J. S. (1936). Die Philosophie eines Biologen. Mit einem Vorwort des Übersetzers Adolf Meyer. — Jena, G. Fischer, xvi + 130 S.
- Léemann, A. C. (1937). Les fondements scientifiques de l'holisme. — Acta Biotheor. III, S. 153—166.

- Meyer, A. (1936). Holistische Antikritik von Mechanismus und Vitalismus. — Acta Biotheor. I, S. 203—218.
- Schultz, J. H. (1936). Die Reichweite des Seelischen im Körpergeschehen. — Forsch. u. Fortschr. XII, S. 54.
- Wenzl, A. (1938). Zur Metaphysik der Biologie von heute.
- Willstätter, R. (1937). Über die hemmende und enthemmende Wirkung von Adrenalin und Insulin. — Enzymologia I, S. 213.

Anmerkungen:

1 Der Begriff „Ganzheitskausalität“ findet sich bei Driesch schon 1909 und ist weiter ausgebaut in späteren Werken und Schriften (s. 1921, 1931, 1933, 1935, 1937). — 2 Dem Verfasser (als Chemiker) liegt jeder Versuch fern, der Biologie bestimmte Kausalitäts-Definitionen einreden zu wollen. Beabsichtigt ist indes, die Frage der biologischen Kausalität erneut, und zwar von einem neuen Stützpunkt aus — der Katalyse — in Fluß zu bringen, nachdem der „Allmechanismus“ — Leben aus Bewegung stammend — sich innerlich aufgelöst hat und auch das Intermezzo einer atom-physikalischen „Akausalität“ lediglich darauf hinauslief, die „Amechanität“ schon des elementarsten Geschehens in der Natur darzutun. Ausführlicher geht der Verfasser auf diese Dinge ein in „Katalyse und Determinismus“, sowie in seinem R. Mayer-Buche 1940. — 3 In „physikalischer Kausalität“ — „wird der Grad der Wirkung objektiv durch den Grad der Ursache bestimmt“: Oelze und Schmith (1937); entsprechend W. Ostwald (1895): „das in die Gestalt des Energieprinzipes gebrachte Kausalgesetz“. — 4 Es handelt sich nicht darum, was „Kausalität“, „Ganzheit“ usw. ist, sondern was die Wissenschaft darunter verstehen will, um ein möglichst einheitliches und widerspruchloses Begriffssystem zu entwickeln, das zwar nicht ein Abbild, aber ein Zeugnis und Gleichnis der Welt gibt, so wie sie der Mensch sieht und sehen kann. Über Ganzheit in der Chemie s. Mittasch (1936). S. auch Drieschs Unterscheidung von „merogener“ und „hologener“ oder echter Ganzheit. — 5 Im übrigen ist auch oft „Mechanik“ genannt worden, was in Wirklichkeit eine allgemeine „Kausalik“ gewesen ist. z. B. die „Entwicklungsmechanik“ von Roux. Die Urbedeutung der meisten sprachlichen Ausdrücke ist zeiträumlicher Art, und so kann es nicht wundernehmen, daß der bildliche Charakter des Wortes oft vergessen und Bild und Zeichen für das Wesen genommen wird. S. hierzu Mittasch (1937); v. Bertalanffy (1932). „Die Vieldeutigkeit des Ausdrucks ‚Mechanismus‘ geht so weit, daß er bisweilen sogar auch für ‚Kausalismus‘ gesetzt wird; er ist darum besser ganz zu vermeiden“ (v. Bertalanffy). — 6 Es entspricht der lediglich auf Anregung eingestellten Tendenz dieses Aufsatzes, wenn feinere Begriffs-Unterschiede hinsichtlich Ursache und Bedingung, Kausalität und Determinismus, Plan und Ziel usw. unbeachtet bleiben; s. hierzu Driesch, v. Bertalanffy, M. Hartmann, v. Uexküll, Bavinck, A. Wenzl, F. Alverdes u. a. m.

Kausalismus und Dynamismus, nicht Mechanismus!*

Der lebhafteste physikalische Kausalitäts-Streit vergangener Jahre wird voll verständlich, wenn man sich der übertragenden Bedeutung bewußt wird, die auf Grund der großen Leistung der neueren Mechanik (seit Galilei, Newton, d'Alembert, Laplace und vielen anderen) die *besondere Form der mechanischen Kausalität* erlangt hatte. „Kausalitätsschmerzen“ (Adolf Meyer) hat es zwar schon früher in Zeiten begrifflichen Umbruches gegeben¹; keine Anzweiflung der allgemeinen Gültigkeit des „Kausalprinzips“ hat jedoch je so grundsätzliche Bedeutung und so weitreichende Auswirkung erlangt wie jene Behauptung neuerer Physik: „Kausalität ist eine veraltete Denkgewohnheit, die nur entstehen konnte, weil man die Mikrovorgänge nicht kannte.“ (Im Hintergrunde steht dabei der wenig kritische Gedanke, daß Makrophysikalisches aus mikrophysikalischen Vorgängen nach Art mechanischen Aufbaues „zusammengesetzt“ sei; in Wirklichkeit kann man es als so zusammengesetzt fingieren, d. h. vorstellen und denken.)

Die rückläufige Bewegung der letzten Zeit, die sich auf allgemeine erkenntnistheoretische Erwägungen besinnt und stützt (Dynamismus, Holismus usw.), setzt bei der Erörterung dessen ein, was große Denker aller Zeiten ziemlich übereinstimmend über „Kausalität“ gesagt haben. *Kausalität* ist kein Axiom oder „Naturprinzip“, sondern diejenige *Denkerwartung* gemäß vorhandenem Denkbedürfnis und vorhandener Erfahrung, daß an irgendein beobachtetes Geschehen sich etwas anschließen wird, das nicht sein oder geschehen würde oder zum mindesten nicht genau so sein oder geschehen würde, wenn jenes „Erste“ nicht dagewesen wäre. In diesem allgemeinen Rahmen ist Platz für mannigfache Formen der Ordnung, die der Menschengeist in seinen Erlebnissen in bezug auf „Abhängigkeiten“ mit nicht umkehrbarem Richtungssinn schafft; und *mechanische Kausalität* ist nur eine der vielen Formen, in denen der Intellekt Kausalität sieht und vollzieht. Auch die Aufstellung und Anwendung von „Wahrscheinlichkeits-

* Forschungen und Fortschritte 14 (1938) 127—128.

gesetzen“ ist eine Weise, in der Kausalität vom Denken postuliert und ausgeübt wird².

Was theoretische Physiker „Akausalität“ genannt haben, ist in Wirklichkeit „Amechanität“. Wenn man jenes Wort so versteht, so gibt es durchaus eine Wahrheit wieder, und zwar eine *revolutionäre Wahrheit*, die aus dem neuen experimentellen Befund der Quanten- und Feldphysik hervorgeht und die zu einem Umdenken herkömmlicher Naturgedanken führt. Es geht in der Welt vielfach „amechanisch“ zu, aber nicht „akausal“, und eine deutliche Scheidung dieser sprachlichen Begriffe tut not. Es sei nur kurz auf die anerkannten Formen katalytischer Kausalität, Reizkausalität und Willenskausalität hingewiesen, in deren Erscheinungen streng Mechanisches zwar irgendwie und irgendwo mit eingeht oder resultiert, nie jedoch eine primär bestimmende Rolle darin spielt.

Wie jede große geistige Bewegung ihren Niederschlag in sprachlichen Bildungen und Bezeichnungen findet, so haben sich die *Jahrhunderte fast unbeschränkter Herrschaft mechanistischer Denkweise in der Naturwissenschaft*, vor allem der Physik, auch darin ausgewirkt, daß in wissenschaftlicher Redeweise des Forschers die Worte „mechanisch“ und „Mechanismus“ in den allgemeineren Sinn „kausal“ und „Kausalismus“ übergangen und demgemäß auch da angewendet wurden, wo sie zur Vermeidung von Mißverständnissen besser nicht gebraucht werden sollten. Es erscheint heute zweckmäßig, die Worte „Mechanismus“ und „mechanisch“ denjenigen Vorgängen und Erscheinungen der Natur vorzubehalten, bei denen es sich wirklich und ausschließlich um nachweisbare makroskopische oder mikroskopische Bewegungen von Körpern (festen, flüssigen und gasförmigen) gemäß den Gesetzen der klassischen Mechanik und ihren neueren Fortführungen handelt. Jene Ausdrücke sollten aber nicht verwendet werden, wenn andere (oft höhere) Gesetzlichkeiten vorliegen, die sich nicht nach den Prinzipien der Mechanik beschreiben lassen; hier sind die allgemeineren Ausdrücke „kausal“ und „Kausalismus“, „dynamisch“ und „Dynamismus“ am Platze, die sowohl Mechanisches wie Nichtmechanisches, ja sogar auch Psychisch-Geistiges in seinen Ordnungsverhältnissen umfassen.

Wirkliche „Mechanismen“ sind Hebel- und Räderwerke, Kettengeräte und mechanische Schwingungen, Geschoßbahn, Wasserlauf und Wasserfall, molekulare Diffusion, Brownsche Bewegung usw., allgemein: Bewegungen beliebiger Körper, terrestrischer und astronomischer, die sich gemäß Gesetzen der Mechanik und ausschließlich mittels solcher beschreiben lassen; auch Akustik und bis zu gewissem Grade Thermik schließen sich noch an. Schon im Verbrennungsmotor, in der Dynamomaschine, im Vulkanausbruch und in meteorologischen Vorgängen mischt sich „Amechanisches“, d. h. Chemisches und ferner oft Elektrisches und Optisches ein, oder es gewinnt derartiges Nichtmechanisches sogar die Oberhand.

In der Optik handelt es sich größtenteils um eine *Scheinmechanik* einer „elektromagnetischen“ Grundwesenheit dualen Gepräges (Welle und Photon). In der Elektrizitätslehre und im Magnetismus mit ihrer Polarität herrschen *fiktive* mechanische Begriffe wie Ladung, Spannung, Feldstärke, Stromstärke, Widerstand usw. In der Atomphysik schließlich gilt Wellen- und Quantenmechanik mit mathematischer Symbolik auf der Grundlage einer allgemeinen Feldphysik. Auch die Chemie, auf Elektronik und sprunghaft variable Affinitäts-Resonanz sich gründend, für die in der klassischen Mechanik kein Vorbild besteht, hat demgemäß im Grunde „amechanischen“ Charakter. „Es geht physikalisch in der Welt zu, aber nicht mechanisch“ (Schlick). „Die mechanische Denkweise ist eine Vordergrunds-Philosophie“ (Nietzsche).

Im *Lebensgeschehen* gar, soweit es sich um die „Grundlegung“ handelt, spielt das Mechanische nur eine untergeordnete Rolle; hier liegen regelmäßig komplizierte Reaktions- und Funktionsknäuel vor, in welche wirklich Mechanisches (d. h. mit Bewegungen Zusammenhängendes und in Bewegungen sich Äußerndes) zwar reichlich eingeht — vor allem am Ende: in den Bewegungen des Stoffwechsels, in den Organfunktionen und in den Handlungen —, in welchen aber Nichtmechanisches, d. h. Vorgänge des atomaren Geschehens in einem allgemeinen biologischen Wirkungsfelde, die Voraussetzung bildet. Chemismen, Katalismen, Kolloidismen und Elektrismen in innigster Wechselwirkung und ganzheitlicher Verknüp-

fung begründen das, was uns als Lebenserscheinung dieser oder jener Art entgegentritt³.

Dennoch läßt der Sprachgebrauch immer wieder den Anschein erwecken und die irrtümliche Auffassung nähren, daß „Mechanik“ die Alleinherrscherin in jeder Kausalik sei. Beginnen wir mit Beispielen aus der *Physik*, so finden wir Bezeichnungen wie: Mechanismus elektrischer Aufladung und Entladung, M. von Kurzwellen, M. von Lichtemission und -absorption, M. der Röntgenstrahlen, M. der lichtelektrischen Wirkung, M. des Photodichroismus, Atom-Mechanismus usw. Hier überall handelt es sich um *Kausalismus* und um „*Dynamismus*“ nichtmechanischer oder nicht-nur-mechanischer Art. In der *Chemie*, die gemäß ihren elektronischen Grundlagen im innersten Wesen „amechanisch“ ist, spricht man von Reaktions-Mechanismus statt Reaktions-Chemismus, ferner von einem Mechanismus der Valenzbetätigung, der Elektroden, der Polymerisierung, der Cannizzaro-Reaktion, der Diazotierung, der Sensibilisierung, der Aktivierung und Anregung, der Luminophore, der H-Ionen-Katalyse, der Enzymwirkung und Wirkstoffbetätigung usw.

In *Physiologie* und *Biologie* begegnen uns ein Molekular-M. des Muskelprozesses, ein M. der Wachstoffs, der Mitose von der Reifeteilung bis zur Keimzellenbildung usw., ein M. der Mutation, M. des Wasserhaushaltes, M. des Streckenwachstums, M. der Vererbung, eine Zellmechanik, eine Entwicklungsmechanik (von Roux selber später als unglückliche Wortbildung empfunden; richtig Entwicklungskausalismus), ein M. der Zuchtwahl und der natürlichen Auslese. Irreführend sind weiter die Bezeichnungen: M. des Reflexes, Wirkungsmechanismus der Chemotherapeutica, des Reizvorganges, der Regulation (z. B. Atmungsregulation) und Koordination, M. von bioklimatischen Erscheinungen, M. der Trieb- und Instinkthandlung, Ordnungs- und Steuerungs-M., M. des natürlichen Todes usw.

All dieses ist in Wirklichkeit komplexer oder hochkomplexer „ganzheitlicher“ *Kausalismus* (Ganzheitskausalität niederer oder höherer Art), oder auch oft — von oben betrachtet — eine Äußerung produktiver oder „schöpferischer“ Aktivität, die sich in ihrer „Ausgliederung“ sämtlicher vorhandenen stofflichen und energetischen Mittel-

also auch u. a. wirklicher Mechanismen bedient. Der lebende Organismus ist auch von außen gesehen nicht eine Maschine, sondern ein höchst komplexer ganzheitlicher „Kausalismus“ oder „Dynamismus“ mit einer abgestuften Rangordnung des Veranlassens unter einheitlicher Führung⁴.

Sogar bis in die *Psychologie* und in die *Geisteswissenschaften* ist die falsche Gleichsetzung: „kausal“ = „mechanisch“ gedungen. Man spricht von psychischen Mechanismen, vom M. des Empfindens, Vorstellens, Wollens, vom M. des Traumes, der Hypnose, des Unbewußten, ja schließlich gar von einem M. der Telepathie! In den Sozialwissenschaften lesen wir vom M. des Güterausstauschs, der Geburtenbewegung, der historischen Entwicklung, von einer sozialpsychologischen Mechanik usw.

Allerdings geht in der Regel aus dem Zusammenhange hervor, daß es „so ernst nicht gemeint“ sei, sondern der Sinn des Wortes „mechanisch“ ein weiterer, ein nicht-mechanischer sein soll; warum aber das Wort mit der speziellen Urbedeutung dann trotzdem verwenden, da uns doch die allgemeineren Ausdrücke „kausal, Kausalismus“ usw. zur Verfügung stehen? Handelt es sich ja um letzte Überbleibsel einer überwundenen wissenschaftlichen Periode des „Allmechanismus“, die endgültig abgestreift werden könnten.

Zusammenfassend sei gesagt, daß streng genommen die Ausdrücke „mechanisch, Mechanik, Mechanismus, Mechanität“ ihrem eigensten Gebiet, dem Gebiet der Körperbewegung, vorbehalten bleiben sollten; im übrigen aber sollte, zumal in *Biologie* und *Psychologie*, die Parole lauten: *los nicht nur vom wirklichen „Allmechanismus“ als Denkmethode, sondern auch von dem „Scheinmechanismus“ sprachlicher Ausdrücke!* An deren Stelle aber hätte zu treten eine reichlichere Anwendung der allgemeineren Wortbegriffe: *kausal, Kausalik, Kausalismus* (auch *Determinismus*), *Kausalität*, sowie *dynamisch, Dynamik* und *Dynamismus*; im einzelnen auch noch *Physikalismus, Chemismus, Psychismus* usw., ganz allgemein aber: *Naturgesetzlichkeit*.

Auch dann bleibt ja immer noch genug „*mechanistischer Zwang*“ der Sprache zurück, beruhend auf der Tatsache,

daß der Mensch Natürliches nur in zeiträumlichen Anschauungsformen „vorzustellen“ vermag und daß auch die abstrakteren Begriffe der Wissenschaft in metaphorischen sprachlichen Ausdrücken verkörpert werden, die einen mechanischen (statischen oder kinetischen) Ursinn haben. Es sei an einige derartige vielfach „abstrakt“ gebrauchte Worte erinnert: be-gründen, ent-stehen, er-halten, ver-halten, be-ziehen, leiten, ab-leiten, ein-leiten (deduzieren, induzieren), ab-hängen, zusammen-hängen, hervor-gehen, ur-springen (Ursprung), hervor-rufen (provizieren), aus-lösen, herbei-führen, be-ein-flussen, ver-an-lassen, an-spor-nen, an-knüp-fen, an-regen, er-regen, richten, treiben (Trieb), an-treiben, an-stoßen, be-stimmen, drängen, zwin-gen, zielen, streben, lenken, steuern, an-passen, ent-wickeln, vor-aus-setzen, aus-drücken, wahr-nehmen, vor-stellen, be-greifen, um-greifen, ur-teilen, über-legen, er-fahren usw.“

Eine symbolische oder fiktive Wiedergabe nicht-zeiträumlicher Gegebenheiten durch Sprachzeichen zeiträumlichen (anschaulichen) Ursinnes ist unvermeidlich. Sobald aber für die Setzung nichtmechanischer Beziehungen die Wahl offensteht zwischen einem Ausdruck von spezieller und enger und darum oft irreführender Bedeutung und einer Wortbildung von umfassenderem und darum auf alle Fälle zutreffendem Sinne, da sollte eine Entscheidung zwischen beiden Worten — mechanisch oder *kausal* — zugunsten des letzteren nicht schwer fallen.

Wo es indes untunlich erscheint, einen festgewurzelten Wortgebrauch auszumerzen (also etwa in Zukunft Reaktions-Dynamismus oder -Chemismus anstatt Reaktions-Mechanismus zu sagen), da werden unnötige und schädliche Mißverständnisse schon durch ein klares Bewußtsein darüber verhütet werden können, in welchen Fällen das Wort „mechanisch“ seinen ursprünglichen engen Sinn beibehalten und wo es metaphorisch die übertragene und erweiterte Bedeutung von „kausal oder dynamisch bedingt“ angenommen hat.

Auf alle Fälle wird es gut sein, dem *Scheinmechanismus der Sprache*, der immer wieder einen „Allmechanismus“ in der Natur vortäuschen will, nicht zu viel Macht einzuräumen. So kann auch vermieden werden, daß etwa bestimmte chemische und biologische Begriffe nur darum in die

berechtigte Ablehnung des Allmechanismus mit hineingeraten, weil sie sich mechanisch gebärden, ohne im inneren Wesen mechanistisch zu sein.

Anmerkungen:

1 S. hierzu E. v. Lippmann, Chem. Ztg. 1929, 257 (Chrysispos gegen die Atomistiker, um 200 v. Chr.). — 2 Diese weite Fassung des Kausalitäts-Postulates, die logisch durchaus berechtigt ist, gibt nicht nur für „Willkür“, sondern sogar für das „Wunder“ einen gewissen Spielraum, in dem Sinne, daß irgendein schöpferischer Wille durch „Anstoß“ etwas verursacht, das andernfalls nicht geschehen wäre. (S. „Naturwissenschaften“ März 1938, Bemerkungen zu Anstoß- und Erhaltungskausalität). Die Wissenschaft ist freilich geneigt, die Einschränkung hinzuzufügen: nur insofern, als das veranlaßte Geschehen sich im Rahmen des thermodynamisch und elektrodynamisch Möglichen hält, so wie es im Falle der Katalyse, der Reizwirkung und beliebiger bilanzfreier menschlicher Willensimpulse, wie auch der Suggestion usw. der Fall ist. — 3 Bewegung ist nach H. Hertz „der Übergang eines Systems materieller Punkte aus einer Anfangslage in eine Endlage“. Über wirkliche „Mechanismen“ der Biologie gemäß statischen und kinetischen Gesetzen s. H. Krieg, Naturwiss. 1937, 757: Mechanische Bedingtheit in der Entwicklung der Organismen. „Rein mechanische Betrachtung kann niemals mehr bezwecken, als das Erkennen allgemeiner Gesetzmäßigkeiten mechanischer Art und der gestaltenden Rolle, die sie auch in der lebendigen Materie spielen können und müssen“. — 4 S. hierzu auch Mittasch, Forsch. u. Fortschr. 14 (1938), 16: Über Kausalitäts-Rangordnung. — 5 Oder man nehme beliebig einige wohldefinierte Begriffe der Elektrotechnik, die in Worte gefaßt durchweg als passend gewählte mechanische „Bilder“ erscheinen: Frequenzband, gedämpfte Wellenzüge, scharfbündelnde Verbindungen, umschlingendes oder zusammenbrechendes Magnetfeld, Umklappen magnetischer Blöcke oder Elementarbezirke, Störspiegel, Wärmerauschen der Eingangsschaltung usw. Auch an die besondere Art atomphysikalischer „Mechanik“ (Kausalik) als „Quanten-“ oder „Wellenmechanik“ mit ihren bewährten „anschaulichen“ Fiktionen kann hier gedacht werden.

Auslösungskausalität: ein vergessenes Kapitel Robert Mayer?

Vor 100 Jahren, im Laufe des Jahres 1840, faßte Robert Mayer die grundlegenden Gedanken, aus denen sich das gewaltige Gesetz der Erhaltung der Energie gestaltete. Während dieses für Naturwissenschaft und Technik zur allgemein anerkannten Grundlage geworden ist, blieb der Gedanke der Auslösungskausalität, mit der sich Robert Mayer ebenfalls ausgiebig befaßt hat, wenig beachtet.

„Dem Willen des Steuermanns und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfbootes. Der geistige Einfluß . . . lenkt, aber er bewegt nicht.“ Robert Mayer

Es ist wenig bekannt, daß Robert Mayer in seinem Alter daran gedacht hat, seiner großen Tat, die nach langen Jahren schmerzhaft bitterer Verkennung und Mißachtung schließlich zu Anerkennung und Erfolg geführt hatte, noch eine besondere Leistung zuzugesellen; und zwar handelte es sich um die Durchführung eines allgemeinen Gedankens, der seinen — im Sommer 1840 auf der Reede von Surabaya gefaßten — *Erhaltungsgedanken* zu ergänzen geeignet war.

Wie Eugen Dühring berichtet, hatte Robert Mayer die Absicht, bei der Königlichen Akademie in Turin, die ihn 1867, auf Betreiben von Moleschott, zum Mitglied ernannt hatte, eine längere Abhandlung behufs Bewerbung um den Bressa-Preis (12 000 fr.) einzureichen, der für die bedeutendste physikalische Arbeit der letzten Jahre in Aussicht stand. (1891 hat Heinrich Hertz einen solchen Bressa-Preis erhalten.) Gegenstand dieser Abhandlung aber sollte „die *Auslösung*“ sein. Robert Mayers Tod (am 30. März 1878) hat die Ausführung dieses Planes vereitelt; doch sind wir in der angenehmen Lage, wenigstens die Grundgedanken zu kennen, die durchgeführt werden sollten. Eine Art *Vorbericht* nämlich bildet ein Aufsatz „Über *Auslösung*“, erschienen im Staatsanzeiger für Württemberg 1876; in die „Gesammelten Schriften“ von Weyrauch 1893 aufgenommen; *Mechanik der Wärme* (3. Aufl. 1893, S. 440—446)¹.

Zum näheren Verständnis und zur Würdigung der Gedanken dieses Aufsatzes ist es nötig, sich bewußt zu sein, daß Robert Mayer die *Erhaltung der Kraft*“ (Energie), die er der schon anerkannten „Erhaltung des Stoffes“ an die Seite gestellt und durch seine Berechnung des mechani-

¹ Umschau 43 (1939) 1114—1116.

schen Wärmeäquivalentes (1842) als mathematisch zugängliche Tatsache fest begründet hat, in *engster Verbindung mit dem Ursachbegriff der Physik* brachte. „Causa aequat effectum“ ist der allgemeine Satz, dem er die „Erhaltung der Kraft“ unterordnet, indem der jeweils verschwindende Energiebetrag als „Ursache“, der in quantitativer „Äquivalenz“ entstehende als „Wirkung“ aufgefaßt wird; in Anlehnung an die dynamischen Gedanken von Leibniz, Huygens, Euler und anderer Forscher, die gleichfalls bereits die Erhaltung der lebendigen Kraft, sowie die Erhaltung der mechanischen Kraft überhaupt, in die Form des Satzes der *Gleichheit von Ursache und Wirkung* gegossen hatten.

So heißt es in Mayers grundlegender Schrift von 1842: „Ursachen sind (quantitativ) *unzerstörliche* und (qualitativ) *wandelbare* Objekte. — Kräfte sind *unzerstörliche, wandelbare, imponderable* Objekte“. „Fallkraft“ (seit Rankine allgemein: potentielle Energie) und die „Kraft der Bewegung“ (heute: kinetische Energie) sind „Kräfte, die sich zueinander erhalten wie Ursache und Wirkung. — Das Gesetz der Erhaltung lebendiger Kräfte finden wir in dem allgemeinen Gesetze der Unzerstörbarkeit der Ursachen begründet“. *Stoffäquivalente und Arbeitsäquivalente bilden nach R. Mayer die logische Grundlage für die Beziehung von Ursache und Wirkung.* (M I. 22 ff.)

Robert Mayer hat jedoch bald bemerkt, daß sowohl im Alltagsleben, wie auch in der Wissenschaft das Wort „Ursache“ nicht nur in dem Sinne einer Gleichheit von Ursache und Wirkung gebraucht wird, sondern auch in dem Sinn eines *Anstoßes, einer Veranlassung, einer Auslösung*. „Der Funke entzündet das Pulver, die Mine fliegt auf. Man sagt hier: der Funke *a* ist die Ursache der Pulverexplosion *b* und diese wieder die Ursache von dem Emporwerfen *c* der Erde“ (An Griesinger, 20. Juli 1844; M II. 224). Besonders Eindruck hat in dieser Beziehung die Erscheinung der *Katalyse* (Berzelius 1835) auf Mayer gemacht, als ein Vorgang, bei dem ein Körper durch seine bloße Anwesenheit, durch bloße Berührung chemische Vorgänge einzuleiten, zu beschleunigen und zu richten vermag. Robert Mayer neigt vorübergehend sogar zu einer *Erweiterung* des Begriffes „Katalyse“: „Katalytisch heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Größenbezie-

hung steht. Eine Lawine stürzt in das Tal; der Windstoß oder der Flügelschlag eines Vogels ist die ‚katalytische Kraft‘, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt“ (Abhandlung von 1845; M I. 102, Fußnote).

Robert Mayers Aufsatz von 1876 (M I. 440—446) beginnt mit den Worten: „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft ‚die Auslösung‘ nennt.“ Als Beispiele hierfür nennt er die Entzündung von Knallgas durch Wärme oder den elektrischen Funken oder durch Platinschwartz, die Entzündung eines Streichhölzchens „durch ein bißchen Reibungswärme“, die Abfeuerung eines Schusses durch Druck auf den Gewehrhahn usf. Das sind durchweg Vorgänge, bei welchen „die Ursache der Wirkung nicht nur nicht gleich oder proportional ist, sondern wo überhaupt zwischen Ursache und Wirkung gar keine quantitative Beziehung besteht; vielmehr in der Regel die Ursache der Wirkung gegenüber eine verschwindend kleine Größe zu nennen ist“, gemäß dem Satze: Kleine Ursachen, große Wirkungen.

„Die zahllosen Auslösungsprozesse haben nun das unterscheidende Merkmal gemein, daß bei denselben nicht mehr nach Einheiten zu zählen ist, mithin die Auslösung überhaupt kein Gegenstand mehr für die Mathematik ist. Das Gebiet der Mathematik hat, wie jedes andere Reich auch, seine natürlichen Grenzen, und unser jetziges Gebiet liegt eben außerhalb dieser Grenze. Die unendliche Menge von Auslösungsvorgängen entzieht sich jeder Berechnung, denn Qualitäten lassen sich nicht, wie Quantitäten, numerisch bestimmen. — Die Auslösungen spielen nicht nur in der anorganischen Natur . . ., sondern auch in der lebenden Welt, namentlich also in der Physiologie und Psychologie, eine große und wichtige Rolle.² Alle Gärungsprozesse beruhen auf Auslösung.“ So wird die Fermentierung einer Zuckerlösung durch „eine geringe Menge Gärungsstoff . . . eingeleitet und durchgeführt, ähnlich als wenn man auf einen Haufen trockenen Sägmehles ein Stück glimmenden Zunder wirft“. Ferner auch: „Das Kontagium ist das Ferment, welches die pathologische Auslösung bewirkt, sei es z. B. die wohltätige Kuhpockenlymphe, sei es das entsetz-

liche Leichengift.“ — Ähnlich wird die Muskelbewegung durch die motorischen Nerven ausgelöst. Ja schließlich wird auch der Wille, „freilich auf eine völlig rätselhafte und unbegreifliche Weise, durch die Bewegungsnerven zu den entsprechenden Muskeln geleitet, und auf diese Weise erfolgt sofort die Auslösung, die gewünschte Aktion“.

Diese Sätze enthalten in gedrängter Fassung alles, was zu dem allgemeinen Auslösungsgedanken zu sagen ist. Zunächst wird der Begriff der Auslösungs-, Anlaß- oder Anstoßkausalität genau definiert und eine *mathematische Unzugänglichkeit des Auslösungsgebietes* behauptet. Vor allem ist bedeutsam, daß der *Auslösungsbegriff sogleich in das biologische und psychologische Gebiet übertragen* wird. Hier macht sich der Einfluß überlieferter physiologischer Gedanken geltend (Albrecht v. Hallers Sensibilität und Irritabilität, mit Fortsetzung in der Reizphysiologie von Johannes Müller u. a.)³, wie sie dem Arzte Robert Mayer von vornherein geläufig sein mochten. Durchaus medizinisch klingt es, wenn es weiter heißt, es bestehe „die Einrichtung, daß der jeweilige Zustand des Auslösungsapparates für das Allgemeingefühl oder für das allgemeine Befinden maßgebend ist. Ein behagliches Gesundheitsgefühl beurkundet einen ungestörten Auslösungsapparat . . .“ — Ist aber in Krankheiten „der Auslösungsapparat gestört, so tritt Leiden an die Stelle der Freude“. Eigene schwere Schicksale, sein qualhafter Zwangsaufenthalt in den Heilanstalten Göppingen und Winnenthal (1852—53) klingen erschütternd an, wenn R. Mayer weiterhin sagt, es sei das Bewirken von Auslösungen (z. B. Schießen, Reiten, Fahren) „eine unerschöpfliche Quelle erlaubter Freuden und harmloser Vergnügungen“. *Völlig verkehrt aber ist es*, „wenn man in unverantwortlichem Schlendrian bei psychischen Leiden und geistigen Störungen, welche ohnedies keinem Sterblichen je ganz erspart bleiben, die so nötigen Auslösungen auf brutale Weise mit Zwangsjacken, Zwangsstühlen und Zwangsbetten unterdrückt!“

In Robert Mayers Ausführungen über „Auslösung“ zeigt sich eine *Auflockerung des Ursachbegriffes der Physik*, die durch eine parallelgehende *Auflockerung des Kraftbegriffes* ergänzt wird. Anfänglich hatte er großes Gewicht darauf gelegt, daß der Kraftbegriff dem vorbehalten werde, was

wir heute *energetische Kraft* nennen; Kraft ist „etwas, das bei der Erregung der Bewegung aufgewendet wird, und dieses Aufgewendete ist als Ursache der Wirkung der hervorgebrachten Bewegung gleich“. Demgemäß hatte er 1842 den Begriff „katalytische Kraft“ als „thöricht und verderblich“ bezeichnet, und ebenso hatte er auch eine „Wunderwirkung der Lebenskraft“ abgelehnt; gilt doch, „daß während des Lebensprozesses nur eine Umwandlung, so wie der Materie, so der Kraft, niemals aber eine Erschaffung der einen oder anderen vor sich gehe“. „Da wir in einem chemischen Prozesse, in dem Stoffwechsel, einen vollwichtigen Grund von dem Fortbestande lebender Organismen erblicken, so müssen wir gegen die Aufstellung einer besonderen Lebenskraft, um solche Erscheinungen zu erklären, Protest erheben“ (M I. 95). Im Jahre 1851 aber heißt es tolerant: „Was insbesondere die Kräftefrage anlangt, so handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine „Kraft“ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir „Kraft“ nennen wollen“ (M I. 260).

Diese nunmehr vertretene weitherzige Auffassung kommt einerseits, wie wir gesehen haben, der „katalytischen Kraft“ zugute. Andererseits kann jetzt Robert Mayer auch die „Lebenskraft“ gelten lassen, wengleich in neuem, geläutertem Sinne, d. h. im Sinne einer nichtenergetischen *Richtkraft*⁴, ganz in Übereinstimmung mit Liebig, den hierin Mayer einst lebhaft bekämpft hatte. Bei Liebig heißt es (1859): „Das Wort ‚Lebenskraft‘ bezeichnet keine Kraft für sich, wie man sich etwa die Elektrizität, den Magnetismus denken kann, sondern es ist ein Kollektivname, welcher alle Ursachen in sich begreift, von denen die vitalen Eigenschaften abhängig sind. In diesem Sinne ist der Name Lebenskraft ebenso richtig und gerechtfertigt wie der Name und Begriff des Wortes Verwandtschaftskraft, womit man die Ursachen der chemischen Erscheinungen bezeichnet.“ Bei R. Mayer wiederum lesen wir: „Während wir es in der Physik mit Gesetzen zu tun haben, haben wir in der Physiologie nur noch Regeln“ (M I. 355). Und es wird gewiß die Zeit kommen, wo nicht jede tiefere Anschauung des Lebensprozesses durch mikroskopische und chemische Substitutionen verdrängt wird“ (M II. 250).

In Mayers Sinne kann man zusammenfassend sagen: *Es gibt Äquivalenz-Ursachen (Erhaltungsursachen), und es gibt Auslösungs- und Anstoß-Ursachen; es gibt energetische Kräfte, und es gibt nichtenergetische Kräfte* (analog der katalytischen Kraft), die im allgemeinen Richtkräfte sein werden (J. Reinkes „diaphysische Kräfte“, Wolterecks „bilanzfreie Impulse“). Urbild der Anstoßkausalität aber — und zugleich Anfang und Ende jeglicher Kausalbetrachtung — ist die auslösende, wählende, veranlassende, richtende, bestimmende, schaffende Tätigkeit des Willens.

Man wird fragen, wo die *mechanistische Kausalität* bleibt, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts in der bekannten „Weltformel“ von Laplace ihren klassischen Ausdruck gefunden hat. Es entspricht R. Mayers behutsam-kritischer Art, wenn er als „mechanisch“ nur anerkennt, was einwandfrei als Bewegung nachgewiesen ist und den bekannten Gesetzen der Mechanik gehorcht. Wärme ist für ihn nicht Bewegung, sondern kann sich nur in Bewegung umsetzen und „verwandeln“; ihr eigentliches „Wesen“ ist unbekannt. Demgemäß spielt der *mechanistische Ursachbegriff* — mit Druck und Stoß, Anziehung und Abstoßung — bei R. Mayer nur eine untergeordnete Rolle, indem er dem Gebiet der Mechanik im eigentlichen Sinne vorbehalten wird; auch Elektrizität, Strahlung, chemische Umsetzung haben mit eigentlicher Mechanik nichts zu tun, obgleich sich ihre *Wirkungen in Bewegungen* äußern. Ebenso wie die mechanische Kausalität erkennt R. Mayer auch *statistische Kausalität* an, jedoch gleichfalls nur als eine Teilgestalt des Kausalgedankens⁵.

Auf die Frage schließlich, ob Robert Mayers *dualer Kausalbegriff* auch heute noch gültig, besser: genügend leistungsfähig ist, kann wohl unbedenklich mit „Ja“ geantwortet werden. Jedoch bedarf der *Gedanke der Erhaltungskausalität einer Erweiterung*, insofern als sämtliche Erhaltungen und Beharrungen, auch solche von beschränkter Zeitdauer, dem Erhaltungsbegriff, der Erhaltungskausalität* untergeordnet und damit dem Substanzbegriff nahegebracht werden. Wir nennen andeutungsweise auf physi-

* Bemerkung 1947: Heute spreche ich in all solchen Fällen der Erhaltung nicht von Erhaltungskausalität, da diese durchaus eine Umsetzung nach quantitativen Verhältnissen in sich faßt.

kalisch-chemischem Gebiet: das Galilei-Newtonsche Beharungsgesetz, Verhalten stationärer Systeme, Naturkonstanten und Invarianten, sowie Äquivalenzen; Erhaltung des Atoms, der Molekel, des Körpers; auf biologischem Gebiet: Erhaltung des individuellen Protoplasmas, der Blutgruppenstoffe, der Fermente, sowie aller anderen lebenswichtigen Stoffe (Autokatalyse im Dienste der Erhaltungskausalität!); Vererbung, Erhaltung des Individuums, der Art; auf psychologischem und geisteswissenschaftlichem Gebiet: Erhaltung der Persönlichkeit mit ihrem Selbsterhaltungstrieb, Erhaltung des Charakters; Rechtsinstitutionen zur Erhaltung sozialer Werte, konservative Tendenzen im Gemeinschaftsleben usw.

Dem *Auslösungs- oder Anstoßgedanken* Robert Mayers aber ist überhaupt nichts grundsätzlich Neues hinzuzufügen. Tatsächlich spielt der Begriff der Auslösung, Anreizung, Erregung (auch „Verstärkung“), des Anstoßes und Anlasses in der gesamten heutigen Naturwissenschaft eine überaus wichtige Rolle; nur daß man ihm oftmals — im Gegensatz zu R. Mayer — das Prädikat einer *Ursache* versagt⁶. Und doch ist es so, daß sich die „Anstoßursache“ der „Erhaltungsursache“ ebenbürtig zugesellt im Naturgeschehen wie auch im geistigen Geschehen.

Zwei *Einwürfe* lassen sich noch machen. Erstens: Mayers Kausalschema ist leer und *unbestimmt*. Muß nicht aber ein Rahmen leer sein, damit ein Bild, ein Inhalt eingefügt werden kann?

Zweitens: Robert Mayers Kausalschema ist nicht so *einheitlich*, wie z. B. der mechanistische Kausalbegriff. Bietet nicht aber die Welt selber dem Denken ein zwiefältiges Gepräge: Ruhe *und* Bewegung, konservative *und* impulsive Tendenzen, Sein *und* Werden, Beharren *und* Veränderung. Substanz *und* Geschehen, Wasser *und* Welle? Es ist „die Natur, die ruhend handelt und handelnd ruht“ (J. v. Uexküll).

Kausalbegriffe, auch wissenschaftliche Kausalbegriffe, sind mannigfaltig; sie sind wandelbar, strittig, entwicklungsfähig. Kausalität ist keine Zwangsjacke, sondern ein Gewand, das mit dem Fortschreiten der Wissenschaft beliebig erweitert und erneuert werden kann. Über der zwiefältigen, oder bei weiterer Verfolgung sogar vielfältigen

Gestaltung des Kausalbegriffes thront indes der *eine einheitliche kausale Gedanke* als Kausalprinzip und Postulat als unabwiesbare Denkerwartung. Nach Kant: „Alles was geschieht (anhebt zu sein), setzt etwas voraus, worauf es nach einer Regel folgt.“ Nach Schopenhauer: „Jede Veränderung kann nur eintreten dadurch, daß eine andere, nach einer Regel bestimmte, ihr vorhergegangen ist, durch welche sie aber dann als notwendig herbeigeführt auftritt; diese Notwendigkeit ist der Kausalismus.“ Dazu noch: Gleiche Ursachen, gleiche Wirkungen.

Wenn in den nächsten Jahren in der ganzen Kulturwelt Robert-Mayer-Feiern stattfinden, zum Gedächtnis der großen Erleuchtung, die ihm im Sommer 1840 auf seiner Ostindienfahrt gekommen ist, dann mag nebenher auch das Auslösungs-Kapitel gebührend beachtet werden.

Anmerkungen:

¹ Wir zitieren nach dieser Ausgabe: M I.; Stellen aus „Kleinere Schriften und Briefe“, herausgegeben von Weyrauch 1893, werden mit M II. bezeichnet. — ² Man kann demnach fragen, wie weit z. B. eine — von verschiedenen Seiten erstrebte — *m a t h e m a t i s c h e* Biologie überhaupt möglich ist. — ³ In seiner großen Abhandlung von 1845 spricht R. Mayer von der „Reizbarkeit oder Irritabilität“, dem Merkmal pflanzlichen und tierischen Lebens, als von der „Fähigkeit, chemische Kraft in mechanischen Effekt verwandeln zu können“ (M I. 117). — ⁴ S. hierzu A. Mittasch, Katalyse und Lebenskraft, Umschau 1936, S. 733. — Andere Beispiele derartiger „nichtenergetischer Kräfte“, die keiner unmittelbaren Messung nach Energieeinheiten zugänglich sind: biologische Form- und Abwehrkräfte, Heilkraft, Seelenkräfte, Willenskraft, Volkskraft u. a. m. — ⁵ Man kann sich leicht ausmalen, was R. Mayer auf Grund seines allgemeinen dualen Kausalbegriffes zu der auch heute noch vielfach behaupteten „Akausalität“ atomaren Geschehens sagen würde: Nur „Amechanität“ ist vorhanden, nicht aber Akausalität = völlige Ursachlosigkeit! Es entspricht der Weise der Kausalität, daß sie auch der Freiheit eine Stätte gewährt und daß sie zuweilen wie „Akausalität“ aussieht. S. hierzu A. Mittasch, Kausalismus und Dynamismus. nicht Mechanismus, Forsch. u. Fortschr. 1938, S. 127. Keineswegs soll hier den Beobachtungen und Tatsachen, die zur Auffassung einer „Akausalität“ geführt haben, nahegetreten werden; einer guten Sache sollte jedoch nicht ein schlechter, d. h. irreführender Name zuerzellt sein. S. auch die lehrreiche Diskussion über „Kausalität“ in „Tatwelt“ 14 (1938), S. 174 ff. — ⁶ Scharf zugespitzt in dem Ausspruch von Poll: „Wir reden nicht von Kausalität, wenn ein Verkehrsschutzmann Wagen und Fußgänger anhält, oder ihnen verschiedene Bewegungsrichtungen freigibt“. S. hierzu A. Mittasch, Anstoß- und Erhaltungskausalität, Naturwissenschaften 1938, S. 177.

Gedanken über das Wirken in der Natur

„Die Kategorie der Kausalität ist und bleibt das grundlegende Prinzip der Naturforschung, der physikalischen wie der biologischen.“
Max Hartmann

Wenn es richtig ist, daß „das Warum die Mutter aller Wissenschaften“ ist (Schopenhauer, G., D. III, 7), dann wird es von Nutzen sein, wenn die Naturwissenschaft bei ihrem Vorwärtsschreiten immer von neuem die erkenntnistheoretische Frage aufwirft, was es mit „Kausalität“ als der Beziehung von Ursache und Wirkung, Grund und Folge überhaupt auf sich hat. Erst auf der Grundlage solcher allgemeinen Erörterungen wird man es dann unternehmen dürfen, auch die besondere Frage der Naturkausalität als die Frage nach dem Wirken in der Natur anzugreifen.

Wie von Schopenhauer vorbildlich gezeigt worden ist, im Eingangsbuch der Welt als Wille und Vorstellung, I. Teil, nebst Kapitel 1 des II. Teiles: Zur idealistischen Grundansicht (D. I und D. II) kann man als Ausgangspunkt das eigene Ich mit seinem Erkennen und Wollen oder die Natur als den Gegenstand der Erfahrung wählen. Nur muß man sich klar sein, daß „der Intellekt und die Materie Korrelata sind, d. h. Eines nur für das Andere da ist, Beide mit einander stehn und fallen“ (W. II, D. II, 18), und daß schließlich die realistische und die idealistische Grundansicht irgendwie zusammenstimmen müssen. Verfolgt man nämlich den „eigentlichen Materialismus“, „aufsteigend vom bloßen Mechanismus zum Chemismus, zur Polarität, Vegetation, Animalität“ bis zum „letzten Glied der Kette“: „die thierische Sensibilität, das Erkennen: welches folglich jetzt als eine bloße Modifikation der Materie, ein durch Kausalität herbeigeführter Zustand derselben, aufträte . . . so

* 28. Jahrb. d. Schopenhauer-Gesellschaft 1941, 70–133.

In dieser Abhandlung, der ein vor Heidelberger Biologen im Dezember 1938 gehaltenen Vortrag zugrunde liegt, werden bei Zitierung von Aussprüchen Schopenhauers folgende Abkürzungen gebraucht:

W. = Die Welt als Wille und Vorstellung, Bd. I u. II.

P. = Parerga und Paralipomena, Bd. I u. II.

N. = Über den Willen in der Natur.

FW. = Über die Freiheit des Willens.

GM. = Grundlage der Moral.

G. = Über die vierfache Wurzel des Satzes vom Grunde.

Die Seitenzahlen beziehen sich auf die Ausgabe Deussen (D.). Die Verbesserungen des Textes, die sich aus der Ausgabe Hübscher ergeben, sind berücksichtigt.

würden wir, auf seinem Gipfel mit ihm angelangt, eine plötzliche Anwandlung des unauslöschlichen Lachens der Olympier spüren, indem wir, wie aus einem Traum erwachend, mit einem Male innewürden, daß sein letztes, so mühsam herbeigeführtes Resultat, das Erkennen, schon beim allerersten Ausgangspunkt, der bloßen Materie, als unumgängliche Bedingung vorausgesetzt war, und wir mit ihm zwar die Materie zu denken uns eingeildet, in der That aber nichts Anderes als das die Materie vorstellende Subjekt, das sie sehende Auge, die sie fühlende Hand, den sie erkennenden Verstand gedacht hätten“ (W. I, D. I, 32).

Aufgabe unserer Darlegungen soll sein, zunächst die kausalen Grundbegriffe einer kurzen Erörterung zu unterziehen, sodann aber den Naturforscher besonders angehende Einzelfragen zu erörtern. Dabei wird sich zeigen, daß das Licht von Schopenhauers Kausallehre auch heute seinen Glanz noch nicht verloren hat, und daß es uns leiten kann beim Aufsteigen von formalem „Beziehungstum“ zu bestimmten Vorstellungen über „das Wirken in der Natur“ und schließlich zu der großen Überzeugung von einem allgemeinen „Willen in der Natur“. „Der Wille ist die Kraft“ (Schopenhauers Gespräche, XX. Jahrb. 1933, S. 320).

Kap. I. Ursprung und Bedeutung des Kausaldenkens; Allgemeingültigkeit des Kausalpostulates

Wir gehen davon aus, daß, um mit Erich Becher zu reden, Kausalität nicht etwas ist, was „in der Natur frei herumläuft“, sondern daß sie vom denkenden Menschen bei seinem „Erlebnisverkehr mit der Welt“ (Scheler) gefordert und vollzogen wird, indem er Ordnung in die Mannigfaltigkeit seiner Erlebnisse zu bringen sucht¹, und zwar vorwiegend im Hinblick auf bereits gehabte Erlebnisse, in gewissem Sinne jedoch auch bezüglich noch ausstehender und erwarteter Erlebnisse, für die er im voraus bestimmte Fragen stellen kann und will. Das Ordnen von Erlebnissen im praktischen Leben wie in der Wissenschaft soll somit einen geistigen Zusammenhang herstellen, es soll dem Begreifen oder dem Erkennen dienen, sowie auch einer möglichst weitgehenden Beherrschung zukünftiger Geschehnisse. „Begriffe sind gekonnte Griffe, in denen man den Dingen handhabend bzw. sichtlich beikommt“ (H. Lipps).

Schon bei den Worten: „Zusammenhang“ und „Ordnung“ oder Sichtung der „Erlebnisse“ kann man stocken. Über die Tatsache von *Erlebnissen überhaupt* als Voraussetzung alles Denkens wird Einhelligkeit herrschen. Jetzt kommen wir aber an einen Blind- oder Taubgeborenen und wollen uns mit dem ersten über Licht- und Farberlebnisse, mit dem zweiten über den Klang der Musik auseinandersetzen. Es geht nicht an, da hier ganze Erlebnisbereiche ausfallen. Dennoch hat der Blinde, der Taube einen für ihn selber geschlossenen Erfahrungsbereich; und wir wissen ja, wie sehr sich hier die noch vorhandenen Sinne verfeinern können, so daß sie in manchen Stücken einen Ersatz für Fehlendes bieten. In manchen Stücken, aber nicht durchweg; und wenn selbst der Blinde in seiner Weise sogar „Naturwissenschaft“ treiben kann, so kann er doch unmöglich alles das erreichen, was dem Vollsinnigen zugänglich ist. *Art und Umfang unserer Erfahrung, unserer Erkenntnis, unserer Wissenschaft ist an die Zahl und Art unserer Sinne und an deren Leistungen unlösbar geknüpft; einer Vollwissenschaft liegt Vollsinnigkeit zugrunde.*

Auch das Wort „Ordnen“ ist nicht ganz eindeutig. Es wird gebraucht zunächst für planmäßiges räumliches oder „geometrisches“ Ordnen, bei dem in manueller Tätigkeit, d. h. unter Gebrauch der Handmuskeln ein bestimmtes *Nebeneinandersein von Dingen im Raume* in ein neues anderes Jetzt-Hier-So übergeführt wird, für das eine bestimmte Regel gilt. Es mögen z. B. die Zahlen 1—100 auf Zettel geschrieben, auf einem Haufen in bunter Mischung zusammenliegen; die durch das Auge und durch den Verstand geleitete Hand kann sie „sichten“ und in neue geometrische „Konstellation“ bringen, und zwar nach bestimmter Regel und Richtschnur, nach bestimmtem Grundsatz, etwa nach „gerade und ungerade“ oder in ihrer natürlichen Aufeinanderfolge usw. Neben der räumlichen Ordnung gibt es eine *zeitliche Ordnung*, wie sie z. B. vollzogen wird, wenn man von eingelaufenen Briefschaften die eine nach der anderen, vielleicht unter einem bestimmten Gesichtspunkt der Wahl, vor sich hinlegt, um Einblick zu nehmen, oder wenn der Sänger bestimmte Töne in der Aufeinanderfolge einer Melodie erklingen läßt.

Die erste *Ordnung der Empfindungen und Wahrnehmungen* — äußeren und inneren — nach Raum und Zeit zu Anschauungsbildern und Vorstellungen vollzieht sich gewissermaßen ganz von selbst, aus gegebener natürlicher Veranlagung, aus einer Urfähigkeit des Verstandes nach Schopenhauer. Anschauungsformen werden (nach Ehrenfels) mit den Sinnesdaten zugleich erfaßt; diese stehen ohne weiteres in den Formen des Raumes und der Zeit (Driesch). Daß jedoch tatsächlich, zum mindesten hinsichtlich des Sehraumes, ein tätiges und immer neues Zusammenfassen und Ordnen notwendig ist, zeigt sich z. B., wenn ein *Blindgeborener* etwa durch eine Operation zum Sehen gelangt; es bedarf geraumer Zeit, bis er es gelernt hat, die auf ihn einstürmenden Gesichtseindrücke so zu ordnen und „auszulegen“, wie es der von Kindheit auf Sehende ohne weiteres vermag.

Auf der Grundlage einer unabsichtlichen primären, sowie einer bewußten und absichtlichen sekundären Ordnung der Erlebnisse in Raum und Zeit erhebt sich dann das *kausale Ordnen des Verstandes*, das der Frage warum?, weshalb?, aus welchem Grunde? folgt, und das sich in den sprachlichen Formen weil — darum, wenn — dann niederschlägt. Man erkennt hier ein Wesensmerkmal des sprachlichen Denkens, insofern als das Wort „ordnen“, das zunächst eine rein geometrische oder mechanische Urbedeutung hat, hier eine „übertragene“ oder „*allgemeinere*“ (abstraktere) *Bedeutung* erlangt. Wenn ich als Naturwissenschaftler Versuchsreihen kausal ordne und auswerte, so ist dieses Ordnen nicht mehr ein konkretes Handeln oder „Schaffen im Raume“, sondern gewissermaßen ein „Handeln im Geiste“; das Wort „ordnen“ dient hier also als Zeichen für nicht unmittelbar Anschauliches. Es ist dies eine allgemeine *Eigentümlichkeit der Sprache*, die sich bei fast allen unseren Wortbegriffen zeigt. Man denke an die Worte wahr-nehmen, vor-stellen, ver-stehen, be-greifen, be-ziehen, be-schreiben, be-gründen, er-klären, ver-binden, zusammen-hängen, ab-hängen, ab-leiten, hervor-rufen, aus-lösen, lenken, richten, steuern, ent-wickeln: sie alle haben eine durchaus konkrete Urbedeutung, werden aber auf dem Wege der Analogie (d. h. unter Absehen von Ungleichem) auch *stellvertretend* gebraucht, als Zeichen und Hinweis,

um „logische“ Zusammenhänge „auszudrücken“ (wieder ein Wort mit mechanischer Urbedeutung!)².

Tatsächlich gibt es unter den abstrakten Begriffsworten der Wissenschaft kaum ein einziges, das nicht auf früherer Kulturstufe des Menschen eine ausschließlich konkrete, anschauliche und mechanische Urbedeutung gehabt hätte. Dabei ist dieser urtümliche anschauliche Sinn keineswegs verlorengegangen; vielmehr wird bekanntlich das gleiche Wort, z. B. *zusammenhängen, begreifen, ordnen, sowohl konkret wie abstrakt gebraucht*, und auch in den höchsten Begriffsgebilden — man denke an das Wort „absolut“, d. h. losgelöst — schwingt immer noch die ursprüngliche „sinnliche Anschauung“ mit.

Wenn also der Naturforscher experimentelle *Beobachtungen kausal ordnet*, d. h. solche in *ursächliche Beziehungen* oder Relationen bringt, so ist das etwas ganz anderes, als wenn man Zahlen in eine Reihe oder Fäden zu einem Gewebe ordnet: Vermöge *intellektueller Tätigkeit* werden Wahrnehmungen, Vorstellungen, Anschauungen „im Inneren des Geistes“ nach einem dem Verstand „inwohnenden“ Grundbedürfnis in einen „inneren, geistigen Zusammenhang“ gebracht. Dieses Grundbedürfnis, dieses Prinzip ist die apriorische Kategorie oder das *Postulat der Kausalität, ein Ordnungsprinzip, das weiter zu dem Begriff der Wechselwirkung und damit auch zu dem Begriff der Ganzheit hinüberführt*. Die Kausalität „liegt als organische Anlage im Gemüt bereit“ (Kant).

Man kann fragen, ob auch das Tier kausal denkt und wie weit wohl etwas dergleichen in der Tierreihe hinabreicht. Hier sind neben den natürlichen Instinkthandlungen vor allem die zahlreichen „Dressurversuche“ aufschlußreich, die von der neueren Tierpsychologie mit großem Scharfsinn ausgeführt werden. Ohne auf Einzelheiten einzugehen, sei zusammenfassend gesagt: Das Tier — und zwar schon der einfachste Einzeller — kann sich nur erhalten und behaupten, indem es sich „teleokausal“ benimmt, d. h. „Handlungen“ ausführt, deren Folgen der Lebenserhaltung, Lebensvermehrung und Lebenssteigerung dienen. Der Biologe wird hier etwa von Urgegebenheiten und Urnotwendigkeiten des Benehmens in der Lebensentfaltung reden, der Psychologe von primitiven Assoziationen

eines Urbewußtseins; sind nicht aber derartige primäre „Assoziationen“ die Quelle jeder Kausalbeziehung? Bei Schopenhauer heißt es: „Der Verstand ist in allen Thieren und Menschen der nämliche, hat überall die selbe einfache Form: Erkenntniß der Kausalität, Übergang von Wirkung auf Ursache und von Ursache auf Wirkung, und nichts außerdem. Aber die Grade seiner Schärfe und die Ausdehnung seiner Erkenntnißsphäre sind höchst verschieden. mannigfaltig und vielfach abgestuft...“ (W. I, D. I, 24).

So werden urtümliche Kausalverbindungen gewissermaßen schon von jedem Tier dauernd vollzogen³, und wir werden auch über die zahlreichen „Fehlschlüsse“ dabei nicht spotten. Es unterliegt keinem Zweifel: Das Tier kann „denken“ in der Weise und in dem Grade, wie dies auf Grund der Erlebnisse in seiner Merkwelt möglich und zur Lebenserhaltung in seiner Wirkwelt nötig ist: *ohne Vorhandensein entwickelter Sprache*. Erst für „höheres“ Denken und Begreifen gilt: „Wir hören auf zu denken, wenn wir es nicht in dem sprachlichen Zwange tun wollen“ (Nietzsche).

Wir übergehen das magische Denken des Frühmenschen, des Naturmenschen⁴, sowie das auf Kausalbenehmen gegründete Kausaldenken des Kulturmenschen im praktischen Leben. *Wissenschaftlichem Kausaldenken* liegt zugrunde das apriorische Kausalprinzip als die Überzeugung: „Alles was geschieht (anhebt zu sein), setzt etwas voraus, worauf es nach einer Regel geschieht“ oder „aus einem bestimmten Grunde folgt“ (Kant; man beachte das Wort „Grund“ mit seiner Urbedeutung der Tiefe, aus der etwas heraufkommt oder in die etwas gesetzt wird). Oder nach Schopenhauer: *„jede Veränderung in der materiellen Welt kann nur eintreten, sofern eine andere ihr unmittelbar vorhergegangen ist: dies ist der wahre und ganze Inhalt des Gesetzes der Kausalität“* (W. II, D. II, 46).

„Kausalität ist eine von uns Menschen aufgestellte methodische Forderung“ (B. Thirring). Nach Driesch bedeutet Kausalordnung: „Ich suche den Grund dafür, daß jetzt an Stelle des einen Etwas ein anderes Etwas bewußt erlebt vor mir steht.“ Dazu aber auch: „Ich fühle mich selbst als Grund dafür, daß ein anderes Etwas dasteht.“ — „Kants Behauptung, daß der Verstand der Natur die

Gesetzlichkeit vorschreibt, scheitert daran, daß uns aus dem Gewühl der Wahrnehmungen eine Ordnung anspricht und schicksalhaft in Anspruch nimmt, die wir nicht erfinden" (H. Pichler).

Die tiefste Quelle (wiederum ein Wort mit anschaulicher konkreter Urbedeutung!) für das Kausaldenken liegt in *biologischen Urgründen*; doch strebt dieses Kausaldenken immer mehr in das Reich des Geistigen und Logischen, mit einem wachsenden Verlangen nach *Widerspruchsfreiheit des Erkennens*. Volle Bedeutung und letzten Sinn erhält jenes Kausaldenken erst durch die aus dauernder Erfahrung gewonnene und verstärkte Überzeugung, daß *dem subjektiven Akt des Ordnen eine wirkliche objektive Ordnung der von uns unabhängigen Natur entspricht*, ein Ordnungszustand, der sich in bestimmten zeitlichen Geschehenszusammenhängen kundgibt, und den wir in Denkbild und Gleichnis „wiederholen“ wollen und können. Bedeutung und Sinn bekommt das Kausaldenken also erst durch die Gewißheit einer Gleichförmigkeit und Gesetzlichkeit des Naturablaufes.

Halten wir daran fest: *Aus der Wechselwirkung mit der Umwelt resultieren Reize und Sinneseindrücke; im psychophysischen Organismus verankert und gegründet sind ferner die „Formen“ Raum und Zeit als Anschauungsformen des äußeren und des inneren Sinnes; und aus biologischem Zwange folgt schon beim Tier und beim kleinen Kind eine „Verstandestätigkeit“, gemäß welcher Aufeinanderfolgendes nicht nur in einen „äußeren“ Zusammenhang des „vorher — nachher“, sondern auch in den „inneren“ zwingenden Zusammenhang des „weil — darum“ gebracht wird. Das entsprechende Wortgefüge „wenn — dann“ kann sowohl rein zeitlich als auch kausal gebraucht werden und zeigt damit den Ursprung des „notwendig Folgenden“ (des Kausalen) aus dem „nur zeitlich Folgenden“ (dem Temporalen) an. Nicht jede Zeitfolge ist indes auch eine Kausalfolge: Tag und Nacht folgen aufeinander; man wird aber nicht sagen, daß der Tag die Ursache der Nacht ist.*

Bis zu welchen *weitreichenden Folgerungen* menschliches Kausaldenken und menschliche Kausalforderung schließ-

lich gelangen kann, zeigt ein philosophisches Gedanken-spiel: Wir denken uns zwei abgeschlossene Welten, die in einem bestimmten Zeitpunkt genau die gleiche Beschaffenheit, den gleichen Zustand — physisch wie psychisch — besitzen; dann setzt strenger kausaler *Determinismus* die Erwartung, daß die beiden Welten in, sagen wir, tausend oder Millionen Jahren wiederum bzw. immer noch einander völlig gleich sein werden, physisch und psychisch⁵.

Die Weiterverfolgung dieses Gedankens kann Verschiedenes lehren: Vor allem zeigt sich, daß das Kausalprinzip in seiner strengsten und allgemeinsten Form kein eigentliches „Wissen“, kein Faktum, kein absolut gültiges Axiom, kein „Naturgesetz“ ist, sondern *ein Glaube, ein Postulat, eine Erwartung*, die aber darum fast den Charakter des Gesetzes angenommen hat, weil in dem ganzen Weltverlauf wohl noch nie ein voll beglaubigtes Ereignis bekannt geworden ist, das im Widerspruch mit entwickelter und geläuterter Kausalauffassung stünde. (Über sogenannte „Akausalität“ s. S. 428).

Die naturwissenschaftliche Fassung des Kausalpostulates lautet, daß „was gerade augenblicklich in der gesamten Welt vorgeht, die vollständig bestimmende Ursache dessen bildet, was im nächsten Moment eintreten wird“ (Planck). Es ist ohne weiteres klar, daß sich mit dem Kausalprinzip in dieser seiner allgemeinsten Form praktisch kaum etwas anfangen läßt, so daß man genötigt ist, sich auf die Verfolgung einzelner „Beziehungen“, einzelner Fäden im Teppich der Wirklichkeit zu beschränken. Damit ist gegeben, daß man jeweils nur unter Vernachlässigung zahlreicher, gleichfalls mehr oder minder „bedeutender“ und „mit ins Gewicht fallender“ Erscheinungen, also auf dem Wege des Absehens, des Abstrahierens zu *bestimmten Kausalaussagen* gelangen kann.

Angesichts der großen Verwicklung der Vielfältigkeit gleichzeitigen Geschehens in der Natur ist es nicht verwunderlich, daß über einzelne Kausalaussagen, über einzelne Kausalbegriffe viel und heftig gestritten werden kann. Unberührt vom Zwist der Meinungen aber bleibt das *Kausalpostulat*, als ein unerschütterter Fels im Meer der Wirklichkeit⁶.

Kap. 2. Begriffe Wechselwirkung, Ursache, Bedingung, Kraft

Geht man bei „idealistischer Grundansicht“ von den Erlebnissen des Subjektes aus, so beginnt der „Realist“ bei dem Korrelat des Objektes, d. h. der Natur mit ihrer ständigen Wechselwirkung (W. W.) der Dinge und Erscheinungen gemäß täglicher Erfahrung. Nicht jede „Wechselwirkung“ ist kausaler Art. Es gibt eine W. W. *statischer* Art, im gleichbleibenden stationären System, als Wechselbeziehung zwischen den Gliedern einer Ganzheit (z. B. Atomkern und Atomhülle, Sonne und Planetensystem), und eine W. W. fortschreitend *dynamischer* Art, wie zwischen den Wurzeln und dem Laubwerk einer sich entwickelnden Pflanze, mit einem ständigen Herüber- und Hinüberwirken, analog dem Schachspiel zweier Partner, als „Wechselspiel“. Man kann ferner scheiden elementare W. W., wie zwischen zwei zu einer Molekel zusammentretenden Atomen; und komplexe W. W., wie zwischen den Genen eines Chromosomes, oder zwischen Zellkern und Zellplasma, oder zwischen den Organen eines Körpers, oder dem Organismus und seiner Umwelt (Ökologie), dem Mikrokosmos und dem Makrokosmos nach Paracelsus. Genau gesehen wird nach Lotze gelten: „Alle Kausalität ist Wechselwirkung.“ „Daher also spiegelt sich Jedes in Jedem, spricht Alles aus Allem, und jeder gegenwärtige Moment findet seinen Anklang in Allem und tingiert mit seiner Farbe Alles, was gemeinschaftlich in ihm da ist“ (Schopenhauer, Nachlaß IV, Reclam: Neue Paralipomena, § 197)⁷. Mit Unabhängigkeit und Beständigkeit ist es darum in der Natur schlecht bestellt, indem schließlich alles auf alles wirkt, jedes von jedem letztthin abhängig oder mit abhängig ist⁸.

In dieser Abhängigkeit aber bestehen Abstufungen und Grade; und es gibt *relative Unabhängigkeiten*, mehr oder minder dauerhafte Zustände, und „Invarianten“ mitten im unaufhörlichen Wechsel. So kehren mitten im Fluß menschlicher Erlebnisse einzelne Gebilde, einzelne Geschehnisse und einzelne Konstellationen und Beziehungen annähernd immer wieder; und nur darum wird es dem Menschen überhaupt möglich, Regeln aufzustellen oder „Ordnungen“ zu erkennen, die in der Natur gelten. Aus dem unermeßlichen Ozean der beobachteten Erscheinungen fischt der

Forscher einzelne Gebilde, einzelne regelmäßige Zusammenhänge heraus, die ihm jeweils besonders wichtig für Erkennen und Handeln sind. Für diese „wesentlichen“ Beziehungen wendet er dann die Begriffe *Ursache* — *Wirkung* an. Aus der *Gesamtursache* wird also die bestimmende oder *eigentliche Ursache* ausgesondert, während alles Ubrige, soweit es überhaupt beachtenswert ist, dem Begriff der *Bedingung*, der Verhältnisse, der Umstände, der Konstellation untergeordnet wird, als etwas, das nur mit verursacht, mit ziehen hilft. Derartige Begleitumstände können entweder nur ganz nebensächlich „mitspielen“, als Zufälligkeiten, oder sie können so konstant sein, daß sie leicht als „Selbstverständlichkeiten“ gelten. „Nie ist ein Faktor allein die Ursache“ (Jennings; vgl. auch den „Conditionismus“ von Verworn).

Ein Beispiel möge verdeutlichen, wie in der Scheidung von eigentlicher „Ursache“ und „Bedingungskomplex“ in der Totalursache weitgehend Willkür herrscht und herrschen muß. Man denke an einen Zusammenstoß zweier Eisenbahnzüge mit seiner Fülle verheerender Wirkungen: der unbefangene Zuschauer, der Physiker (Makro- oder Mikrophysiker), der Chemiker, der Physiolog, der Jurist, sie alle werden verschieden über Ursache und Wirkung und über Bedingungen reden; dabei werden auch Ausdrücke wie „adäquate Ursache“ und „zufällige Ursache“, Gesamtursache und Teilursache, Fernursache und Nahursache, eigentliche bestimmende Ursache und hinzukommende oder zusätzliche Ursache usw. fallen. Vom jeweiligen *Aufmerksamkeits- und Interessezustand* wird es weitgehend abhängen, was in einem gegebenen Falle als *wesentliche Ursache* und was als minder bedeutsame *Bedingung* (oder gar als zufällige Begleiterscheinung) hingestellt wird.

Immer sind es primär *Zustände, Vorgänge, Geschehnisse*, die im Verhältnis von Ursache und Wirkung stehen; erst sekundär, auf dem Wege der *Abstraktion*, der logischen Destillation, geht der Begriff ursächlichen Zusammenhanges auf Eigenschaften und Dinge über; und erst dann wird der Name „Ur-Sache“ auch wortgemäß zutreffend, während man sonst eigentlich „Ur-gang, Urvorgang, Urfahrt, Ur-verlauf“ sagen müßte. Wir halten uns in erster Linie an den *verbalen oder aktivistischen Kausalbegriff*,

im Gegensatz zu dem personalen und dem substantivisch sachlichen. Allerdings: „Der Urheber war vor der Ursache da“ (Müller-Freienfels); und aus der *Ur-Sache* ist dann in der Naturwissenschaft ein *Ur-Lauf* geworden: *Geschehen* führt zu neuem *Geschehen*! Hier gilt also: „Es hat aber gar keinen Sinn zu sagen, ein Objekt sei Ursache eines andern“ (G., D. III, 143). „Nur auf *Zustände* bezieht sich die *Veränderung* und die „*Kausalität*“ (W. II, D. II, 49).

Dabei kann man scheiden zwischen elementaren „zweigliedrigen“ Kausalismen — z. B. Aufnahme eines Wirkungsquantens, eines Elektrons, durch ein dafür „empfindliches“ Atom, eine „ansprechende“ Molekel — und komplexen, vielgliedrigen und mannigfach verknäuelten Kausalismen — z. B. die CO_2 -Assimilation, für welche bestimmte photochemische Akte primär maßgebend sind. Regelmäßig hat es die Naturwissenschaft mit der *gedanklichen Zergliederung (Analyse) komplexer Kausalismen* zu tun, und an diese *Analyse* schließt sich mit mehr oder weniger gutem Gelingen eine gedankliche *Synthese* an, zur geistigen Reproduktion der ganzheitlichen Naturerscheinung⁹.

Schließlich wird in der Wiedergabe kausaler Zusammenhänge auch das Wort „*Kraft*“ nie fehlen, das noch einer kurzen Erörterung bedarf. Es mag hier genügen, zu sagen, daß es sich bei „*Kraft*“ um immer wiederkehrende *konstante „Bedingungen“* handelt dafür, daß bestimmte Vorgänge als „*Arbeitsleistungen*“ stattfinden. Diese konstanten und oft kaum weiter zu zergliedernden Bedingungen werden gewissermaßen objektiviert, ja sogar personifiziert: ist doch das Urbild der *Kraft* das „*Greifen*“ der Hand, die menschliche „*Muskelkraft*“, deren man sich unmittelbar bewußt ist, oder auch die „*Willenskraft*“, die noch „dahinter steht“.

Hier ist noch eine Scheidung wichtig: es gibt physikalisch und mathematisch wohldefinierte „*Kräfte*“ energetischer Art, die als notwendige Bedingung einer Arbeitleistung erscheinen: mechanische, elektrische, magnetische *Kraft* usw.; und es gibt, zumal in der Biologie, *Kräfte* oder *Faktoren* und *Potenzen* mehr unbestimmter Art, *energetisch indifferente Richtkräfte* nach Art der „*katalytischen Kraft*“ (Berzelius 1835), *diaphysische Kräfte* nach J. Reinke,

bilanzfreie Impulse nach Woltereck. Allgemein ist der Forscher bestrebt, die Vielzahl der *Kräfte* immer weiter zu vermindern (man denke an die „*Lebenskraft*“ mit ihren Schicksalen und Wandlungen). „Das letzte Geheimnis der Welt scheint in *Richtkräften* zu liegen“ (Gebbing). „Die Welt besteht aus *Energien* und *Dominanten* (J. Reinke).

Die Verschiedenartigkeit der *Kraftdefinitionen* sei durch einige Beispiele erläutert: „*Kraft* ist das Äquivalent einer *Bewegungsänderung*“ (Robert Mayer). „*Kraft* ist das, was wir uns als *Ursache* einer *Bewegung* vorstellen“ (Rubner). „*Kraft* ist nur ein *Hilfsbegriff* zur Vereinfachung der *Ausdrucksweise*“ (Kirchhoff). „*Jede Kraft* ist nur die *gesetzliche Möglichkeit* der *Reaktion* unter bestimmten Umständen“ (Burkamp).

„*Kraft* ist die *Fähigkeit* und die *Nötigung* zu einer nach *Art* und *Größe* bestimmten *zukünftigen Leistung*, die *alle*mal eintreten wird, sobald eine bestimmte *Bedingung* realisiert sein wird“ (Lotze). „Das *Potential* behauptet den *Vorrang* vor der *Kraft* [—], auch weil die *Bedeutung* des *Potentialbegriffes* viel weiter reicht als die des *Kraftbegriffes* [—]. Freilich muß zugegeben werden, daß der *Begriff* des *Potentials* nicht den einleuchtenden *Vorteil* der *unmittelbaren Anschaulichkeit* besitzt, welcher dem der *Kraft* vermöge seiner *Beziehungen* zum *Muskelsinn* inneohnt“ (Planck).

Im-ganzen wird man gut tun, noch zwei *Aussprüche* zu *beherzigen*. Nach Poincaré kommt es nicht darauf an, zu *wissen*, „was *Kraft* sei, sondern zu *wissen*, wie man sie *mißt*“. Weiter noch geht Eddington, wenn er sagt, man könne von einer *Kraft* gar nicht mehr verlangen, als daß sie eine *Fiktion* sei, d. h. ein *Hilfsbegriff*, der zur *Vereinfachung* *kausaler Beschreibung* gute *Dienste* tut: *letzthin* eine *Art Ersatzwahrheit*, die (nach Schopenhauer) ungefähr „das *Selbe* leistet als die *Wahrheit* selbst“ (P. II. Ausgabe Hübscher VI, 362).

Kap. 3. Hauptformen der Kausalverknüpfung:
Erhaltungskausalität (E. K.) und Auslösungs- oder Anstoß-
kausalität (A. K.); Katalyse, Reiz- und Willens- oder Motiv-
kausalität als Formen der A. K.

Nach unseren *Betrachtungen* über den *Begriff* der *Kausalität* — und was damit *zusammenhängt* — gehen wir

über zu der besonderen Frage, in welcher Weise der Naturforscher Kausalität vollzieht und handhabt. Ist auch das Kausalitätspostulat immer nur eines — die Frage nach dem „Grunde“ der Geschehenserscheinungen —, so kann dieses Verlangen doch auf sehr verschiedene Weise befriedigt werden.

Das kausale Denken in der Naturwissenschaft der neueren Zeit hat seine erste gewaltige Entfaltung erfahren in der klassischen Punkt- und Körpermechanik, durch Galilei, Newton, Leibniz, Huygens, weiterhin die drei Bernouillis, Euler, d'Alembert, Lagrange, Laplace u. a. m. „Damals wurde dem menschlichen Geist zum ersten Male wirklich klar, daß er durch seine logische Kraft befähigt sei, die Kausalität der Naturvorgänge zu begreifen“ (Wilhelm Wien).

Aus dieser großartigen Entwicklung sind jedoch zwei Vorurteile entsprungen: Erstens die Meinung, „daß man in der Mechanik die theoretische Grundlage des ganzen Naturgeschehens besitze“ (W. Wien), daß also sämtliche Weltvorgänge als *Bewegungen von Körpern* kausal begreifbar und beschreibbar sein müßten. Die mechanische Kausalität, im Sinne der klassischen Mechanik, wäre danach die alleinige in der Welt: Standpunkt des Allmechanismus¹⁰. Hiermit hängt zusammen die weitere Vorstellung, es müsse sich grundsätzlich aus einer für einen bestimmten Zeitmoment gegebenen Gruppierung („Konstellation“) der Massenelemente mit ihren Impulsen, nach den Gesetzen von Druck und Stoß, von Anziehung und Abstoßung das zukünftige Geschehen und jeder zukünftige Zustand genau vorhersagen und berechnen lassen, so daß das Bestehen von Kausalität gleichbedeutend wäre mit der grundsätzlichen *Möglichkeit strenger mathematischer Berechenbarkeit*. Eine solche Einengung des Kausalbegriffes ist unberechtigt; (s. auch S. 427).

Die wissenschaftliche Überwindung des Allmechanismus, unter Schaffung eines breiteren und freieren Begriffes der Naturkausalität, der nur allgemein-energetischer Art sein kann, läßt sich an den Namen Robert Mayer knüpfen. Er hat als erster an die Stelle einer Überbetonung der mechanischen Kausalität das Prinzip einer allgemeinen energetischen Kausalität gesetzt. In gewissem Anschluß an den

in der Mechanik bewährten und mathematisierten Satz: *causa aequat effectum*, schuf er sein universelles Prinzip von der *Erhaltung der Kraft*, oder, wie man bald besser sagte, der *Erhaltung der „Energie“* (Arbeit und Arbeitsäquivalent). Zugleich aber machte er — was oft übersehen wird — dieses Prinzip auch zur *Grundlage eines neuen Kausalbegriffes*. Hatte man vorher schon, vor allem seit Lavoisier, das Gesetz der *Erhaltung des Stoffes* gekannt, so kam nun ein weiteres, ebenso allgemeines Erhaltungsgesetz dazu; in beiden Erhaltungsgesetzen zusammen liegt nach Robert Mayer der eigentliche wissenschaftliche Sinn der Naturkausalität gemäß dem Satze der Gleichheit von *Ursache und Wirkung*. Derselbe Gedanke findet sich allgemein ausgesprochen bei Schopenhauer: „Unberührt von dem durch Ursachen herbeigeführten Wechsel der Formen und Zustände... bleibt einerseits die Materie und andererseits die Naturkräfte: denn beide sind die Voraussetzungen aller jener Veränderungen“ (W. II, D. II, 537).

Wir wissen, welchen gewaltigen Fortschritt der Energiesatz von R. Mayer, Joule und Helmholtz in der gesamten Naturwissenschaft hervorgerufen hat; auch gewisse Übertreibungen einer spekulativen *Energetik* haben hieran nichts geändert. Wertvolle Ergänzungen hat die spätere Forschung geschaffen, vor allem in bezug auf die allgemeine *Richtung*, in welcher sich der Übergang einer Energieform in die andere oder die „Umwandlung“ einer energetischen Konstellation in eine neue vollzieht. So ist dazu gekommen das Gesetz von der *Zunahme der Entropie* (Zerstreuung, Entwertung, Dissipation der Energie) und ferner Nernsts dritter Wärmesatz. Thermodynamik, Elektrodynamik, Strahlungsdynamik und Atomlehre haben sich auf solch energetischer Grundlage glänzend entwickelt. Durch Plancks Quantentheorie aber ist, nach einem Ausspruch von Buchholz, das eine große Wunder energetischer Wechselwirkung „in Billionen mikroskopisch kleinster Wunderchen aufgeteilt“ worden.

Robert Mayer hat weiterhin deutlich erkannt¹¹, daß das, was in der Naturwissenschaft als „Kausalität“, als logische Verknüpfung von Ursache und Wirkung bezeichnet wird, sich keineswegs in der Tatsache der Erhaltung bestimmter physikalischer Werte als Rechengrößen bei

allen Umwandlungen erschöpft. Vielmehr wird daneben, wie er betont, durchgängig auch dasjenige als „Ursache“ bezeichnet, was ein bestimmtes Geschehen *veranlaßt*, ohne daß es die im Endeffekt zutage tretende Arbeit leistet, also ohne der Gesamtwirkung energetisch äquivalent oder nur damit kommensurabel zu sein¹². So stellt R. Mayer der „vollausgeglichenen“ *Erhaltungsursache* die energetisch ganz oder beinahe belanglose *Auslösungsursache* gegenüber; als Beispiele dieser gelten ihm die Entzündung von Knallgas (durch elektrischen Funken oder katalytisch), sowie der Anstoß einer Lawine durch einen Fußtritt oder einen Windhauch.

Es gibt also „Ursache“ und „Wirkung“ im *Erhaltungs-*, *Beharrungs-* oder *Gleichbleibungssinne*, und „Ursache und Wirkung“ im *Anstoß-*, *Anlaß-* oder *Auslösungssinne*; anders gesagt: wir können begrifflich scheiden eine *Erhaltungs-* oder *Gleichbleibungskausalität* (E.K.) einerseits, eine *Veranlassungs-*, *Anstoß-* oder *Auslösungskausalität* (A.K.) andererseits. Stellt sich E.K. in der Regel als *Umsetzungskausalität* dar, so nimmt die A.K. oft die Gestalt der *Führungs-* und *Lenkungskausalität* an. Im Grunde ist das Nebeneinander, richtiger das Zusammenwirken von E.K. und A.K. schon in Schopenhauers Formulierung des *Gesetzes der Trägheit* ausgesprochen, welches „besagt, daß jeder Zustand, mithin sowohl die Ruhe eines Körpers, als auch seine Bewegung jeder Art, unverändert, unvermindert, unvermehrt fort dauern und selbst die endlose Zeit hindurch anhalten müsse, wenn nicht eine Ursache hinzutritt, welche sie verändert oder aufhebt“. Der *Beharrungssatz* ist nach Schopenhauer eng mit dem *Kausalitätssatz* verbunden. „Aus dem Gesetze der Kausalität ergeben sich zwei wichtige *Korollarien*, nämlich das *Gesetz der Trägheit* und das der *Beharrlichkeit der Substanz*“ G., D. III, 150). Das Wesensmerkmal der *Anstoßursache*, die oben im *Schlußsatz* hervortritt, ist gleichfalls angedeutet in dem weiteren *Satz*: „Also alle Ursache ist *Gelegenheitsursache*“ (W. I, D. I, 164). Noch klarer hat Schopenhauer die „*Auslösungsursache*“ gekennzeichnet in seiner „*Vorlesung über die gesamte Philosophie*“ 1820 (im Anschluß an *Malebranche*): „daß die Ursache eigentlich nicht die Wirkung

hervorbringe, sondern nur die Gelegenheit, den Anlaß gebe, zum Hervortreten der Äußerungen jener Kräfte“ (D. X, 121).

Ein Gebilde wirkt auf ein anderes, empfindliches, entweder durch *Arbeitleistung*, unter Verlust an eigener freier *Energie* („*Wunder der Energieübertragung*“) oder durch *Entfesselung* und *Auslösung* gehemmter (potentieller) *Energien* jenes Gebildes, oder auch auf beide Weisen zugleich.

Unter Weiterführung der *Kausalauffassung* von R. Mayer wie Schopenhauer wollen wir nun E.K. und A.K. in Kürze charakterisieren¹³:

A. *Erhaltungskausalität*
(*Beharrungskausalität*, *Äquivalenzkausalität*)

Nimmt man *Kausalität* als „*Erhaltungskausalität*“, so wird man diese von vornherein sowohl auf die *Materie* als auch auf die *Energie* beziehen. Außer den hierfür geltenden *allgemeinsten* *Erhaltungsgesetzen* gibt es noch zahlreiche *besondere* *Erhaltungsgesetze*, welche in den empirisch ermittelten *Konstanten* und *Invarianten* beliebiger Art zutage treten; mag es sich um strenge *Erhaltung* physikalischer oder chemischer Größen wie *Impuls*, *Elektrizitätsmenge* oder *Atomgewicht* handeln, oder um zeitlich beschränkte und bedingte *Erhaltungen* bestimmter *Konstellationen* und *Ganzheiten*. So gibt es *astronomische* *Erhaltungen* wie die des *Sonnensystems*, oder *chemische* *Erhaltungen* wie die bestimmter *Atomgruppen* (oder „*Radikale*“) bei der *Umsetzung* chemischer *Verbindungen*, *relative* *Beständigkeit* von *Molekeln* und *Molekularaggregaten*; und schließlich gibt es auch *physiologische* und *biologische* *Erhaltungen* wie diejenige der *Wirkstoffe*, der *Gensubstanzen*, der *Chromosomen*, der *Blutgruppenstoffe*, des *Artplasmas* usw., sowie die (zeitbeschränkte) *Erhaltung* des *Individuums*, *Erhaltung* der *Art* usw.¹⁴. Auch auf *psychischem* *Gebiet* kann man E.K. finden, die ganz besonderer „*autonom*“ Art ist: in dem *Gesamtmaterial* der *Engramme*, der *reproduzierbaren* *Vorstellungen* usw., also in der *Tatsache* des *Gedächtnisses*, der *Erinnerungen*, sowie in der *Konstanz* des *individuellen* *Charakters*. Große *Bedeutung* auf *anorganischem* und *organischem*, *physischem* und *psychischem* *Gebiete* hat auch die *Erhaltung* von *Rhythmen* (*Naturrhythmen*, *Lebensrhythmen*, *Geistesrhythmen*)*.

* Siehe hierzu die Bemerkung S. 391.

Alle „Gestalten“, alle stationären Prozesse physischer und psychischer Art haben eine bestimmte *Beharrungstendenz*, ein Streben nach Dauer auch inmitten einer Umwelt wechselnder andersartiger Gestalten. Tritt dann doch ein Wechsel ein, so zeigen sich bezüglich Stoff und Energie quantitative Äquivalenzen als „relative Gleichbleibung“ im Wandel. Immer bewegen sich konservative Tendenzen auch beschränkter und bedingter Art in dem *allgemeinen Rahmen der Erhaltung von Materie und Energie*; und diese Erhaltungskausalität scheint allgemein gültig, zeitlich unbeschränkt und „absolut“ zu sein, zumindest in dem uns zugänglichen Naturbereich. Nur muß heute neben den „Äquivalenzen“ einzelner Stoffarten miteinander (z. B. Wasser gegenüber Knallgas) sowie einzelner Energieformen unter sich (z. B. mechanische gegen thermische gemäß R. Mayers mechanischem Wärmeäquivalent) auch eine unter extremen Verhältnissen bemerkbare *Äquivalenz von Materie und Energie* (Strahlungsenergie) gegeneinander beachtet werden¹⁵. Daß gegenwärtig mit einer quantenhaften Aufspaltung der Energie gerechnet wird, ändert grundsätzlich an der Erhaltungsgemäßheit der Energie ebensowenig wie dies bei der atomaren Zusammensetzung der Materie der Fall ist.

So besitzen wir vor allem in der *Erhaltung von Stoff und Energie* bei allem Wechsel der Erscheinungen einen sicheren und zuverlässigen *Leitfaden der Kausalität*, der überdies den Vorzug besitzt, daß er eine *zahlenmäßige, quantitative Erfassung* erlaubt, mit bestimmten Umwandlungsfaktoren beim Übergang von einer Stoff- oder Energieform in die andere. Wenn eine Energieform (z. B. kinetische Energie des Falles) irgendwo verschwindet, so können wir nach allen Erfahrungen überzeugt sein, daß eine quantitativ (gemäß bestimmten Transformationskoeffizienten) entsprechende andere Energieform entstanden ist, z. B. thermische oder elektrische. Dies gilt für terrestrische wie für astronomische Vorgänge, und zwar gilt es auch im Gebiet der Mikrophysik, in den Dimensionen des „Sehrkleinen“. Dem alten Satz „*causa aequat effectum*“ ist damit ein bestimmter und dabei universeller mathematisch-physikalischer Sinn gegeben. „Das mathe-

mathematische Schema für die *kausale* Beschreibung einer Erscheinung ist die Differentialgleichung“ (Krampf).

Dennoch ist eine solche Kausalbetrachtung, welche lediglich auf die *Erhaltung* bestimmter Größen und auf die mathematischen Gleichbleibungsbeziehungen im Wechsel der Erscheinungen achtet, dürftig und unzulänglich. Vielmehr wird *neben der Erhaltung* von der kausal forschenden Wissenschaft regelmäßig auch dasjenige ins Auge gefaßt, *was Änderungen in der Verteilung und Umsetzung der Energie und des Stoffes schafft*; das nennt man *Auslösung* und *Anstoß*, *Veranlassung* und *Herbeiführung*. Oftmals ist die Anstoßwirkung wählerischer Art; man spricht dann von *Lenkung* und *Steuerung*, *Richtunggebung* und *Regelung*, schließlich auch *Entfaltung*, *Entwicklung* und *Steigerung*.

B. Anstoßkausalität (Anlaßkausalität)

Es ist Tatsache, daß im Alltagsleben gleichwie in der Wissenschaft wohl in 90 von 100 Fällen unter „Ursache“ der Anlaß, der Anstoß verstanden wird, ohne welchen irgendein Prozeß nicht verlaufen wäre, nicht aber seine stofflichen und energetischen Gleichbleibungs-Voraussetzungen. Als Motto für diese „Anstoßkausalität“ dient der alte Satz: Kleine Ursachen — große Wirkungen. Ihren sprachlichen Ausdruck aber findet die A. K. in den Worten anstoßen, anregen, anlassen, veranlassen, ankurbeln, ansteuern, anfachen, zünden, antreiben, einleiten, hervorrufen, herbeiführen, vermitteln, reizen, steuern, regeln, nebst entsprechenden Fremdwörtern wie induzieren und provozieren. Dabei ist bemerkenswert, daß dies wiederum durchweg Worte mit mechanischer Urbedeutung sind, die jedoch auch in nichtmechanischem und abstraktem Sinne gebraucht werden können.

Um was handelt es sich nun bei der A. K.? Beginnen wir bei der *Mechanik* mit ihren Begriffen *Spannkraft* und *lebendige Kraft*, „*potentielle* und *kinetische Energie*“. Wir denken uns eine von der Erdoberfläche aus in die Höhe gehobene und dadurch mit potentieller Energie begabte Metallkugel: sie möge auf einer schmalen Unterlage so ruhen, daß sie „von selbst“ nicht herabfällt. Es herrscht ein stationärer „*metastabiler*“ Zustand, der kein

wahres stabiles Gleichgewicht bedeutet, und der sofort aufgehoben wird, wenn ein „Anstoß“, etwa durch einen Windhauch oder durch Betätigung der Handmuskeln stattfindet. Schwebt die Kugel auf einer feinen Spitze, so kann dieser Anstoß sehr geringfügig sein: der Klang eines lauten Wortes mit seiner leichten Lufterschütterung kann das Herunterfallen veranlassen.

Für die *Auswirkung*, welche die fallende Kugel vermöge ihrer gewonnenen kinetischen Energie drunten verursacht, etwa die Zertrümmerung eines darunterstehenden Glasgefäßes, besitzt der leise Anhauch, der das Fallen vermittelte oder einleitete, quantitativ keinerlei Bedeutung, wenngleich seine „verschwindend geringe“ Energie sich auch irgendwie „umsetzt“ und insofern erhalten bleibt; hier ist entscheidend die *vorhandene Energie des Systems selbst*, d. h. der fallenden Kugel; eine Kugel von zehnfachem Gewicht kann die zehnfache Wirkung hervorrufen. Der Anlaß oder Anhauch aber kann immer gleich geringfügig sein; und nichts hindert uns, gemäß dem Vorgang von Schopenhauer und R. Mayer, dieser „Auslösung“, diesem Anstoß die Bezeichnung „Ursache“ im Sinne der A. K. zuzuerteilen, während E. K. herrscht in bezug auf den Vorgang des Falles selbst mit seiner Auswirkung.

Immer und überall in der Welt, wo etwas Neues geschieht, ist etwas da gewesen, das den Vorgang — wörtlich oder nur bildlich — anstößt und herbeiführt; außerdem ist aber im System auch etwas vorhanden, was bei allem Wandel der Erscheinung wertmäßig gleich und „erhalten“ bleibt. So ist E. K. und A. K. in den *Naturvorgängen stets mehr oder minder eng gekoppelt*, und nicht immer lassen sich beide so leicht begrifflich scheiden wie beim Anstoßen einer Lawine. E. K., als Umsetzungskausalität gemäß Äquivalenz, wird durch A. K. realisiert, d. h. zur Erscheinung gebracht.

Denken wir uns eine ruhende Billardkugel auf einer ebenen glatten Fläche, die von einer bewegten zweiten Kugel angestoßen wird; hier kann zwischen A. K. und E. K. kaum noch real physikalisch, sondern nur noch formal unterschieden werden: das anstoßende Etwas ist *zugleich* der Energiespender, dessen Energievorrat ganz oder teilweise auf die zweite Kugel übergeht, so daß sie davon

Gebrauch machen oder „zehren“ kann. Ähnlich ist es bei dem Anstoß eines einfachen Pendels zu Schwingungen: hier ist gleichfalls Anstoß identisch mit Energiemittelung; das schwingende Pendel hat seine Schwingungsenergie mit dem Anstoß des fremden Körpers übernommen, nicht etwa spontan aus sich heraus entfaltet. Anders wieder beim Aufziehen einer Schleuse, beim Öffnen eines Wasserhahns, beim Ankurbeln einer Maschine, beim Anstoßen des Pendels einer aufgezogenen Uhr, beim Anlassen eines Motors, bei jeder Ein- und Ausschaltung, bei elektrischer Relais- und Verstärkerwirkung; hier überall läßt sich A. K. und E. K. begrifflich leicht scheiden, bei aller sachlichen Verbundenheit.

So kann man das ganze Gebäude der *Physik* durchschreiten. Immerzu wird man finden: Damit etwas Neues geschieht, ist irgendein Anstoß, ein Anlaß äußerer oder innerer Art vonnöten; dieser Anstoß *kann* zugleich Energielieferung für das System sein, oft aber wirkt er lediglich in der Weise, daß er vorhandene, aber irgendwie „gehinderte“, gesperrte, gehemmte, blockierte oder „latente“ Energien enthemmt oder entbindet, in Freiheit und in Tätigkeit setzt. *Immer und überall bilden Erhaltungsgesetze allgemeiner und spezieller Art den Rahmen, innerhalb dessen allein Anstoß, Anlaß, Auslösung, Induktion als A. K. möglich ist.*

In der *Chemie* ist es nicht anders. Nehmen wir die einfache Salzbildung durch Zusammengießen von Natronlauge und Salzsäure: das Zusammenbringen dieser Stoffe ist die äußere veranlassende und anstoßende *Ursache* für die Vereinigung der Reaktionspartner gemäß ihrer *Affinität*, d. h. vermöge vorhandener latenter Arbeitsfähigkeit; die Bildung der Produkte nebst entsprechender Wärmetönung oder Lieferung von elektrischer Energie (in galvanischen Elementen) ist die *Wirkung*, die durchaus Systemgesetzen der E. K. folgt.

Jetzt fassen wir einen anderen chemischen Vorgang ins Auge. Bringen wir Wasserstoff und Sauerstoff in einer Glaskugel zusammen, so wird auch bei Erwärmung *keinerlei* Einwirkung beobachtet, obwohl das System über starke Affinität oder Reaktionsfähigkeit, also über große latente Energien als „Spannkräfte“ verfügt. Es besteht „Reak-

tionsträgheit“; es machen sich Hemmungen und „chemische Widerstände“ geltend. Wir haben ein stationäres System, das bei Zimmertemperatur nicht von selbst in ein wahrhaft stabiles System, nämlich Wasser, übergeht. Ein besonderer Anstoß ist noch nötig: dieser kann rein energetisch geliefert werden, z. B. durch den elektrischen Funken, oder aber, wie bekannt, auch stofflich-katalytisch, durch Heranführen von reinem Platinschwamm. *Katalyse ist eine Art stofflicher A.K., und zwar eine sehr ausgesprochen reine Form der A.K., zugleich eine Form der A.K., bei welcher das anstoßende Gebilde als Individuum völlig erhalten bleiben kann.*

Wie wir wissen, gehört es zum Wesen eines Katalysators, daß er unverändert aus dem veränderten System hervorgeht: er selber hat keine Arbeit in physikalischem Sinne geleistet; diese Arbeit wurde von den reagierenden Bestandteilen geliefert: nur freiwillig stattfindende Reaktionen können ohne weiteres „beschleunigt“ oder gerichtet werden, nur Systeme mit eigener freier oder mit anderswie bezogener Energie (vor allem Lichtenergie) sind einer katalytischen Beeinflussung zugänglich. In bezug auf ein derartiges bilanzfreies Eingreifen zeigt ein Katalysator — als heimlicher Mitspieler — *Dauerbereitschaft* zu weiterem Wirken, im Idealfall bis in die Unendlichkeit.

Noch ein Weiteres ist für die A.K. der Katalyse bedeutsam: Nehmen wir ein Gemisch z. B. von Kohlenoxyd und Wasserstoff, so ist dieses System im Hinblick darauf, was katalytisch bewirkt und verursacht wird, nicht eindeutig bestimmt: es können je nach der Natur des Katalysators und den wechselnden Versuchsbedingungen Verbindungen wie Methan oder Methylalkohol oder flüssige Kohlenwasserstoffe usw. unter Ausbildung bestimmter Gleichgewichte entstehen, vielfach in schwer übersehbarer Mischung. *Der Katalysator wählt und richtet. Die Anstoßkausalität wird zur Lenkungskausalität*, wobei wiederum der Lenker selbst keine Arbeit in physikalischem Sinne leistet; es liegt eine nichtenergetische, eine „diaphysische“ Richtkraft (im Sinne von J. Reinke), ein „bilanzfreier Impuls“ nach Woltereck vor¹⁰.

All dieses ist gültig auch für das Gebiet der *Physiologie* im weitesten Sinne, die ja Physik und Chemie als Grundlagen voraussetzt. Auch hier gibt es *Anstoßkausalität*, die zur *Lenkungskausalität* werden kann — ohne daß das anstoßende und lenkende Etwas zugleich „Arbeit“ leisten müßte. *Fermente oder Enzyme* haben als beschleunigende, veranlassende und richtende *Biokatalysatoren* im Organismus unentbehrliche Entfaltungs- und Entwicklungsaufgaben; und ihnen gesellen sich weiterhin Wirk- und Reizstoffe mannigfacher Art zu, namentlich Hormone, Vitamine, Induktions-, Organisations- und Prägungstoffe. Der Katalysator wird weiter zum Modell sogenannter höherer „Faktoren“ und „Potenzen“, Strebungen und Tendenzen, vor allem auch des *verursachenden und lenkenden Willens*. Wir geben einen Vergleich aus der Weberei: Bildet der Anstoß den „Einschuß“ des Gewebes, so stellt die Erhaltungskausalität, innerhalb deren alles geschieht, die „Kette“ dazu dar. In dem Funktionsbegriff der Physik, der Physiologie und der Psychologie fließen A.K. und E.K. zusammen.

Es bedarf keiner besonderen Begründung, daß A.K. in der *Physiologie* vor allem sich äußert in dem, was einst Johannes Müller und Schopenhauer als Reizwirkung oder *Reizkausalität* bezeichnet haben. Der Reiz, die Erregung setzt ein arbeitsfähiges System der Körperzelle, des Körperplasmas voraus, das über freie Energien verfügt, und das man insofern einer Batterie geladener Leydener Flaschen vergleichen kann. Eine lebende Zelle, ein Muskel, ein Nerv kann gereizt oder erregt werden, und zwar — ebenso wie einfache chemische Systeme — entweder energetisch oder stofflich. Reizkausalität ist, gleichwie die katalytische Kausalität in bezug auf ihren Ausgangspunkt, eine A.K., nur daß hier eine weit größere *Mannigfaltigkeit* der Wirkweisen herrscht. Die räumlich und energetisch vielfach gegliederte und abgestufte Mannigfaltigkeit des Organismus bringt es mit sich, daß ein physiologisches Gebilde (Makromolekel, Zelle, Gewebe, Organ usw.) den Anstoß zu neuem Geschehen in verschiedenster Weise, *von außen wie auch aus dem eigenen Innern*, erfahren kann. Dem entspricht die alte Unterscheidung von äußeren und inneren Reizen und Erre-

gungen. Vielfach gilt für die Frage der Wirkung eines Anstoßes das „Alles oder Nichts“-Gesetz. Oft, ja vermutlich immer wirken zahlreiche Anstöße gleichzeitig, und der Organismus muß, menschlich gesprochen, wählen, ausschneiden, richten, disponieren, kombinieren, dirigieren. Konstante Bedingungen bestimmter Art werden vom Forscher, wie schon berührt, gern als „Kraft, Faktor, Potenz“ objektiviert. Dies alles kommt in Koordination und Korrelation, Regulierung und Steuerung des Organismus zur Geltung. Hier überall ist die Anstoßursache ein Teil der Gesamtursache, und zwar in gewissem Sinne der bestimmende Teil.

Durchweg ist es für die Verwirklichung der Lebensvorgänge wesentlich, daß alles Chemische infolge vorhandener „Trägheit“ nur *allmählich und stufenförmig vom Labilen zum Stabilen* führt. Sämtliche organischen Verbindungen des Organismus sind in Gegenwart von Sauerstoff im Grunde instabil oder metastabil; stabil sind schließlich nur die Endprodukte Kohlensäure, Wasser, Stickstoff u. dgl. Die Kausalverhältnisse von Assimilation und Dissimilation, die Bedingung des Lebens sind, stellen sich mithin dar analog einem Wassersystem, bei welchem dauernd bestimmte Mengen durch fremde Energie in die Höhe gepumpt werden, um dann in einem Kaskadensystem schließlich wieder am Ausgangsspiegel anzugelangen.

Jedes *biologische Geschehen* setzt potentielle Energien, physische Potentialdifferenzen, ein energetisches Gefälle des Gesamtsystems voraus; nur ausnahmsweise wird hierbei die Potenz „ganz von selbst“ zum Akt (analog der autonomen Zersetzung eines Radiumatoms); zumeist bedarf sie eines Anregers, Veranlassers, Vermittlers und Lenkers. Immer jedoch vereinigen sich auch im physiologischen und biologischen Kausalbegriff die Vorstellung dauernder oder zeitweiliger *Erhaltung* gewisser elementarer oder ganzheitlicher Größegebilde mit der weiteren Vorstellung einer *Veränderung* durch „Anstoß“ vermöge einer W.W. inmitten des Seienden.

Oftmals dient bloße *Zustandsänderung* aus der Nachbarschaft her, z. B. durch Änderung von Druck, Temperatur, Wasserstoffion-Konzentration, als Anstoß, als Einleitung

Neben Einzelanlässen, plötzlichen Eingriffen gibt es auch Anregungen und Veranlassungen schleichender Art, durch allmähliche Summierung unmerklicher Änderungen von Teilverhältnissen zu einer neuen Gesamtkonstellation. (In der Medizin etwa: Infektion gegen chronische Erkrankung, Stoßtherapie gegen klimatische Heilmethoden.)

Auf der höchsten Stufe irdischer A.K. steht der *bewußte Wille* mit seiner psychischen Kausalität, seiner Motivwirkung oder „Motivation“ (Schopenhauer), der sich dirigierend und kombinierend im Menschen schließlich auch kulturschöpferisch betätigen kann. Auch der Wille veranlaßt, ohne Arbeit in physikalischem oder energetischem Sinne zu leisten, und richtet und lenkt, ohne etwas vom Eigenen zu verlieren. „Der Stein muß gestoßen werden; der Mensch gehorcht einem Blick“ (Schopenhauer; G., D. III, 156).

Hier aber kommen wir beim Weiterdenken auf die schwierigste biologische Frage: *Wie weit darf ich, ohne zu fingieren und zu phantasieren, als anstoßendes Etwas, als physiologisches X, als „Naturfaktor“* in mir und entsprechend auch in anderen Organismen ein dem Subjekt *unbewußtes, tätiges psychisches Prinzip* (C. G. Carus, Schelling, E. v. Hartmann), eine Art schaffenden Willens besonderer Art (nach Schopenhauer), einen verborgenen „Willen zur Macht“ (nach Nietzsche), einen Archeus (nach Paracelsus), eine zwecktätige und „ganz machende“ (so wie ganz erhaltende) Entelechie (nach Driesch) annehmen?

Tatsachen wie hypnotisch-suggestive Wirkungen, Traum und Halluzination, Neurosen und Psychosen, ja schon unser dauerndes Schöpfen aus tieferen Schichten der Psyche, aus dem Born des Unbewußten oder Unterbewußten im Vorstellen, Fühlen und Denken — zumal im intuitiven Schaffen des Genies — weisen durchaus auf ein derartiges „*unbewußtes Wollen*“ als eine Sonderart der A.K. hin. Es gibt ein in „Tiefenschichten“ verharrendes und daraus hervorbrechendes *psychisches oder psychoides Treiben und Antreiben*; und nicht nur Instinkthandlung, sondern auch biologische Formgestaltung und Formweitergabe im Vererbungsgeschehen werden ohne Beteiligung jenes „unbewußten Willens“, als eines im Gesamtwirkfeld der Natur begründeten, schließlich überindividuellen und überbewuß-

ten „Naturantriebes“, einer universellen „Naturmacht“, kaum denkbar sein. Driesch spricht von „Agenzien, die man sich seelenartig denken mag, wenn man auch nicht geradezu an das Bewußt-Seelische des Menschen denkt“.

Jedoch ist dem Wissenschaftler anzuraten, immer ein deutliches „Als-Ob“ anzuheften: es ist, als ob unbewußte psychische Potenzen als Auslösungs- oder Anstoßursachen im Organismus tätig seien, mit der Fähigkeit einer „Wahl“ unter verschiedenen physikalisch-energetisch bestehenden Möglichkeiten — ganz in Analogie mit dem wählenden und richtenden Katalysator. Diese „organisierende Kraft“ ist durchaus von den Umständen abhängig, ja „sehr abhängig“ (Lotze), da immer nur solche Geschehnisse wählend und richtend verwirklicht und einander zugeordnet werden können, die quantenmechanisch, chemisch, thermodynamisch, elektrodynamisch möglich sind¹⁷. Einen „erklärenden“ Wert für die Wissenschaft hat die Annahme höherer Faktoren und Potenzen nicht, obwohl sie metaphysisch unvermeidlich sein wird. „Die Ätiologie der Natur und die Philosophie der Natur thun einander nie Abbruch; sondern gehn nebeneinander, denselben Gegenstand aus verschiedenem Gesichtspunkte betrachtend“ (Schopenhauer).

Kap. 4. Reiz-, Motiv- und entelechiale Kausalität als „Ganzheitskausalität“

Nachdem wir die A.K. in ihrem Verhältnis zur E.K. durch die Naturwissenschaften hindurch verfolgt haben, sind wir unmittelbar in der Lage, uns ein Bild von der vielbesprochenen „Ganzheitskausalität“ (Driesch) zu machen. Wir nennen *Ganzheit* ein irgendwie abgeschlossenes Gebilde mit bestimmten innigen dynamischen Zusammenhängen (Relationen) der Glieder oder Teile. Ist *psychische Ganzheit* oder *Gestalt* eine Ordnung unräumlicher, also intensiver Art, so ist *Naturganzheit* durchweg eine bestimmte, wenn auch wechselfähige und wandelbare Ordnung im Extensiven des Hier — Jetzt. *Naturganzheit* als eine jeweils gegebene Ordnung im *Gleichzeitigen*, als eine bestimmte stofflich-energetische Konstellation in einem bestimmten Zeitdifferential, steht damit der *Naturkausalität* als einer Ordnung im „Hier jetzt so — hier nachher anders“, also in der *Aufeinanderfolge* gegenüber.

Je nach dem Grade der Trennbarkeit des Zusammenhanges kann man *niedere* und *höhere Ganzheiten* unterscheiden. Zu unterst stehen mechanische Ganzheiten wie ein Bauwerk, ein Hebelwerk, eine beliebige Maschine; dann folgen chemisch-physikalische Ganzheiten wie das Atom mit seinen Elektronenzuständen und Kernkräften, die Molekel, der Kristall, das Feld; endlich biologische Ganzheiten wie Zelle, Gewebe, Organ, Organismus, Lebensgemeinschaft, immer in Stufenfolgen engerer und weiterer Gebilde. Bei biologischen Ganzheiten nennt man die Teile vorzugsweise *Glieder*; *Ganzheit* wird zur *Gliedhaftigkeit*, zur Resultanz kommt *Emergenz*.

Von unten gesehen ist eine Naturganzheit, vor allem eine solche chemischer oder biologischer Art, zu definieren als ein zusammengesetztes Gebilde, ein *System* mit derart inniger W.W. der tätigen Teile oder Glieder, daß bei der Wegnahme auch nur eines Teiles das Ganze (sowie auch der Teil) wesentliche funktionelle Beeinträchtigung erleidet; von oben betrachtet aber erscheint dieselbe Ganzheit (oder Gestalt) als eine bestimmte *Ausgliederung* oder *Entfaltung eines Kraftzentrums*, eines polaren Energiefeldes. So ist das Ganze funktionell mehr und anders als die Summe seiner Teile, es weist überadditive, konstitutive Züge auf; es ist ein *gliedhaftes Ordnungsgebilde im Gleichzeitigen*, dem man mit dem Begriff der „Zusammensetzung aus Teilen“ nicht voll gerecht wird. Nach Driesch ist die Arbeit der Seele „Wohlordnungsarbeit“. Das „Wohlordnungsschema ist die Gestalt“.

Schon das Atom zeigt, daß für eine Ganzheit schwerdefinierbare und nur unvollkommen aufdeckbare dynamische „Verknüpfungen“ als untrennbare *Systemrelationen* und *funktionelle Koordinationen* gelten: Zu den Differentialgesetzen treten Integralgesetze. Als *Ganzheit im Höheren bis höchsten Sinne* erscheint der pflanzliche und tierische *Organismus*; vom Einzeller bis zum Menschen; innere Gliedhaftigkeit ist hier mit dauernd wechselnder *Umweltbezogenheit* verbunden¹⁸.

Unter *Ganzheitskausalität* (G.K.) oder holistischer Kausalität wird man nun zweckmäßig diejenige Verknäuelung von A.K. und E.K. verstehen, die sich ergibt, wenn ein Ganzes, von einem stofflichen oder energetischen Etwas

„angestoßen“ (wörtlich oder bildlich), nunmehr gemäß eigenen Spannkraften, eigenen Potentialgefällen, gemäß eigenen freien Energien *aktiv, d. h. spezifisch und wahlhaft* „reagiert“. In diesem Sinne ist G.K. bereits zu konstatieren, wenn ein Atomkern, mit irgendwelchen Strahlenstofflicher oder rein energetischer Art (Protonen, Deuteronen, Neutronen, Gammastrahlen) „angeschossen“ darauf so oder so „antwortet“. Ebenso wird man von G.K. reden dürfen in Fällen chemischen Geschehens, da ein geschlossenes System in einen neuen Zustand übergeht, indem es *Gleichgewichtsgesetzen als Massenwirkungsgesetzen folgt*.

G.K. im vollen und besonderen Sinne herrscht indessen im Reich des Lebenden, also in *Physiologie und Biologie*, da hier die *Wahlhaftigkeit* und die Aktivität des Agierens und Funktionierens höhere und höchste Stufen der Verwicklung und auch des „Sinnes“, der Zweckdienlichkeit erreicht. Man sieht ohne weiteres, daß *diese G.K. zutage tritt in der Reiz- und Motivkausalität*, sofern man die gesamte Auswirkung des Reizes, des Motives ins Auge faßt, und daß es daneben keine weitere biologische G.K. gibt. Die G.K. kann (s. S. 415) ihren Ausgang von einem äußeren oder von einem inneren Anstoß nehmen: einerseits äußere Sinnesreize, andererseits Erregungen durch innere organische Vorgänge, durch Wirkstoffe, Nervenimpulse, Affekte und Willensakte. Beispielsweise herrscht G.K. in dem Wirken und Zusammenwirken von Biokatalysatoren, in der Auswirkung von Gift- und Heilstoffen, von Vitaminen, Hormonen, Wuchsstoffen, Organisations- und Vererbungsstoffen, in der Betätigung von Geweben und Organen, wie im gesamten Gebaren des Organismus bei Assimilation und Dissimilation, Formbildung, Entwicklung, Anpassung und Vererbung¹⁰. Hier überall kommen E.K. und A.K. zusammen in der Totalursache, der holistischen Ursache, der Ganzheitsverursachung, der Systemgesetzlichkeit. Nie aber kann das Wort G.K. eine „Erklärung“ bedeuten, sondern immer nur eine Aufforderung zur Erklärung.

Schließlich ist noch folgendes bemerkenswert: Gesetze der Ganzheitskausalität nehmen oft die Gestalt *statistischer Gesetze* an; man denke an die kinetische Gastheorie, an die Gesetze der Reaktionskinetik, an die Mendelgesetze usw. Hier gibt es für das Einzelgebilde oder den Einzelfall nur

Wahrscheinlichkeitsvoraussagen im Rahmen des Kollektivs, ohne daß man jedoch meinen dürfte, das Geschehen selber sei „akausal“ oder indeterminiert (s. auch S. 428). Im biologischen Geschehen insbesondere gibt es *darum* „Unbestimmtheiten“, weil *unzählige* Bedingungen und Umstände „darauf warten“, zum Anstoß zu werden, und weil *unzählige* latente Möglichkeiten des Antwortens auf einen Anstoß oder auf eine Menge von Anstößen bestehen.

Von grundlegender Bedeutung für alle Physiologie ist es, daß, gleichwie schon in der Chemie (s. S. 413), die allermeisten stofflichen Geschehnisse nicht plötzlich und augenblicklich vonstatten gehen, sondern infolge der vorhandenen Hemmungen und Widerstände (Trägheiten) eine *Zeitdauer* erfordern, und daß sie ferner deutlich in *Stufen* verlaufen. So ist eine *Konkurrenz unzähliger chemischer Partialvorgänge verschiedenen Tempos* möglich; und die Mannigfaltigkeit und ihre Komplizierung wird noch größer dadurch, daß kolloidchemische und elektrokinetische Vorgänge hinzukommen, und daß alles in einem komplex-dispersen Medium oder in einem Netz- und Wabensystem stattfindet, dessen Beschaffenheit sich von Punkt zu Punkt und vielfach auch von Augenblick zu Augenblick wandelt.

In der unendlichen Mannigfaltigkeit wechselnder Naturgebilde und Naturprozesse wird die E. K. zur Umsetzungskausalität, die A. K. zur Lenkungskausalität, die G. K. aber zur *Entwicklungs- und Entfaltungskausalität* niederer und höherer Art. Rein physikalisch und chemisch angesehen handelt es sich um ein Neben- und Durcheinander weitverzweigter und bis an das Lebensende reichender *Reaktionsketten*, oder *Reaktionsnetze* und *Reaktionsverfilzungen*. Dem auf Lebenserhaltung und Lebensgestaltung gerichteten Erfolge solcher Verstrickungen kann man mit bloßen Begriffen der Physik und Chemie nicht gerecht werden; vielmehr werden Kausalbegriffe übergeordneter Art, eben die Begriffe der Physiologie und Biologie, zum Zergliedern und Durchdenken des Ganzen erforderlich.

Lebendes Protoplasma ist gekennzeichnet durch eine ganzheitliche Ordnung spezifisch gerichteter freier Energien. Führend zu einer Spontaneität und Aktivität in spezifischen Leistungen. Organismen sind nach R. Woltereck „Gefüge, Getriebe, Normen und erlebende Subjekte“, aktive und

sensitive Bedeutungsgefüge mit primärer „Innenerregtheit“ als Grundlage, mit Bioimpulsen als Geschehensanlässen („Auto-Kausalität“), mit der Fähigkeit des Imaginierens (einem „genialen Zug“ des Lebens) und mit „Aristie“ (Edelheit) als geschichtlichem Wertziel. „Der Organismus schafft sich selbst Katalysatoren und beseitigt überflüssige“ (L. R. Grote). „Eine Aufdeckung des ausschlaggebenden Zusammenwirkens der verwickelnden katalytischen Reaktionsfolgen zum Ganzheitsverhalten eines Lebewesens steht noch aus“ (Hasebroek).

Als Urbild besonders verwickelter holistischer Kausalverhältnisse des Lebendigen gilt von jeher der Same, das Ei mit seinen latenten Energien, seinen Potenzen. Zeigt schon der Befruchtungsvorgang eine verwickelte Koppelung von Erhaltungsgesetzen und Anstoßgesetzen, so wird die zeiträumliche Kausalverwicklung noch unendlich gesteigert in der Entfaltung und Entwicklung dessen, was die Befruchtung weiterhin zur Folge hat. Der wissenschaftliche Dualismus von E. K. und A. K. aber und deren Zusammenfließen in der G. K. hat sein philosophisches Gegenstück in dem unaufhebbaren Dualismus von Sein und Werden.

Kap. 5. Kausalitäts-Rangordnung; psychische Kausalität als „Kausalität von oben“

Daß bei der ungeheuerlichen Verstrickung von A. K. und E. K. in einer G. K., zumal im Biologischen, und zwar schon in dem einfachsten Spaltpilz, in der einfachsten Amöbe und Alge, die Forschung überhaupt Aussichten hat und dauernd Fortschritte machen kann, wird dadurch gewährleistet, daß die Naturkausalität uns das Bild einer *Stufenfolge* oder *Rangordnung* bietet. Diese Staffelung entspricht dem ebenfalls vorhandenen Stufenbau oder der *Hierarchie stofflicher Bildungen*, vom Atom bis zum anorganischen oder organischen Körper; sie läßt sich am besten vergleichen mit der Stufenorganisation in der Verteilung von Arbeiten und Zuständigkeiten in einem wohlgeordneten und gutgeführten Staatswesen.

Diese *Stufenfolge der Kausalität* prägt sich in einer Art *W. W. von Niedrerem und Höherem* aus, derart, daß in „Unbestimmtheiten“, besser Teilbestimmtheiten und offen gebliebene Möglichkeiten des Niederen anstoßende Ent-

scheidungen des Höheren eingreifen. So muß es schon im inneratomaren Geschehen einen gewissen „Spielraum“ des Möglichen geben, damit die *übergeordnete Gesetzmäßigkeit* der Molekel, des Aggregates, des Kristalles eingreifen kann.

In der Chemie ist diese Betätigung höherer Gesetzmäßigkeit sehr deutlich wahrnehmbar. Final unbestimmte Verhältnisse — die wie Indeterminismus aussehen — werden hier z. B. herrschen, wenn in einem Kubikmeter Raum etwa nur *eine* Ammoniakmolekel oder *eine* Stickstoffmolekel neben drei oder sechs Wasserstoffmolekeln vorhanden sind. Einige Bestimmtheit thermodynamischer und sonstiger Art erhält dieses System schon, wenn die Anzahl der Einzelmolekeln vermilionenfacht oder vermillionenfacht wird, so daß die statistischen Gesetze der kinetischen Gastheorie als *Ganzheitsgesetze* zur Geltung kommen. Volle und endgültige Bestimmtheit des Geschehens aber wird oft erst erreicht, wenn „als obere Instanz“ ein geeigneter *Katalysator* anstoßgebend und richtend eingreift, so daß sich z. B. ein chemisches Gleichgewicht zwischen Ammoniak und seinen Bestandteilen einstellen kann.

Im Stoffgebilde des pflanzlichen Organismus mischen sich weiter mannigfache Wirk- und Reizstoffe, Prägungs- und Induktionsstoffe in das Spiel, indem sie die Tätigkeit der Biokatalysatoren, insbesondere der Enzyme, hemmen und enthemmen, unterdrücken und anfachen, bremsen und anstacheln, koordinieren und regulieren, indem sie also Weg weisen und lenken, entwickeln und entfalten, im Sinn und Interesse des übergeordneten Ganzheitsgebildes.

In der Tierwelt, vor allem in der höheren, gesellt sich hierzu eine *Korrelation und Staffelung von Hormonwirkungen*, ausgehend von endokrinen Drüsen mannigfacher Art und Leistung bis zur Hypophyse als beherrschender „Centraldrüse“; und darüber wieder lagert sich die *hierarchische Gliederung und Funktionsordnung* des dirigierenden Nervensystems, das für sich allein abermals mannigfache Stufenfolgen des Anstoßens und Führens aufweist, bis zu den höchsten Befehlsstufen des Zentralapparates. Im ganzen zeigt sich eine „*Obergesetzmäßigkeit*“ des Lebens (in autonomen Formgesetzen und Handlungsgesetzen), die sich auf anorganischer Gesetzmäßigkeit aufbaut und ihrerseits wieder vom Niederen zum Höheren

aufsteigt. Jedes organismische Regulieren und Dirigieren ist ein Hinweis auf Staffelung des Bewirkens, auf eine „Hierarchie der Determinanten“.

G.K. mit geregelter Staffelung der A.K. tritt in den verschiedensten Begriffsbildungen der Biologie zutage; z. B. Koordination, Korrelation und Regulation, Merkwelt und Wirkwelt, Suchorganisation und Dauerdienlichkeit (Burkamp), „harmonisch-äquipotentielle Systeme“ (Driesch), Anpassung und Variierung in ontogenetischer und phylogenetischer Entwicklung, Abstammung und Vererbung.

Auf der höchsten Erhebung der *Rangordnungspyramide* der A.K. im menschlichen Organismus thront der *Wille*, der, wenn auch an die Erhaltungsgesetze und an spezielle Gesetze der Chemie und Physik gebunden, doch infolge der mannigfachen Teilbestimmtheiten und „Freiheiten“, die noch geblieben sind, wahlhaft bestimmend und insofern handelnd und schaffend eingreifen kann. Und zwar haben wir, wie bereits angedeutet, den *Willen in seiner zweifachen Form* zu denken: den bewußten Willen des Individuums mit seiner Willenskausalität gemäß psychischen Willensmotiven und Willensimpulsen²⁰; sodann aber auch den als „großer Verstand des Leibes“ (Nietzsche) tätigen unbewußten oder unterbewußten (auch überbewußten?) Willen, oder, wenn man will, die schöpferische „Entelechie“, die zwar zur wissenschaftlichen Beschreibung und Erklärung nicht taugt, als metaphysischer Grenzbegriff jedoch schließlich ebenso unentbehrlich sein wird wie Kants „Ding an sich“. Hier ist das Gebiet „seelischer und überseelischer Führung“ (Erich Becher), als höchste Instanz irdischer A.K. und G.K. „Die Reichweite des Seelischen erstreckt sich im Körpergeschehen so weit, wie lebendige Funktionen spielen“ (J. H. Schultz)²¹.

Es ist eine sehr schwierige zu beantwortende Frage, wie weit und in welcher Weise so die „Kausalität von unten“ durch eine „Kausalität von oben“ ergänzt, gesteuert und „berichtigt“ wird. Nahegelegt ist die Auffassung, daß — ähnlich wie z. B. im Falle hypnotischer Beeinflussung — unbewußte, d. h. dem Individuum ungewußte psychische oder „psychoide Faktoren“ anstoßend und zielgebend (teleokausal, final) in die verbliebenen Freiheiten der unteren Stockwerke eingreifen und deren unvollkommene Bestimm-

heiten zu höheren Bestimmtheiten umformen insofern, als zufolge höherer Gesetzmäßigkeit, „auf höhere Weisung“ jeweils etwas geschieht, das andernfalls nicht geschehen wäre. Eine „Verletzung der Naturgesetze“ ist das in keiner Weise.

Will der Mensch seine Planungen ausführen, so kann er das nicht gegen die Naturgesetze, sondern nur mit ihnen; das Gleiche wird für die Entelechie des lebenden Körpers gelten. Die Entelechie — menschlich gesehen — vermag dasjenige, was ihr in chemischer Beziehung von Thermodynamik und Reaktionskinetik zugebilligt wird; ihr Spielraum ist nicht starrer Mechanismus, sondern das weitläufige Gebiet des Chemismus nebst Elektrokinetik. Auch gibt es Kunstgriffe wie die „Reaktionskopplung“, indem die Energie, die etwa an einer Stelle fehlt, an benachbarter passender Stelle weggenommen wird. Dazu ist bedeutsam, daß Regulierakte, steuernde Reaktionen regelmäßig nur sehr geringer freier physischer Energie bedürfen; das gibt eine beispiellose Labilität und Plastizität des Organischen.

Eine methodische Bedeutung kann hier der allerdings selber recht schwierige und heikle Begriff des *biologischen Wirkfeldes* des Individuums erlangen, eines diaphysischen Biofeldes, das bipolar und sonstwie gegliedert ist und welchem bestimmte „Gradienten“ und „Potentialgefälle“ zugehören; und zwar für jeden Typus, für jede Art anders, so daß metaphysisch Beziehungen zur Platonischen Idee sichtbar werden. (S. hierzu Gurwitsch, P. Weiß, Child, v. Bertalanffy, Monakow, André, Armin Müller u. a.²².) Das allgemeine Wirkfeld, dazu das Biofeld der Art (der Plan, die Idee des Genotypus) bildet darnach durch „Anstoß hoher Art“ die organische Gestalt; die chemische Keimstruktur samt der Umgebung gibt hierzu nur die Bedingungen, die unentbehrliche Voraussetzung, den Anhaltspunkt.

Kap. 6. Statistische Kausalität und die Frage einer „Akausalität“

Die Tatsache einer Rangfolge in dem Kausalitätsschema verbreitet auch Licht über die Stellung der *statistischen Kausalität*, die in der Ausbildung der statistischen Mechanik und weiterhin mit Recht zu hohem Ansehen gelangt ist.

Alle Statistik geht hervor aus der Beschäftigung mit *Kollektiven*, d. h. Gemeinschaften gleichartiger Individuen,

und ist insofern aus einem gewissen Zwang, ja aus der Not geboren, als sie einen „Ersatz“ da leisten soll, wo sich über die Beziehung „Ursache und Wirkung“ für das einzelne Individuum nichts Genaueres aussagen läßt. „Aus keiner noch so umfangreichen statistischen Untersuchung kann mit Sicherheit ein Urteil über das Bestehen eines Kausalzusammenhanges geschlossen werden, es kann nur sein Bestehen als mehr oder weniger wahrscheinlich dargestellt werden“ (Carl Böhm).

Aus der ausschließlichen Beschäftigung mit der Punkt- und Körpermechanik war seinerzeit die Vorstellung erwachsen, daß, wenn alle Bestimmungsstücke des Bewegungszustandes eines Körpersystems im gegebenen Augenblick gegeben seien, die neue Konstellation in einem künftigen Zeitpunkte sich mit Sicherheit mathematisch *vorausberechnen* lassen müsse (Laplace u. a.); und wir wissen, welche großen Erfolge insonderheit die Astronomie in dieser Beziehung errungen hat²³.

Ähnlich hat sich später auch das ganze Gebiet der *Erhaltungskausalität*, wie sie in der Erhaltung und Umwandlung gesetzmäßig zutage tritt, seiner Natur nach mathematischer Behandlung zugänglich gezeigt, gleichfalls in der Weise, daß man das Ergebnis der Wandlungen auf Grund ermittelter Gesetze oft mit Sicherheit voraussagen kann, spielen doch *Energiegleichungen und stoffliche Reaktionsgleichungen* überall, in Physik und Chemie eine maßgebende Rolle. Sachgemäß handelt es sich dabei meist um „summarische Erscheinungen an Kollektiven“, d. h. an Gesamtheiten von Molekeln, Atomen, Elektronen, Energiequanten usw.²⁴.

Andererseits hat schon Robert Mayer betont, daß die Anwendung der Mathematik in allen den Fällen starken Beschränkungen ausgesetzt ist, in welchen es sich um *Auslösungserscheinungen* handelt. Wer wird auch vorausrechnen können und wollen, wie groß und welcher Art die zerstörende Auswirkung einer Lawine in Beziehung auf den auslösenden Fußtritt sein wird; und ähnlich ist es hinsichtlich der Leistung eines katalysierenden Gebildes, das ja im Idealfalle unbegrenzt lange und unbegrenzt viel Ausgangsmaterial umwandeln kann, einen neuen Unendlichkeitsbegriff — den der Wirkfähigkeit — begründend.

So steht ihrer ganzen Art nach A. K. einer mathematischen Durchdringung ferner als E. K., die von vornherein auf den Zahlenwert gerichtet und angelegt ist.

Es bedeutet eine unnötige und unzweckmäßige Einengung des Kausalgedankens, wenn man Kausalität oder Naturgesetzlichkeit *gleichsetzt* mit exakter „*Vorausberechenbarkeit* des Geschehens“. Von zwei Seiten her werden für eine solche starke Beschränkungen auferlegt, *von der Tatsache der A. K. sowie von der Tatsache des Kollektivs*, dessen Einzelstücke in allzu inniger Wechselwirkung miteinander stehen, als daß sich die kausale Verstrickung genauest übersehen ließe. Schließlich wird die aus klassischer Mechanik bezogene strenge Voraussagbarkeit erst recht da nicht erwartet werden können, wo die klassische Mechanik überhaupt nicht unmittelbar gilt, also im Gebiete der Atomphysik mit ihren „Unsicherheitsrelationen“ und ihrer „Quanten- und Wellenmechanik“.

Hieraus ergibt sich, daß sich der Forscher oft — wenn nicht immer — mit „Wahrscheinlichkeit“ begnügen muß. „Wirklichkeitserkenntnis ist Wahrscheinlichkeitserkenntnis“ (E. Mally). Oder: „Wahrscheinlichkeit ist der Stoff der Welt“ (Eddington). Überall da, wo die kausalen Aussagen für das einzelne Individuum unbestimmt lauten, unbestimmt lauten müssen, tritt *statistische Kausalität als Gesetzmäßigkeit von Kollektiven* helfend ein; so in Thermodynamik, Kinetik und Atomphysik, in Genetik und Ökologie. Was auf biologischem Gebiet in dieser Weise erreichbar ist, zeigt in bewundernswerter Weise die heutige Vererbungslehre.

Grundsätzlich bleibt bestehen, daß *strenge Vorausberechenbarkeit*, vor allem des Einzelfalles, *nicht ein notwendiges Kriterium für die Konstatierung von Kausalität* im Naturgeschehen ist. Unzureichende Vorausbestimmbarkeit (Determinierbarkeit) ist nicht identisch mit tatsächlicher Unbestimmtheit oder vollkommener Akausalität (Undeterminiertheit), mit dem absoluten „Zufall“. Auch „Statistik fügt sich den allgemeinen physikalischen Gesetzen vollkommen ein, ohne daß die Forderung der Kausalität verletzt würde“ (W. Wien). „Die Unmöglichkeit aber, auf eine sinnlose Frage eine Antwort zu erteilen, darf nicht dem Kausalgesetz als solchem zur Last gelegt werden“

(Planck). So gewinnt statistische Kausalität schließlich enge Beziehungen zur G. K., zur holistischen Kausalität, zur Systemgesetzlichkeit.

Hiermit fällt auch Licht auf die vielerörterte Frage einer „Akausalität“, zu deutsch Ursachlosigkeit²⁵. Nimmt man den Begriff „Naturkausalität“ in unserem weiten Sinne (und die meisten Philosophen und Erkenntnistheoretiker, von Leibniz und Kant bis zur Gegenwart, hüten sich vor einer Einengung und Verknappung), so kann von „Akausalität“ im eigentlichen und wahren Sinne auf keinen Fall die Rede sein. Würde das doch nach unseren obigen Ausführungen bedeuten, daß entweder die Erhaltungsgesetze versagen — ein solches „Wunder erster Art“ ist bisher noch nie wissenschaftlich bestätigt und beglaubigt worden —, oder daß irgendein Anstoß absolut keine Wirkung gehabt, bzw. daß irgendein Geschehen durchaus keinen Ursprung, keine „Veranlassung“ gehabt hätte: ein Wunder zweiter Art. Hierfür könnte etwa das Verhalten eines Radiumatoms angeführt werden, das ohne ersichtlichen „Anstoß“ zu seiner Zeit zerfällt. Geschieht das aber wirklich ohne „Ursache“, ohne jeden Anstoß, ohne jede Notigung? Tatsächlich beweist die strenge mathematische Gesetzlichkeit, die sich in charakteristischen „Halbwertszeichen“ für die „spontane“ Zersetzung offenbart, daß ein bestimmter Anlaß, eine bestimmte „Auslösung“ vorhanden sein muß, die aber verborgener Art ist. *Formal* betrachtet, bildet hier wie in anderen ähnlichen Fällen das „Gesetz“ den „Anstoß“, den „bilanzfreien Impuls“.

Genau gesehen, bedeutet die sogenannte „Akausalität“ nur „Amechanität“, wie schon daraus hervorgeht, daß sie in der Vorstellungswelt theoretischer Physiker entstand, als es sich darum handelte, inneratomares Geschehen gemäß den Ergebnissen und Weisungen der klassischen Mechanik zu beschreiben²⁶. Daß es dann irgendwo ein Versagen geben kann, nimmt nicht wunder; und es ist bereits mehrfach (Planck, v. Laue u. a.) darauf hingewiesen worden, daß sich Unbestimmtheiten und Diskrepanzen ergeben müssen, wenn man Begriffe der Mechanik von Massenpunkten, wie Ort und Geschwindigkeit, da anwenden will, wo, wie bei Elektronen und Photonen, in Wirklichkeit gar nicht genau fixierte Massenpunkte vorliegen, sondern unscharf lokal-

sierte Feldzustände. Hier greifen kausale Gesetzlichkeiten anderer, neuerer Art, etwa der Quanten- und Wellenmechanik und der Kernphysik Platz. Es ist die Weise der Kausalität, daß sie oftmals wie Akausalität aussieht²⁷.

Chemie wie Physiologie und Biologie können den Begriff einer wirklichen „Akausalität“, die nicht nur „Amechanität“ für das atomare Geschehen wäre, nicht gebrauchen. Eine weitgehende *Amechanität* im Sinne der klassischen Mechanik aber wird die Forschung durchaus kalt lassen; hat sie sich doch seit dem Aufkommen exakter elektrischer und chemischer Untersuchungen bereits an den Gedanken gewöhnt, daß es sehr viele Erscheinungen in der Natur gibt, die sich nicht hinreichend gemäß den Gesetzen und Erwartungen der Mechanik als einer einzelnen physikalischen Disziplin darstellen und beschreiben lassen! „Diese Vorstellung ist uns nur ein Bild, das wir nicht anbeten“ (Boltzmann). „Es handelt sich um ein tiefgehendes Versagen der raumzeitlichen Bilder, mit denen man bisher die Naturerscheinungen zu beschreiben versuchte. — Schon lange war man sich darüber klar, daß die Gesetze der Mechanik für die kleine Welt der Atome nicht ausreichen. Etwas Ähnliches besteht in der Lehre vom Licht seit langem. — Das Kausalgesetz wird bleiben.“ (W. Wien, 1926)²⁸.

Kap. 7. Die Frage der psychischen und der psychophysischen Kausalität

Seit Jahrhunderten spielt die Frage eine große Rolle, ob es angängig ist, auf die Beziehungen von Körperlichem zu Seelischem und Geistigem die Begriffe *Ursache* und *Wirkung* anzuwenden. Legen wir wieder die Zerfällung der Kausalität in A.K. und E.K. zugrunde, so ist klar, daß hier von einer E.K. in keiner Weise die Rede sein kann. Eine seelische und geistige „Energie“ in dem Sinne einer besonderen kommensurablen Form der Energie — neben mechanischer, thermischer, elektrischer usw. — gibt es nicht, und es ist irreführend, wenn immer noch hie und da eine „Umsetzung“ von Hirnenergie in seelische Energie u. dgl. behauptet wird. Wird dennoch von Lebensenergie, psychischer Energie, Willensenergie u. dgl. gesprochen, so handelt es sich um eine ganz andere *Bedeutung* des Wortes „Energie“ als in der Physik²⁹.

Was die A.K. anlangt, so besteht durchaus kein Hindernis, etwa den physischen Reiz als „Ursache“, d. h. Anlaß der physischen Empfindung, und umgekehrt den psychischen Willensakt als Ursache, d. h. *Anstoßursache* der Übermittlung des Nervenimpulses und der Muskelbewegung zu bezeichnen. Chemikalien, z. B. Rauschgifte, können psychische Vorgänge ursächlich beeinflussen, und Affekte umgekehrt Prozesse der Körperlichkeit (s. Neurosen, Psychosen, Psychotherapie usw.). Die *Anstoßursache* steht, wie das Beispiel des Katalysators zeigt, an sich *außerhalb der Energiebilanz des Systems*, also außerhalb aller Gleichheits- oder Gemäßigtheitsbeziehung; sie ist ein „bilanzfreier Impuls“; und die phänomenologische Verschiedenartigkeit des Seelischen und des Körperlichen ist für das A.K.-Schema bedeutungslos. Sind doch stoffreies Energiefeld und stoffliches Atom gleichfalls heterogen genug, und dennoch findet W.W. und gegenseitiger „Anstoß“ zwischen beiden statt. Zudem steht es jedermann frei, sich den *psychischen Anstoß*, die psychische Wirkung *zugleich* als bestimmten ganzheitlichen *physischen* Zustand des Organismus zu denken.

Demgemäß ist es der wissenschaftlichen Forschung nach wie vor unbenommen, *heuristisch sowohl von psychophysischem Parallelismus wie von psychophysischer Wechselwirkung zu sprechen*. Psychophysischer (nicht psychomechanischer!) Parallelismus ist, wie das Wort „parallel“ zeigt, eine bloße Analogie, ein bloßes Figment³⁰, und es ist klar, daß ein solcher bildlicher Vergleich nicht überbeansprucht werden darf. Man darf also — wie schon v. Kries und Wundt betont haben — nicht etwa erwarten, daß ein ganz bestimmter physischer Einzelzustand einem ganz bestimmten psychischen Teilzustand entspricht. Daß *ganzheitliche* oder *gestaltliche Beziehungen* zwischen Physischem und Seelischem bis in die „höchsten Regionen“ vorhanden sind, beweisen u. a. die „Bergerschen Schwingungen“ der Hirnrinde, die bei lebhaftem geistigem Nachdenken ein anderes Bild, einen anderen „Ausdruck“ zeigen als bei uninteressiertem rezeptivem Verhalten. Ferner auch: „Was wir im Bewußtsein verbannen, wird im Körper wirksam, und was wir ins Bewußtsein ziehen, verliert an seiner leiblichen Kraft“ (V. v. Weizsäcker).

Andererseits ist es auch durchaus berechtigt, von *psychophysischer W.W.* zu sprechen, wenn man sich bewußt ist, daß es sich lediglich um eine W.W. in bezug auf A.K. handelt, nicht aber um irgendwelches gegenseitiges „Umsetzungsverhältnis“ der E.K. Die Frage „Wechselwirkung oder Parallelismus?“ ist im Grunde sinnlos; beides sind fiktive und dabei „komplementäre“ Bezeichnungen für dieselbe Sache, genauer: für Sachverhalte auf dem gleichen Erscheinungsgebiet.

Nur für eine eng *mechanistische* Interpretation bestehen hier Schwierigkeiten und Widersprüche, nicht aber für eine allgemeinere kritisch-kausale Betrachtung. „Alles Psychische ist irgendwie an Hirnzustände gebunden, und *verschiedenen* seelischen Vorgängen müssen auch *verschiedene* Hirnvorgänge entsprechen“ (Bumke). „Der Leib ist die Erscheinung der Seele, die Seele der Sinn des lebendigen Leibes“ (L. Klages). „Ausdruck“ ist „ein Urphänomen der Lebenserscheinungen“ (Scheler). Für das seelische *Besitztum*, den geistigen Erinnerungsschatz ist noch kein physisches Korrelat gefunden worden; seelisch-geistige *Tätigkeit* jedoch erscheint physisch, d. h. stofflich energetisch gebunden.

Nie befriedigtes metaphysisches Denken wird sich mit einem äußeren und rein formalen „Dualismus“ nicht begnügen wollen; es wird den Beziehungen, die äußerlich als solche der A.K. und entsprechender W.W. zwischen heterogenen Gebieten erscheinen, schärfer nachgehen und wird dann entweder zu einer Art „Identitätsphilosophie“ oder auch zu einem ausgesprochenen (harmonisierten) Dualismus gelangen; doch liegen derartige Fragen außerhalb der empirischen Naturforschung³¹.

Kap. 8. Wie ist mit Naturkausalität Plan und Ziel verträglich?

Auch hier werden wir wieder in erster Linie an A.K., nicht an E.K., zu denken haben, indem wir abermals die *tatsächlich mögliche Einwirkung der Psyche auf Körperliches und Stoffliches ins Auge fassen*. Jede echte objektive Telie, jede wahre Zielstrebigkeit und Planmäßigkeit setzt eine subjektive, vorausschauende und planende psychische Tätigkeit voraus, die einen Erfolg, eine Wirkung

in Gedanken vorausnimmt und danach die geeigneten physischen Ursachen, d. h. Anstoßursachen, für die Erreichung jener vorgedachten Wirkung „setzt“; die Ursache wird so zum Mittel, die erreichte Wirkung zum Ziel und Zweck (Zielgesetzlichkeit, Finalität).

Das einem sturen Allmechanismus entsprossene Vorurteil, daß mit den „ehernen Naturgesetzen“ jede Teleologie unverträglich sei, findet schon Widerlegung durch die Tatsache, daß die A.K. selber, mit ihren Fragen: woher der Anstoß? wozu der Anstoß? nach plan- und zielgesetzlicher Ergänzung verlangt. Die Naturordnung ist weitherzig und weitsichtig genug, Spielraum für mannigfache Willensbetätigung, und zwar auch solche unwahrscheinlicher Art zu bieten, von dem bewußten Willen des Menschengenies bis zu einem uns unbewußten (oder überbewußten), regelnden und steigernden schöpferischen *Wirkwillen in der Natur*.

Daß in *bewußter und gewollter Handlung*, auch schon beim Tier, Zielstrebigkeit existiert, und daß sie sich ohne weiteres in das Schema der A.K. bzw. G.K. logisch widerspruchsfrei einordnen läßt, ist nach unseren obigen Betrachtungen klar. Besteht doch in einem lebenden Körper, zumal in dessen Nervensystem nebst dem dem Willen gefügigen Muskelapparat, eine derartige *Labilität und Plastizität*, eine Gespanntheit und Bereitheit, daß die mannigfachen freien Energien sich in kombinatorisch verschiedenster Weise „entladen“ können, je nach dem Anstoß des Willens, der auf historischer Reaktionsbasis im gegebenen Moment etwa ein Zugreifen, ein Schreiten oder eine akustische Lautgebung befiehlt.

Undeutlich wird indes die Beteiligung des psychischen Anteiles und demnach des Zielgedankens schon bei der *Instinkthandlung*; und bei *organischer Formbildung*, bei *Anpassung und Entwicklung* geraten wir ganz in das dunkle, ja unheimliche Gebiet des „Unbewußten“, für das uns nur gewisse Wahrscheinlichkeitsrückschlüsse analoger Art möglich sind. „Alles Lebendige muß in die Zukunft weisen“ (K. E. Ranke). Die strenge Wissenschaft wird nach wie vor gut tun, sich hier an Kant und Schopenhauer zu halten und *Ziel und Zweck im Naturgeschehen lediglich als ein regulatives Prinzip*, als „hodegetisches

Schema“ (Schopenhauer), als „methodologische Kategorie“ (Rickert) oder als „Figment“ anzusehen. Im Hintergrund aber mag die Überzeugung stehen, daß — nach Leibniz, Kant, Lotze, Wundt und anderen — *irgendwie eine höhere Harmonie zwischen Kausalität und Teleologie, zwischen ursächlicher Notwendigkeit und sinnvoller Zielstrebigkeit besteht*, die menschliches Verstehen überschreitet. „Kausale Bestimmtheit und Zweckschaffen sind durchaus miteinander vereinbar“ (E. Becher). „Die mechanische Naturauffassung kann nicht nur, sondern sie muß mit einer teleologischen Weltauffassung verbunden werden“ (Weismann 1876). Jedoch: „Die letzten Möglichkeiten der Wirklichkeitsdeutung sind nicht beweisbar“ (Ungerer). Die Ordnung der Naturkausalität kann letzthin zugleich die Weise einer Welttelie, einer kosmischen Zielstrebigkeit sein.

Zweckmäßigkeit und Vollkommenheit gibt es in der Natur, nach Schopenhauer, durch die Einheit des schaffenden Willens. In jedem Organismus findet die „Einheit der erscheinenden Idee“ ihren Ausdruck „in der nothwendigen Beziehung und Verkettung jener Theile und Entwicklungen mit einander, nach dem Gesetz der Kausalität“. „Ursache und Wirkung“ wird so zu „Mittel und Zweck“ (W. I. D. I, 187). Schopenhauer unterscheidet: a) „Innere Zweckmäßigkeit“, d. h. „eine so geordnete Übereinstimmung aller Theile eines Organismus, daß die Erhaltung desselben und seiner Gattung daraus hervorgeht, und daher als Zweck jener Anordnung sich darstellt“. b) Äußere Zweckmäßigkeit, d. h. „ein Verhältniß der unorganischen Natur zu der organischen überhaupt, oder auch einzelner Theile der organischen Natur zu einander“ (W. I, D. I, 184).

In bezug auf *Entwicklung* ist nach Aschoff, im Sinne von v. Uexküll und Buddenbrock, zu „vermuten, daß eine richtende Tendenz von Anfang an mit im Spiele gewesen ist“. Selbst Darwin war „überzeugt, daß natürliche Zuchtwahl das hauptsächlichste, wenn auch nicht das einzige Mittel zur Abänderung der Lebensformen gewesen ist“. „Ohne *schöpferisches Prinzip* ist die Entstehung der Arten nicht zu verstehen“ (K. Hildebrandt).

Jeder tierische und pflanzliche Organismus benimmt sich in seinem physiologischen Gebaren in vielen Beziehungen so, als ob ein versteckt-individuelles oder auch ein uni-

verselles planendes und kombinierendes Denken, und als ob also eine „Entelechie“ tätig sei, die sich der Naturgesetzlichkeit nebst deren „Freiheiten“ zur Erreichung ihrer Zwecke bedient. Andererseits jedoch hat es nicht selten den Anschein, als ob das Wissen und Können dieser Entelechie beschränkt wäre, als ob sie leicht irrte und Fehler machte, und wie wenn sie mit der feindlich eindringenden Umwelt und mit entsprechenden starken Störungen der Inwelt des Organismus nicht fertig würde.

Die Frage des „echten“ *Vitalismus* (= Psycho-Vitalismus) unserer Tage läuft darauf hinaus: Inwieweit kann und soll im Reiche des Lebenden ein dem Subjekt unbewußter psychoider oder entelechialer Faktor (triebhafter Wille) als anstoßend, richtend, koordinierend, „ganzmachend“ und zielgebend angenommen werden? Vielleicht wird der Psychophysiker darauf hinweisen, daß jeder einwandfrei bekannte psychische Zustand gleichzeitig ein ganzheitlicher stofflich-energetischer Zustand ist, so daß schließlich doch wieder Körperliches auf Körperliches, Physisches auf Physisches wirkt. Andererseits indes: wenn „alles Physische zugleich ein Metaphysisches ist“ (nach Schopenhauer), ist dann eine jede physische A.K., auch im Anorganischen, für eine höhere metaphysische Betrachtungsweise zugleich eine Art psychischer A.K.? Auf die letztere Weise kommt man zu einer Naturanschauung, die unter Verallgemeinerung der Begriffe „Leben“, „Seele“, „Willen“, „Trieb“, zur „Innerung“ überhaupt, den *entelechialen Gedanken von der organischen irgendwie auch in die anorganische Natur überträgt*, in Fortführung tiefsinniger Naturbetrachtung von Paracelsus, Kepler, Stahl, Herder, Goethe, Schelling, Schopenhauer, Fechner u. a. m. (Fechners „Tagesansicht“, besser vielleicht: Feiertagsansicht!). S. hierzu S. 440.

Hier aber eröffnet sich eine der gewaltigsten *Antinomien zwischen physikalischer Wissenschaft und metaphysischem Zweckdenken*. Wird nach Schopenhauer das Verhältnis Ursache-Wirkung in der Natur als ein *Willenswirken oder Bewirken in der Natur* gesehen, so kann man schließlich über die Eigenziele jedes Wesens hinaus nach dem Ziele des ganzen *Weltverlaufes* fragen. Ist dieser nach R. Clausius und W. Thomson der „Wärmetod des Weltalls“, das schließliche Erlöschen des Universums, auf Grund einer unabweis-

lichen Zerstreuung oder Dissipation der Energie, unter Ausgleichung aller Intensitätsunterschiede? Kommen ein kalter und ein heißer Körper zusammen, so resultiert ein Gesamtgebilde von mittlerer Temperatur; positive und negative Elektrizität suchen Ausgleich: chemische Reaktionen geschehen mit der Tendenz eines Gleichgewichtes, d. h. einer Zunahme der Entropie, einer Abnahme der freien Energie des Systems bis zum Minimum dieser.

Wenn dennoch, nach dem Vorbilde von R. Mayer, zahlreiche Forscher und Denker an jenem in Aussicht gestellten „Wärmetod“ der Erde (nach dem Beispiel des Mondes) — und schließlich des Weltalls — Anstoß genommen und dem Satze der Zunahme der Entropie den Gedanken einer *Ektropie* (Aufwertung nach Auerbach u. a.) oder *Palintropie* (Gegenwertung oder Gegenwirkung, nach K. Wagner), zumindest für das Reich des Lebendigen, entgegengestellt haben, so kann in Kürze folgendes dazu gesagt werden³²,

Erstens: Jener düstere Entropiesatz gestattet doch *Verzögerungen und Aufhaltungen*, vor allem im Reiche des Chemischen. Bei irdischen Temperaturen geschehen zahllose Vorgänge nicht momentan, plötzlich und augenblicklich nach Art einer Explosion, sondern allmählich und langsam, unter Überwindung von Widerständen und nach bestimmten Zeitgesetzen. Dazu treten nach der Stufenregel von Horstmann - W. Ostwald - Skrabal im Verlaufe chemischer Reaktionen, zumal unter Beteiligung richtender Katalysatoren, nicht ohne weiteres die stabilsten Körper eines totalen Gleichgewichtes in Erscheinung, sondern *es entstehen relativ beständige, „metastabile“ Zwischenstufen*, die erst allmählich in das wahrhaft stabile Endprodukt übergehen. Ist doch der pflanzliche und der tierische Körper stofflich betrachtet, im wesentlichen eine Ganzheit aus unwahrscheinlichen und unwahrscheinlichsten Kohlenstoffverbindungen, die in Gegenwart von Luftsauerstoff, streng thermodynamisch genommen, nicht „daseinsberechtigt“ sind, sondern explosiv in Wasser, Kohlensäure, freien Stickstoff u. dgl. übergehen sollten („verkappte Explosivstoffe“)!

Die Kohleschätze der Erde geben ein besonders deutliches Beispiel dafür, wie es durch die „Erfindung“ des organischen Lebens der Natur gelungen ist, *Verzögerungen in der irdischen Entwertung der Energie* — hier der *strahlenden*

Sonnenenergie — zu erreichen. In jenen Kohlenschätzen finden sich ungeheure Mengen einstiger strahlender Sonnenenergie aufgespeichert, einer Entfesselung im menschlichen Gebrauch harrend. Wären jene urzeitlichen Organismen, von denen die Kohlen irgendwie stammen, nicht vorhanden gewesen (hätten sie sich nicht bilden können), so würde jene strahlende Sonnenenergie, die sie hervorgerufen hat, längst „in alle Winde verstreut“, d. h. durch einfachen thermischen Ausgleich entwertet sein.

„Betrachtet man das *ganze* System, Organismus — Außenwelt, so findet man keine Verletzung der thermodynamischen Gesetze“ (Donnan). Dadurch aber, daß, wie vor allem W. Ostwald nachdrücklich hervorgehoben hat, der *Zeitfaktor* gerade in den wesentlichen chemischen Gestaltungen thermodynamisch unbestimmt gelassen ist, hat sich die Möglichkeit einer Bildung organischen Lebens mit Assimilation und Dissimilation ergeben: nicht unter Aufhebung des Entropiegesetzes, sondern als großmütig gewährte *Fristgewährung im Vollzug!*

Andererseits aber verstößt es gegen das Gebot wissenschaftlicher Vorsicht und Exaktheit, wenn der Mensch mit seiner Beschränkung auf einen bestimmten Erfahrungsraum Schlüsse auf den *gesamten Kosmos* ziehen will. Maxwell, Arrhenius, Nernst u. a. haben physikalische Möglichkeiten einer „Umkehr“ auf dem „natürlich-notwendigen“ Wege von Ordnung zu Unordnung, von Differenz zur Ausgleichung erörtert, der Frage folgend: Wie kann der Eimer, nachdem er auf dem Grunde des Schachtes angekommen ist, wieder in die Höhe gelangen? Vorgänge wie „kosmische Strahlung“ lassen ahnen, daß auch in energetischer Beziehung den destruktiven Tendenzen und Potenzen der Welt schöpferische Tendenzen und Potenzen gegenüberstehen, die den nach R. Mayer „sterilen“ Satz: „Aus Nichts wird Nichts“ zuschanden machen! Man braucht dann aber nicht ohne weiteres an eine „ewige Wiederkehr des Gleichen“ zu denken.

Es widerstrebt jedem höheren Gefühl, daß ein „Wille zu schließlicher Ohnmacht“ die Natur beherrschen solle, statt eines „Willens zur Macht“, zu steter Macht, zu fortschreitender Macht und Fülle. Durch Analogieschluß wird gefordert „ein Urwille als ungeheure, mit höchsten Seelen- und

physischen Kräften ausgestattete Ureinheit, der auch ungeheure Geistigkeit zukommt. Alle seine Arbeit ist synthetisch oder künstlerisch“ (Carl Frey). „Was das Göttliche sinnt, wird Gestalt“ (Schleich). „Die ewige Vernunft möchte ich mir aber nicht getrauen, mit kritischem Maßstabe ausmessen zu wollen“ (Robert Mayer). Ein *Glaube* an Plan und Sinn des Weltgeschehens ist mit strenger wissenschaftlicher Kausalität durchaus vereinbar³³.

Kap. 9. Freiheit oder Unfreiheit? Freiheit und Gebundenheit

Die Tatsache der schwer übersehbaren Verstrickung der Motive in menschlicher Willenskausalität, zusammen mit der weiteren Tatsache einer Staffelung auch dieser Form der A.K., mit einem Komplementarismus des Wirkens von unten und von oben, läßt es von vornherein so gut wie sicher erscheinen, daß die Frage: Ist der Mensch frei oder unfrei? viel zu unbestimmt ist, als daß sie beantwortet werden könnte. Statt dessen muß die Frage lauten: *Inwiefern, in welchen Richtungen und Beziehungen ist sein Wille in den oder jenen Entschlüssen frei oder gebunden?* Bei der Beantwortung aber ist nicht nur an das Ideal eines Kulturmenschen schlechthin zu denken, sondern man wird allgemein anthropologisch statt individualistisch verfahren, indem man die verschiedensten Verkörperungen der Idee Mensch ins Auge faßt, vom Früh- und Naturmenschen durch den Lauf der Geschichte bis zu den heutigen rassischen und völkischen Gestaltungen in Geno- und Phänotypus. Ja, damit nicht genug, man wird die ganze Stufenreihe der Tierwelt bis zum Einzeller vergleichsweise mit heranziehen müssen — nur die Pflanzenwelt als eindeutig auf Reize reagierend darf vielleicht außer acht bleiben. Vor allem werden die Begriffe „Freiheit“ und „Gebundenheit“, „Determinismus“ und „Indeterminismus“ genau zu definieren sein.

Im Hinblick auf die Weitschichtigkeit des Problems begnügen wir uns hier mit einigen Andeutungen.

Außer Betracht kann das *Reich des Anorganischen* bleiben als das „Reich der Notwendigkeit“ nach R. Mayer und Schopenhauer³⁴. Wie Planck u. a. mit Recht betont haben, setzt die Gleichmäßigkeit des Naturlaufes im großen mit ihren quantitativ stark beschränkten und wohldefinierten

Schwankungen und Unbestimmtheiten eine Regellufigkeit auch im kleinen, eben als *Bestimmtheit durch das Gesetz*, voraus. Sobald etwa nur ein Funke von „kausalem Nihilismus“ irgendwo vorhanden wäre, müßte auch „statistische Kausalität“ hie und da versagen. Nochmals sei betont, daß „Amechanismus“ nicht „Akausalität“ ist; wohl aber ist Naturkausalität oder das Wirken in der Natur viel beweglicher, weit freiebigiger und „liberaler“, als die Mechanisten alten Schlages gemeint haben.

Die Frage einer wirklichen *Freiheit* im Sinne der *Möglichkeit einer Wahlhandlung*, bei aktivem Reagieren auf einen Reiz von außen oder innen, auf einen Befehl von außen oder ein Motiv von innen, im Sinne des „Ja- oder Neinsagens“ (Driesch), tritt *erst im organischen Leben* auf. Wohl kann ein Katalysator schon im Anorganischen eine Reaktion in die oder jene Bahn lenken, jedoch ein bestimmter Katalysator unter bestimmten Umständen nur in eine bestimmte „vorgeschriebene“ Bahn; Änderung der Bahn, der Reaktionsrichtung, verlangt Wechsel des Katalysators. Der Biokatalysator kann durch Hormone und andere Wirkstoffe gehemmt oder enthemmt, aktiviert oder deaktiviert werden; das Nervensystem kann in weitem Umfang regulierend und koordinierend auf Wirkstoffe und Reizstoffe einwirken; der Wille schließlich kann durch Vermittlung des Nervensystems usw. ganze Muskelgruppen *so oder so* zur Tätigkeit veranlassen; und zwar auf kompliziertesten physiologischen Wegen, von denen der das Wollen begleitende individuelle Verstand keine Ahnung hat. Der Organismus ist keine „Maschine“, auch nicht ein „mikrophysikalisches System“ schlechthin (nach P. Jordan), sondern ein gestaffeltes System mit Rangordnung und Zielsetzung, das sich u. a. *auch* mikrophysikalisch betrachten läßt.

So gibt es eine *Abstufung* des Eingreifens, Lenkens und Veranlassens in einer Rangordnung stofflich-organismischer Gebilde, an deren Spitze „plötzlich“ ein stofflich Unbestimmtes, ja stofflich undefinierbares dirigierend und koordinierend erscheint: *der Wille als „hohes Ende“ von anorganischer Strebung und unbewutem organischem Trieb*. Im wesentlichen gilt noch heute, was Schopenhauer mannigfach als letzte erreichbare Erkenntnisse über *Motivgesetzlichkeit und Freiheitsbewutsein* (Freiheits- und Verant-

wortlichkeitsgefhl) gesagt hat: „Im Grunde aber sind wir mit der Welt viel mehr Eins, als wir gewöhnlich denken: ihr inneres Wesen ist unser Wille: ihre Erscheinung ist unsere Vorstellung“ (W. II, D. II, 555). „*Alles, was geschieht, vom Größten bis zum Kleinsten, geschieht nothwendig. Quidquid fit necessario fit*“ (FW., D. III, 530). „Mit Einem Wort: Der Mensch thut allezeit nur was er will, und thut es doch nothwendig“ (FW., D. III, 568). „Es kommt alles darauf an, was Einer ist: was er *thut*, wird sich daraus von selbst ergeben, als ein nothwendiges Korollarium“ (FW., D. III, 567). „Eine ganz andere Handlung“ war „sehr wohl möglich und hätte geschehen können, *wenn nur Er ein Anderer gewesen wäre*. — Die *Verantwortlichkeit*, deren er sich bewußt ist, trifft daher bloß zunächst und ostensibel die That, im Grunde aber *seinen Charakter*; für *diesen* fühlt er sich verantwortlich. Und für *diesen* machen ihn auch die Andern verantwortlich“ (FW., D. III, 563).

„*Nothwendigkeit ist das Reich der Natur; Freiheit ist das Reich der Gnade*“ (W. I, D. I, 478). Schließlich: „Die Natur fhrt eben den Willen zum Lichte, weil er nur am Lichte seine Erlösung finden kann“ (W. I, D. I, 474).

Schopenhauers metaphysische Meinung aber, daß der Mensch sein innerstes Wesen, sein „esse“ selbst transzendent geschaffen und erzeugt habe³⁵, muß nicht geteilt werden; die Tatsache der Vererbung auch von Charaktereigenschaften — vor allem an eineiigen Zwillingen sichtbar — rückt den Schwerpunkt so sehr nach der Seite der *Nothwendigkeit* als einer kausalen Bedingtheit alles Seins und Geschehens, daß eine volle „metaphysische Freiheit“ des Subjektes schwer damit vereinbar ist. Der Schwerpunkt menschlicher Freiheit liegt in dem Vorhandensein des Freiheits- oder Unabhangigkeitsgefhls; Freiheit des Willens ist nach Nietzsche „ein vielfacher Lustzustand des Wollenden, der befiehlt und sich zugleich mit dem Ausführenden als Eins setzt“³⁶.

Kap. 10. Metaphysischer Triumph des aktiv-personalen über den neutral-verbalen Kausalbegriff: Metapsychik

Jede echte Teleologie muß, wie wir gesehen haben, nicht nur ein *gezieltes Etwas*, sondern auch ein *zielendes Etwas* voraussetzen, und dieses kann, weil zu einer freien Aus-

wahl unter verschiedenen Möglichkeiten verpflichtet, nur ein — mehr oder minder mit „Logos“ identischer — universaler „Wille“ sein. Werden die Vorgänge in der Natur unter diesem Gesichtspunkt, also von oben statt von unten betrachtet, so wird aus dem blassen „Geschehen“ ein kräftiges „Getanwerden“ und „Bewirktwerden“. Da aber jedes *Tun* einen *Täter* voraussetzt, so kehrt hier der aktive persönliche Kausalbegriff des Tuns aus seiner von der Wissenschaft verhängten Verbannung zurück; in der Metaphysik wird wieder geduldet, ja gefordert, was die Wissenschaft aus ihrer eigenen, notwendig puritanischen Methodik fernzuhalten genötigt ist: Es handelt, schafft, bewirkt, formt, entwickelt, verwirklicht Pläne (in theistischer Färbung schließlich: *Er*)³⁷. „Wir müssen den Versuch machen, die Willenskausalität als die einzige zu setzen“ (Nietzsche). Metapsychik. Seele und Geist sind höchste „richtunggebende Kraft“ (Emil v. Behring).

Nach Leibniz und Lotze wird man dem allwaltenden und allwirkenden Geist des Universums das Prädikat der Persönlichkeit, einer *Überpersönlichkeit*, nicht versagen dürfen. Dazu gehört, daß der Welt-Entelechie auch höchste schöpferische Phantasie zuerkannt wird, eine Phantasie, wie sie irdisch — als Abglanz, Zeichen und Verheißung — im Spielwirken des gottbegnadeten Genius mit seinen Schauungen und Eingebungen offenbar wird. Kann doch das Ganze des Kosmos schöpferisch nicht schlechter gestellt und minder bemittelt sein als irgendeines seiner Glieder! „So ist die sogenannte Natur eine Art Seele“ (Plotin)³⁸.

Jede Metaphysik, die etwas anderes sein will als bloße systematische Verknüpfung abstrakter Begriffe, geht darum von einer *Anthropisierung* aus, indem menschliche Grundeigenschaften übersteigert und analogiehaft in die gesamte Umwelt, die organische wie die anorganische, hinausverlegt werden. Nicht immer ist es der „Wille“, der dabei als Urbegriff dient, oft auch werden die Begriffe Leben, Seele, Geist, auch Phantasie, das Unbewußte usw. der „Aus-schweifung“ und „Schwärmerei der Vernunft“ zugrunde gelegt. All dieses ist berechtigt, solange man sich der Beschränktheit und Unzulänglichkeit derartiger Schlüsse vom Teil auf das Ganze bewußt bleibt.

Das „Primäre“, das „Prinzip“, der „Archäus“, das „innere Wesen“, der „Kern“ der Erscheinungen ist „im Tiere und Menschen das Selbe“: „der Wille des Individuums“ (M. D. III, 710). Und weiter: „Auch ist allerdings der Wille das Centrum, ja, und der Kern der Welt“ (P. II, D. V, 90). Für den menschlichen Intellekt aber gilt: „Der Wille . . . hat sich auf dieser Stufe ein Licht angezündet . . .“ (W. I. D. I, 179).

Bei neueren Autoren lesen wir weiter: „Es gibt überhaupt keine tote Natur. Alles Mechanische ist zuletzt ein Lebendiges. — Leben der einzelnen Gestalt kommt her aus ewigem All-Leben und kehrt ins ewige Leben wieder ein“ (Kriek). Nach A. Bier ist „die wichtigste Seelenkraft . . . der Wille, bei der Pflanze der unbewußte Wille“. Weiterhin Bain: „In Summa: nicht Geist als Ursache des Körpers oder Körper als Ursache des Geistes, sondern Geist-Körper als Ursache des Geist-Körpers.“ Die Welt erscheint dann als ein „Stufenreich seelischer Wesen“ mit einer „Führerrolle des Seelischen“ (E. Becher), als ein „System von Entelechien und Entelechiengruppen“ (K. Sapper). Die ganze Natur wird zu einem „Stufenreich von Willensträgern“ als „Wesenheiten seelischer Art. — Die Natur gehorcht Führungsfeldern vom Seinsrang der Potentialität; die niedern sind mathematisch formulierbar, die höheren folgen Sinn-gesetzen“ (A. Wenzl). „Die Welt ist nicht allein Logos, sondern ist zugleich und vielleicht im allertiefsten Grunde Eros, sie ist Vernunft und Wille in einem“ (Bavink)³⁹. „Die Natur ist ein Handeln“ (J. W. Ritter), ein sinnhaftes Handeln.

„Es ist alles von Geist und von Ideen belebt“ (Schleich). „Das Seelische der Natur setzt sich im Seelischen der Kultur fort“ (J. Reinke). „Auf das anorganisch-mechanische Geschehen wie auf das Leben anwendbar ist der Begriff der Kraft [—]. Somit erscheint mir diejenige metaphysische Deutung der Welt als die wahrscheinlichste, die die gesamte Wirklichkeit als einen Inbegriff von zielstrebigen Kräften faßt. Dynamische Metaphysik bietet noch den Vorzug, daß in ihr auch die *Wertlehre* eingeeffnet werden kann. — Das Ich und sein Erleben sind der Schlüssel zu den verborgenen Tiefen der Welt“ (August Messer).

Dennoch bleibt für menschliches Erfassen ein *Wesensunterschied des Wirkens* in „Belebtem“ und „Unbelebtem“

nach wie vor bestehen⁴⁰. Können wir uns schon in das innere Wesen und Geschehen, die „Innerung“ eines Tieres, einer Pflanze schwer „versetzen“, wie sollten wir dann das innere Wesen eines Kristalles, eines Felsens, eines Wasserfalles, eines Gewitters, eines Sonnendaseins anders als in poetischem Gleichnis erfassen können! Daß ein solches „inneres Wesen“ aber existiert, daran kann für höhere „Feiertagsbetrachtung“ kaum ein Zweifel bestehen.

Mehrfach wird auf die empirisch unüberbrückbare Kluft zwischen Belebtem und Unbelebtem hingewiesen. „Willkürlich ist es, dem Anorganischen Psychisches zuzuschreiben“ (Scheler). „Es ist ein Selbstbetrug, zu glauben, daß die wirklichen Steine und Pflanzen Seelenlaute in sich hätten“ (Burkamp). Nur im Lebewesen waltet nach Driesch die „Entelechie“ als Vitalagens, ganzmachend, entwickelnd, nach Plan und Sinn bestimmend, letzthin als eine „Kausalität im Rahmen des Überpersönlichen“. Durchweg aber sei es so, „daß ein seelenartiges Agens, also „Entelechie“, auf Materie in irgendeiner Form lenkend wirkt“. „Das große Problem“ für den vertretenen Dualismus, ja Trialismus (Materie, Seele, Ichheit) sei, „wie denn Entelechie auf Natur wirkt“⁴¹.

Schluß

„Das Kausalgesetz ist weder richtig noch falsch, es ist vielmehr ein heuristisches Prinzip, ein Wegweiser . . . den die wissenschaftliche Forschung braucht, um zu fruchtbaren Ergebnissen zu gelangen“ (Planck). Ursprung und erster Sinn solchen kausalen Denkens kann nur im Biologisch-Anthropologischen gesucht werden; und zwar steht dieses Denken im Dienste der Aufgabe der Selbstbehauptung, die jedem Einzelwesen gestellt ist und die zu ihrer Erfüllung um so reichere Entfaltung psychisch-geistiger Mittel verlangt, auf je höherer Stufe der Organismus sich befindet. So dient das Kausalitätsvollziehen nicht nur einem einfachen Ordnen subjektiver Erlebnisse (von dem wir ausgegangen sind), sondern dieses Kausaldenken und -schließen gibt dem Menschen auch die Möglichkeit, sich in der objektiven Welt immer besser zurechtzufinden und — in fortschreitender Beherrschung — sich zu „erhöhen“ und zu steigern, in menschlicher Gemeinschaft kulturell fortzuschreiten.

So hoch sich kausales Denken allmählich in das Reich des reinen Geistes zu erheben vermag; das Kausalprinzip wird immer eine Angelegenheit menschlicher Denkerwartung gemäß menschlichem Denkbedürfnis und Denkmöglichkeiten bleiben. Hier liegen seine Ursprünge, seine großen Möglichkeiten, aber auch seine Schranken. Indes ist Kausalität nicht etwa eine enge Zwangsjacke, die wir den Dingen anlegen müßten; sie ist vielmehr ein weiter Rahmen, innerhalb dessen mancherlei Formen der Ordnung unserer Erlebnisse behufs Beherrschung der Welt vollzogen werden können; oder mit einem anderen Bilde: ein Gefäß mit vielen Öffnungen, das mancherlei Freiheiten des Ausströmens läßt.

Die Formen des Kausalvollziehens sind mannigfach, der Mannigfaltigkeit der Seins- und Wirkensformen der Natur entsprechend. Für die Wissenschaft stellt sich „Kausalität“ dar als ein duales, ja sogar multiples System, das sich in der „Ganzheitskausalität“ (Systemgesetzlichkeit) samt ihrer Rangordnung zentriert; zugleich als ein System, in welchem neben Notwendigkeit auch Freiheit ihre Stätte findet. Über der Mannigfaltigkeit kausaler Zuordnung thronet der eine kausale Gedanke. Letzthin muß der Forscher allerdings darauf verzichten, mit seinen Kausalitätsbetrachtungen nebst telischem Beiwerk das eigentliche „Wesen der Dinge“, oder „Ding und Vorgang an sich“ einzuholen. Alle wissenschaftliche Erkenntnis ist anerkanntermaßen nur ein Weg zur Wahrheit. Auf diesem Wege zur Wahrheit aber ist der Kausalbegriff unser zuverlässigster Führer. „Wirkliche Wissenschaft ist durch Erkenntnis der Kausalzusammenhänge möglich“ (W. Wien).

„Vertrauen und Treue sind die Fundamente, auf denen die Wissenschaft ruht“ (Madelung). Humankultur fördernde Tätigkeit und faustisch vorwärtsdrängende Kausalforschung entspringen dem gleichen Quell. „Alle Strebensziele müssen sich als Werte darstellen. — Werte, die mir innerlich als leitend, erhebend und verpflichtend aufgegangen sind, haben Weltbedeutung“ (Messer). Wille zum Wert, Dienst am Wert ist kulturschaffend. Es gilt, seelisch-geistige Werte, vor allem Gemeinschaftswerte, ihrer Rangordnung gemäß pflegen, d. h. erhalten und steigern.

Sicher kann der Glaube unerschüttert bleiben, daß dem subjektiven Prozeß kausalen und ganzheitlichen Ordnen

mit seiner zunehmend Werteschaffenden Tendenz auch irgendwelche objektive kosmische Ordnung, vielleicht eine solche fortschreitender Art entspricht. Handelt es sich auch nur um Erzeugnisse des in Wechselwirkung mit der Umwelt stehenden menschlichen Intellektes: entwickelte menschliche Vernunft wird wohl irgendwie in Beziehung stehen zur Allvernunft, der menschliche Wille zum Gesamtwillen. Ist doch die menschliche Natur ein Teilausdruck der Allnatur, die als dauernde Schöpfung lebt und webt. —

Man kann sich versucht fühlen, den Gedanken einer gestaffelten A. K. in einer allgemeinen Rangordnung stofflicher Gebilde mit ihren gegenseitigen Beziehungen über das Individuell-Psychische und Irdische hinauszutragen. Dann läßt sich Folgendes ersinnen und erdichten:

Anorganisches Dasein und Wirken mag — wie die Astralphysik im allgemeinen, die Beschaffenheit von Meteoriten im einzelnen zeigt — im ganzen Sonnensystem, ja in bezug auf Entstehung, Veränderung und Verbindungsmöglichkeiten der chemischen Elemente im ganzen Universum grundsätzlich das gleiche sein.

Das uns bekannte organische Leben aber ist spezifisch *irdischer Art* und mag insofern wohl dem Wirken *eines Erdgeistes, einer Erdseele, eines Erdwillens* zugeschrieben werden, dem von höherer kosmischer Stelle weitgehende Freiheiten und Ermächtigungen des Anstoß- und Richtunggebens, jedoch immer in den Grenzen der allgemeinen kosmischen Erhaltungsgesetze, erteilt worden sind. Zweifellos folgt dann die Entwicklung des Reichtums lebender Formen auf der Erde dem Grundsatz: Leben schaffen, Leben überall und soviel und so mannigfach wie möglich, Leben im Kampf und Leben um jeden Preis, sei es auch oftmals auf Kosten des mühsam erstandenen Höheren, das durch Niederes — z. B. pathogene Mikroorganismen — schonungslos wieder vernichtet wird; Leben mit starken Lust- und Unlustantrieben und mit viel Schönheit, jedoch ohne eigentliche „biologische Moral“. Ist doch „Humanität“ oft geradezu eine „Abkehr von der Natur“!

Das irdische Leben gipfelt entwicklungsmäßig und wertmäßig in der menschlich-seelischen Entwicklung, die vorerst ebenso, wie die pflanzliche und tierische, durchaus den biologischen Gesetzen des Erdgeistes folgt⁴². Hier aber

brechen durch den dichten Zaun, den der Erdgeist um seine Bildungen errichten durfte, häufig *Lichtstrahlen einer höheren geistigen Ordnung*, die Aussicht und Zuversicht in bezug auf Möglichkeiten harmonischen kosmischen Daseins geben können. Anzeichen solchen höheren und höchsten Seins und Wirkens finden sich in mannigfachen Erscheinungen des Menschenlebens, die rein biologisch nicht restlos ableitbar erscheinen: in reiner opferfreudiger Herzengüte wie in leidenschaftlicher tätiger Hingabe des Lebens und Wirkens an eine hohe Idee, in mystischer Versenkung in den göttlichen Geist der Welt wie in gewisser Teilhabe an dem Wirken jenen Geistes, vermöge der schöpferischen Taten des künstlerischen, des wissenschaftlichen und des religiösen Genius, gewonnen durch „Inspiration“ als eine übergeordnete metaphysische Anstoßkausalität, eine „Meta-Suggestion“ überseelischer und übergeistiger Art (Metapsychik als Wirklichkeitslehre).

Das Wirken wahrhaft großer Männer kann als ein Wirken erscheinen, in welchem der Geist des Universums durch die Trübe der Erde hindurchleuchtet. Jedem aber ist ver gönnt Sehnsucht nach irgendwelchem Eingehen in das unbegrenzte, leidfreie und unaufhörliche kosmische Wirken göttlicher Art. Hier soll der Geist nicht Widersacher der Seele sein, sondern Führer zu höherem seelischem Sein und Wirken. „Das geistige Licht erleuchtet alle Dinge“ (Miguel Serveto).

Leitsätze

1. Jeder stoffliche und energetische Zustand hat eine Beharrungstendenz, die mehr oder minder befriedigt werden kann. Zu den allgemeinen Erhaltungs- und Beharrungsformen von Materie und Energie treten Erhaltungenspezifischer und beschränkterer Art, auf physikalischem, chemischem, biologischem und psychischem Gebiete. Ein stoffliches, energetisches, psychisches Gebilde wirkt zunächst derart, daß es sich selbst zu erhalten strebt; das ist die Weise der Gleichbleibungs- oder Erhaltungskausalität (K.E.), die regelmäßig als Umsetzungskausalität offenbar wird (Äquivalenz von Ursache und Wirkung).

2. Neues geschieht in der Natur nur auf dem Wege der W. W., indem verschiedenartige stoffliche und energetische

Gebilde elementarer oder komplexer Art zusammenstoßen. wörtlich oder nur bildlich. Der „Anstoß“ eines Gebildes an ein anderes kann zugleich wesentliche Mitteilung und Übertragung von Energie bedeuten, so bei unzähligen mechanischen, elektrischen, chemischen und sonstigen Vorgängen; er kann aber auch bloße Auslösung und Entthemung vorhandener potentieller Energien darstellen. Hier spricht man von Anlaß-, Auslösungs- oder Anstoßkausalität (A. K.); die reinste Form einfacher stofflicher A. K. ist die Katalyse, die reinste Form nichtstofflicher höherer A. K. der Willensimpuls. Der Anlaß oder Anstoß kann zum Richtungs- oder Entwicklungsfaktor werden.

3. Wird eine energetisch begabte Ganzheit von außen oder aus dem eigenen Innern angestoßen, so kann sie aktiv und wahlhaft durch Entfaltung, Entfesselung und Entfaltung ihrer freien Energien auf einen Anstoß antworten; das ist die Weise der Ganzheitskausalität (G. K.), die im Organischen und Psychophysischen zu ihrer höchsten Verwirklichung gelangt. A. K. und G. K. zeigen eine Abstufung und Rangordnung, an deren Spitze der entscheidende und wählende Wille steht. Unbestimmt bleibt die Wirkungsweise eines entelechialen Willens in der Natur — einer Natur, „die ruhend handelt und handelnd ruht“ (J. v. Uexküll).

4. In mehreren Hauptformen und in ungezählten Einzelweisen kann die Warumfrage des forschenden Menschen befriedigt werden. Immer bleibt ein Komplementarismus, eine Zwiefalt, von E. K. und A. K., entsprechend dem Doppelgesicht der Welt, als Sein und Geschehen. Alles ist Ding und Vorgang, Wasser und Welle. Über allen Sonderheiten des Wirkens aber thront der eine unvergängliche kausale Gedanke: der Gedanke der Wechselwirkung als eines Verkehrs aller Dinge miteinander im Weltenurgrund.

„Dazu mag noch das hinzugefügt werden, wenn es auch noch nicht allen hinlänglich klar ist, daß nämlich die Substanz der Dinge in der Kraft zu handeln und zu leiden besteht.“ Leibniz

„Die Verhältnisse in unserem Verstande sind nicht genau die Verhältnisse weder unseres tiefsten Wesens noch außer uns. Doch, wem Welt nicht Seele wird, findet durch sie niemals zu Gott, solange er lebt.“ Hermann Stehr

Anmerkungen:

1 Man möchte auch sagen: Kausalität wird nicht gefunden, so wie man Pilze im Walde findet; sie wird vollzogen, wie vom Richter das Urteil — nur soll das Urteil in beiden Fällen dem „Sachverhalt“ entsprechen. Die Grundfragen lauten: Warum ist dieses so? Weshalb geschieht dieses so? Weswegen handelst du so? — 2 Auch psychische Gegebenheiten und Ordnungen können regelmäßig nur in anschaulich-mechanischen Sprachsymbolen „wiedergegeben“, besser „bezeichnet“ und angedeutet werden: Reizschwelle der Empfindung, Enge des Bewußtseins, Spannung, Verhaltung, Einstellung, Entladung, Auslösung, Aufwallung, Verdrängung, Sperrung; Tiefenschichten, Stelzrohr des Unbewußten, Aufsprünge von Gedächtnisinhalten; Auftauchen, Einschnappen, Assoziieren, Reproduzieren usw. Jede „Mechanik“ der Psychologie (von Herbarts großem Versuch an) ist rein analogiehaft, also schließlich fiktiv. — 3 Fr. Alverdes, Acht Jahre tierpsychol. Forschung, 1937; W. Fischel, Psyche und Leistung der Tiere, 1938; auch Naturwiss. 1939, 249; O. Koehler, Naturwiss. 1939, 179. Wm. McDougall, Aufbaukräfte der Seele, deutsch. 1937. — 4 Über das magische Denken, als Vorläufer des wissenschaftlich kausalen Denkens, s. das völkerpsychologische Schrittm., z. B. Maréchal, Hellsch. Über die verschiedenen Formen geistigen Ordnens (Ordnungs-Parameter) s. E. Madelung, Natur und Volk, Sept. 1940. „Das Ziel aller Wissenschaft ist die geistige Eroberung der Welt.“ Nach J. K. v. Hoesslin ist ordnendes Tun „die Vorbedingung dafür, daß das kausale Denken fruchtbare Arbeit leistet“. Ann. Philos. 6 (1927), 1. Die „Asymmetrie der Kausalität“ (Zilsel), ihr „Einbahncharakter“ (Burkamp, Bavinck) entspricht der Einsinnigkeit des Zeitverlaufes, dem „Zeitpfeil“. — 5 Bridgman (Die Logik der heutigen Physik; deutsch 1932) hebt für den Vergleich zweier so gedachten abgeschlossener Systeme hervor, daß nach dem Kausalprinzip die einzelnen Zustände auch „unabhängig von der absoluten Zeit“ sein müssen, in der sie eintreten, und daß ferner eine zeitliche Kontinuität des Wirkens verlangt wird, derart, daß nicht etwa ein früherer Zustand auf Späteres unter Überspringung des zwischenliegenden Zeitraumes wirken kann. (Lückenloser Kausalzusammenhang in unendlich ausgedehnten Kausalketten). — 6 Vgl. hierzu und zu dem Folgenden auch A. Mittasch, Schopenhauer und die Chemie, XXVI. Jahrb. 1939, S. 81. H. Driesch, Kausalität und Vitalismus, ebenda, S. 3 Ergänzungen und verschiedene Richtungen finden sich bei Karl Wagner Quantentheorie und M. thaphys k; XXIV. Jahrb. 1937, S. 47; sowie wie XXI. Jahrb. 1938, S. 181; XXVI. Jahrb. 1939, S. 169. — 7 Wenn sich Schopenhauer gegen den Begriff „Wechselwirkung“ wendet (G., D. III, 199; W. I, D. I, 546), so trifft seine Kritik nur den zweifellos mehrdeutigen und darum mißverständlichen Ausdruck; die Tatsache eines gegenseitigen Wirkens in Abrede zu stellen, hätte ja seinem ganzen Gedankengebäude das Fundament entzogen. Es sei nur daran erinnert, wie hohe Bedeutung Schopenhauer dem „dritten Newtonischen Grundgesetz“ beimißt: „Wirkung und Gegenwirkung sind einander gleich“ (W. I, D. I, 137; G., D. III, 155); sowie an den Ausspruch, es sei stets „der ganze Zustand die Ursache des folgenden“ (G., D. III, 143), wobei „Ganzheit“ ihm eine „Harmonie aller Theile“ bedeutet (N., D. III, 778, Zusatz zu S. 344). — 8 Allerdings wird es z. B. schon schwer vorstellbar sein, wie 1000 Radiomatome, die in einem Kubikkilometer Gestein verteilt sein mögen, in W. W. stehen; und doch wird sozusagen eines von dem andern „wissen“ müssen, wenn die beobachtete Gesetzmäßigkeit des Zerfalles zustande kommen soll. — 9 Über kausales Denken in Induktion und Deduktion s. M. Hartmann und W. Gerlach, Naturwissenschaftliche Erkenntnis und ihre Methoden, 1937. Welch wertvolle Dienste dabei das mathematische Symbol leistet, ist allgemein bekannt. Für jede kausale Naturbetrachtung aber wird gelten, daß „alle einwirkende Form wohl ebenso abgebaut wird, wie der Organismus fremdes Eiweiß abbaut, um es arteigen wieder aufzubauen“ (Burkamp, Wirklichkeit und Sinn, 1938, I, S. 198). S. hierzu auch H. Rickert, Die Grenzen der naturwissenschaftlichen Begriffsbildung. — 10 So war schon früh im Anschluß an Galilei der Versuch einer rein mechanischen Physiologie entstanden: Descartes, Borelli, Lamettrie u. a.; und im 18. Jahrhundert hatte sich hieran der Versuch einer wahren mechanischen Chemie an-

geschlossen: Lomonossow, Lesage, Berthollet. Bis in das 19. Jahrhundert hat sich diese dogmatische Bewegung, jedoch mit allmählicher Milderung der Einseitigkeit, fortgesetzt. Siehe hierzu J. Schultz, Maschinen-theorie des Lebens, 1909; H. Driesch, Geschichte des Vitalismus, 2. Auflage 1922. Nach Schultz sind Kraftzentren, von denen Anziehung oder Abstoßung ausgeht, „letzte Bestandteile der Welt“. „Seit Gassendi ist die Atomistik zur Basis der physikalischen Forschung geworden, seit Newton hat sich die mechanische Weltanschauung allmählich der ganzen Naturauffassung bemächtigt“ (Fr. A. Lange). — 11 Die Physik ist genötigt gewesen, die Energie nicht nur unter dem Kontinuumsbude (Wirkfeld mit Wellenzuständen), sondern auch in diskret-unstetiger Gliederung zu begreifen (Atomistik der Elektrizität und Plancks Quantentheorie). Für „Stoff“ und für „Energie“ müssen heute Wellenbild und Korpuskelbild gleichzeitig gelten („Komplementarismus“ nach Niels Bohr). Siehe hierzu Planck, Helsenberg, L. de Broglie, Schrödingen, Drac, P. Jordan u. a. — 12 Vor allem kommt seine letzte Veröffentlichung, die Abhandlung „Über Auslösung“, von 1876, in Betracht; siehe „Mechanik der Wärme“, 3. Auflage 1893 (Weyrauch), S. 440; ferner auch „Kleinere Schriften und Briefe“, 1893. S. hierzu A. Mittasch, Auslösungskausalität, ein vergessenes Kapitel Robert Mayer? Umschau 1939, 114. — 13 „Es darf behauptet werden, daß Robert Mayer einen Teil des Humeschen Problems gelöst habe, insofern als er ein objektiv gültiges und zugleich rationelles Kriterium des Zusammenhangs der Veränderungen angegeben hat.“ Hickson, Vierteljahresschr. f. wiss. Philos. 35 (1901), 441. S. auch K. Schewe, Schopenhauers Stellung zur Naturwissenschaft, Dissert. Berlin 1905. — 14 Eine wichtige Aufgabe im Dienste physiologisch-stofflicher Erhaltung kommt der Autokatalyse zu. Sie allein ermöglicht es, durch dauerndes Kooptieren neuer gleicher stofflicher Gebilde (Molekeln), daß im dauernden „Stoffwechsel“ doch die lebenswichtigen chemischen Verbindungen erhalten bleiben und nicht „ausgehen“. So wird die Autokatalyse gewissermaßen ein niedrigeres Modell der Vererbung, die ja gleichfalls in einer Erhaltung der „Form“, der Art, auch beim Vergehen des stofflichen Individuums besteht. — 15 Es handelt sich um diejenige Erhaltungs- oder Umsetzungs-kausalität, die als „Äquivalenz“ oder Umwandlungsfähigkeit von Stoff in Energie und umgekehrt gemäß $E = mc^2$ in Betracht kommt, und von der neben „Massendefekten“ von Elementen und partieller „Zerstrahlung“ von Materie, z. B. beim „Zerplatzen“ des Urankerns infolge scharfer „Beschließung“, auch die viel beachtete kosmische „Höhenstrahlung“ eine Andeutung gibt. — 16 Bei elektrochemischen wie photochemischen Prozessen können Katalysatoren richtunggebend die Auswirkung von Fremdenergie lenken; der nach photochemischen Äquivalenzgesetzen beginnende Vorgang der Kohlensäureassimilation der grünen Pflanze im Licht wird in der anschließenden Reaktionskette durch Katalysatoren (Sensibilisatoren) gelenkt und geleitet. — 17 Obgleich in den Rahmen energetischer und stofflicher „Gesetze“ gespannt, läßt die Wirklichkeit der Natur im Kleinen wie im Großen genügend Freiheit des Tuns. Dabei kann die „Entelechie“, die im Ganzen so Wunderbares leistet, mitunter fehlgehen oder „dumm sein“; sie kann von scheinbar geringfügigen Anstößen überrascht und überrannt werden und versagen (siehe auch S. 425). Eine Schwierigkeit, auch in therapeutischer Hinsicht, liegt darin, daß diejenigen Zentren, die den Stoffwechsel regulieren sollen, selber inmitten dieses Stoffwechsels stehen und darum von Fehlern und Fehlleitungen, die an anderen Stellen ihren Ausgang nehmen, selber mit betroffen werden; s. L. R. Grote Neue deutsche Heilkunde, Berl. Akad. f. ärztl. Fortbildung 1940 — 18 Schopenhauer hat mehrfach den Ausdruck „Ganzheit“ gebraucht, z. B. W. II, D. II, 85, 152, 351, N., D. III, 778. Siehe auch Karl Wagner, Schopenhauer und die moderne Ganzheitsbetrachtung, XXV. Jahrb. 1938, S. 191. Über den von Driesch geschaffenen Begriff „Ganzheitskausalität“ s. z. B. Driesch, Ztschr. f. ges. Naturwiss., 1938, 209 ff.; XXVI. Jahrb. Schor.-Ges. 1939, S. 25 ff. — 19 Siehe hierzu Feuerborn, Naturwiss., 1939, 761; Zum Begriffe der Ganzheit lebender Systeme. Ferner Burkamp, Ungerer, v. Bertalanffy, Bervink Adolf Meyer, Dürken u. a. m. Stufen der Auffassung zeigen folgende Umschreibungen: „Das Leben ist [—] nur eine besondere Art der Bewegung“ (Virchow). „Life is a dynamic equilibrium in a poly-

phasic system“ (Hopkins). Nach v. Bertalanffy ist der lebende Organismus „ein offenes System“, ein quasistationärer Zustand, der bei Störungen nach Wiederherstellung durch Selbststeuerung strebt, ohne je in volles Gleichgewicht kommen zu dürfen (Naturwiss. 1940, 521). „Leben wirkt durch Organismen hindurch, indem es sich selbst differenziert“ (Wolterreck). „Der Organismus ist seinem tiefsten Wesen nach Wille und Handlung“ (Ad. Meyer). — 20 Schopenhauer kennt eine solche Staffelung der Verursachung, z. B.: „Allerdings wirken im thierischen Organismus physikalische und chemische Kräfte; aber was diese zusammenhält und lenkt, so daß ein zweckmäßiger Organismus daraus wird, das ist die Lebenskraft; sie beherrscht demnach jene Kräfte und modifiziert ihre Wirkung . . .“ (P. II, D. V, 174). Daß es auch im Bereich psychophysischer Kausalität eine Rangfolge, eine Stufenleiter des Wirkens gibt, kann man dauernd an sich selber beobachten, im Wettstreit und Kampf der Motive. Es sei an die Konkurrenz von „Oberwille“ und „Unterwille“, von Pflicht und Neigung, an Selbstbeherrschung, Selbstbezwingung und Selbstverleugnung erinnert. — 21 So gibt es eine „Innen-dimension des Lebendigen“ (R. Wolterreck); den einzelnen Körperorganen kommt offenbar eine „spezifische psychische Valenz“ zu (V. Weizsäcker). „Das eigentliche Wesentliche an jedem Organismus: Sein Seele-sein“ (Driesch). In bezug auf die Betätigung des „Willens in der Natur“ in Instinkt und Kunsttrieb der Tiere (und gewissermaßen auch der Pflanzen) s. Schopenhauer, W. I, D. I, 136 ff., 191; W. II, D. II, 390 ff., 414 ff. „Seele bringt Natur hervor, nicht umgekehrt“ (Plotin). — 22 Historisch knüpfen solche Vorstellungen auch an Goethes „Polarität und Steigerung“ an (s. ferner Oersted, Kielmeyer, Schelling, C. G. Carus u. a.). Hierzu K. L. Wolf u. W. Troll, Goethes morphologischer Auftrag. 1940. — 23 Siehe hierzu die begelsterte Schilderung bei Polncaré, Der Wert der Wissenschaft, 1910, S. 100. — 24 Auch Schopenhauer hat die Bedeutung der Mathematik für die kausale Beherrschung der Natur durchaus anerkannt, trotz vereinzelter absprechender Urteile: „Rein begrifflich und ganz ergründlich ist immer nur das Mathematische; weil es das im Subjekt, in unserem eigenen Vorstellungsapparat, Wurzelnde ist“ (P. II, D. V, 113). Vgl. auch die hymnische Verherrlichung der Mathematik durch Novalis. — 25 Es kann schon paradox erscheinen, daß ausgerechnet in einem Zeitalter der Wirkungsquanten von „Akausalität“ — Ursachlosigkeit gesprochen wird. Siehe hierzu auch Grete Hermann, E. May und Th. Vogel, Die Bedeutung der modernen Physik für die Theorie der Erkenntnis, 1937. Noch A. Wenzl stellt die mechanische Kausalität gegenüber der energetischen in den Vordergrund; Naturwiss. 1940, 715. „Wir dürfen auf die Atome nicht mehr die gewöhnliche Mechanik anwenden“ (A. Bauer). S. auch Karl Groos, Zur Frage des ursachlosen Geschehens, Ztschr. f. Deutsche Kulturphilosophie 1940, Novemberheft. — 26 Die Ablehnung von „Akausalität“ gilt keineswegs irgendwelchen Tatsachen, sondern lediglich dem Worte „Akausalität“ oder „Indeterminismus“ nebst den daraus m. E. allzu weit gezogenen erkenntnistheoretischen Folgerungen. Über das Versagen nicht nur gewöhnlicher Bewegungsvorstellung, sondern der üblichen Raumvorstellung überhaupt im atomaren Gebiet s. March, Naturwiss. 1938, 649; Klimke, Naturwiss. 1940, 337; auch Schrödinger. Demnach: „Keine Krise der Kausalität, nur eine Krise der Formulierung“ (Bauch). Oder: Ein schlechter Name für eine gute Sache! S. auch C. Bosch, Naturwiss. 1934, Anhang S. 23. — 27 Mikrophysik läuft leicht Gefahr, das Stattfinden einer „Kausalität von oben“ zu übersehen. Wenn der Wille das Nervensystem erregt und Muskelgruppen auf chemo-elektro-dynamischem Wege in Tätigkeit setzt, so werden die Elektronen der Atome, der Verbindungen, der Muskelsubstanz nach dem ihnen von oben angelegenen Takte tanzen müssen! „Auch für den Bereich der Mikrozellulargänge wie z. B. der zytologischen Geschlechtsdetermination fehlt jeglicher experimentelle Anhaltspunkt, daß wir in irgendeiner Form des Indeterminismus praktisch rechnen müßten“ (Walter Zimmermann, Erkenntnis, Bd. 7, 1937, S. 10). Überall, wo unsere physikalische Erkenntnis nicht weiter reicht, wird man wenigstens formal statistische Gesetze als Anstoß und Auslösung oder Anlaß, gegeben durch Kommandowort von oben, gelten lassen. „Das neue Weltbild wird dynamische Naturanschauung sein, nicht mechanische“ (Wundt). — 28 Allgemein sei

auf die Kausalauffassung von Forschern wie Bauch, Bavink, H. Bergmann, v. Bertalanffy, Bridgman, Burkamp, Dingler, Driesch, M. Hartmann, N. Hartmann, Heisenberg, P. Jordan, Adolf Meyer, Planck, Schlick, Schrödinger, Ungerer, A. Wenzl, K. Groos verwiesen. — 29 Es liegt hier ein eigenartiger „Begriffswandel“ vor, indem das Wort „Energie“, das ähnlich wie „Kraft“ ursprünglich nur Äußerungen der Seelisch-Geistigen anzeigte (Kraftgefühl, Willensenergie), auf dem Gebiet des Physischen eine ganz neue Bedeutung erlangt hat; s. hierzu Haering, Blätter für Deutsche Philosophie, 1928/29, 202; Fr. Hund, ebenda 1932/33, 94. Vitale „Energie“, psychische „Energie“ als solche kann weder metrisch noch physikalisch-energetisch gemessen werden. — 30 Man kann hier nach Schopenhauer von „Korollarien“ oder nach Valhinger von einem „aktiven Begriffspaar“ reden, dessen Teilworte in einem Verhältnis des Komplementarismus stehen, ähnlich wie in der Mikrophysik die Begriffe „Korpuskel und Welle“. — 31 Siehe hierzu H. Driesch, Alltagsrätsel des Seelenlebens, 1938, mit Erörterung einer dualistischen, ja trialistischen Einstellung: Körper-Entelechie-Geist oder Materie-Seele-Ichheit, A. Bier, Die Seele, 1938. Ferner Bavink, Burkamp, A. Wenzl u. a.; auch Walter Zimmermann, Objekt-Subjekt-Scheidung, Erkenntnis 7 (1937). 1. Nach O. Kulenkamp ist die Großhirnrinde „nur ein Zeitkosten- dessen sich die Seele, die in tieferen, in den vegetativen Zentren sitzt, bedient“. S. hierzu auch H. Rohrer, Die Vorgänge im Gehirn und das geistige Leben, 1939. — 32 Es sei auf die mannigfache Ausblicke eröffnende Arbeit von K. Wagner über „Die Palintropie“, XXVI. Jahrb. 1929, S. 169 hingewiesen. Neben der Konstanz der Stoffe und der Erhaltung der Energie gebe es eine „dauernde Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes zwischen Entropie und ihrer Gegenwirkung, der Palintropie.“ „Schon das Dasein der Organismen bringt Ordnung in die Welt“ (Nicht auch Unordnung durch Raubbau und Vergeudung? D. Verf.). „Veredelung der Energie“ als Aufgabe! Nach W. Ostwald (Der Wille und seine physische Grundlegung, Scientia 1911, 364) bestimmt das Gesetz von der Erhaltung der Energiemengen „bei den Lebewesen die besondere Beschaffenheit ihres Verhaltens, welche man als spezifisch organisch aufzufassen gewohnt ist, nämlich den Willen in allen seinen Ausgestaltungen. — Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Verminderung der freien Energie“. In dem zweiten Hauptsatz der Energetik aber, im Dissipationsgesetz, will Ostwald „den Grund von allen den Vorgängen erkennen, welche Schopenhauer als Manifestationen des Urwillens darstellt“. — 33 „Nur wer sich von Suggestion des allmächtigen Nutzens und des Notwendigseins einer handgreiflichen äußeren Wirklichkeit freizumachen versteht, vermag in das Wesen der aus sich herauslebenden und aus sich heraus schöpferischen Organismen einzudringen“ (Wolterreck; ähnlich Sapper, O. Spann, v. Uexküll, Alverdes u. a.). Es gibt „ein phantasievoll spielendes und nur ästhetisch regelndes Prinzip in der unbekanntenen Wurzel des Lebens“ (Scheler). — 34 Das Mineralreich nennt Robert Mayer „das Reich der Notwendigkeit“, das Pflanzenreich „das Reich der Zweckmäßigkeit“, die animalische Welt aber „das Reich der Freiheit“. „Im Leben wird die Notwendigkeit durch die Freiheit gemildert, die Freiheit durch die Notwendigkeit beschränkt.“ — 35 „Jedes Wesen, ohne Ausnahme, wirkt mit strenger Nothwendigkeit, dasselbe aber existiert und ist was es ist, vermöge seiner Freiheit“ (W. II, D. II, 365). „Die Freiheit, welche daher im Operari nicht anzutreffen seyn kann, muß im Esse liegen. — Im Esse allein liegt die Freiheit, und an dem, was wir thun, erkennen wir was wir sind“ (transzendente Freiheit des Willens bei empirischer Nothwendigkeit des Handelns, nach Kant) (F., D. III, 567). Die metaphysische „Einheit“ des Willens aber eröffnet „einen Abgrund der Betrachtung, dessen Tiefe keine ganz klare und in durchgängigem Zusammenhange stehende Einsicht mehr gestattet, sondern nur einzelne Blicke vergönnt.“ (W. II, D. II, 368). Es gibt „unerforschliche Gebiete der Seele, wo unser Schicksal wächst“ (H. Stehr). — 36 Zu dem gegenwärtigen Stand der Freiheitsfrage im Rahmen psychischer Kausalität s. insbesondere Driesch, Wirklichkeitslehre, 3. Aufl. 1930, S. 111 ff.; Philosophische Gegenwartsfragen

1933, S. 167 ff.; Kausalität und Vitalismus, XXVI. Jahrb. 1939, S. 61 ff.; Alltagsrätsel des Seelenlebens, 1939, S. 111 ff. „Echte Freiheit als Ursachlosigkeit“ ist scharf zu sondern von einer „Wesensgemäßheit“. Das Wissen um das Gesetz „hebt seine Gültigkeit für den Wissenden auf.“ Vgl. Ferner Planck, Vom Wesen der Willensfreiheit, 1936; Determinismus oder Indeterminismus? 1938; welterhin W. Burkamp, Wirklichkeit und Sinn, 1938; A. Wenzl, Philosophie als Weg, 1939; auch Bauch, K. Groos, H. Groos, Bavink, Müller-Freienfels, Heimsoeth, H. Pichler, N. Hartmann u. a. Nach Wolterreck ist es „eine irreführende Vermutung, daß man die Zufälligkeit im physikalischen Mikrogesehen als elementare Wurzel der Willensfreiheit oder gar als Ausgangspunkt für die Freiheit göttlichen Eingreifens ansehen dürfte“, ähnlich Riezler, Miksch, C. Bosch. — 37 Vgl. auch den tief sinnigen Satz Schopenhauers: „Daß ein persönliches Wesen die Welt geschaffen habe, läßt sich sehr wohl glauben, jedoch nicht denken“ (Handschriftl. Nachlaß; „Neue Paralipomena“, Grisebach, Reclamausgabe Bd. IV, § 429, S. 254). Schließlich: „Buddha, Eckhard und ich lehren im Wesentlichen das Selbe“ (ebenda, § 449, S. 260). — 38 „Für den Ursprung der Welt und des Lebens bildet ein unerforschliches Weltsubjekt oder Welt-Innen eine notwendige Annahme. — Im Anfang stand die schöpferische Freiheit des Weltsubjektes; im schöpferischen Geiste von Menschen kehrt die Freiheit des Ursprunges zurück, neue Ideen und neue Normen schaffend“ (R. Wolterreck, Ontologie des Lebendigen, 1940). „Denn Gott ist substanzielle Energela, er besteht in dieser Energela (um vom Göttlichen nach Menschenart zu stammeln)“ (Kepler). — 39 In Keplers Altbeseelung, die in seiner „Weltharmonik“ zutage tritt, heißt es: „Die Erde erscheint biswellen träge und störrisch. Denn die Erde ist nicht ein Tier von der Art des Hundes, der jeden Wink parliert, sondern von der eines Ochsen oder Elefanten. . . In Energela besteht das Wesen der Seele, sie ist gleichsam das Lodern dieser Flamme“ (Verdeutschte Ausgabe von M. Caspar 1940). S. auch F. Buttersack, Körperloses Leben, Diapsychikum, 1936; A. Bier, Die Seele, 4. Aufl. 1939. — 40 Es ist u. E. nicht berechtigt, die Existenz von „Virus“ als Beweis für eine „Übergangsmöglichkeit von Unbelebtem zu Belebtem“ anzusehen. Als äußeres Merkmal des Belebten gilt nach wie vor die Gleichzeitigkeit von Assimilation und Dissimilation eines stofflichen Komplexes in einem zeitlichen Verlauf mit bestimmtem Anfang und Ende. Ist eine Virusart ein solcher sich ständig wandelnder Stoffkomplex, aus verschiedenen, wenn auch nur wenigen Individuen (Eiweißkörper, Enzyme, Elektrolyte u. dgl.) bestehend, so darf man von einem primitiven Lebewesen reden: ist es jedoch ein einheitlicher Stoff, der sich nach dem bekannten Schema der Autokatalyse vermehrt, so ist es kein Lebewesen. Als inneres Merkmal eines Lebewesens andererseits gilt die Möglichkeit, sich einen Zeitverlauf von Empfindungen und Strebungen wechselnder Art, wenn auch nur sehr unbestimmt, nachempfindend vorzustellen: „Leben“ ist dann identisch mit „Erleben“. Auch in dieser Beziehung gibt es nur ein Entweder-Oder. Nach wie vor bleibt wohl bestehen: „In der That ist die Gränze zwischen dem Organischen und dem Unorganischen die am schärfsten gezogene in der ganzen Natur und vielleicht die einzige, welche keine Übergänge zuläßt“ (W. II, D. II, 335). „Die Kluft zwischen dem Organischen und dem Anorganischen, dem Leben und dem Unbelebten ist für unser Erkennen noch nicht überbrückt“ (Messer; s. auch H. Rickerts Kritik der Lebensphilosophie). — 41 Wenn Driesch im XXVI. Jahrb. 1939, S. 48, fragt, wie sich Mittasch das Eingreifen der vitalen Kausalität in die Kausalismen niedriger Ordnung denkt, so kann gesagt werden: Die Entelechie wirkt, indem sie sich souverän der unendlichen Kombinations-, Variations- und Staffelungsmöglichkeiten bedient, die insbesondere Chemismus und Elektrismus gewähren. Anders gesagt: Die Entelechie tut das von oben, was sich der zergliedernden biologischen Wissenschaft als Aspekt von unten auf tut. Es sei hier nochmals auf die empirischen Tatsachen des Eingreifens von Katalysatoren in unkatalytischen und darum teilbestimmten Chemismus, des Eingreifens von Hormonen und anderen Wirk- und Reizstoffen in das Substrat-Enzymgetriebe und schließlich des Eingreifens niederer und höherer nervöser Einflüsse in die Physiologie der Gewebe hingewiesen. Eine formal einheitliche Beantwortung aber

der Frage: Wie wirkt Entelechie auf Natur? (oder besser in Natur?). etwa durch „Suspendierung“, „Ja- und Neinsagen“, „Verständigung zwischen Monaden“ u. dgl. erscheint zwar logisch und metaphysisch recht verlockend, wissenschaftlich aber wenig ertragreich. Das wird in gleicher Weise von folgendem „ersten Versuch einer freilich nur formalen und bildhaften Antwort“ gelten: „Die Entelechie wirkt katalysatorartig, richtunggebend und lenkend, indem sie in das Substrat eingeht und doch von ihm verschieden bleibt“ (Mittasch, Katalytische Verursachung im biologischen Geschehen, 1935, S. 91). Zudem ist ja „Entelechie“ nur ein Begriff, entstanden durch denkende Zerlegung ganzheitlichen Geschehens in Aktion und Aktor, Bewirktes und Urheber. — 42 Auch der emporstrebende Mensch, in seiner „Stellung zwischen den beiden Welten“ (Spemann), bleibt dem Erdgeist verhaftet, so sehr er sich dem Weltgeist verpflichten möchte. „Denn Irdisches und Himmlisches, das Tier und auch der Gott, beherrscht des Menschen Wesen“ v. Behring). Über dem einseitig gerichteten Erdgeist waltet der universelle Geist, der Weltgeist.

Selbstausslösung, Selbstregulung Selbstbestimmung*

Als um die Jahrhundertwende die überraschende Fähigkeit des Radiums erkannt wurde, dauernd Strahlen auszusenden, mithin spontan und unaufhörlich in unverminderter Stärke Energie abzugeben, mußte diese Eigenschaft wie eine Verletzung von Robert Mayers Energieprinzip aussehen. In Wahrheit handelte es sich, wie bald festgestellt wurde, um eine bisher unbekanntere Fähigkeit bestimmter chemischer Elemente, sich umzuwandeln, abzubauen, schließlich zu „entmaterialisieren“, gemäß einer zahlenhaft faßbaren höchsten „Äquivalenz“ von Masse und Energie, einer meßbaren Entsprechung, die sich den vorher schon bekannten Äquivalenzen der verschiedenen Energieformen untereinander zugesellt. Auch dann blieb aber noch das Rätsel bestehen, wie eine solche dauernde Energieausstrahlung möglich sei, „ohne daß sich hierfür eine äußere Ursache feststellen läßt“ (Rutherford). Es liegt hier ein deutlicher Fall anscheinend vollkommener „Selbstausslösung“ vor, wie er sein Gegenstück finden würde in dem Bestehen eines vollkommen unabhängigen, durch nichts anderes angeregten *freien Willens*.

Wie verhält es sich mit solcher Selbstausslösung oder Selbstbestimmung? Nach Robert Mayer¹ hat man unter „Auslösung“ diejenige Erscheinung zu verstehen, daß in der Wechselwirkung der Naturgebilde ein energiebegabtes, aber an Betätigung seines Energiegehaltes irgendwie gehindertes Gebilde durch einen energetisch ganz oder nahezu indifferenten „Anstoß“ zur Betätigung seiner bisher gehemmten oder „kompensierten“ Energie gelangt — nach Art der katalytischen Verursachung oder des Anstoßes einer Lawine². Das in solcher Weise angestoßene Etwas („angestoßen“ in mechanischem oder in bildhaft übertragenem Sinne) kann ein anorganischer oder organischer Körper sein — im letzteren Falle auch die diesem innewohnende Seele, der Geist, der Wille —; das anstoßende Etwas aber eine energiebegabte Masse (und sei es nur die eines Elektrons) oder eine Ruhmasse-freie Energiegestalt (elektromagnetische Wellenzüge beliebiger Art) oder

* Die Tatwelt 18 (1942) 7—15.

schließlich auch ein stofflich und energetisch unmittelbar nicht Definierbares, d. h. ein Gefühl, ein Affekt, ein Willensimpuls, der zu sichtbarer „Entladung“ oder „Entspannung“ führt. Der positiv gerichteten Auslösung (Veranlassung) steht gegenüber die negativ gerichtete Hemmung, Hinderung, Aufhebung, „Suspension“ (Driesch).

Von *Selbstausslösung* — scheinbarer oder wirklicher — wird nun zu reden sein, wenn irgend etwas geschieht, für das ein von außen kommender Anstoß wenigstens zunächst nicht sichtbar ist, wenn also latente Energien sich anscheinend ganz von selbst in Bewegung setzen. Man spricht von *Selbstausslösung* eines eingestellten photographischen Apparates, von *Selbstzündung* eines Explosivstoffes, von einem *Selbstumkippen*, einem *Selbstüberlaufen* gefüllter Gefäße, von *Selbstinduktion* und *Selbstverstärkung*, von *Selbstaffizierung* (Kant).

Einfache Auslösung, Veranlassung, Anregung, Anreizung, nach der Alles-oder-nichts-Regel (besonders deutlich in „Explosion oder Versager“) kann die Form der *abgestuften Regulierung* dann annehmen, wenn die Einrichtung getroffen ist, daß zu einer für jede Auslösung vorhandenen „Auslösungsschwelle“ (im Reich des Lebenden der Reizschwelle) sich „Unterschieds- oder Steigerungsschwellen“ hinzugesellen. Es handelt sich dann um „*bemessene*“, *gedrosselte*, *abgestufte*, *gestaffelte Auslösung*, nach Art der Einstellung einer Schleuse, eines Sicherheitsventils.

Andererseits gibt es neben qualitativ indifferenten Auslösungen (eine Schneelawine kann durch verschiedenste Umstände, Anstöße, Bedingungen ausgelöst werden) *qualitativ eingestellte, auf Entsprechung oder Resonanz beruhende Auslösungen*, nach Art der Entsprechung von Schlüssel und Schloß. Derart wahlhafte, abgestimmte — damit zugleich in eine feste Richtung gesteuerte — Auslösung findet sich auf dem Gebiet der elektrodynamischen Verstärkung, bei selektiv oder spezifisch wirkenden Katalysatoren, am höchsten gesteigert in der Wirkungsweise von Biokatalysatoren, allgemein in der Betätigung von biologischen Wirk- und Reizstoffen. Abgestufte und abgestimmte *Regelung* ist namentlich in dem *physiologischen und psychophysischen Bereich* anzutreffen, wie die großen Gebiete

der Sinnesreizung, der hormonalnervösen Steuerung und der führenden (auch verführenden) Kür des Willens („Will-Kür“) deutlich zeigen³.

Alle Akte der Erinnerung, der Besinnung, des Denkens, der assoziativen Reproduktion fallen in das Schema beziehungshafter Auslösung: ein Stück einer Melodie löst im Innern das Nachfolgen der anschließenden Tonbilder aus.

Sämtlichen Sonderformen (einschl. „Edelformen“) der Auslösung entsprechen bestimmte Formen der *Selbstausslösung*. So spricht man von *Selbstzündung* und *Selbstausslöschung*, *Selbsthemmung*, *Selbstein- und -ausschaltung*, *Selbstaufhebung*, *Selbsterregung*, *Selbsteinredung* (Auto-suggestion), *Selbstentladung*, *Selbststeigerung*, *Selbstführung* (z. B. Spontanmutation), *Selbstregulierung*, *Selbststeuerung*, *Selbstgestaltung*, *Selbstentwicklung*, *Selbsterziehung*, *Selbstbestimmung*: alles auf der festen Grundlage der Selbsterhaltung und Selbstbehauptung beruhend. Die Psychologie kennt freisteigende Vorstellungen (schon Leibniz), den freien Einfall (C. G. Carus), spontanes Handeln, ein Sichverströmen und Sichverschwenden (Nietzsche).

Chemische Selbstregulierung (nach dem Le-Chatelier-Prinzip der „Flucht vor dem Zwange“) wird erweitert und erhöht in physiologischer Selbstregulierung. Die wohlbekannte Autokatalyse als Eigen- oder Zuwachskatalyse (Selbstvermehrung) findet ihr biologisches Gegenstück in der Aktivität der Zelle, insbesondere in deren Fähigkeit einer Selbstverdopplung, als einer Teilerscheidung der Aktivität und Spontaneität des Organismus bzw. der darin symbolhaft anzunehmenden Entelechie. Nach R. Woltereck gibt es im organismischen Leben einen „Autokausalismus“, wie er dem Reich des Anorganischen in dieser Erhöhung und Vermannigfaltigung fremd ist. Hier finden wir neben resonanter Erregung eine primäre, innere Dauererregtheit; hier herrscht eine Selbstdeterminierung. Selbstimpulsivität, ein Selbstteilnehmen, Selbstintendieren, Selbstimaginieren, kurz „Selbstheit“ (Roux), zu der auch ein „genialer Zug“ gehört; oder determinative Autonomie des Organischen in einer Schichtungsgesetzlichkeit (N. Hartmann), ein „*Sichselbstschaffen des Lebens*“ als herrschende Idee (R. Eucken). Ganzheitliche Selbstheit

oder Ichheit, eine fließende Ichheit, die in der Pflanze schlummert, kommt in der Tierwelt mehr und mehr zur Geltung und gibt in der Form deutlicher *Selbstbewußtheit* (in Trennung von Sachbewußtheit) dem Menschen den Zwang und den Vorzug der *Selbstentscheidung* gegenüber der Flut der Anregungen und Nötigungen, die er von der Außenwelt (den eigenen Körper eingerechnet) erfährt. Auf der Kehrseite nimmt Selbstausslösung die Gestalt von Selbsthemmung, Selbstzügelung, Selbstbeherrschung an.

In den Selbstausslösungen des Geistes, des Willens erscheint als Hochform, als „Spitze“ die so rätselhafte Intuition und Inspiration des wissenschaftlichen, des künstlerischen, des religiösen und des auf sonstigen Kulturgebieteten schöpferischen Genius. —

Handelt es sich in allen diesen Fällen um wirkliche und vollkommene *Selbstausslösung*, das heißt um ein in keiner Weise vorbedingtes Setzen von Anfangsgliedern lang sich hinziehender und sich verzweigender Auslösungsketten? Vielleicht spielen hier doch verborgene Anstöße, geheime Anlässe energetischer oder nichtenergetischer Art als „spiritus rector“ mit?

Es braucht nicht ausführlich dargetan zu werden, daß in zahlreichen Fällen die sogenannte *Selbstausslösung*, *Selbststeuerung* usw. lediglich in einer Vorverlegung von *Fremdausslösung* und *Fremdsteuerung* besteht: Zeitzündung und ihre Analogon, die *Selbstausslösung* eines Uhrwerkes, eines zuvor bestimmt eingestellten Mechanismus, z. B. einer Höllenmaschine, ebenso wie die „Selbststeuerung“ eines Flugzeuges — etwa als Fernsteuerung — ist keine vollkommene *Selbstausslösung*. Das gleiche gilt z. B. für eine scheinbar „unvermittelte“ plötzliche Erkrankung, die in Wahrheit etwa durch eine in der Konstitution des Organismus auf „Resonanz“, Bereitschaft, Empfänglichkeit stoßende Infektion als Primärakt bedingt ist, gefolgt von einer längeren Induktions- und Inkubationszeit; auch hier handelt es sich um Fernsteuerung, Fremdsteuerung, Vorsteuerung von bestimmten Instanzen her.

Keine absolute *Selbstausslösung* liegt ferner vor z. B. in dem Benehmen eines gefangenen Jungvogels, der im Zimmer nach eingebildeten Fliegen jagt und sie sogar „verzehrt“, wenn die wirklichen Fliegen fehlen; nicht nur

ein äußerer Reiz, sondern auch ein „inneres Bild“, ein Phantasma (Palagyi), ein „Schema“, das im Erbgedächtnis in der „Mneme“ wunderbar verankert liegt und nach „Realisierung“ drängt, kann als Antrieb, als veranlassender Anstoß wirken¹. Nicht um „Reflexe“ handelt es sich hierbei, sondern um lustbetonte Tätigkeiten, die in einem angeregten „Kreisprozeß“ von Wahrnehmung (äußerer oder innerer) und Bewegung dem Subjekt eigentümlich sind.

Bei R. Mayer finden sich noch keine ausführlichen Äußerungen über *Selbstausslösung*, obgleich er als Arzt die *Selbstregulierung* des gesunden Körpers — die, wie er sagte, „im Fieber gestört ist“ — wohl kennt. Von Nietzsche dagegen wird der Gedanke der *Selbstausslösung*, der *Selbstbestimmung* deutlich ausgesprochen. „Im kleinsten Organismus bildet sich fortwährend Kraft und muß sich dann auslösen: entweder von sich aus, wenn die Fülle da ist, oder es kommt ein Reiz von außen. Wohin die Kraft sich wendet? Sicher nach dem Gewohnten: also wohin die Reize leiten, dahin wird auch die spontane *Ausslösung* sich bewegen. Die häufigeren Reize erzielen auch die Richtung der spontanen *Ausslösung*. — Gesichtspunkt für meine Werte: ob aus der Fülle oder dem Verlangen (...), ob aus der aufgestauten Kraft, spontan, oder bloß reaktiv angeregt, angereizt?“

Wenn nach dem oben Gesagten zahlreiche Vorgänge der *Selbstausslösung*, der *Selbststeuerung* nur scheinbare *Erstsetzungen* sind, die sich bisweilen ohne weiteres, bisweilen erst bei schärferem Nachforschen als *Fremdausslösung*, *Fernausslösung* von Kausalketten, genauer von oft fast unentwirrbaren Wirkungsverfilzungen und -verflechtungen erweisen, so ist die Frage naheliegend, ob es nicht doch auch wirkliche und wahrhafte, vollkommene *Selbstausslösung* gibt.

Wir fassen zunächst den im Eingange erörterten Zerfall radioaktiver Substanzen, unter Aussendung korpuskularer und rein energetischer Strahlung, ins Auge. Woher kommt hier der Anstoß, der Anlaß, da doch bekanntlich die in der Chemie maßgebenden Systembedingungen wie Temperatur, Druck und andere energetische Zustände ohne jeden Einfluß sind? Formal kann es genügen, wenn

gesagt wird: *ein Ordnungsgesetz gibt die Anweisung, das Naturgesetz, das sich in der unrückbaren „Halbwertzeit“ des Zerfalls offenbart; hat doch nie beobachtet werden können, daß irgendeine radioaktive Substanz von der ihr eigentümlichen, vorgeschriebenen Zerfallzeit abgewichen wäre, daß sie sich geirrt und „unordentlich“ benommen hätte. Der Forscher wird sich jedoch mit der formalen Antwort nicht zufrieden geben, sondern wird versuchen, die beobachteten Konstanten in einem weiteren und höheren Zusammenhang einzufügen, sie als irgendwie bedingt nachzuweisen. Ohne auf die hierüber angestellten Erörterungen einzugehen⁵, sei nur auf einen Punkt kurz hingewiesen: Die in der chemischen Reaktionskinetik übliche Methode, die jeweilige chemische Reaktion aus „Zusammenstoß“ und Aktivierungswärme der Einzelgebilde als notwendig abzuleiten, scheint zu versagen, wenn sich etwa in einem Kubikmeter Urgestein tausend Radiumatome verstreut befinden, die in keinerlei erkennbarem Zusammenhange untereinander stehen, und darum „voneinander nichts wissen“ sollten. Andererseits ist zu beachten, daß schon in der Reaktionskinetik das *Kollektiv-Gesetz — hier thermodynamischer Art — die Herrschaft führt*: ob in dem Beisammensein einer bestimmten Zahl Ammoniakmolekeln mit einer bestimmten Molekelanzahl der Bestandteile Stickstoff und Wasserstoff unter festgelegten Bedingungen bei den dauernden Zusammenstoßen vorwiegend eine Neubildung von Ammoniak, oder vorwiegend eine Zersetzung von Ammoniak, oder schließlich — im Gleichgewicht — beides in sich gegenseitig kompensierender Weise stattfindet, *darüber entscheidet nicht die freie Willkür des einzelnen molekularen Gebildes, sondern das thermodynamische Massenwirkungsgesetz als „Ganzheitskausalität“, als Kollektiv-Ordnung*⁶. Statistik schafft hier nicht Gesetz, sondern wird beherrscht und gebündelt vom energetischen Gesetz. Grundsätzlich nicht anders wird es sich bei jedem anscheinend „akausalen“, d. h. auf keinen sichtbaren Anstoß hin stattfindenden radioaktiven Zerfall verhalten, der also in Wirklichkeit kein Vorgang *absoluter* — und wunderhafter — *Selbstausslösung* sein kann⁷. (Schon Selbstversickern, Selbstentladen, Selbstinduzieren, Selbstvermehren kann demjenigen*

als ein „Wunder“ erscheinen, der die gesetzlichen Zusammenhänge nicht kennt.) Das Einzelne bestimmt das Allgemeine, das Allgemeine bestimmt das Einzelne: diese Sätze sind ebenso komplementär wie: Das Niedere bestimmt das Höhere, das Höhere bestimmt das Niedere. —

Wie steht es nun mit der so vielfach erörterten *Willensfreiheit*? Ist wohl der Wille mit seinen Antrieben oder Motiven als „energetisch bilanzfreien Impulsen“ (Wolter-eck) ein echter *Selbstausslöser*, in dem Sinne, daß er setzt und anläßt, ohne selber in seinen Einzelakten irgendwie gesetzt und veranlaßt zu sein? Wenn es feststeht, daß jede Willenshandlung bei Tier und Mensch psychisch bzw. psychophysisch „motiviert“ ist, und wenn die „Motive“ als Anlaßursachen nach der Art katalytischer Verursachung anzusehen sind, *so kann von einer wahren Eigen- oder Selbstausslösung des Willens ebensowenig die Rede sein* wie bei der sogenannten Selbstausslösung des photographischen Apparates. (Auch das scheinbar „akausale“ Auftauchen, die Selbstausslösung von Traumbildern im Schläfe, ist bekanntlich irgendwie durch äußerliche und innerliche Reizkonstellation bedingt.)

In weiten wissenschaftlichen Kreisen wird heute Übereinstimmung darüber herrschen, daß die Frage: *Willensfreiheit* oder nicht? falsch gestellt ist. Statt dessen muß gefragt werden: Wie weit kann der denkende, fühlende und wollende Mensch in seinen wahlhaften Entschlüssen von dem oder jenem, im Wettstreit der Motive sich vordrängenden Anlaß- oder Anstoßkomplex Unabhängigkeit gewinnen, und inwieweit werden seine Setzungen doch schließlich von bestimmten Bedingungen der Vererbung, der Erziehung, der Vorerlebnisse (Disposition, Naturell, Charakter) abhängig, also triebgebunden oder wertgebunden sein? „Im Leben wird die Notwendigkeit durch die Freiheit gemildert, die Freiheit durch die Notwendigkeit beschränkt“ (R. Mayer). Es wird sich hier ähnlich verhalten wie bei dem als „Lebenskraft“, d. h. als lenkende und ordnende Bildungs- und Heilkraft (nicht als arbeit-leistende Wirkkraft) tätigen „Körperwillen“: der Physis als Gestaltungs- und Heilkraft, dem „inneren Schöpfer“ (Liek), der „großen Vernunft im Leibe“ (Nietzsche). Auch diese entelechiale Potenz (Spontaneität) des Organismus

ist nicht Absolutherrscher, sondern, um ein Wort von R. Mayer zu gebrauchen, durch „Konstitutionen“, d. h. durch stofflich-energetische Bedingungen beschränkt, wie dies z. B. bei unheilbarer Krankheit sich unliebsam genug bemerkbar macht. Ebenso wie in dem Falle des Körperbefindens das *Gesundheitsgefühl*, das *Kraftgefühl* für das Individuum primär entscheidend ist, so im Falle des Willensverhaltens das *Freiheitsgefühl*, als „ein vielfacher Lustzustand des Wollenden“ (Nietzsche).

Wahrhafte Erstsetzung der Anfangsglieder von Bedingungsketten, absolute Selbstbestimmung als vollkommene Ungebundenheit und Unabhängigkeit erscheint auch auf dem Gebiet der bewußten menschlichen Willensentscheidung undenkbar. Eine solche Ungebundenheit — als Anarchie — wäre vom Standpunkt der Norm, der Sittlichkeit sogar *unerwünscht*. Zu der Frage: Welche Freiheit kann erstrebt werden? gesellt sich die weitere Frage: Welche Freiheit soll erstrebt werden? Der Menschenwürde entspricht *innere Freiheit*, als Möglichkeit eines Wählens unter dem bestimmten Gesichtspunkt der *Verwirklichung höherer und höchster Werte*. „Daß Du Dir selber befiehlst, das heißt Freiheit des Willens. — Nur im Schaffen gibt es Freiheit. — Der Weg zur Freiheit ist hart. — Frei im liebevollsten Muß“⁹ (Nietzsche).

Wie trotz aller Bedingtheit doch *das Gefühl innerer Freiheit* dadurch entstehen kann, daß es ja *das eigene entwickelte Innenleben* ist, welches die auslösenden, regelnden und bestimmenden Anstöße zum Handeln liefert, zeigt sich wohl am vollkommensten bei der *Intuition und Inspiration* des schöpferischen Genius. Hier kann nach allen vorliegenden Selbstzeugnissen das Empfinden eines unwiderstehlichen Schaffensdranges mit dem Lustgefühl höchster Freiheit zu harmonischer Einheit verschmolzen sein. Zugleich scheint aber diese höchste Betätigung menschlicher Psyche zu zeigen, daß es neben auslösenden und steuernden Kommandos, die aus dem Unbewußten, aus dem Unterbewußten der Tiefenperson in das Hellbewußte aufsteigen, auch höhere und höchste Richtkräfte, eine überindividuelle seelische Führung, eine aus dem allgemeinen Geistesfelde der Natur, dem Lebensurgrunde, aus kosmi-

schem Bereiche stammende Auslösung, Anweisung und Anleitung gibt. Eine höhere Macht aus der „Tiefe des Weltalls“ (R. Eucken) — die Zuständigkeit des Erdgeistes übersteigend — wird es sein, die solch begnadetem (zumeist tragisch begnadetem) Menschentum den Griffel führt und die Lippen bewegt, ohne daß dadurch die stofflich-energetische Gesetzmäßigkeit der Natur irgendwie angetastet würde: der Genius als ein Instrument kosmischer Auslösung, Richtunggebung und Nötigung. „Von der Größe und Macht des Geistes kann der Mensch nicht groß genug denken“ (R. Eucken). Robert Mayer äußert sich über seine Erfassung des Prinzips der Energieerhaltung (auf der Reede von Surabaya, Juni 1840): „wo ich mich in manchen Stunden gleichsam inspiriert fühlte, wie ich mich zuvor oder später nie etwas Ähnlichem erinnern kann.“ Nietzsche spricht von Künstlern, die nur zu gut wissen, „daß in Stunden hohen schöpferischen Setzens ‚Notwendigkeit und Freiheit‘ des Willens dann bei ihnen eins wird.“ „Ich habe nie eine Wahl gehabt.“ Ein anderer Großer aber, Wolfgang Amadeus Mozart, schreibt: „Wenn ich recht für mich bin und guter Dinge, da kommen mir die Gedanken stromweis und am besten. Woher und wie, das weiß ich nicht, kann auch nichts dazu. Die mir nun gefallen, die behalte ich im Kopf und summe sie wohl auch für mich hin. Halt ich das nun fest, so kömmt mir bald eins nach dem andern bei. Das erhitzt mir nun die Seele; da wird es immer größer, und ich breite es immer weiter und heller aus, und das Ding wird im Kopf wahrlich fast fertig, wenn es auch lang ist, so daß ich's hernach mit einem Blick, gleichsam wie ein hübsches Bild oder einen hübschen Menschen im Geist übersehe, und es auch gar nicht nacheinander, wie es hernach kommen muß, in der Einbildung höre, sondern wie gleich alles zusammen!“

So erhöht sich die Frage der Selbstbestimmung, der Selbstentwicklung⁹, der Selbstgestaltung, der Selbstschöpfung als einer vollkommenen Selbstauslösung schließlich bis in ein dem Denken unzugängliches, alogisches oder irrationales Gebiet, das nicht mehr Forschungsgegenstand der Physik und Psychik ist, sondern der Metaphysik und Metapsychik angehört. Das Reich des Wunders beginnt:

„Wunder“ jedoch nicht als „Verletzung von Naturgesetzen“, sondern als höhere Lenkung im Rahmen der Naturordnung verstanden¹⁰.

Anmerkungen:

1 Es kommen hier Abschnitte von Mayers großer Arbeit von 1940 (Organische Bewegung), sowie vor allem die Ausführungen von 1910 „Über Auslösung“ in Betracht. Hier werden von den arbeitstendenden Wirkkräften der Natur die energetisch ganz oder nahezu indifferenten Auslöse-, Trieb- und Richtkräfte nach Art der Katalyse unterschieden. der Erhaltungs- und Umsetzungskausalität (E.K.) gesellt sich die Auslösungs- oder Anstoßkausalität (A.K.) hinzu. Siehe hierzu Naturwiss. 1938, 177; Forsch. u. Fortschr. 1938, 16. — 2 Im Hinblick auf logische Genauigkeit erscheint es geboten, daß die Ausdrücke „auslösen“ und „herauslösen“ scharf geschieden werden. Ein Vogel löst (pickt) mit dem Schnabel Samen aus Früchten heraus; mit seinem Flügelschlag kann er den Fall einer Lawine auslösen. Es erscheint also angefechtbar, wenn gesagt wird, im photoelektrischen Effekt werde ein Elektron durch ein Photon „ausgelöst“; in Wirklichkeit wird es — auf dem Wege energetischer Äquivalenz — herausgelöst. — 3 Von Regulierung ist bei R. Mayer wiederholt die Rede, von „bemessener Auslösung“ (gegenüber „totaler Auslösung“) spricht W. Ostwald. — 4 Das ganze Gebiet der Trieb- und Instinkthandlungen ist sachgemäß auf der Grundlage des Auslösungsbegriffes zu behandeln, d. h. als abgestimmte innere Führung. Selter physischen Seite nach ist ein Naturtrieb eine Ganzheit bestimmter gebündelter potentieller Energien, die nach Auslösung — bis zur Selbstauslösung — streben. „Das Bild dient als auslösender Reiz“ (Nietzsche). Siehe hierzu die „Erörterung“ über Instinkthandlungen in Naturwiss. 1942, 98, 133; J. A. Bierens de Haan. Konrad Lorenz. K. Groos spricht von „einem dem Seelengrund entstammenden, durch höheren Willen veranlaßten und gelenkten instinktiven Bewegungsdrang“; Bl. f. Deutsche Philos. 15 (1942), 365. — 5 Wluchert hält eine unmittelbare Anregung der Materie durch „Ätherenergie“ für möglich; Schwankungen der Nullpunktenergie des Wirkfeldes sollen den explosiven Zerfall eines Radionuclids auslösen; „das gibt eine annehmbare Erklärung für den geregelten Zerfall radioaktiver Atome“. — 6 Diese Einreihung des Einzelnen in eine Ganzheit, seine Bündigung durch ein Gesetz des Kollektivs, ohne Seitensprünge und Ausbrüche über die Schranken der Ordnung, gilt — was oft übersehen wird — auch für das Gebiet der Mikrophysik, trotz aller Unbestimmtheitsrelationen und Scheinfreiheiten, die für das Individuum beobachtet werden. Keinem einzelnen Atom kann wirkliche Freiheit zuerkannt werden; erst recht ist es unzulässig, von da, wie es geschehen ist, eine volle „Freiheit des Willens“ abzuleiten. (Von Havink, Driesch, Miksch u. a. mit Recht betont.) — 7 Das leicht irreführende Wort „Akausalität“ für subatomares Geschehen zeigt in Wahrheit die für alles Naturgeschehen eminent wichtige Tatsache an, daß hier die Gesetze klassischer und statistischer Mechanik versagen, oder besser, nicht ausreichen (Amechanität). Die Gesetze der Energetik, der Dynamik geben den Spielraum, innerhalb dessen jede Auslösung — bis zur menschlichen Willenshandlung — sich vollzieht. Schon Chemismus ist nicht starrer Mechanismus, sondern trägt, wie der alte Ausdruck „Wahlverwandtschaft“ andeutet, das Gepräge einer Wahlfähigkeit (Spezifität). Nur so kann eine Labilität und Plastizität — vor allem des Kolloidchemischen der Proteide u. dergl. — entstehen, welche die unentbehrliche Grundlage übergeordneter biologischer Gesetzmäßigkeit bildet. — 8 „Frei ist, was nur den Gesetzen seines eigenen Wesens gemäß und von nichts anderem weder in noch außer ihm bestimmt ist“ (Schelling). Notwendigkeit kann verbunden sein mit „höchster innerer Freiheit und Weltüberlegenheit“ (Rudolf Eucken). Stille Freiheit ist nach Troeltsch „gewollte Disziplin, Förderung und Entfaltung des eigenen Selbst in einem Ganzen und für ein Ganzes“. — 9 Sicher kann für die phylogenetische „Selbstenwicklung“ der Organismen (Mannigfaltigkeitserhöhung gemäß der Abstammungslehre), die

durch mannigfachste Anstöße veranlaßt bzw. begünstigt worden ist, insbesondere für die großen Fortschritte, auch „Weisung höherer Instanz“ (zunächst des „Erdgeistes“) in Betracht kommen. Ein solches Eingreifen wird ebensowenig Verletzung physikalisch-chemischer Naturgesetzlichkeit bedeuten wie die gleichfalls an Stoff und Energie gebundene gestaltende Tätigkeit des Künstlers. „Keine Künstlichkeit ohne Vorbedachtheit“ (Krönig). — 10 Schrifttum: A. Mittasch, Katalyse und Determinismus 1938, S. 160. Julius Robert Mayers Kausalbegriff 1940, S. 188. Rudolf Eucken, Mensch und Welt. Nicolai Hartmann, Möglichkeit und Wirklichkeit 1938, S. 148. Max Planck, Vom Wesen der Willensfreiheit, 2. Aufl. 1939. Pascual Jordan, Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens 1941. Karl Groos, Zur Frage des ursachlosen Geschehens; Ztschr. f. deutsche Kulturphilos. I, 25, (1940): „Wahrscheinlich sind die meisten Ereignisse in der Welt prädestiniert, aber es kann in ihr auch ein Geschehen geben, mit dem es sich anders verhält“. R. Woltereck, Die Ontologie des Lebendigen 1940. O. v. Verschuer, Das Erb-Umwelt-Problem beim Menschen 1940. A. Gehlen, der Mensch, 1940. — „Wir sind uns mehr als die frühere Naturwissenschaft dessen bewußt, daß es keinen sicheren Ausgangspunkt gibt, von dem aus Wege in alle Gebiete des Erkennbaren führen, sondern daß alle Erkenntnis gewissermaßen über einer grundlosen Tiefe schweben muß“ (W. Heisenberg in „Die Einheit des naturwissenschaftlichen Weltbildes“. Leipzig 1942).

J. R. Mayers Begriff der Auslösung in seiner Bedeutung für die Chemie*

Bei allem Bewußtsein der Größe des von ihm erfaßten Prinzips der Erhaltung der Energie ist sich Robert Mayer doch darüber im klaren gewesen, daß sein Gesetz lediglich ein *Rahmengesetz* ist, d. h., daß es eine allgemeine Aussage über die Bilanz, die Abrechnung jeweiligen Naturgeschehens liefert, ohne dieses selbst im einzelnen irgendwie zu bestimmen. Wenn sich eine Kraftmenge als Ursache in einer Arbeitleistung als Wirkung erschöpft, wenn Energieumwandlungen stattfinden, dann bestehen zwischen Anfangs- und Endzustand feste, zahlenmäßige Beziehungen; ob aber unter festgelegten Bedingungen derartige Umsetzungen stattfinden, und gegebenenfalls in welcher Richtung und in welcher Weise, darüber sagt das Prinzip nichts aus.

Eine wesentliche Einschränkung der Möglichkeiten des Naturgeschehens innerhalb energetischer Bedingungen liefert, wie an anderer Stelle dargelegt, der Satz von der Zunahme der Entropie, der neben dem energetischen Grundgesetz als zweiter Hauptsatz der Energetik steht, dessen Allgemeingültigkeit aber immer wieder einmal Gegenstand der Überprüfung ist.

Eine weitere wertvolle Ergänzung des Energieprinzips — allerdings in rein formaler und grundsätzlich unmathematischer Beziehung — gibt der von R. Mayer zuerst in seiner Bedeutung erfaßte und auf verschiedene Gebiete des Naturgeschehens angewendete Begriff der „*Auslösung*“, d. h. der Aktualisierung oder Realisierung latenter Energie durch einen für die gesamte Energiebilanz ganz oder nahezu belanglosen Eingriff oder „*Anstoß*“. Er ermöglicht es, mit dem Grundsatz energetischer Kausalität: „Die Wirkung entspricht der Ursache (causa aequat effectum)“ den weiteren Erfahrungssatz: „Kleine Ursachen, große Wirkungen“ in Einklang zu bringen. Der Erhaltungs- oder Umsetzungskausalität (E.K.) der Natur tritt die Anstoß- oder Auslösungskausalität (A.K.) ergänzend zur Seite; energetisch ganz oder nahezu belanglose

* Gedenkschrift zur 100. Wiederkehr der Entdeckung des Energieprinzips: Robert Mayer und das Energie-Prinzip 1842—1942. S. 281—294.

(indifferente) Auslöse-, Trieb- und Richtkräfte gesellen sich den arbeitleistenden Wirkkräften zu, indem sie das Vorhandensein ansprechender freier potentieller Energien als Bereitschaft, Disposition, Anlage, Tucht (von „taugen“), Potenz voraussetzen.

Aus Geschehnissen rein mechanischer Art gewonnen, z. B. Befreiung eines gefangenen Vogels aus dem Garn, Enthakung eines aufgehängten und nunmehr niederfallenden Gewichtes, Abstellen des Sperrhakens eines Uhrwerkes und dgl., gibt das Wort „auslösen“ ohne weiteres die Möglichkeit einer übertragenen, bildlichen Anwendung auf Verhältnisse, die nicht unmittelbar in den Bereich der Bewegungsgesetze fallen (vergl. „Lösegeld“ = Auslösegeld); demgemäß hat Mayer den Auslösungsbegriff sogleich auf die Gebiete der chemischen *Katalyse*¹, der physiologischen *Reizwirkung* und der psychologischen *Willenswirkung* (samt der Auslösung von Körperbewegungen durch Gefühle und Affekte) vorgetragen. Nicht ausdrücklich vermerkt ist in seinen Schriften die *bemessene Auslösung*, wie sie durch Ventilstellungen und „Drosselungen“ bewirkt werden kann; sie steht der einfachen Auslösung nach der „Alles-oder-Nichts-Regel“ als Sonderform zur Seite. Ferner gibt es eine spezifisch-angepaßte, *wahlhafte* Auslösung, die dem Verhalten von Schlüssel und Schloß entspricht und in unzähligen Fällen des Ansprechens eines Gebildes durch „Resonanz“ zutage tritt. Bemessene und angepasste, abgestufte und abgestimmte Auslösung werden vereinigt in dem Ausdruck: *Geregelte Auslösung* oder kurz *Regelung*, *Regulierung*, *Steuerung*; von ihr ist in Mayers physiologischen und medizinischen Äußerungen vielfach die Rede, z. B. „Die Regulierung des chemischen Prozesses . . . ist im Fieber wesentlich gestört“². Als negative Auswirkung des Auslösungsbegriffes erscheinen *Hemmung*, *Fesselung*, *Hinderung* in ihren verschiedenen Ausdrucksformen.

Man wird auch eine Unterscheidung machen müssen zwischen Auslösungen, bei denen die vom Auslöser angewendete und übertragene Energie geringfügig ist gegenüber der durch den Auslösungsakt frei werdenden, entbundenen Energie des angestoßenen Gebildes — nach der Art der Entfesselung einer Lawine „durch den Flügelschlag eines Vogels“ (R. Mayer) — und solchen Auslösungen, bei denen

das auslösende Agens im ganzen überhaupt keine „Arbeit“ (in streng physikalischem Sinne) leistet und infolgedessen aus der Energiebilanz vollkommen herausfällt: die Wirkungsweise des typischen Katalysators und die Anstoßwirkung des bewußten Willens sind hervorragende Beispiele hierfür³. Vielfach, namentlich in der Reizphysiologie, spielt der Begriff der „Schwelle“ (Reizschwelle, Unterschiedsschwelle) eine bedeutsame Rolle.

Wird der Energieinhalt eines bewegten Etwas (seine kinetische Energie) dazu gebraucht und verbraucht, ein anderes, in wirklichem Ruhezustand (nicht in labilem Gleichgewicht, in metastabilem Zustand) befindliches Etwas in Bewegung zu setzen, so sollte das Wort „auslösen“ nicht angemendet werden; der Schnabel eines Vogels pickt oder löst aus einer Getreideähre Körner *heraus* (nicht „aus“!), ein Photon löst aus einem Atom ein Elektron *heraus*.

An anderer Stelle⁴ ist dargelegt, über welch unerschöpflichen Reichtum an Ausdrücken für mannigfache Formen der Auslösung die Sprache verfügt; sie weist so den weitestreckten Geltungsbereich dieser Klasse von Erscheinungen ohne weiteres aus. Wenn zwar der Auslösungsbegriff nicht eine eigentliche „Erklärung“ ermöglicht, so bietet er doch ein ausgezeichnetes Mittel, ein vorzügliches Schema für eine adäquate Beschreibung kausaler Naturzusammenhänge.

Es ist bemerkenswert, daß Mayer bei allen Äußerungen über Auslösung die *Katalyse* in den Vordergrund stellt. Bei seiner Unterscheidung von Arbeit leistenden energetischen Wirkkräften (mechanische Kraft, Wärme, Elektrizität, chemische Affinität) und lediglich durch Auslösung sich betätigenden Trieb- und Richtkräften ist er sogar geneigt, den letzteren glattweg die Bezeichnung „katalytische Kraft“ zu geben; so gesehen ist auch der menschliche Wille eine „katalytische“ Kraft, und zwar eine solche höchsten Ranges in der Abstufung des Auslösungs- und Regelungsgeschehens der Natur⁵! Die Katalyse erscheint demnach als „Modell“ des Willens; „katalysieren“ ist die einfachste Art des Anregens, Anweisens, Kommandierens, Signal- und Stichwortgebens, Führens, Entwickelns in der Natur.

Von Mayer kaum hervorgehoben, stellt sich die Eigen- oder Selbstausslösung dar, die in Form der *Autokatalyse*

dem Chemiker so wohlbekannt ist und die sich von Selbsterregung, Selbstzündung über die biologisch wichtige Selbststeuerung, Selbstregulierung, Selbsthemmung, Selbstdifferenzierung bis in die psychologisch bedeutsame Frage der *Selbstbestimmung*, d. h. das Problem des freien Willens erstreckt. (Der Organismus von außen gesehen eine selbstregulierende chemodynamische Ganzheit auf historischer Reaktionsbasis.)

Wenn wir nunmehr zu einer Darlegung über den heutigen Stand des Auslösungsdenkens in der Chemie übergehen, so sei vorbemerkt, daß ähnlich wie auf anderen naturwissenschaftlichen Gebieten man nur ausnahmsweise bewußt und absichtlich an Mayer angeschlossen hat. Die Kürze und das aphoristische Gepräge von Mayers Auslösungsaufsatz, dem er nicht mehr, wie geplant, eine große Abhandlung über den gleichen Gegenstand folgen lassen konnte, mag für die geringe Beachtung mit verantwortlich zu machen sein, die jener Aufsatz bis heute gefunden hat. So ist die in den letztvergangenen fünfzig Jahren mit Macht fortschreitende Verfolgung des Auslösungsprinzipes in der Chemie mit Notwendigkeit aus der Forschung selbst hervorgegangen, ohne daß man sich der Übereinstimmung mit Mayers energetischer (dynamischer) Wirklehre bewußt geworden wäre. Demgemäß wird es sich im folgenden darum handeln, den *Einklang* zu kennzeichnen, in welchem die gegenwärtige chemische Kausalforschung mit Mayers Auslösungsgedanken steht.

Der Auslösungsbegriff in der heutigen Chemie

Keimwirkung

In die Physik hinüberreichend, d. h. als bloße formartige (aggregative) Umgestaltung — nicht atomare Umgruppierung — erscheint die Fülle der Keimwirkungen bei dem Übergang einer Substanz aus dem Gaszustand in den flüssigen oder festen, sowie aus dem flüssigen in den festen Zustand: Tröpfchenbildung aus unterkühlten Dämpfen, Kristallbildung aus unterkühlten Schmelzen und übersättigten Lösungen. Durchweg handelt es sich hier um die Erscheinung, daß in instabilen oder metastabilen Systemen die Abscheidung der thermodynamisch (gleichgewichtsmäßig) geforderten neuen Phase in der Regel erst dann rasch

vonstatten geht, wenn bestimmte Ansatzpunkte geschaffen sind, welche auslösend und beschleunigend wirken. Welche Bedeutung diese Erscheinung auf dem Gebiet der Meteorologie besitzt, kann hier unerörtert bleiben⁶. Während aber dort die unspezifische Fremdkeimwirkung überwiegt (Staubwirkung und dgl.), gewinnt in chemischen Vorgängen die spezifische Eigenkeimwirkung (also die Anstoßwirkung einer Fremdphase des gleichen Stoffes) die Oberhand.

Spezifische Keimwirkungserscheinungen in dem Bereich der Chemie hat als erster A. Horstmann (1885) beachtet, indem er zugleich die Brücke zu den später von W. Ostwald als *Autokatalyse* bezeichneten Vorgängen schlug. Als „Keimwirkungen“ sind nach Horstmann nicht nur die Auslösevorgänge bei übersättigten Lösungen und unterkühlten Schmelzen anzusehen, sowie die rasch fortschreitende Verwitterung kristallwasserhaltiger Salze, sobald erst einmal anhydrische Teilchen an hydratisierte angrenzen, sondern beispielsweise auch die rasche Ausbreitung des Rostes nach der ersten Bildung von Oxydflecken auf Eisen, sowie die Beschleunigung, welche die Reduktion von Permanganat durch Oxalsäure erfährt, sobald das Endprodukt, Mangansalz, in merklichen Mengen vorhanden ist.

W. Ostwald sagt 1901 im Hinblick auf die Keimwirkung: „Der Keim der anderen Phase ist nicht die Ursache der Reaktion in dem Sinne, in welchem R. Mayer das Wort gebraucht, denn er liefert nicht die für den Vorgang erforderliche Energie, sondern er ist nur die Auslösung eines Vorganges, der sich aus eigenen Kräften vollendet, nachdem er einmal in Gang gebracht ist“.

In der physikalischen Chemie der Gegenwart ist die auslösende Keimwirkung zu umfassender Bedeutung gelangt. Mit den Hilfsmitteln und Denkmethode der neuen Atom- und Molekularphysik werden nicht nur die altbekanntesten Teilgebiete weiter bearbeitet, sondern es haben sich auch neue große Gebiete dem Verständnis erschlossen. Dahin gehören die *Polymerisationen* in der organischen Chemie, d. h. die Bildung hochmolekularer Verbindungen aus niedermolekularen durch Kettenbildung, Verflechtung und Verfilzung.

Von größerer theoretischer und praktischer Bedeutung sind die Keimwirkungen auf dem Gebiet der *Photochemie*.

die sich in ihrer Erfassung seit langem in wachsendem Maße widmet. Ist durch den photochemischen Primärakt, der Äquivalenzgesetzen gehorcht, ein erstes Umwandlungsprodukt entstanden (bei dem photographischen Film etwa durch ein Lichtquant ein Silberatom, bei Lichteinwirkung auf Chlorknallgas ein Chloratom), so kann die induzierte Reaktion ohne weiteres oder unter bestimmten Bedingungen („Entwicklung“) als Dunkelreaktion weiter fortschreiten⁷.

Bei Polymerisierungen sowie bei photochemischen Reaktionen — und ebenso auch bei der Autokatalyse — ergeben sich Beziehungen der Keimwirkung zu einem besonderen Typus chemischer Auslösungserscheinungen, dem Gebiet der Kettenreaktionen, das in der neuzeitlichen Reaktionskinetik große Bedeutung erlangt hat.

Kettenreaktion

Durch Bodenstein ist zuerst 1913 die Existenz von „Kettenreaktionen“ (Christiansen) festgestellt worden, und zwar beim Studium der Chlorknallgasreaktion (Draper 1843; Bunsen und Roscoe 1855). Es handelt sich um eine eigentümliche Verflechtung von stofflich-energetischer Erhaltung und Auslösung, insofern als eine bestimmte Wirkung durch immer erneuten Anstoß, häufig vieltausend-, ja millionenfach, stafettenartig rasch weitergegeben wird.

Die Auslösung, der „Start“ der Kettenreaktion geschieht in der Regel durch katalytische, also stoffliche Anregung oder auch durch rein energetische „Zündung“; jede „ausgelöste“ und unterhaltene Flamme legt hiervon Zeugnis ab. Kettenverzweigung kann nach Semenov leicht zu *explosiven Reaktionen* führen (auch in Lösung, z. B. bei Polymerisationen). Ein Kettenabbruch entsteht durch „Auslöschen“ im Gesamtraum, bewirkt durch Dazwischentreten irgendeiner stofflichen, das Reaktionsgeschehen in andere Bahnen lenkenden Komponente, oder auch durch die sog. „Wandreaktion“. Vielfach steht die Kettenreaktion im Dienste der Katalyse, d. h. zahlreiche Katalysen verfolgen diesen Kettenweg statt des Kreisprozesses „Einschaltung — Ausschaltung“. Auslösungen und Hemmungen besonderer Art treten bei Selbstzündung und „Klopfen“ bzw. Klopfhinderung in Motoren auf.

Chemische Reaktionskopplung

Während in der Kettenreaktion chemische Erhaltungskausalität (E. K.) und Anstoßkausalität (A. K.) gewissermaßen im Nacheinander eng verbunden sind, kann es auch geschehen, daß eine bestimmte Reaktion das gleichzeitige Stattfinden einer anderen, und zwar einer „verwandten“ Reaktion ermöglicht. Wir gelangen damit auf das von Schönbein und Keßler (um 1860) erschlossene Gebiet der chemischen Reaktionskopplung oder der chemischen „Induktion“ (nicht zu verwechseln mit photochemischer oder physiologischer Induktion). Indem z. B. Sulfit durch Bromat (den Akteur oder Donator) eine Oxydationswirkung erfährt, kann es (als Induktor) eine Oxydation von gleichzeitig anwesendem, sonst gegen Bromat reaktionsträgem Arsenit (als Acceptor) hervorrufen. Von allen chemischen Erscheinungen zeigt die Reaktionskopplung am deutlichsten ein teleologisches Gepräge; bietet sie doch die Möglichkeit, eine nicht von selbst verlaufende, weil mit dem Entropiesatz unverträgliche Reaktion dadurch einzuleiten, daß diese stofflich oder auch nur energetisch an eine freiwillig verlaufende Reaktion angeschlossen wird, von deren Energieüberschuß sie zehren kann. Es handelt sich um einen Kunstgriff der Natur, der z. B. in der Muskelphysiologie große Bedeutung besitzt.

Katalyse nebst Antikatalyse und Autokatalyse

Schon von J. Berzelius ist die Katalyse in die Nähe der Auslösungskausalität gestellt worden, indem er sie 1835 als eine Art „Erweckung schlummernder Verwandtschaften“ bezeichnete; ebenso ist es J. Liebig geläufig gewesen, daß der Kontaktkörper nicht eigentlich „zaubern“, d. h. aus dem Nichts schaffen könne, sondern daß es sich dabei immer nur um eine Beihilfe zur Erfüllung des Strebens der Elemente handelt, „sich nach Graden ihrer Verwandtschaft zu ordnen“.

Mayers Unterordnung der Katalyse unter den Auslösungsbegriff findet sich wieder bei Schönbein, Bunsen, Kekulé, Berthelot u. a. Nach Horstmann wirken Katalysatoren in der Weise, daß sie „Hindernisse überwinden helfen, welche sich der betreffenden Veränderung in den Weg stellen, durch Auslösung der chemischen Kräfte, welche jene Veränderung anstreben“. Später sind auch

negative Katalysen beobachtet worden (Antikatalysen, Inhibitor-Wirkungen, grundsätzlich zu scheiden von Katalysator-Vergiftungen).

Auf die Frage, weshalb Wilhelm Ostwald trotz ausgezeichneten Kenntnis von Mayers Werk seine eingehenden Betrachtungen über das Wesen der Katalyse nicht von vornherein an den Begriff „Auslösung“ geknüpft hat, ist vom Verfasser an anderer Stelle eingegangen worden. Hier mag folgendes genügen: Einerseits haftet dem Auslösungsbegriff seiner Herkunft nach vielfach die Vorstellung an, daß es sich um einen *einmaligen* plötzlichen Anstoß nach der Art einer Explosionseinleitung handeln müsse, um Lawinenreaktionen, um Lauffeuerreaktionen; weitaus die meisten Katalysen sind jedoch nicht stürmende, sondern schleichende Katalysen, d. h. Bewirkungen allmählich fortschreitender Art, die eine *Dauergegenwart des veranlassenden Körpers* erfordern. Sodann aber war Ostwalds Augenmerk von seinen reaktionskinetischen Arbeiten her so stark auf den zeitlichen Verlauf der Reaktion gerichtet, daß er sich gedrungen fühlte, die Katalyse an den Ausdruck „Beschleunigung“ anzuknüpfen. „Beschleunigung“ im katalytischen Sinne, d. h. durch bloße Gegenwart, ist aber (ganz anders als mechanische Beschleunigung!) im Grunde wesensgleich mit zeitlich geregelter Auslösung⁸.

Welch hohe Bedeutung der von W. Ostwald zuerst genauer untersuchten *Autokatalyse* (Eigen- oder Zuwachskatalyse, als „Selbstvermehrung“) in Chemie und Physiologie zukommt, ist bekannt (s. auch S. 467).

In den letzten Jahrzehnten ist immer klarer geworden, daß der katalytische Effekt nicht nur in „Beschleunigung“, sondern auch in wahlhafter *Richtunggebung*, *Lenkung*, *Steuerung* bestehen kann; ein Hinweis auf das Kohlenoxyd-Wasserstoff-System, das je nach der Beschaffenheit des Katalysators die verschiedensten Reaktionsprodukte (bzw. Gemische solcher) liefert, kann hier genügen. Katalyse ist demnach heute zu definieren als diejenige Erscheinung des Chemismus, derzufolge ein chemisches Stoffgebilde, scheinbar durch seine bloße Gegenwart, Richtung und Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion oder Reaktionsfolge bestimmt. Oder auch, in engem Anschluß an Mayer: Katalyse ist von einem stofflichen Gebilde ausgehende und

auf stoffliche Vorgänge sich beziehende, qualitativ angepaßte und (zumeist) zeitlich geregelte Auslösung. Der Katalysator wird „Herr über Simultanreaktionen“ (Skrabal).

Erscheint eine beliebige katalytische Reaktion, z. B. die Ammoniaksynthese, im ganzen genommen als das deutlichste Beispiel reiner, nicht energetisch zu fassender Auslösungs- und Anstoßkausalität, so wird das Bild wesentlich modifiziert, sobald man diese Reaktion methodisch in ihre Bestandteile zerlegt. Für die *Elementarvorgänge* einer Katalyse gelten durchaus stoffliche und energetische Äquivalenz- und Erhaltungsbeziehungen, also Gesetzmäßigkeiten der E. K. Lediglich die besondere Beginnens- und Verknüpfungsart jener Partialprozesse oder Elementarakte ist es, welche dem katalytischen Vorgang seinen Charakter als Auslösungsvorgang (A. K.) aufprägt. Dabei bestehen in der Hauptsache zwei Formen des katalytischen Geschehens:

Ein *zyklischer Prozeß*, indem sich der Katalysator im Dauerrhythmus in das Geschehen einschaltet und sogleich wieder ausschaltet; hier gilt das klassische Schema der *Zwischenreaktionen* und *Zwischenzustände* nach Döbereiner, Kuhlmann, Mercer, Deacon, Bunsen, Sabatier u. a. m.

Ein *pfeilartiger Prozeß*, indem die Anstoßwirkung des Katalysators Kettenreaktionen zur Folge hat, die sich in einer Vervielfältigung von Elementarakt (Atome und Radikale betreffend) und damit in einer „Beschleunigung“ der Gesamtreaktion auswirken.

Schon Berzelius und Mayer haben enzymatische Prozesse (Fermentreaktionen) als wesensgleich mit der gewöhnlichen Katalyse des chemischen Experimentes erkannt. Auch diese *Biokatalyse* ist mehr oder weniger spezifisch — oft außerordentlich stark spezifisch in bezug auf Substrat und Richtunggebung —, und auch sie kann entweder „zyklisch“ oder in der Weise der Kettenreaktion verlaufen. Für jede katalytische Reaktion anorganischer oder organischer Art gilt, daß zu der allgemeinen Ordnungsgesetzmäßigkeit des Chemismus, die als stofflich-energetische Äquivalenzbeziehung der E. K. angehört, noch das Moment eines besonderen Anstoßes oder Anlasses, also einer A. K. hinzukommt.

Mayer hat gesagt: „Die unendliche Menge von Auslösungsvorgängen entzieht sich jeder Berechnung, . . . indem bei

denselben nicht mehr nach Einheiten zu zählen ist, mithin die Auslösung überhaupt kein Gegenstand mehr für die Mathematik ist“⁹. Ein Blick in eine beliebige neuzeitliche Schrift über Katalyse scheint dieses Wort Lügen zu strafen: ist doch die reaktionskinetische Erforschung der Katalyse mit wachsendem Erfolg bemüht, den zeitlich geregelten Verlauf auch katalytischer Reaktionen in mathematische Symbole zu fassen. Der eigentliche Kerngedanke Mayers bleibt jedoch hiervon unberührt: Für die quantitative Leistungsfähigkeit eines Katalysators lassen sich keine bestimmten Zahlenangaben machen; eine Platinpille kann im idealen Falle unendlich viele Male die Zündung von Knallgas wiederholen.

„Bedingungen“ des chemischen Geschehens

Ist Mayers Auslösungskausalität in verschiedenen Sondererscheinungen des Chemismus mehr oder weniger scharf ausgeprägt anzutreffen, so fragt es sich, ob nicht schließlich jede chemische Reaktion Momente der Auslösung, des Anstoßes, der Veranlassung in sich trägt. Das ist in der Tat der Fall. Indem der Chemiker die für das Reagieren bestimmten Stoffe passend zusammenbringt und sie in die geeigneten Reaktionsverhältnisse versetzt, wirkt er selber anstoßgebend, auslösend, antreibend, richtend. Sämtliche „Bedingungen“ für das Eintreten einer chemischen Reaktion, die gesamte Konstellation der „Umstände“ in bezug auf Druck, Temperatur, Säurezahl, Wahl eines Lösungsmittels, in gewissem Maße auch Anwendung elektrischer oder optischer Hilfsmittel usw. können unter den Begriff der Auslösung gefaßt werden. Man spricht von auslösenden Bedingungen, von auslösenden Momenten (neben „mittelbaren Ursachen“), von einer auslösenden Konstellation (z. B. der Gen-Garnitur der Organismus-Zellen). Es ist durchaus zutreffend, wenn es über die Bedingungen chemischen Geschehens schon in Lehrbüchern des vorigen Jahrhunderts heißt: „Chemische Prozesse können eingeleitet werden durch Erhitzung und Druckerhöhung sowie durch Katalyse“, wenn also die *katalytische* „Bedingung“ formallogisch der thermischen und mechanischen Bedingung an die Seite gestellt wird. Eine explosive Reaktion z. B. kann ebenso durch Temperaturerhöhung, Druck und Stoß, wie durch ener-

getische Initialzündung, oder durch katalytische Einwirkung als „auslösende Bedingung“ zustande kommen¹⁰.

R. Mayer hat 1876 geschrieben: „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft die *Auslösung* nennt. Eines der nächstliegenden Beispiele ist wohl das Knallgas. Eine Mischung von Sauerstoff und Wasserstoffgas in dem Verhältnisse, in welchem solche das Wasser liefert, tritt bekanntlich an und für sich in keine chemische Verbindung, bis dieselbe durch Wärme oder einen elektrischen Funken, oder durch Platinschwarz, eingeleitet wird . . . Alle Gährungsprozesse beruhen auf Auslösung . . . Treten wir in die lebende Welt ein, so sehen wir, daß unser ganzes Leben an einen ununterbrochenen Auslösungsprozeß geknüpft ist.“

Wirk- und Reizstoffe in der Biologie und in der Medizin

„Wir bekommen gegründeten Anlaß zu vermuten, daß in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten vor sich gehen“, hat Berzelius 1835 gesagt. Ähnlich spricht Mayer 1845 von einem „Kontakteinfluß der Gefäßwandungen und der Organe“¹¹, und C. Ludwig gar hat 1852 geschrieben: „Es dürfte leicht dahinkommen, daß die physiologische Chemie ein Teil der katalytischen würde.“

Tatsächlich stellt Ludwigs Satz, wie das heutige biochemische und physiologische Schrifttum aufweist, keine allzu große Übertreibung dar: Allenthalben, bei Wirk- und Reizstoffen, Hormonen und Vitaminen, Induktions- und Prägnanzstoffen, Vererbungsstoffen und „Organisatoren“, schließlich auch bei den zahllosen Infektions- und Heilstoffen, ist so gut wie durchweg stoffliche Anstoß- oder Auslösungskausalität beteiligt, eng gekoppelt mit energetischen Äquivalenzbeziehungen, also mit Erhaltungs- und Umsetzungskausalität. Die verhältnismäßig einfache, veranlassende und richtende, unspezifische wie spezifische Wirkung des Katalysators, mit „Abschwächung“ und „Verstärkung“ oder „Modifizierung“ im *Mehrstoffkatalysator*, wird hier zu einer ungemein verwickelten synergischen und antagonistischen Betätigung mannigfachster Stoffgebilde, in einer wohlgeordneten hierarchischen Abstufung

der verschiedenen Instanzen der organischen Funktion¹². Ohne die Betätigung stofflich gebundener und dazu gestaffelter Auslösekräfte, Trieb- und Richtkräfte (Dominanten nach J. Reinke, „Oberkräfte“ nach E. v. Hartmann und Billroth, „bilanzfreie Impulse“ nach R. Woltereck) kein Leben!

Über die unendlich komplizierten Wechselbeziehungen in diesem „Wirken der Natur“ hat R. Mayer 1854 gesagt: „Leichter wird man eine Quinterne treffen, als eine Reihe verwickelter Naturprozesse durch Suppositionen erraten“ und dazu in einer Fußnote: „Glücklich . . ., daß Schicksal und Natur ein Facit ziehen“¹³. Daß im Reiche des Lebenden eine neue Stufe in der Rangordnung der Anstoßkausalität erreicht wird, eine *höhere Gesetzlichkeit* hinzutritt, läßt der Schlußatz dieser Abhandlung von 1845 erkennen: „Hier, wie in jedem physiologischen und pathologischen Prozesse, spielt Organologisches und Chemisches, Solidares und Humorales, Nerv und Blut gleichzeitig seine Rolle, und es mögen die Lebenserscheinungen einer wundervollen Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen; nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie, in der Harmonie nur liegt das Leben“¹⁴.

Anmerkungen

¹ Von „katalytischer Kraft“, als einer Auslösekraft, ist schon in R. Mayers großer Schrift von 1845 die Rede (M. I, S. 102), desgl. hier und später von Regulierung, Regelung (M. I, S. 92, 329, 409). Ausschließen dem Auslösegedanken ist die kleine Schrift von 1876 „Über Auslösung“ (M. I, S. 440/446) gewidmet, welche wohl unter einem gewissen Einfluß von E. Du Bois-Reymond steht; siehe dessen Referat über Elektrophysiologie in: Fortschritte der Physik im Jahre 1847 — Berlin: 1850, S. 392 ff., insbes. S. 415. Der Begriff „potentielle oder virtuelle Energie“ (Spannkraft nach Helmholtz) wird von Mayer mit Vorliebe unter dem Ausdruck „Differenz“ gefaßt. So gibt es räumliche Differenz = Fallkraft als Energie der Lage, Gravitation; thermische Differenz, elektrische Differenz (Potentialdifferenz), chemische Differenz (Affinität). Für die Ausgleichung derartiger Differenzen (zu Null) verwendet Mayer schon 1841 das Wort „neutralisieren“, das er der Chemie entnimmt: Neutralisieren von Säure und Basis zum indifferenten Salz. In Mayers Begriff „Neutralisierung“ für die Besetzung oder Aufhebung von Kraftspannungen ist bereits die Vorstellung eines die Neutralisierung veranlassenden Agens, d. h. einer Auslösung nach Mayers späterem Ausdruck, verborgen. „Jede Energieform hat das Bestreben, von Stellen, in welchen sie in höherer Intensität vorhanden ist, zu Stellen von niedriger Intensität überzugehen, sie heißt ausgelöst, wenn sie diesem Streben folgen kann“ (G. Helm: Die Lehre von der Energie, historisch kritisch entwickelt — Leipzig: A. Felix 1887). „Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Verminderung der freien Energie“ (W. Ostwald: Der Wille und seine physische Grundlegung. — Scientia Bd. 9 1911, S. 364/79.) — 2 M. I, S. 330. — 3 Unter Außerachtlassung der Kata-

lyse ist mehrfach (z. B. von H. Driesch: Naturbegriffe und Natururteile — Leipzig: W. Engelmann 1904) behauptet worden, daß das auslösende Agens nur durch eigene Energiebetätigung, wenn auch geringfügiger Art, wirken könne; selbst bei W. Ostwald (Philosophie der Werte — Leipzig: Kröner 1913) findet sich noch die Behauptung, daß für die Auslösung freier Energien eine endliche fremde Energiemenge „unbedingt notwendig“ sei. Mayer dagegen hat schon 1845 (M. I, S. 124) die Möglichkeit ins Auge gefaßt, daß im Organismus ein „steuernder Kontakteinfluß“ durch ein „verschwindend Kleines“, „kleiner als jede gegebene Größe“, ausgelöst wird. — 4 Mittasch, A.: Julius Robert Mayers Kausalbegriff — Berlin: Springer-Verlag 1940. Die Vielgestaltigkeit der Auslösungserscheinungen, von der Physik und Chemie über die Biologie bis in die Psychologie und die Geistes- und Kulturwissenschaften, wird durch die Mannigfaltigkeit sprachlicher Symbole angezeigt, von denen wir eine Auswahl anführen: Positiv: anfauchen, anregen, antreiben, anstacheln, anlassen (veranlassen), ankurbeln, aufstören, einleiten oder beschleunigen (eine Reaktion), entfesseln, entriegeln, enthemmen, entladen, entspannen, entzündend, einschalten, einklinken (einen Funktionskreis), einspannen, eröffnen, erregen, erwecken, hervorrufen, führen, lenken, leiten, richten, regeln, steuern, starten lassen, umstimmen, verstärken, vermitteln, zum Umklappen (Umklappen, Überlaufen) bringen, Welche stellen, Signal oder Stichwort geben, anweisen, befehlen, nötigen, anreizen, aufwiegeln, aufrütteln, als Sauerteig als Explosivstoff wirken, animieren, alarmieren, katalysieren, aktivieren, dirigieren, induzieren, evozieren, provozieren, mobilisieren, realisieren, als Relais wirken, stimulieren, sensibilisieren, transformieren, innerisieren, organisieren (Spemann), suggerieren usw. Negativ: Abschwächen, ablenken, abriegeln, abwehren, ausschalten, auslöschend, abbrechen, abblenden, abstoppen, blockieren, bremsen, binden, drosseln, fesseln, dämpfen, einschränken, einschläfern, einüllen, unterdrücken, zügeln, sperren, ausklinken, verdrängen, verhindern, vergiften, desensibilisieren, paralisieren, inhibieren, suspendieren (Drieschs „suspendierende“ Wirkung der Entelechiel) (Unbestimmt bleibt der Anteil der A.K. am Gesamtprozeß in den Wortausdrücken: beeinflussen, beeinträchtigen, bedingen, bestimmen, determinieren, von etwas abhängen u. a. m.). — 5 Bereits in der Schrift von 1845 stellt Mayer die lenkende Willenskraft (z. B. des Steuermanns auf einem Schiffe) der arbeitstretenden Dampfkraft gegenüber. „Der geistige Einfluß . . . lenkt, aber er bewegt nicht“ (M. I, S. 87). 6 Hierzu sei auf den Beitrag Schmauß, S. 199/202 in „Julius Robert Mayer und das Energieprinzip“ Berlin (1942) verwiesen. — 7 Über die chemische Keimwirkung im allgemeinen (Fremdkeim und Eigenkeim) sei auf M. Volmer (Kinetik der Phasenbildung — Dresden: Steinkopff 1939) verwiesen; über die photochemische Keimwirkung und über Kettenreaktion siehe M. Bodenstein (50 Jahre chemische Kinetik — Z. Elektrochem. Bd. 47 (1941) S. 667/72; ders.: Wie wird aus einer ruhigen chemischen Reaktion eine Explosion? — Naturwiss. Bd. 25 (1936) S. 609/10); hinsichtlich der Keimwirkung bei Polymerisierungen siehe G. Schulz und E. Husemann (Über die Kinetik der Kettenpolymerisation — Angew. Chem. Bd. 50 (1937) S. 767/73). Auch beim „Fließen der Metalle“ gibt es Ähnliches (Dehlinger). — 8 Erst 1913 werden von W. Ostwald katalytische Reaktionen von der Art der Inversion des Rohrzuckers als „Auslösungen“ bezeichnet, und zwar als „geregelte Auslösung“, im Gegensatz zu „totaler Auslösung“; so ergibt sich ein Widerspruch mit der in dem gleichen Werke vertretenen Anschauung, daß eine Auslösung stets eine energetische Betätigung verlange (siehe auch Anm. 3). Von Ostwalds Katalyse-Schriften seien die zwei Vorträge „Über Katalyse“ hervorgehoben (Vortrag vor der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte 1901 — Leipzig: Vogel 1901; Nobelpreisvortrag 1909 — Leipzig: Akadem. Verlagsges. 1910). Siehe auch G. Schwab: Katalyse vom Standpunkt der chemischen Kinetik — Berlin: Springer-Verlag 1931; M. Trautz: Handwörterbuch der Naturwissenschaft, 2. Aufl. — Jena: G. Fischer 1936, Stichwort „Katalyse“. — 10 Anstöße, zumal heimlicher und schleicher Art, werden vielfach als „Bedingungen“ bezeichnet; eine „Bedingungskonstellation“ ist eine Auslösungskonstellation, welche mehr oder minder zahlreiche und ungleich bedeutsame Einzelanstöße als „Haupt- und Nebenbedingungen“ ver-

schiedener Art umfaßt. Die oft unübersehbare Fülle aller Einzelanstöße für ein bestimmtes Geschehen, vor allem in Lebewesen, hat zu dem Versuch einer Ausschaltung des Wortes „Ursache“ geführt: „Es gibt keine Ursachen, es gibt nur Bedingungen“ (Konditionismus von Vorworn und Mach). Der Sprachgebrauch kennt keine scharfe Abgrenzung der Wortbedeutungen „Ursache“, „Anlaß“, „Bedingung“; hier entscheidet das „Sprachgefühl“. Eine bakterielle Infektion wird man heute weiteres als „Ursache“ der Erkrankung bezeichnen, die mitwirkende körperliche Disposition lediglich als begünstigende Bedingung. Andererseits unterscheidet man etwa für den Ausbruch eines Krieges die veranlassenden Ereignisse (z. B. die Schüsse in Serajewo 1914) von den „tieferen Gründen“, den eigentlichen Wirkursachen. Wesentlich ist, daß sachliche Klarheit herrscht. Die eigentliche Wirkursache ist physikalisch durchweg in den nach Äquivalenzverhältnissen sich umsetzenden freien Energien gegeben; damit der Vorgang tatsächlich in bestimmter Weise vorstatten geht, sind oft Auslösungsursachen, Anstoßbedingungen, Anlaßkräfte, besondere Faktoren und „höhere Mächte“ vonnöten. Differenzierte chemische „Systemkräfte“ (J. Reinke: Naturwissenschaft, Weltanschauung, Religion — Freiburg i. Br.: Herder & Co. 1925) im Gegensatz zu mechanischen Kräften folgen nicht ohne weiteres aus den räumlichen Strukturverhältnissen stofflicher Masse, sondern werden nur durch das Strukturschema dem Kundigen symbolisch angezeigt. Kein „Mechaniker“ vermag aus einer komplizierten chemischen Strukturformel die mögliche Reaktionsweise, d. h. die latenten Kräfte der Verbindung abzulesen. „Daß der Verlauf chemischer Vorgänge von Chemikern vielfach Mechanismus genannt wird, ist ebenso bedauerlich wie unrichtig, da es mit Recht beanstandet werden würde, wenn, was niemals geschieht, umgekehrt ein mechanischer Vorgang als ein Chemismus bezeichnet werden würde.“ (A. Hantzsch: Ber. dtsch. chem. Ges. Bd. 64 (1931) S. 674, Fußnote). — 11 M. I, S. 104. — 12 Um präparative Herstellung von „Enzymmodellen“ hat sich Langenbeck erfolgreich bemüht. Wie Staudinger mit Recht bemerkt, darf ein chemischer (z. B. hormonaler) Vorgang, welcher dem Satze „Kleine Ursachen, große Wirkungen“ entspricht, nicht unbesehen als Auslösung, als Katalyse hingestellt werden. Wenn beispielsweise in ein Gebilde mit dem Molekulargewicht 10 000 ein Sauerstoffatom an einer bestimmten Stelle eintritt und dadurch die chemischen Eigenschaften dieses Gebildes stark verändert, so ist das keine katalytische A. K., sondern eine einfach stöchiometrisch-chemische Umsetzung, E. K. Durchweg aber werden in der Tätigkeit von Wirk- und Reizstoffen katalytische Teilakte eine maßgebende Rolle spielen. — 13 M. I, S. 96. — 14 M. I, S. 128.

Über die Reichweite des Auslösungsbegriffes

„Dem Willen des Steuermanns und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfbootes. Der getriggerte Einfluß . . . , er lenkt, aber er bewegt nicht.“

R. Mayer 1845.

„Treten wir in die lebende Welt ein, so sehen wir, daß unser Leben an einen ununterbrochenen Auslösungsprozeß geknüpft ist.“

R. Mayer 1876

Weiten Kreisen ist es heute geläufig, daß Robert Mayer dem zu seiner Zeit herrschenden mechanistischen Kausalbegriff einen *energetischen Kausalbegriff* entgegengestellt und übergeordnet hat. Nicht Druck und Stoß der Atome führen das Regiment in der Natur — wie schon Leibniz erkannt hatte —, sondern die *Kraft*. Indem die Naturkraft wirkt, gegen Widerstände Arbeit leistet, entsteht *Bewegung* stofflicher und sonstiger Art. Das Grundgesetz aller Kausalik lautet: *causa aequat effectum*; die energetische Ursache erschöpft sich in der energetischen Wirkung; „die Wirkung ist äquivalent der Ursache“ (Wundt)¹.

Bekannt ist auch, daß Robert Mayer zur Ergänzung dieses Prinzips der *Erhaltungs- oder Umsetzungskausalität* (E.K.), zur Vervollständigung seiner energetischen Wirklehre, den Begriff der *Auslösungskausalität* (A.K.) als einer Realisierung latenter, disponibler Energien aufgenommen und ausgebildet hat. Nur ausnahmsweise vollzieht sich die Umwandlung einer bestimmten Energieform und Energiemenge in eine andere „von selbst“ und „ohne Nötigung“, zumeist bedarf der *Übergang von der Möglichkeit zur Wirklichkeit, von der Potenz zum Akt* eines energetisch mehr oder minder belanglosen Anstoßes, einer „Auslösung“ als einer Beseitigung vorhandener Hemmungen. Hier gilt der Satz: *Kleine Ursache — große Wirkung*.

Das Anteilverhältnis von Umsetzung (= eigene Arbeitleistung) und Auslösung (= Entfesselung fremder Kräfte) ist in Naturvorgängen sowie in menschlichen Handlungen jeweils sehr verschieden. Ihr Urbild hat die E.K. in der willkürlichen menschlichen Arbeitleistung (pflügen, graben, heben, stoßen, schneiden, schlagen, ziehen usw.), die A.K. in der Benutzung fremder Arbeitskräfte: entweder der

¹ Blätter f. Deutsche Philos. 17 (1943) 298—323.

Kräfte anderer Lebewesen (das Pferd einspannen) oder der Kräfte der leblosen Natur (ein Feuer entzünden)².

Wurde die energetische Wirklehre von Robert Mayer im Schrifttum des vergangenen Jahrhunderts nur wenig beachtet und gewürdigt, so ist sie doch der heimliche Herrscher in aller heutigen Ursachforschung. Wie wertvoll, ja unentbehrlich der von Robert Mayer aus dem engen Bereich mechanischer Verhältnisse in das Gesamtgebiet des Geschehens und Handelns vorgetragene Begriff der auf energetischer Koppelung beruhenden „Auslösung“ für die Wissenschaft geworden ist, zeigt sich schon bei einer Betrachtung des Umkreises *sprachlicher Bezeichnungen*, die sämtlich unter jenen Begriff (in der allgemeinsten Bedeutung des Wortes) fallen.

I. Sprachsymbole der Auslösung

a) Vorwiegend gemäß der *Alles-oder-Nichts-Regel*, unspezifisch: Anregen, anlassen (veranlassen), anbahnen, anreizen, antreiben, anstecken, anstoßen (ein labiles System). anstacheln, anspornen, anlocken, anfeuern, ankurbeln, anstiften, aufrütteln, aufpeitschen, aufschließen, aufriegeln, aufrühren, aufwiegeln, auslösen³, aushaken, ausklinken, abschießen, eröffnen, einleiten, einschalten, einspannen, erwecken, erregen, eröffnen⁴, entfachen, entzünden (z. B. ein Lauffeuer), entfesseln, entbinden, enthemmen, entriegeln, entladen, entlasten, entspannen, entzügeln, hervorrufen, reizen. Dazu noch: Auf den Knopf drücken, zum Umkippen, Umklappen, Umschlagen, Überlaufen, zum Explodieren bringen, dem Faß den Boden ausschlagen, starten oder aufsteigen lassen, in Gang oder Szene setzen, Anklang finden; als Explosivstoff, als Sauerteig, als Keim, als Motiv, als Impuls, als Imperativ, als Schock, durch Berührung oder Kontakt wirken. Negativ: Ausspannen, ausschalten, auslöschten, abblenden, abriegeln, abstellen, aufheben, binden, blockieren, eindämmen, einschläfern, einlullen, beruhigen, fesseln, hemmen, hindern und verhindern, löschen, sperren (absperren, versperren), verdrängen, vertreiben, vergiften, lähmen, wegscheuchen, zuschließen.

Wie man leicht sieht, ist vielfach auch eine *merkliche Arbeitleistung des Auslösers* gegeben. Eine *stärkere energetische Beteiligung* des Auslösenden deuten an Worte wie

abwehren, befreien, beeinflussen, unterstützen, fördern, unterdrücken, eingreifen, verschulden, vermitteln, nötigen, zwingen, helfen, heilen; sehr wechselnd ist der Wortsinn von bestimmen und bedingen. In der Bedeutung des Wortes „stören“ mögen arbeitendes Bewirken und bloßes Veranlassen sich die Waage halten; bei „aufstören“ liegt der Nachdruck auf dem Anlaß (A.K.), bei „zerstören“ auf der (vernichtenden) Arbeit (E.K.). Ähnlich schwankend ist der Anteil von Arbeitleistung und Veranlassung bei den Gliedern der Wortfamilie „stoßen“: anstoßen, abstoßen, verstoßen, zerstoßen, zurückstoßen usw.; oder „lösen“: auflösen, auslösen, herauslösen, erlösen; oder „spannen“: abspannen, ausspannen, einspannen, entspannen, umspannen usw.

b) Im Sinne einer *quantitativ abgestuften Auslösung*: Abschwächen, bremsen, beschleunigen oder verzögern (eine chemische Reaktion), drosseln, steigern, verstärken (in Elektrodynamik, Chemie und Physiologie)⁵, als Relais wirken, Ventil stellen, zügeln. Wie einfache „Auslösung“ in „Abstufung“ übergehen kann, zeigt deutlich eine Kugel, wenn sie, statt an einer Aufhängevorrichtung für freien Fall ausgehakt zu werden, zum Abwärtsrollen auf einer schiefen Ebene beliebiger Neigung gezwungen wird⁶.

Zu der *Auslösungs- oder Reizschwelle*, die für jede Auslösung gilt (immer ist eine endliche Größe des auslösenden Gebildes notwendig), gesellt sich hier die *Unterschieds- oder Steigerungsschwelle*, d. h. der Begriff eines Betrages, um welchen das auslösende, stoffliche oder energetische Gebilde verändert werden muß, damit auch die Wirkung sichtlich anders wird. Man denke an die Abhängigkeit einer katalytischen Beschleunigung von der Menge des Katalysators sowie an das Webersche Gesetz der Beziehung zwischen der Stärke des auslösenden Reizes und der ausgelösten Empfindung (bzw. Handlung als deren Folge). Das von R. Mayer für die Auslösung glatt verneinte *quantitative Moment*⁷ gelangt hier also in gewisser Weise doch zur Geltung. Eine feste zahlenmäßige Beziehung zum *Umfang der Gesamtwirkung* kann jedoch auch hier fehlen: ein Katalysator z. B. kann verschieden lange und verschieden viel Substrat umsetzen.

c) Mit besonderer Betonung einer *qualitativen Abstimmung* (oft verbunden mit b), also wahlhafte, selektive, auf

Resonanz (= Verzahnung, Entsprechung, Gemäßheit und Zuordnung) gestellte Auslösung, nach der Art von Schlüssel und Schloß (auch Nachschlüssel zuweilen), Sender und Empfänger. So gibt es spezifische Reize neben unspezifischen, qualitative Regelung neben quantitativer. Hierher gehören die Wörter anweisen, anlocken, anpassen (aktivisch), abstimmen und umstimmen (auch verstimmen), befehlen, führen, gebieten, leiten (nebst ableiten, verleiten usw.), lenken, regeln, richten, Signal oder Stichwort geben, fragen, als Kompaß wirken, steuern, umschalten, verbieten. Weiche stellen, zuordnen; schließlich auch entwickeln, erziehen, schulen (mit dem Moment der Dauer).

Die *Unschärfe der Grenzen* zwischen den Wortbedeutungen unter a, b, c offenbart sich vor allem bei dem Gebrauch entsprechender *Fremdwörter*, wie animieren, aktivieren (z. B. einen Instinkt), alarmieren, determinieren, dirigieren, harmonisieren, induzieren, infizieren, inhibieren, innervieren, katalysieren, kommandieren, koordinieren, organisieren (z. B. Spemanns embryonaler „Organisator“), passivieren, paralisieren, polarisieren, realisieren, regulieren, sensibilisieren und desensibilisieren, spezifizieren, suspendieren, stimulieren, suggerieren, transformieren, vitalisieren u. dgl. Eine *Katalyse* z. B. kann sich in einer Explosion (a) oder in einem der Katalysatormenge entsprechenden ruhig fortschreitenden Vorgang (b) äußern; sie kann dabei unspezifisch sein (in hohem Maße z. B. bei Einflüssen des Wasserstoffions) oder (gemäß c) spezifisch wie die meisten heterogenen Katalysen.

Physikalische und physiologische „Funktionen“ enthalten regelmäßig neben energetischen Äquivalenz-Beziehungen auch Auslösungsmomente; der Gesamtvorgang setzt sich hinsichtlich der *Arbeitleistung* zusammen aus dem (kleinen) Anteil des Auslösers und dem (großen) Anteil des ausgelösten tätigen Gebildes.

Für das *passivische „ausgelöst werden“* gibt es ähnlich zahlreiche Wortsymbole: mitschwingen, einschnappen, reagieren (auch abreagieren), in Brand geraten, auftauchen, antworten (beantworten), ausdrücken (z. B. mimischer und sprachlicher Ausdruck, Gebärde und Rede), nachahmen (etwas Vorgemachtes, Aufbewahrtes oder Vererbtes: „eingebildete“ Schemata als Auslöser), einfallen (psychologisch:

freier Einfall als „Selbstausslösung“), ausweichen, sich anpassen; sowie aufmerken, perzipieren, apperzipieren, überlernen, ergreifen, sich aneignen, übernehmen, wiederholen. „Die innigste und häufigste Verschmelzung von einer Art Gebärdensymbolik mit dem Ton nennt man *Sprache*“ (Nietzsche). Sehr mannigfache Bedeutung kommt dem Ausdruck „von — abhängen“ zu.

d) Eine *Sonderform* der Auslösung tritt schließlich zutage in Wortbildungen, die unter a, b, c angeführten oder ähnlichen Ausdrücken ein „selbst“ vorschalten, z. B. Selbstführung, Selbststeigerung, Selbstsperrung, Selbstzügelung, Selbstentfaltung, Selbstverschwendung, Selbstverströmung; oder „frei“ (z. B. freisteigende Vorstellungen); oder „auto“ (z. B. Autokatalyse, Autosuggestion)⁸. Kant spricht von „Selbstaffizierung“, Rudolf Eucken von „Sichselbstschaffen des Lebens“ als herrschender Idee in einer aufsteigenden Lebensordnung, Richard Woltereck von Autokausalität = Selbsterregung und Selbstregelung im Organismus.

Der *Zustand potentieller Energie* als Voraussetzung alles Ausgelöst- und Gesteuertwerdens wird bezeichnet durch Wortausdrücke wie geladen, gespannt, angestaut, aufgespeichert sein, auf dem Sprunge stehen, in der Luft liegen. Man spricht von Kippsystemen, von Zündspannung, von Explosionsfähigkeit. Auf höherer Ebene machen sich Bündelungen bestimmter potentieller Energien geltend als Bereitschaft, Erregbarkeit, Einstellung, Empfänglichkeit, Anlage, Vermögen, Trieb und Drang, Neigung, Bedürfnis, Verlangen, Erbgedächtnis (Mneme), Konstitution, Disposition (z. B. engrammatische Disposition), Talent usw. Jede Ladung und Aufrüstung (auch Ernährung) schafft neue potentielle Energien. „Jugend ist Fülle der Potenzen“ (Hans Petersen).

Das angestoßene oder angeregte Etwas ist durchweg eine *Ganzheit*, ein anorganischer oder organischer Körper. Das auslösende oder „anstoßende“ Etwas kann ein stofflich-energetisches Gebilde sein (z. B. „der Flügelschlag eines Vogels“ nach R. Mayer bei der Auslösung einer Schneelawine), ein Katalysator; oder es ist rein energetischer Art (z. B. Auslösung einer Explosion durch Strahlung); oder es kann schließlich auch von psychischer Beschaffenheit sein: ein inneres Bild, Schema, Phantasma, Engramm, Imago-

Archetyp, ein Impuls oder Willensanstoß (Motivation nach Schopenhauer)⁹.

Besondere Beachtung verdient die *Art der Hemmungen und Hinderungen*, welche durch die Auslösung beseitigt werden, nach W. Ostwalds Ausdruck: die jeweiligen Kompensierungen der Intensitätsgröße einer gegebenen Energiemenge¹⁰. Solche Hinderungen können verschiedenster Art sein: von dem Haken ab, in welchen die fallbereite Wurf- bombe eingeklinkt war, und von den hindernden „Potentialwällen“ bei atomaren und molekularen Reaktionen bis zu den „Abwehrkräften“ des bakteriell bedrohten Organismus und den psychischen Verklemmungen und Verkrampfungen, sowie „Bedenken“ im Falle von Willensentschlüssen.

Die bisher verzeichneten Sprachsymbole werden für die *verschiedensten Energiebereiche* verwendet, also für mechanische, thermische, elektrische, chemische, physiologische. Ja auch für psychophysische Vorgänge (die *von außen* betrachtet und gemessen immer energetische Prozesse sind). Unerläßliche Bedingung für das Stattfinden einer Auslösung ist jeweils das *Vorhandensein eines Potentialgefalles* bzw. freier, d. h. umsetzungsbereiter und arbeitsfähiger *Energiemengen* des Empfängers gegenüber seiner Umwelt. Auslösung ist nie Zauberei; der erste und der zweite Hauptsatz der Energetik (Erhaltung der Energie, Zunahme der Entropie) bilden durchweg den Rahmen, den Spielraum. Innerhalb dessen allein Auslösung möglich ist. „Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Verminderung der freien Energie“ (Wilhelm Ostwald in „Scientia“ 1911).

Als weitere Bedingung kommt in der Regel das *Vorhandensein einer Entsprechung*, eines Abgestimmtseins, einer Resonanz hinzu (siehe S. 481, Beispiel: das „sonnenhafte“ Auge als Lichtempfänger, nach Goethe).

II. Der Auslösungsbegriff in den verschiedenen Wissenschaften.

Besitzen fast alle Wortausdrücke für Auslösungsvorgänge *mechanische Urbedeutung* (nur wenige sind sonstigen Gebieten entnommen), so reicht ihr Anwendungsbereich doch viel weiter. Große Mannigfaltigkeit der Auslösung herrscht im Gebiet der *Chemie* und der *Physiologie*, sowie vor allem im *Gebiet menschlichen Gehabens und Handelns*. Dabei

erhalten die ursprünglich rein mechanistischen Wortausdrücke allgemeinere, übertragene und höhere, symbolische Bedeutung. Keiner einzigen Wissenschaft ist die „Auslösung“ (nebst zugehöriger „Hemmung“) fremd; allen Seinsschichten (im Sinne von Nicolai Hartmann) ist sie zugehörig; keine Ursachenforschung kann sie entbehren.

In bezug auf *Physik* seien als Beispiele noch genannt das Ingangsetzen eines aufgezogenen Uhrwerks, das Abfeuern eines Schusses, die Entladung einer Leydener Flasche sowie der Impuls der Elektronensteuerung durch elektrische Felder als Prinzip der Verstärkerröhre.

Dem *Mineralogen* ist geläufig die *Keimwirkung* bei Kristallisationen, aus übersättigten Lösungen und unterkühlten Schmelzen, sowie aus Dämpfen, und zwar zunächst die Wirkung von Kristallteilchen der gleichen Substanz, sodann aber auch ein entsprechender Einfluß von *Fremdkeimen* unter bestimmten Umständen (z. B. Titansäure, als verbreiteter „Kristallisator“). Hier beginnt die geheimnisvolle Betätigung durch bloße Anwesenheit, durch Berührung allein, *ohne Arbeitleistung des Erregers!*

Die *Meteorologie* befaßt sich mit der Auslösung atmosphärischer Niederschläge durch spezifische und unspezifische Kondensationskerne, die *Geologie* mit den auslösenden Ursachen von Vulkanausbrüchen, Erdbeben und Erdbeben.

In der *Chemie* ist es vor allem das Gebiet mittlerer und niedriger Temperaturen, in welchem die *Auslösung und Richtunggebung durch verschiedene Einflüsse* eine große Rolle spielt. Da chemische „Hemmungen“ mit steigender Temperatur stetig geringer werden — die Reaktionsgeschwindigkeit stark ansteigt —, so wird man z. B. bei 2000 Grad kaum noch chemische Auslösungen (üblicher Art) finden, um so mehr aber in den niederen Temperaturbereichen, in welchen der Mensch in der Regel chemische Reaktionen beobachtet und ausführt.

Die Auslösungen im chemischen Bereich können *rein energetischer Art* sein: z. B. Wirkung kurzweiliger Strahlung auf energiebegabte Gemische von Chlor und Wasserstoff (photochemische Induktion), Zündung brennbarer oder explosiver Substanzen durch Stoß, elektrischen Funken usw. Die allergrößte Bedeutung aber gewinnt die *stoff-*

*liche Katalyse*¹¹ als Einleitung und Richtunggebung chemischer Reaktionen durch bloße Gegenwart bestimmter Stoffe (Fremdkatalyse und Autokatalyse, entsprechend Fremdkeim und Eigenkeim beim Kristallisieren). Auch Start und Abbruch von Kettenreaktionen werden katalytisch ausgelöst; ferner spielt die Auslösung in „Korrosion“, die Hemmung bei der „Passivität“ von Metallen eine wichtige Rolle.

Chemismus ist — anders als Mechanismus — eine *Spielraumgesetzlichkeit*, die oftmals *verschiedene Möglichkeiten des Geschehens* im gleichen System gewährt. In einem Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemisch kann je nach Wahl des Katalysators und der zugehörigen Bedingungen von Temperatur und Konzentration die Bildung sehr *verschiedenartiger Verbindungen* ausgelöst werden (Methan, Methanol, flüssige Kohlenwasserstoffe usw.); der alte Ausdruck „Wahlverwandtschaft“ hat seinen guten Sinn. Man braucht also gar nicht in das subatomare Gebiet vorzudringen, um „Unbestimmtheiten“ zu entdecken; schon ein labiles chemisches System läßt „Freiheiten“, die erst durch das Eingreifen eines Katalysators zur Bestimmtheit werden.

Eine eigenartige und namentlich physiologisch wichtige Form chemischer Auslösung besteht darin, daß eine freiwillig verlaufende Reaktion aus ihrem Energieüberschuß eine andere gleichzeitig mögliche, aber Energiezufuhr verlangende Reaktion speist, derart, daß insgesamt doch dem Gesetz der Zunahme der Entropie Genüge geleistet wird: *Reaktionskopplung* oder *chemische Induktion*, nach Schönbein und Keßler.

In der *Physiologie* setzt sich vor allem die Katalyse als *Biokatalyse*, d. h. einer stofflichen Befehlsausgabe im Lebendigen, in ganz unübersehbarer Mannigfaltigkeit fort: Wirkung von hochspezifischen Enzymen oder Fermenten, an die sich andere Wirkstoffe, wie Vitamine, Hormone, Reiz- und Prägungstoffe, Befruchtungs- und Induktionstoffe, Lock- und Schreckstoffe usw., anschließen. „Die Bedeutung der Biokatalysatoren kann nicht überschätzt werden“ (Butenandt)¹².

Stoffliche Reizwirkung unterscheidet sich dadurch grundsätzlich von *katalytischer Berührungswirkung*, daß hier der „Einfluß“ irgendwie zentripetal in das *Innere* einer

niederen oder höheren Ganzheit getragen wird und daselbst gewisse Vorgänge nebst zentrifugalen Folgewirkungen auslöst (man denke an die Reizwirkung von Geschmacksstoffen); doch sind die Grenzen von Katalysator und Reizstoff, z. B. bei Hormonen und Vitaminen, oft recht unbestimmt. „Was alles vermag ein Drüsensaft!“ (Rudolf Bilz).

Zu den *stofflichen Reizwirkungen* kommen die ebenso wichtigen rein *energetischen Reizungen*: Druck und Stoß, Schallwirkung, elektrischer Strom, Strahlung, sowie kombiniert stofflich-energetische Einflüsse, vor allem durch nervöse Übermittlung und Steuerung.

Seit Albrecht von Haller verfügt die Physiologie über den *allgemeinen Reizbegriff* oder *Erregungsbegriff* (Irritabilität, Sensibilität und Exzitabilität). Nach Johannes Müller ist die Reizung die typische Kausalform des Lebewesens. Kurt Herbst nennt Reiz „jede Ursache, die an einem lebenden Organismus eine Folgerscheinung ins Leben ruft“ (bei Amöben z. B. sind solche Folgen Vorstrecken und Einziehen von Scheinfüßen zur Nahrungsaufnahme usw.). Man spricht von Reizschwelle, Reizbestand, Reizgruppe, Reizlage, Reizverzug, Reizüberflutung, von Sinnesreiz, Triebreiz, Situationsreiz, Substitutionsreiz, Grenzreiz, Umweltreiz, von unspezifischer und spezifischer Reizung, von einer Reizfilterwirkung der Empfängerorgane, von Reiztherapie usw. von Tropismen und Taxien (Phototaxis, Chemotropismus usw.). Vielfach ist die Erregung bzw. ihre Auswirkung rhythmischer Art. Es gibt periodisches An- und Abschwellen der Erregbarkeit für bestimmte Reize. Von einfachen Kipp-schwingungen bis zu Jahreszeitrhythmen usw. erstreckt sich der „Wellengang“ der Reizung. „E. Du Bois-Reymond hat vergebens den Reizbegriff aus der Physiologie beseitigen wollen. — Virchow hat das Geheimnisvolle des Reizes anerkannt“ (Aschoff; vergl. auch R. Virchows Lehre von „Beziehungen bestimmter Stoffe zu spezifischen Orten im Körper“)¹².

In der gesamten Biologie (einschließlich Genetik) ist die *spezifische Erregung*, die *abgestimmte Auslösung* und *Resonanz-Steuerung* von besonderer Wichtigkeit. Hier gibt es wahlhafte Beziehung, eine Entsprechung und Verständigung von Effektor und Rezeptor; das Signal, die Anregung besitzt schon im Physischen eine bestimmte „Bedeutung“ für den

Empfänger, der diese „Bedeutung“ „*versteht*“. So gibt es eine Abgestimmtheit, eine Verständigung von Ei und Samenzelle einer bestimmten Organismenart. Der Sender erscheint als *Bedeutungsträger* (Fortsetzung im Psychophysischen, gemäß v. Uexkülls Bedeutungslehre; Funktionskreise des Lebendigen, von Werttönungen beherrscht).

Biologische Erregungen und Steuerungen vollziehen sich jeweils in einer *hierarchisch geordneten Ganzheit*, beim höheren Tier mit der Abstufung Zelle—Gewebe—Organ—Organismus, gekennzeichnet durch Koordination und Subordination der ausgelösten Funktionen. Hormone greifen in die Enzymtätigkeit ein und werden wiederum „von oben“ gesteuert. Die Regulierungen und Führungen der Lebensfunktionen vollziehen sich großenteils in der Form des Zusammen- und Gegenspiels (Antagonismus, z. B. der hormonalen Prozesse), sowie nach dem Grundsatz der *mehrfachen Sicherung* vermöge des Vorhandenseins niederer und höherer Instanzen der organismischen Schichtung; hormonale und nervöse Steuerung, letztere in höheren Organismen wiederum reich gegliedert und gestaffelt. Durchweg ist es eine *Ganzheit* niederer oder höherer Art, welche auf eine von außen oder innen kommende Erregung antwortet und „handelt“. Der Organismus „ist eine Ganzheit in dem Sinne, daß das Netz der Relationen aller Teile in ihrer Dynamik verstanden wird“ (H. J. Jordan). „Die Ansprechbarkeit ist eine der wichtigsten physiologischen Eigenschaften“ (Buttersack). „Richtende innere Vorgänge haben fast alle den Charakter von Auslösevorgängen“ (Lundgardh). Nie sind es isolierte chemische Reaktionen; durchweg handelt es sich um eine *Anregung der Eigenaktivität* potenzbegabter niederer und höherer Ganzheiten: Ganzheitsursächlichkeit, „holistische“ Kausalität (nach A. Meyer-Abich), von den mannigfach bedingten Reizungs- und Induktionsstoffen bis zum „aktiven Umkonstruieren“ des Organismus infolge bestimmter Dauereinflüsse der Umwelt (nach Böker), sowie der weitreichenden Anstoßwirkung stofflicher und energetischer Art in bezug auf Genmutationen. Voraussetzung ist eine durchgehende *Labilität und Plastizität des lebenden Protoplasmas* mit seinen Untergebilden, einer Veränderungsmöglichkeit, die in der S. 485 genannten

Spielraumgesetzlichkeit des Chemismus begründet ist; vor allem der Kolloidchemismus organischer Verbindungen samt seinen elektrodynamischen Koppelungen (Grenzpotentiale, elektrische Doppelschichten, Aktionsströme u. dgl.) gibt ungezählte Möglichkeiten für ein Eingreifen „höherer Mächte“ als einer Kausalität von oben, Möglichkeiten, die ein starrer Mechanismus nie bieten könnte.

Wir geben noch einige dem Schrifttum entnommene Beispiele biologischer Auslösung: „Der Zellkern greift regulierend und stimulierend in die Vorgänge des Zytoplasmas ein.“ „Zellteilungen werden physikalisch und chemisch ausgelöst oder gehindert.“ „Zentrifugale Nervenprozesse lösen potentielle Muskelenergie aus.“ „In der Leuchtsymbiose kann das Wirtstier beliebige Leuchteffekte auslösen.“ „Das Regulationssystem des Stoffwechsels umfaßt den ganzen Organismus.“ „Ein Organisator schafft sich in dem indifferenten Material ein Organisationsfeld von bestimmter Richtung und Ausdehnung“ (Spemann 1921).

„Alle Phasen der *Entwicklung*, die ein Organismus vom Stadium der befruchteten Eizelle bis zum fertigen Individuum durchläuft, werden von der Gegenwart spezifischer Wirkstoffe ausgelöst und gesteuert“ (Butenandt). Max Hartmann nennt die Frage der gerichteten Evolution „die Frage der Fragen in der Biologie“!

Die Pathologie kennt spezifische Krankheitskeime (analog den spezifischen Gärungserregern). E. Behring vergleicht den Vorgang bakterieller Infektion mit der Funkenwirkung, die einen Waldbrand entfacht. Einige Milliontel Gramm Histamin können (nach O. Schaumann) zur Auslösung eines Asthmaanfalles genügen. „Arzneimittel haben die Aufgabe, den durch Krankheit verstimmtten Organismus wieder in Gesundheit umzustimmen“ (S. Hahnemann 1808).

Auch vor dem *Gebiet des Seelischen* — genauer: des Psychophysischen, des Biopsychischen — macht die Auslösung nicht halt. Wenn der Auslösungsbegriff ohne Gewaltbarkeit auch auf das psychisch-geistige Gebiet angewendet werden kann, so ist dies der Tatsache zu verdanken, daß jede seelisch-geistige *Betätigung*, von außen gesehen und gemessen, eine Umsetzung freier chemischer und elektrodynamischer Energien ist, eine Umsetzung, welche nicht

ohne Veranlassung — Fremdauslösung oder Selbstausslösung — vor sich geht. Seelische Kausalität ist Auslösungskausalität.

So ist es der Auslösungsbegriff, der die Schwierigkeiten zu beseitigen vermag, die eine mechanistische Lehre in der Tatsache einer *psychophysischen Wechselwirkung* als „biopsychischer Verschlungeneit“ (nach Buttersack) gesehen hat. Anstürmende oder anschleichende energetische Anstöße der „Außenwelt“ (der eigene Körper ist mit einbegriffen) lösen im Erlebnis Empfindungen, Wahrnehmungen, Gefühle, Strebungen aus; jedes uns bekannte seelisch-geistige Geschehen findet wiederum einen körperlichen Ausdruck. Der „Kreisprozeß von Wahrnehmung und Bewegung“ (v. v. Weizsäcker) beruht auf wechselseitiger Auslösung. *Merkwelt und Wirkwelt, Sensorik und Motorik* des Organismus sind durchweg unter dem Gesichtspunkt der Auslösung und Richtungsgebung zu betrachten: vom Unbewußten ins Bewußte und umgekehrt.

Auch hier seien nur ein paar Beispiele angeführt: „Die Teichmuschel gibt Anreiz zur Ausbildung des bunten Hochzeitskleides beim männlichen Bitterling und zur Ausbildung der Legeröhre beim weiblichen.“ „Der tagesrhythmische Lichtwechsel ist als die treibende oder besser auslösende Kraft bei den Wanderungsbewegungen von Kleinlebewesen in Flachgewässern aufzufassen.“ „Hat man die erste Raupe des Zuges von Prozessionsraupen beunruhigt, so leuchten für einige Augenblicke ihre rostroten Rückenhaare auf, und darauf gleitet es schon wie ein Lauffeuer über die ganze Haupenschar.“ „Tierische Reaktionen können durch Schemata (innere Bilder) ausgelöst werden.“ „Instinkthandlungen melden sich mitunter selber zum Wort“ (Selbstausslösung bis zum „Leerlauf“, nach K. Lorenz). „Gefühlsdrang“ besteht nach Scheler schon in der Pflanze (als Innerung). Der Mensch zeigt Antriebsfülle und „Antriebsüberschuß“ (A. Gehlen) mit Antriebswettstreit — oder auch Antriebsstörung und Antriebsschwund.

Auch die Verknüpfung von Vorstellungsbildern und Gedanken, jede „Assoziation“ und Reproduktion, Erinnerung, überhaupt alles *seelisch-geistige Erleben und Tun* folgt Auslösungsordnungen, die — unbeschadet ihrer physiologischen Entsprechung — Gegenstand der Psychologie

sind. „Wenn wir vom Seelischen reden, so sprechen wir fast immer in Bildern, meist in räumlichen Bildern“ (Jaspers). Bei Assoziationen löst ein Glied der Kette (etwa einer Melodie) das folgende aus. Willensentschlüsse werden durch Situationen und Vorerlebnisse ausgelöst und gesteuert. Schon das neugeborene Tier besitzt innere „Prägebilder“, d. h. bestimmte Bewegungsanweisungen zur Lebensführung („Suchbilder“ nach G. Cuvier). Es gibt Auslösungsfreude, Auslösungsschmerz, Auslösungswillen, ein Auslösungs- und Verströmungsbedürfnis der Psyche. Das Auslösungsprinzip dient formal als Brücke zwischen der materiellen und der geistigen Welt, dem Unbewußten und dem Bewußten.

Allen mechanistischen Bedenklichkeiten zum Trotz ist es Tatsache, daß der Nervenreiz, der vom Sinnesorgan als Vermittler zwischen Vorstellungswelt und Erlebniswelt dem Hirn zugeleitet wird, im Rindenhirn Erregungen auslöst, welche das Subjekt empfindet und wahrnimmt: der ganzheitlichen Erregung des Nervensystems ist ein bestimmtes Merkwelterlebnis zugeordnet, gemäß *psychophysischer Entsprechung*. „Jede Stimmung ist körperlich und seelisch zugleich“ (Siebeck). Mithin läuft es schließlich auf dasselbe hinaus, ob man sagt: die periphere Erregung löst eine Zentralerregung im Hirn aus, oder sie löst ein Erlebnis, eine Empfindung, eine Wahrnehmung, eine Strebung aus. Und ähnlich ist es bei dem zentrifugalen Vorgang der Willenshandlung: das dem Subjekt als Willensregung bewußte primäre Wirkwelt-Erlebnis ist gemäß der „Zweiseitenlehre“ (der leibseelischen „Ganzeinheit“ nach R. Woltereck) zugleich ein ganzheitlicher Zustand des Hirns, ja des Organismus, ein Zustand, der bestimmte Erregungsvorgänge in den motorischen Nerven und von da aus in den Muskelfasern auslöst¹⁴. „Ein behagliches Gesundheitsgefühl bezeugt einen ungestörten Auslösungsapparat“ (Robert Mayer). „So gibt es keine Wahrnehmungserlebnisse ohne selbsttätige Bewegungen, wie es auch keine selbsttätige Bewegung gibt ohne Hilfe von Wahrnehmungserlebnissen“ (Palagyi). „Ein Bild, innerlich auftauchend, wirkt schon als Bewegung der Glieder eine gewisse Willensaushängung. Das Bild dient als auslösender Reiz“ (Nietzsche). „Jeder Anreiz ändert

den Erregtheitszustand des Lebewesens. Der Trieb, das Auslösungschema und die Erbkoordination sind verhaltensbedingende Komponenten“ (Werner Fischel).

Ein dem Organismus bewußter Wille wirkt auslösend auf einen unbewußten (unterbewußten) Willen, auf niedere Schichten des Körpergeschehens, und umgekehrt: das ist schließlich das Problem der *psychophysischen Wechselwirkung*. Demgemäß hat Hermann Lotze (1852) die leibseelische Wechselwirkung in einer „okkasionalistischen Theorie“ unter den „vorurteilslosen und weitsichtigen Namen der *Veranlassung*“ gebracht, mit dem weiteren Satze: „Das Verhalten der Seele zu dem Leibe ist nicht das der Identität, sondern das einer Herrschaft“.

Fragten wir oben, was auslösend und veranlassend tätig sein kann, so läßt sich nunmehr anschließend auch sagen. *Was ausgelöst, reguliert und bestimmt werden kann*. Auf anorganischem Gebiete sind es durchweg Vorgänge, Ereignisse, *Reaktionen*. Auf organischem Gebiete kommen hinzu *Funktionen, Handlungen* von mehr oder weniger spontaner, willkürlicher („freier“) Art, sowie mannigfache seelische und geistige Akte. Schon die Pflanze ist „ein wirkendes Wesen“ (Boas). „Das Leben setzt man in die Einwirkung reizender Kräfte (den Lebensreiz) und das Vermögen, auf reizende Kräfte zurückzuwirken“ (Kant). War auf anorganischem Gebiete die Wirkung in der Regel eindeutig bestimmt und darum voraussagbar, so beginnt auf organischem Gebiete infolge der Fülle offener und heimlicher, stürmender und schleicher Anreizungen (auch ganzheitlicher Korrelationen usw. als „Bedingungen“) die Vieldeutigkeit und damit die Schwierigkeit oder Unmöglichkeit sicherer Vorhersagung¹⁵.

Organismen sind ausgezeichnet durch *Auslösungsverketungen* und Verfilzungen (Reagieren auf historischer Reaktionsbasis), mit starkem Überwiegen von Auslösungen wahlhafter Art, neben denen Reflexe als mechanisierte Auslösungs-Kausalismen eine untergeordnete Rolle spielen. Menschliche Gebärden, Wortsprache und Kunst sind seelische Ausdrucksformen, die durch Übertragung und Sinnesreizung, „Mitschwingen“ und inneres Nachmachen (Nachahmen) bei anderen ein „Verstehen“ und Einfühlen in die „Bedeutung“ auszulösen und auf diese Weise einen

ähnlichen seelisch-geistigen Zustand hervorzurufen vermögen, wie er im „Sender“ bestand (Worte als Bedeutungseinheiten, als Signale, nach Klages). „Das Verstehen ist ein Wiederfinden des Ich und Du“ (Dilthey: Reihenfolge vom Erlebnis zum Ausdruck, für Kommunikation, und zum Verstehen des Geltungswertes).

III. Auslösung und Richtunggebung ohne Arbeitleistung?

Katalyse und Willenswirkung

Namentlich im Zusammenhang mit den *psychophysiologischen Auslösungen* ist die Frage viel erörtert worden, ob ein auslösender Akt, für sich genommen, durchweg und *notwendig* eine *Arbeitleistung* des auslösenden Gebildes bedeutet. Seit den Zeiten von Descartes und Leibniz, seit der Aufstellung der Lehren des Okkasionalismus und der prästabilisierten Harmonie ist mit großem Aufwand an Gelehrsamkeit viel insbesondere darüber gestritten worden, ob *ein Lenken und Richten ohne Arbeitsaufwand geschehen könne*¹⁶. Hält man sich ausschließlich an *mechanische* Vorbilder, so muß die Antwort sicher „nein“ lauten; auch ein Windhauch, der eine schwebende Kugel zum Abstürzen von einer spitzen Unterlage bringt, stellt einen Energieaufwand dar, der allerdings gegenüber der entfesselten Arbeitleistung (der Zertrümmerung etwa) verschwindend klein sein kann.

Wenn noch Forscher wie E. Du Bois-Reymond und H. Driesch behauptet haben, daß keine Auslösung ohne irgendwelche Arbeitleistung des auslösenden Gebildes möglich sei, so ist dabei die bekannteste *chemische Form* der Auslösung, die *Katalyse*, übersehen worden¹⁷. Eine Kontaktmasse, welche monatelang ein Gemisch von schwefliger Säure und Sauerstoff in Schwefeltrioxyd umgewandelt hat, ist energetisch nicht weniger geworden, als sie zuvor war (von möglichen Änderungen durch Sinterung, Verschmutzung, Vergiftung wird hier abgesehen). So ergibt sich der scheinbar paradoxe Satz: Der Katalysator ist tätig, ohne Arbeit zu leisten; er wirkt durch bloße Gegenwart (Berzelius 1835). Des Rätsels Lösung ergibt sich, wenn man den katalytischen Vorgang methodisch in seine *Teilakte* und Elementarprozesse zerlegt: ein Platinteilchen z. B. katalysiert, indem es (einfach aus-

gedrückt) eine SO_2 - und eine O_2 -Molekel jeweils in sein Kraftfeld einbezieht, „aktiviert“ und so eine „lockere Zwischenverbindung, von Pt, SO_2 , O erzeugt, die dann als unbeständig sogleich zerfällt, nicht aber in die Ausgangsstoffe, sondern in Pt und SO_2 , der Tendenz einer Zunahme der Entropie, einer Abnahme der freien Energie entsprechend. Das frei gewordene Platinatom kann sein Spiel von neuem beginnen, ein „partieller Kreisprozeß“ vollzieht sich; „Systemfunktionen“ (nach J. N. Hummel) führen in Dauerwiederholung an immer neuen Gaspartikeln zu „System- oder Gefügeänderungen“, zu einem Fortschritt der Reaktion, zur chemischen Umwandlung mit dem Ziel eines chemischen Gleichgewichts. *Im ganzen betrachtet*, hat der *Katalysator* keinerlei Arbeit geleistet; die Arbeit wurde von der freien Energie des arbeitsfähigen Systemes SO_2 und O_2 vollführt. Genau gesehen aber: die Teilarbeit, die das Platinteilchen zusammen mit den Partnern im Wechselrhythmus geliefert hat, ist für das *Platinteilchen* immer wieder rückgängig gemacht worden; das Resultat ist: beschleunigen, hervorrufen, lenken *scheinbar durch bloße Gegenwart*, als „bilanzfreier Impuls“ (R. Woltereck). Der Auslöser oder Vermittler fällt hier aus der stofflichen wie der energetischen Gleichung der Bruttoreaktion heraus.

Von hier nun wird Licht geworfen auf die vielerörterte Frage, *ob der Wille Arbeit leistet*, und ob man also eine Art „psychische oder psychophysische Energie“ annehmen müsse, um das Gesetz der Erhaltung der Energie und das Prinzip der geschlossenen Naturkausalität zu retten. Die Antwort wird lauten: Wenn ein physischer Katalysator auslösen und richten kann, auf dem Wege rhythmischer Selbsteinschaltung und -ausschaltung, ohne Arbeit im physikalischen Sinne zu leisten, so wird das auch für den Willensakt (als rein psychische Regung gedacht) denkbar sein: die „Arbeit“ wird in beiden Fällen vom chemischen System der Reaktionsteilnehmer geleistet, dort z. B. von dem System SO_2 und O_2 , hier von der Elektro- und Chemodynamik des Nerven- und Muskelsystems. Der Wille dient als „psychischer Katalysator“; ebenso wie ein stofflicher Katalysator hält er sich im Rahmen der Hauptsätze der Energetik, und ebenso wie jener betätigt er sich

in der Weise rasch wechselnder Einschaltung und Ausschaltung. Im Grunde hat schon R. Mayer die Frage beantwortet, indem er gesagt hat (mit Beziehung auf den Steuermann des Schiffes): „Der geistige Einfluß lenkt, aber er bewegt nicht.“ Ebenso heißt es bei Nietzsche: „Der Wille bewegt nicht“¹⁸. „Menschengeist und Menschenwille kann nie mehr bedeuten als Leitung und Lenkung“ (Scheler).

Beruhet das Kausalprinzip auf der Forderung, daß nichts ohne zureichenden Grund geschehe, so kann zu dem zureichenden Grunde auch ein auslösender und veranlassender Wille gehören.

Der große Fortschritt, den R. Mayers universelle energetische Wirklehre gegenüber der mechanischen Theorie gebracht hat, fällt so recht in die Augen, wenn man sich bewußt wird, daß *seine Kausalik den Willen mit in das System aufnimmt*, den Willen, der Ziele setzt und Pläne entwirft: „ein Herr werdender Willensprozeß“ (Nietzsche). *Zielstrebigkeit, Planung und Sinngebung (samt „Polarität“)* gehen in Mayers Wirklehre als *notwendiger Bestandteil mit ein* und sind da kein unangenehm störender Fremdkörper, kein lästiger Eindringling, wie für eine rein mechanistische Wirklehre¹⁹.

IV. Die „Lebenskraft“ als Richtkraft innerhalb des Wirkfeldes der Natur.

Durch Robert Mayers Scheidung von Arbeit leistenden Kräften und Arbeit veranlassenden Kräften fällt auch Erhellung auf die vielbekämpfte und vielverteidigte „Lebenskraft“. Die Sachlage erscheint heute völlig klar. Als eine durch Umsetzung Arbeit leistende *Wirkkraft* kann seit R. Mayer die Lebenskraft ebensowenig anerkannt werden wie ihr später Abkömmling: die „Vitalenergie“ oder „psychophysische Energie“; als *veranlassende Richtkraft* jedoch steht sie unantastbar da. Es ist durchaus *widerspruchsfrei*, in die wissenschaftliche Kausalik *einen unbewußten Körperwillen* als „Lebenskraft“ im Sinne von Auslösung und Richtunggebung einzubeziehen (zwischen katalytische Kraft und Willenskraft gestellt). Der Archäus des Paracelsus, Blumenbachs *nisus formativus*, die *Mneme* von Semon und Bleuler, Monakows *Horme*, Nietzsches

„große Vernunft des Leibes“, Lieks „innerer Schöpfer“, Driesch's „Entelechie“ erscheinen so als das *Integral der Auslösungs- und Gestaltungskräfte eines Lebewesens*. Die entelechialen Kräfte des Organismus sind Richtkräfte von der Art des Willens und können wie dieser sich nur innerhalb energetischer Möglichkeiten betätigen. Es handelt sich um den einwandfrei vorhandenen Steuerungs-, Formungs-, Ordnungs-, Entwicklungs- und Heilwillen des Organismus, das große physiologische Es oder X, um das organismische Führungsfeld (kurz „Biofeld“), das als „Lenkfeld“ (Kurt Herbst) dem arbeitenden Wirkfeld untrennbar beigegeben ist. Muß in diesem Zusammenhang noch bemerkt werden, daß gleichwie der Kraftbegriff, so auch der Auslösungsbegriff in seinen mannigfachen Gestalten keine „Erklärung“ gibt, sondern nur ein zweckdienliches symbolhaftes Ordnungsschema ist?

Viele biologische Wirklehren, z. B. noch diejenige von Driesch, haben daran gekrankt, daß man sich allzusehr an die *Mechanik starrer Körper* gehalten und zu wenig die schon berührte *Spielraumgesetzlichkeit chemischer Systeme* beachtet hat (Goethes „chemische Denkungsart“). In den kolloiden Gestaltungen der makromolekularen Protoplasmagebilde und der übergeordneten Ganzheiten *kann jeweils sehr vielerlei geschehen*: der oder jener Anstoß, die oder jene Anreizung äußerer oder innerer Art entscheidet darüber, *was in dem labilen und „plastischen“ System tatsächlich vor sich geht*²⁰. Die überraschenden weitreichenden Wirkungen bewußten Willens in normalen wie in besonderen Zuständen des Menschen (Autosuggestion und Fremdsuggestion, bis in Psychotherapie) geben ein Bild davon, was die Körperentelechie über den Organismus vermag — und wo die Grenzen ihrer Richtkraft sind!

Die *schwierigste (schon auf S. 483 berührte) Frage der Auslösungslehre* mag lauten: Wo in der Wirklichkeit der Naturvorgänge (z. B. der Stammesentwicklung) hört das physikalische und chemische Kommando einer „Auslösung“ oder Lenkung auf; wo beginnt die seelisch-geistige Anweisung, ein „Willensantrieb“ aus unbekanntem Sphären des Unbewußten? In dieser Beziehung sind Äußerungen von Hans Spemann bemerkenswert, die sich auf seine berühmten „Organisatorversuche“ beziehen. Wiederholt

gebraucht er den Ausdruck „Stichwortgeben“, und weiter heißt es über die von ihm studierten embryonalen Vorgänge, daß sie „in der Art ihrer Verknüpfung von allem uns Bekannten mit Nichts so viel Ähnlichkeit besitzen, wie mit denjenigen vitalen Vorgängen, von welchen wir die intimste Kenntnis besitzen, den psychischen“ (1936). Das scheint ihm „mehr denn ein poetisches Bild“ zu sein! Ähnlich sagt Demoll (1932) von Teilvorgängen der Embryonalentwicklung, daß sie „uns etwas vertrauter werden, wenn wir sie den Vorgängen der nervösen Zentren und allgemein den Urformen des Psychischen anschließen“.

Man kann mithin vielleicht annehmen, daß sämtliche Vorgänge im Lebewesen letztlich „Willensvorgänge“ (im allgemeinsten Sinne des Wortes) darstellen, nur daß die einen vom erlebenden Subjekt bewußt ausgeführt werden, die anderen aber in seinen Tiefenschichten verlaufen! Der allgemeine Körperwille, abgestuft in Organ-, Gewebe- und Zellwillen („psychische Valenz der Organe“, nach V. v. Weizsäcker), wäre dann der umfassende Auslöser, Führer und Gestalter, der bewußte Wille aber Blüte und Krönung des unbewußten Dranges und Triebes. Das Ich wird bestimmt durch das Es — und umgekehrt.

Bewußtem wie unterbewußtem Willen kann ein überbewußter Wille gegenüberstehen, eine überindividuelle seelische Führung (nach Erich Becher), die in den Einzelgestalten des Lebens tätig ist, planend und sinnverwirklichend (ohne daß hierbei jedoch durchweg menschliche Sinn- und Wertvorstellungen angewendet werden dürfen). Begriffe wie „Gruppenseele“ und „Idee“ (irdischer oder kosmischer Art) können als Anstoß- oder Richtfelder höchsten Stiles einen sicheren Platz in der Naturordnung erhalten und behaupten, in gleicher Weise wie Ziel, Plan und Sinn. Auch die Teleologie der Natur ordnet sich in Robert Mayers Kausalik zwanglos ein.

Ein Samenkorn, ein Keim ist danach eine „von oben“ gegebene stofflich festgelegte Anweisung, ein in „Materie“ mathematisch eingeschriebener Befehl für bestimmte Ausgliederung und Entfaltung des Lebendigen. „Das Ei ist mit Form geladen“ (L. v. Bertalanffy); der Stoff aber ist beim Leben nur zu Gaste. Das mit der Materie in Wechselordnung stehende allgemeine Kraft- und Richtfeld der

Natur, der „leere Raum“, der Weltäther, ist zugleich — und in erster Linie? — Lebensfeld, Willensfeld, Geistesfeld.

Metaphysisch könnte dann nach Schopenhauer und Nietzsche weiter vermutet werden, daß nicht nur die Lebensprozesse von Tieren und Pflanzen, sondern überhaupt sämtliche Naturvorgänge als „Kraftäußerungen“ auch „Willensäußerungen“ sind, daß also sogar dem anorganischen objektiven Geschehen irgendwie eine — für uns unverständliche — subjektive „Innerung“ des Erlebens und Wollens zugrunde liegt²¹. „Der Wille ist die Kraft“ (Schopenhauer). „Zur Dynamis noch eine innere Qualität“ (Nietzsche).

Als größtes Wunder der Auslösung aber kann eine Tatsache bezeichnet werden, die so alltäglich und allgemein ist, daß wir des Wunders gar nicht mehr gewahr werden: Es besteht darin, daß es in den Lebewesen, zumal den höheren und vor allem den menschlichen, eine ausgelöste Widerspiegelung kleiner und großer Ausschnitte des Naturgeschehens durch die Mittel der Sinne und des Verstandes gibt. Ein individuelles „enkaptisches“ Gebilde (nach Heidenhain), zuoberst der beseelte Leib des Menschen, ist nicht nur ein Wirkungsgebiet und eine Art verkleinertes Nachbild der Natur, sondern zugleich auch ein winziger „Spiegel des Universums“ (Leibniz)²². —

Schluß

Die hier gebotenen Ausführungen, die von Sprachsymbolen ausgingen, mögen genügen, den Reichtum anzudeuten, den Robert Mayers Auslösungslehre in sich birgt. Eine besondere Beachtung verdient der S. 482 berührte Sonderfall der *Selbstausslösung*: von mechanischen Vorgängen, radioaktivem Zerfall, chemischer Autokatalyse vorzudringend zu Selbstausslösung von Trieben, zu biologischer Selbstregulierung und schließlich bis zur freien Selbstbestimmung, Selbstentwicklung und Selbststeigerung des Kulturmenschen. Hier wird die schwierige, aber auf der Auslösungsgrundlage nicht unlösbare Frage: Freiheit oder Notwendigkeit? aufgeworfen. „Freiheit des Willens, das ist das Wort für jenen vielfachen Lustzustand des Wollenden, der befiehlt und sich zugleich auch mit dem Ausführenden als Eins setzt“ (Nietzsche). —

Übertriebene positivistische Bedenklichkeit hatte einst an der naturwissenschaftlichen Benutzung des Begriffes „Kraft“ als eines Anthropomorphismus Anstoß genommen. Was soll es aber schaden, wenn mit der Anknüpfung an das Urerlebnis des Kraftgefühls eine deutliche *Anmenschlichung* vollzogen wird? „Man zeige mir doch einen Begriff, der nicht anthropomorph ist!“ (J. Reinke). Das gilt nicht nur für die wohlbekannten Arbeit leistenden Wirkkräfte, das gilt in gleicher Weise für die energetisch mehr oder minder belanglosen Auslöse-, Anstoß-, Trieb-, Formungs-, Entwicklungs- und Ordnungskräfte der Natur²³. Diese sind nicht mehr und nicht weniger „menschliche Perspektive“ als die energetischen Wirkkräfte, ihre Erforschung ist nicht mehr und nicht weniger notwendig für den Fortschritt der Wissenschaft.

Der Mensch als „Urheber“ leistet in Überwindung von Widerständen Arbeit und läßt Arbeit leisten: das ist der Ausgangspunkt alles Kausaldenkens. Kraft im allgemeinsten Sinne ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten oder Arbeit leisten zu lassen. Energetische Wirkkräfte der Natur (mechanische, thermische, elektrische, chemische usw.) gelten dementsprechend als Arbeit leistende „Ursachen“; in ihr Energiegetriebe aber greifen Auslöse-, Trieb- und Richtkräfte, vor allem katalytische Kräfte, Reizungskraft, entelechiale Lebenskraft und Willenskraft bestimmend ein. sie „lassen Arbeit leisten“.

Dynamische Erhaltungs- und Umsetzungskausalität bezieht sich in erster Linie auf die *Seins-Seite* der Natur. Etwas weiter in das *Geschehen* führt das Entropieprinzip, indem es in der Wechselwirkung der Dinge einen *einsinnigen Verlauf* betont. Zu einem rechten Einblick in die „Natur als Geschichte“, die „Welt als Tat“ gelangt man aber erst durch den *Auslösungs- und Steuerungsgedanken*, der, wie schon Nietzsche und Alois Riehl erkannt haben, in die Wirklehre das *historische Moment der Handlung* einführt. Auslösungs- und Führungslehre münden aus in die teleologische Vorstellung einer *Rangordnung des Geschehens*, genauer einer Staffe lung des Befehlens und Gehorchens in Natur und Menschenwelt. Verständlich wird so Nietzsches freudiger Ausruf von 1881: „Über Auslösung ist für mich das Wesentlichste und Nützlichste in Mayers Buche!“²⁴.

Anmerkungen:

- 1 „Das Kausalgesetz wird identisch mit dem Gesetz der Umwandlung und der Erhaltung der Energie“ (W. Ostwald 1902). Amechanität ist mithin bei weitem nicht „Akausalität“. Siehe hierzu A. Mittasch, Kausalismus und Dynamismus, nicht Mechanismus! Forsch. u. Fortschr. 1938, S. 137; Katalyse und Determinismus, Berlin 1938. Bemerkungen über Anstoß- und Erhaltungskausalität, Naturwissenschaft. 1938, S. 177. Gedanken über das Wirken in der Natur, 28. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. (1941), S. 70. Statistische Gesetzmäßigkeit steht regelmäßig unter höherem Befehl, so z. B. die Molekularkinetik unter thermodynamischer Anwendung; sie ist also in Wahrheit Ganzheitskausalität. Siehe hierzu A. Mittasch, Katalyse und Determinismus, S. 84 ff. Julius R. Mayers Kausalbegriff 1940, S. 162 ff. Der Sprachgebrauch hinsichtlich des Wortes „Ursache“ ist nicht eindeutig. Zuweilen wird die Auslösung den „Bedingungen“ für die Betätigung der Wirkursachen zugerechnet; andererseits aber wird der Auslösungsvorgang oft als das wichtigste Glied in der Gesamtursache, als die „eigentliche“ Ursache bezeichnet. —
- 2 Zugrunde liegt Robert Mayers Aufsatz „Über Auslösung“ von 1876, in Weyrauchs Ausgabe S. 440–446. Robert Mayers Auslösungsbegriff bezieht sich mit Lotzes „Prinzip der Veränderungen“, Fechners Prinzip der „Störung“ („störende“ Eingriffe geistiger Freiheit in den Naturlauf), de Saint-Venants „action décrochante“ (bei Lawnensturz, Gärungsvorgängen usw.) und Noirés „Empfindungskausalität“ (gegenüber Bewegungskausalität). Siehe hierzu A. Mittasch, Julius Robert Mayers Kausalbegriff, Berlin 1940. Was vermag Robert Mayers Wirklehre dem Biologen zu bieten? I. Der Nervenarzt 15 (1942) 1. (Anschließend II. Armin Müller hinsichtlich Neurologie.) Was hat Robert Mayers Kausallehre dem Juristen zu bieten? Archiv für Rechts- und Sozial-Philosophie 33 (1941) 236. (Mit einem Nachwort von Karl Engisch.) Robert Mayer, Erstes und Letztes, Berlin 1943. Es ist bemerkenswert, daß R. Mayer in seiner großen Abhandlung von 1845 das, was er später als „Auslösung“ bezeichnet, entweder den „Bedingungen“ zurechnet (S. 87 der Weyrauch-Ausgabe von Mayers „Mechanik der Wärme“), so wie dies heute noch vielfach geschieht, teils es der „katalytischen Kraft“ (im verallgemeinerten Sinne) unterordnet (S. 102). — 3 Man wird zwischen „auslösen“ und „herauslösen“ (mit energetischer Äquivalenz) deutlich zu scheiden haben. Ein Elektron wird durch die Arbeitsleistung eines Photons aus dem Atomverband herausgelöst, nicht ausgelöst. — 4 Oft gewinnt in der Begriffsfamilie „auslösen“ ein Wortausdruck erst im sprachlichen Zusammenhang Eindeutigkeit. Indem man einen elektrischen Stromkreis schließt, wird die Bahn für das Fließen der elektrischen Energie geöffnet (der Vorgang „ausgelöst“). Ähnlich bei den Worten „auklippen“ (z. B. eine Bombe) und „einklinken“ (einen Funktionskreis). —
- 5 Von Pascual Jordan wird der Begriff der Verstärkung weitgehend auf organische Vorgänge mikrophysikalischen Ursprungs angewendet; siehe Naturwiss. 1938, 537: Verstärkertheorie der Organismen. Physiologische Verstärkerwirkung ist als „Auslösung einer Reaktionskette“ aufzufassen (v. Bertalanffy). — 6 W. Ostwald unterscheidet „totale“ und „bemessene“ Auslösung und führt auch R. Mayers „Regulierung“, vor allem aber den Begriff der Katalyse weiter durch (als einer „geregelten Auslösung“). Vielfach handelt es sich um Auslösungsketten aufeinanderfolgender, sowie um Verflechtungen und Verflüchtungen gleichzeitiger Anstöße (als „Bedingungen“). — 7 Bei Robert Mayer hat es (1876) geheißten, daß „die Auslösung überhaupt kein Gegenstand mehr für Mathematik ist“. — 8 Siehe hierzu A. Mittasch, Selbstauslösung, Selbstregulierung, Selbstbestimmung, „Die Tatwelt“ 18 (1942) 7. Chemische Selbstregulierung (nach dem Chatelier-Prinzip der „Flucht vor dem Zwange“) wird erweitert und erhöht in physiologischer Selbstregulierung, diese wiederum in psychophysischer Selbstgestaltung („Bei sich selbst Sein des Lebens“ nach Rudolf Eucken, „Sich selbst antun“ nach Paul Bommersheim). — 9 R. Mayer sagt: „Die Auslösungen spielen . . . auch in der lebenden Welt, und namentlich also in der Physiologie und Psychologie eine wichtige Rolle.“ Eugen Dühring äußert sich über R. Mayers Auslösungslehre: „Die Einleitung einer Explosion wurde sein typisches Beispiel. Vom Knallgas ging er aus, um mit Gehirnphänomenen und gleich-

sam revolutionären Ergebnissen des menschlichen Tatgebietes zu endigen.“ Tatsächlich sind in R. Mayers Auslösungs-Aufsatz sämtliche Hauptformen der Auslösung zumindest angedeutet, bis zu den Ausdruckserscheinungen von Gefühlen, dem Abreagieren („sich Luft machen“) von Affekten, sowie dem Verüben verbrecherischer Taten „nach Art des Herostratos“. Auch die Auslösungslust bei Spiel und Sport wird von R. Mayer berührt. — 10 Nach W. Ostwald ist jede Energieform gekennzeichnet durch einen handhabbaren Intensitäts- und einen festliegenden Kapazitätsfaktor. Bei der kinetischen Energie sind diese Größen Geschwindigkeit und Masse; der Intensitätsfaktor der elektrischen Energie ist die Spannung, der thermischen die Temperatur, der chemischen das chemische Potential. (Diese schematische Zerlegung versagt mitunter, z. B. bei der Strahlungsenergie.) Intensitätsunterschiede neigen gemäß dem II. Hauptsatz der Energetik nach Ausgleichung, Zerstreuung, Dissipation. „Jede Energieform hat das Bestreben, von Stellen höherer Intensität zur Stelle niedriger Intensität überzugehen. Sie heißt ausgelöst, wenn sie diesem Streben folgen kann“ (Georg Helm). — 11 Vgl. A. Mittasch, Kurze Geschichte der Katalyse, Berlin 1939. Über Begriff und Wesen der Katalyse, in Handbuch der Katalyse Bd. 1, 1941. J. R. Mayers Begriff der Auslösung in seiner Bedeutung für die Chemie, in der Berliner Gedenkschrift 1943; Julius Robert Mayer und das Energieprinzip. Siehe auch M. Bodenstein, Wie wird aus einer ruhigen chemischen Reaktion eine Explosion? Naturwiss. 1937, 609. „Mischkatalysatoren“ zeigen verstärkte, modifizierte (abgestimmte) oder abgewandelte Wirkung; andererseits kann ein zweiter Stoff (und zwar schon in Spuren) hemmend oder „vergiftend“ wirken. Für die Atomumwandlungen in Fixsternen gelten Katalysen besonderer Art (z. B. Kohlenstoffkern sowie Stickstoffkern als Katalysator für den Energie liefernden Übergang von Wasserstoff in Helium). Das Aufblitzen neuer Sterne weist vielleicht auf subatomare Lawinenreaktionen oder „Autokatalysen“ kosmischen Stiles hin. — 12 Der Biokatalysator erscheint jeweils als eine richtunggebende Ursache, mit seiner ausgesprochen wahlhaften Wirkung gleichzeitig auch als einfacher „finaler“ Faktor (als „Werdebestimmer“, nach Driesch), jedoch durchweg im Dienste der ganzheitlichen Beziehungen des Organismus. „Der Katalysator richtet und wird gerichtet“ (Mittasch, Forsch. u. Fortschr. 1936, 36). — 13 „Das Leben organischer Wesen beruht auf einer ununterbrochenen Folge von Reizen“ (Alexander von Humboldt). „Die Selbsterregung der organischen Elemente heißt Leben“ (Oken). „Reizwirkung ist nicht eine Aufdrängung von Bewegungen, sondern nur Auslösung“ (Pfeffer). „Nur das Lebendige ist reizbar“ (August Bier). Das Zusammen- und Gegenspiel von Anreizung und Unterdrückung dient als vorzüglichstes Mittel stationärer Abläufe sowie der Entwicklungsvorgänge von Lebewesen. Nach Richard Kühn gibt es einen Wirkstoff-Hemmstoff-Antagonismus schon bei Bakterien. „Chemischer Wirkstoff und lebendes Protoplasma sind in unbegreiflich feiner Weise aufeinander abgestimmt“ (L. Seitz). Siehe auch E. Ungerer, Die Regulationen der Pflanze 1926. Alfred Kühn, Die Auslösung von Entwicklungsvorgängen durch Wirkstoffe, Jahrb. 1939 der Kaiser Wilhelm-Ges. zur Förderung der Wissenschaften. — 14 Siehe hierzu Bier, Bumke, Rohrachor, Aloys Müller; auch A. Mittasch, Robert Mayers Lehre über das Leib-Seele-Verhältnis, in der Berliner Gedenkschrift 1943. In Übereinstimmung mit R. Mayer wird hier der Begriff einer besonderen „psychischen oder psychophysischen Energie“ im Sinne eines Umsetzungsverhältnisses (einer Äquivalenz) mit den anerkannten physischen Energieformen abgelehnt. Es handelt sich bei Leib und Seele im Grunde nicht um gleichberechtigte Partner: nicht Wissen um den Leib — und schließlich um den Körper überhaupt — ist mittelbar, d. h. unserem seelisch-geistigen Bewußtsein, dem individuellen Erlebnis entnommen; dieses ist das unmittelbare Gewisse. Mir unbewußtes Innenleben der Natur (der eigene Körper mit eingeschlossen) wirkt auf mein bewußtes Innenleben und umgekehrt; dies ist der Kern des psychophysischen Problems! — 15 Eine Art Übergangstellung nehmen die Reflexe („Reflexbogen“) ein, als Reizkautismen, die vom Sinnesindruck über das Nervensystem nach den Muskeln oder Drüsen laufen und wie starre Mechanismen aussehen, entwicklungsgeschichtlich aber irgendwie auf Willkür, auf „Appeten-

mit Beteiligung der Psyche zurückzuführen sind (automatisierte Auslösungen). Zwischen Reflex und Willensabsicht stehen die in der Erbmasse verankerten Trieb- und Instinkthandlungen. Übersichten über „Reiz“, „Reflex“, „Instinkt“, „Wille“ finden sich in E. Eislers Wörterbuch der philosophischen Begriffe, 4. Aufl. 1922. — 16 E. Du Bois-Reymond hat hierüber in seinem Vortrage über die „Sieben Welträtsel“ ausführlich berichtet. Über die Grenzen des Naturerkennens. Die sieben Welträtsel, Zwei Vorträge, 3. Aufl. 1891. — 17 In W. Ostwalds „Philosophie der Werte“ (1913) finden sich die zwei miteinander schwer zu vereinbarenden Behauptungen: „Auch in diesem Falle handelt es sich um einen typischen Auslösungsvorgang“ (bei Katalysatoren und Fermenten, d. Verf.). Durchweg aber besteht „die Notwendigkeit einer endlichen Energiemenge für die Auslösung“. Noch 1921 wird es als „vorschneller Schluß“ bezeichnet, wenn man sagt, daß zur Auslösung kein fremder Energieaufwand nötig zu sein brauche. Bei Driesch heißt es noch schärfer: „Energetisch muß sich ein Katalysator beteiligen, wenn er wirklich Geschehen ermöglicht.“ Auch von L. Busse, A. Wenzl und Curt Weinschenk wird unter Außerachtlassung der Katalyse der Standpunkt vertreten, daß selbst eine auslösende Kraft durchweg Arbeit leisten müsse. Ferdinand Hueppe, Die Medizin der Gegenwart in Selbstdarstellungen 1. Bd., Leipzig 1923, zieht den Schluß, „daß die Auslösung immer so viel Energie zuführen muß, um die Hemmungen zu überwinden, um die Lockerung des Atomgefüges zu erreichen“. (Auch bei R. Sleswijk, Über die Art und Wirkung der auslösenden Kräfte in der Natur, Wiesbaden 1906, ist die Katalyse unberücksichtigt geblieben.) Siehe hierzu A. Mittasch, Philosophisches in der Katalyse, Katalytisches in der Philosophie. Ztschr. f. physik. Chemie (A) 189, 44 (1913). — 18 Noiré, Die Doppelnatur der Kausalität, 1875, erwähnt eine (von ihm abgelehnte) Vermutung, der Wille könne „als psychischer Katalysator“ wirken. Indem R. Mayer dem Auslösungsbegriff nicht nur die mechanische Ausklinkung, die chemische Katalyse und die physiologische Reizung und Regulierung, sondern auch die psychophysische Willenstätigkeit unterordnet, entfernt er sich weit von E. Du Bois-Reymond, der (in: Fortschritte der Physik im Jahre 1847, erschienen 1850) nur die mechanische Auslösung gelten ließ und auch die physiologische Reizung als rein mechanische Koppelung, als „Reflex“ nachzuweisen suchte, d. h. als einen Vorgang, der wesentlich mit der Störung eines mechanischen Gleichgewichtes nebst anschließender Wiederherstellung sei. So vollzieht Du Bois-Reymond einen Rückschritt von der Physiologie zur Mechanik, während R. Mayer von seiner Energetik bis in das Gebiet „des geistigen Prinzips oder der Seele“ vordringt. — 19 Über die nahe Übereinstimmung von R. Mayers Wirklehre mit derjenigen von Schopenhauer s. A. Mittasch, Naturwiss. 1940, 137, mit derjenigen von Nietzsche. Bl. f. Deutsche Philos. 16, 1942, 139, hinsichtlich Leibniz s. Robert-Mayer-Heft des Proteus 1942, 69: Der Kraftbegriff bei Leibniz, R. Mayer und Nietzsche. Hinsichtlich der energetischen Bedingtheit des Begehrens, Strebens, Wollens vgl. W. Ostwald, Der Wille und seine physische Grundlegung, Scientia 1911, 364; über die psychologische Kennzeichnung Chr. Sigwart: Der Begriff des Wollens und sein Verhältnis zum Begriff der Ursache, in: Kleine Schriften II (1881), 115–211. Hierzu auch E. Mach: „daß unser Hunger nicht sehr wesentlich verschieden ist von dem Streben der Schwefelsture nach Zink, und unser Wille nicht so sehr verschieden von dem Druck des Steines auf die Unterlage: als es gegenwärtig den Anschein hat“ (Mechanik 4. Aufl. S. 493). In der Wertschätzung von R. Mayers energetischer Wirklehre begegnet sich der Verfasser mit Max Hartmann: Das Gesetz von der Erhaltung der Energie in seinen Beziehungen zur Philosophie, Gedenkschrift „J. R. Mayer und das Energieprinzip“, Berlin 1943. Abstand wird genommen von einer Auffassung, welche „für die Physik jede Einführung von Kräften für unnötig“ hält, und dazu bezweifelt, ob Mayers Kausalitäts- und Kraftbetrachtung durch die Einführung der Auslösungskausalität „wirklich klarer geworden ist“ (Theodor Haering in Bl. f. Deutsche Philos. 16 (1942) 228; Die philosophische Bedeutung der Großtat R. Mayers). — 20 Es ist die spezifische, wahlhafte, auf Entsprechung (Resonanz) beruhende Art chemischen Reagierens — gegenüber dem qualitätslosen „Mechanismus“ —, die allein die Biegsamkeit und Schmiegsamkeit des

organischen Geschehens als Grundlage aller Aktivität und Spontanität ermöglicht. Semon, Bleuler, Böker reden von mnemischer Kraft, R. Wollereck von Autokausalität, andere Forscher von Emergenz (stat. Resultanz) oder von einer Obergesetzlichkeit im Lebendigen. Wer die Willenskraft als eine Ordnungs- und Richtkraft bewußten Lebens anerkennt, sollte folgerichtig auch den Begriff der Lebenskraft als einer die unbewußten (vegetativen und rein animalischen) Vorgänge zusammenfassenden und beherrschenden Instanz die Berechtigung nicht versagen! Siehe auch A. Mittasch, Katalyse und Lebenskraft, Umschau 1936, 733. Die Lebenskraft stützt sich auf „das Gedächtnis der organischen Materie“ (Ewald Hering), das als Einzelgedächtnis und als Gattungsgedächtnis (Erbgedächtnis) auftritt: „Reagieren auf historischer Reaktionsbasis“ (Driesch) — bis zu bewußter Erinnerung. — 21 Nach Leibniz sind „die körperhaften Dinge nur Erscheinungen, aber wohlgegründet und verknüpfte Erscheinungen“. Bei Nietzsche heißt es: „Man muß die Hypothese wagen, ob nicht überall, wo Wirkungen anerkannt werden, Wille auf Wille wirkt — und ob nicht alles mechanische Geschehen, insofern eine Kraft darin tätig wird, eben Willens-Kraft, Willens-Wirkung ist. — Meine Theorie wäre: daß alle treibende Kraft Wille zur Macht ist, daß es keine physische, dynamische oder psychische Kraft außerdem gibt. — Es gibt gar keine andere Kausalität, als die von Wille zu Wille. Mechanistisch nichts erklärt!“ (Der Leib ein „Gesellschaftsbau vieler Seelen“.) Oder man wird vielleicht sagen, daß alle Naturvorgänge Äußerungen hoher und höchster Mächte sind, für deren Kennzeichnung unsere vornehmsten Sprachsymbole wie „Leben, Seele, Geist, Wille, Potenz, Entelechie“ nur schwache stammelnde Andeutungen geben können. Zu den Potenzen gesellen sich Vellenzen. Die Welt besteht aus Energien und Dominanten“ (J. Reinke). (Elnst: *causa efficiens* und *causa occasionalis*, auch *finalis*.) — 22 Leibniz ist zu der Erkenntnis gekommen, daß keine bessere Hypothese besteht, als „daß es unzählige verschiedenartige Spiegel der Schönheit des Unversums gibt“ (Brief an Arnauld 1687). — 23 Der vielbegehrte Anschluß der Naturwissenschaft an die Geisteswissenschaften wird gewonnen nicht von „statistischen Schwankungen“ und physikalischen Unbestimmtheitsrelationen — so wichtig jene Erscheinungen sind —, sondern vom Begriff der Auslösenkausalität her gemäß einem dynamischen Weltbild. Der menschliche Wille ist der höchste uns bekannte „Auslöser“ und „Lenker“ potentieller Energien und betätigt sich als solcher in Kultur — und Unkultur. Alois Riehl sieht in dem Auslösenbegriff eine wichtige „Ergänzung des Energieprinzips“: „Vielleicht, daß die exakte Erforschung der Kontakteinflüsse und Auslösungen einen Weg eröffnet, auch das rein Tatsächliche, das Historische in der Zusammenordnung und dem Verlauf der Dinge einem Gesetzesbegriff unterzuordnen“. Siehe hierzu auch H. Heimsoeth, Macht und Geist in Nietzsches Geschichtsphilosophie (Kölner Univers.-Reden 1938). Einen ähnlichen Dualismus wie Wirk- und Auslösekraft gibt es nach E. Rothacker im menschlichen Gemeinschaftsleben: Tatkräfte und Wachstumskräfte, wobei auch hier zwischen beiden Formen eine „pausenlose Wechselwirkung“, ein „pulsierendes Wechselspiel“ besteht. (Bl. f. Deutsche Philos. 18 [1945] S. 43) Durchweg besteht eine Doppelheit in der Natur: ein Strömendes, sich Wandelndes, Arbeitendes, und ein Auslösendes, Steuerndes, Gestaltendes, das unaufhörlich in das Strömende maßgebend, richtunggebend und zielsetzend eingreift. — 24 Das heißt: in R. Mayers „Mechanik der Wärme“. (Brief an Peter Gast vom 16. April 1881.) Ähnliche Beachtung und Würdigung hat Mayers „Auslösung“ gefunden bei Arthur von Oettingen, Theodor Groß, Georg Helm, Wilhelm Ostwald, Ernst von Lippmann, Heinrich Rickert, Wilhelm Wundt. Siehe hierzu A. Mittasch: Julius Robert Mayers Kausalbegriff 1940, S. 125 ff. „Große Männer sind wie große Zeiten Explosiv-Stoffe, in denen ungeheure Kraft aufgehäuft ist; ihre Voraussetzung ist immer, historisch und physiologisch, daß lange auf sie hin gesammelt, gehäuft, gespart und bewahrt worden ist, — daß lange keine Explosion stattfand. Ist die Spannung in der Masse zu groß geworden, so genügt der zufälligste Reiz, das „Genie“, die „Tat“, das große Schicksal in die Welt zu rufen. Man schließt aus großen Kraft-Auslösungen auf große „Ursachen“. Falsch! Es können unbedeutende Reize und Menschen sein; aber die Kraft war angesammelt und der Weg zur Explosion bereit; — Blick auf die Weltgeschichte!“ (Nietzsche.)

Letzte Worte über Ursache und Kraft*

„Denn ich bin der Meinung, daß ein Körper nicht ohne Kraft sein kann.“
Leibniz

„Causa, Ursache, wird für alles dasjenige genommen, was zu Hervorbringung einer andern Sache etwas beiträgt. Sie wird von den Philosophis und Metaphysis auf unterschiedene Art eingeteilt, z. E. in *causam efficientem, materialem, formalem und finalem*“.

Hübners Lexicon 1776

Über Kausalität im allgemeinen

Über zweierlei konnte man sich noch vor kurzem beim Lesen theoretisch-physikalischer Schriften wundern: erstens darüber, daß vielfach von „physikalischer Wirklichkeit“ gesprochen wurde statt von einem physikalischen Schema oder Bild der Wirklichkeit, und zweitens darüber, daß hie und da immer noch von „Akausalität“ da die Rede war, wo in Wahrheit nur Amechanität vorliegt.

Wir wollen es mit Nietzsche halten, der gesagt hat: wohl sei es möglich, daß „das Schema“ von allem erkannt werde (Kants und Schopenhauers „Erscheinung“); Ding und Vorgang an sich bleiben unerkant. Der Physiker entwirft in seinen Begriffssystemen ein physikalisches Modell bestimmter Ausschnitte der Wirklichkeit, der Chemiker ein chemisches, der Physiolog ein physiologisches usw. Die Wirklichkeit selber aber, d. h. das Wirkende und das Gewirkte der Natur ist uns nur im unmittelbaren Erleben gegeben; oder vielmehr ein kleiner Bruchteil davon ist jedem lebenden Geschöpf dauernd gegeben und bildet seine Welt, seine Eigenwelt, in der er sich zurechtzufinden und zu betätigen hat: Merkwelt und Wirkwelt nach Jakob von Uexküll.

Und nun gar die Behauptung einer Akausalität, zu deutsch Ursachlosigkeit im Naturgeschehen. Wie ist man zu dieser Meinung gekommen? Vielleicht war es nicht das Kausalprinzip als solches, sondern nur eine falsche bzw. eine allzuenge Auffassung vom Wesen der Natur-Kausalität, also ein unzureichender Kausalbegriff, der aufgegeben werden mußte?

Mechanik und Mechanismus in allen Ehren, da wo sie hinpassen! Gesetze von Druck und Stoß, Anziehung und Abstoßung beherrschen alle Bewegung von Körpern und

* 32. Jahrbuch der Schopenhauer-Gesellschaft 1947, S. 91

(gemäß statistischer Mechanik) auch von Kollektiven, z.B. Flüssigkeits- oder Gasmassen. Mechanik als reine *Quantitätslehre* muß jedoch versagen, wo die *Qualität* ein gewichtiges Wort spricht: Ein Kilogramm Eisen, Blei, Gold verhält sich beim Fallen gleichartig und ruft gleich große, z. B. zertrümmernde Wirkung hervor; wie verschieden aber benehmen sich diese Metalle in chemischer Beziehung! Alles individuelle Wesen liegt in der *Qualität*; die Mechanik aber haftet an quantitativen Beziehungen. Stellen wir uns eine Anzahl bewegter Chloratome vor in einem Gemisch mit gleichfalls bewegten Atomen Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Natrium usw. Das Chloratom wird sich nicht mit einem beliebigen fremden Atom verbinden, weil dieses zunächst gelegen ist oder zu allererst getroffen wird, sondern es wird ein solches Fremdatom „wählen“, mit dem es nach Regeln der Quantenlehre und der Thermodynamik in bestimmter Resonanz steht, also etwa ein Wasserstoff- oder ein Natriumatom, und es wird dabei auch auf die Umgebung Rücksicht nehmen müssen.

Zur Erläuterung des letzten Satzes nehmen wir an ein Gasgemisch von Stickstoff, Wasserstoff und Ammoniakgas (als Verbindungsprodukt von Stickstoff und Wasserstoff). Dieses Gasgemisch mit einem Gesamtdruck von hundert Atmosphären werde über einen geeigneten Eisen-Katalysator bei einer Temperatur (etwa 500°) geleitet, die eine genügend hohe Reaktionsgeschwindigkeit ermöglicht. Von den Konzentrationsverhältnissen, genauer von den Teil drucken der einzelnen Gase wird es abhängen, ob sich Ammoniakmolekeln bis zu bestimmtem Betrage (dem Gleichgewicht unter den obwaltenden Verhältnissen) zersetzen oder ob sich solche neu bilden. Maßgebend ist das thermodynamische Gesetz, also ein energetisches Kollektivgesetz, das auf dem Entropieprinzip beruht. Das Ganze bestimmt das Einzelne, Statistik wird beherrscht und gebündelt von Thermodynamik und sonstiger Kollektivgesetzlichkeit; mit der vielbesprochenen „Freiheit“ der Atome — also auch der Elektronen und Wirkungsquanten — sieht es sehr windig aus! Makro- und Mikrophysik sind vom Kausalprinzip beherrscht.

Man hat vor reichlich hundert Jahren, als, namentlich angesichts der Unmöglichkeit einer vollkommenen Zurück-

führung von Chemismus auf Mechanismus, die Annahme einer Alleinherrschaft qualitätsloser „Zentralkräfte“ der Natur aufgegeben werden mußte, nicht von einer „Akausalität“ der Natur gesprochen; warum mußte man dies tun, als die physikalische Wissenschaft noch einen großen Schritt vorwärts gegangen und bis in das Gebiet der „Quanten- und Wellenmechanik“ (besser „Quanten- und Wellenkausalik“) vorgedrungen war? Ist es doch an sich ein Widerspruch, in einem Atem von „Wirkungsquanten“ und von Ursachlosigkeit zu sprechen! So war „Akausalität“ ein schlechter Name für eine gute Sache; diese gute Sache aber ist: weitgehende Geltung von Amechanität, d. h. die Erkenntnis, daß der bisherige Ursachbegriff der Physik, speziell der Mechanik, allzueng gewesen war, als daß er zum Ursachbegriff der Naturwissenschaft oder gar der Gesamtwissenschaft schlechthin erhoben werden dürfte!

„Kausalprinzip“, das auf Alltagserfahrung fußt, und „Kausalbegriff“ bedeuten nicht das gleiche. Die Kausalbegriffe der Wissenschaft sind wandelbar; ein bestimmter Kausalbegriff, z. B. der mechanistische, kann durch den Fortschritt der Erkenntnis seine vermeintliche Allgemeingültigkeit verlieren; das allgemeine Kausalprinzip als Forderung des Verstandes gemäß dem Satze des ausreichenden Grundes bleibt unerschütterter. Die ganze naturwissenschaftliche Entwicklung von hundert Jahren drängt dahin, einen allgemeineren Kausalbegriff der Naturwissenschaft zu formulieren, der zu dem unanfechtbaren Kausalprinzip der Philosophie — notwendige Bedingtheit des Gegenwärtigen durch das Vergangene und des Zukünftigen durch das Gegenwärtige — in engerer Beziehung steht; dieser Kausalbegriff aber kann nur ein energetischer sein. *Mechanik ist nur eine Form der Kausalik*, und Statistik ist nur die Weise, in der Ganzheitsgesetze der Natur geschaut werden; diese „Ganzheitsgesetze“ sind dynamischer Art. „Alle Ursache von mechanischer Arbeit nennt man Energie“ (Jakob Weyrauch).

Während die Begriffe Ganzheit, Gestalt vorwiegend als Symbol für vollziehbare Ordnungsgesetzlichkeit im Gleichzeitigen gelten, betrifft Kausalität im konkreten Fall die entsprechende *Ordnungsgesetzlichkeit in der Aufeinanderfolge der Ereignisse*. Erst in Abstraktionen — man denke

an den Funktionsbegriff — kann dieses Kennzeichen verblässen.

Als allgemeinstes Gesetz des Geschehens gilt nach Fechner (1851): „Wenn und wo auch dieselben Umstände wiederkehren, und welches auch diese Umstände sein mögen, so kehren auch dieselben Erfolge wieder, unter anderen Umständen aber andere Erfolge“. Dieses oberste Weltgesetz hat seine Seite der Gebundenheit oder Notwendigkeit und seine Seite der Freiheit. Notwendigkeit und Freiheit heben sich in ihm auf zu einer Einheit höchster Stufe.

Ähnlich formuliert Walter Nernst „das Kausalgesetz in seiner strengsten (fiktiven) Fassung“ dahin, daß bei gleichartigen Anfangsbedingungen zwei verschiedene Systeme auch einen gleichen Verlauf ihrer Änderungen zeigen. — Vielleicht ist zuzugeben, daß die bisher übliche Fassung des Kausalitätsprinzips als eines absolut strengen Naturgesetzes wie spanische Stiefel den Geist einschränke, und es ist daher wohl Pflicht der Naturforschung, diese Fesseln so weit zu lockern, daß der freie Schritt des philosophischen Denkens nicht mehr behindert wird. Es ist also wünschenswert, die bisher übliche, aus der klassischen Physik übernommene Formulierung des Kausalgesetzes so abzuändern, daß dasselbe wieder strenge Gültigkeit hat.“

Umsetzungs- und Auslösungskausalität

Beim wollenden oder handelnden Menschen hat alle Ursachendenken angefangen; es wird sich also auch in der Wissenschaft nicht allzu weit davon entfernen dürfen¹. Der *Ur-Heber* geht der *Ur-Sache* voraus. Im Eingange steht der Satz: Der Mensch betätigt sich als *Urheber* und gibt *Ursache* für neues Geschehen, indem er 1. *Arbeit leistet*, oder 2. *Arbeit leisten läßt*.

1. Der Mensch *leistet Arbeit*, wenn er schlägt, stößt, zieht, hebt, schiebt, trägt, gräbt, steigt oder sonstige Muskelbewegungen ausführt, die Energieumsetzungen darstellen. Hier gilt der Satz von der Gleichheit bzw. Proportionalität von Ursache und Wirkung: *causa aequat effectum*. Je größer die Anstrengung, der Betrag an aufgewendeter freier Energie, desto größer die energetische Wirkung. Das Maß der Wirkung entspricht dem Maße der *Arbeitsleistung* als dem *Ursächlichkeitsbetrag*. Doppelte *Kraftanstrengung*

ergibt doppelte mechanische Wirkung — und kann darum doppelt bezahlt werden. „Ursache ist eine Sache, welche *Arbeit leistet*“ (Georg Helm). „Das Wesen der *Materie besteht im Wirken*“ (Schopenhauer).

II. Der Mensch *läßt Arbeit leisten*, indem er andere Menschen oder Tiere oder auch Naturkräfte wie Wasserkraft, Dampfkraft, elektrische Kraft in seinen Dienst stellt. In letzterer Beziehung nur einige Beispiele: Er entzündet mit einem Flämmchen, einem Funken ein Feuer, das zu einem gewaltigen Brande anwachsen kann; er gibt einem auf schiefer Ebene ruhenden Wagen einen leichten Anstoß, so daß dieser hinabrollt; er setzt ein aufgezo- genes Uhrwerk in Tätigkeit, öffnet die Schleuse eines Wasserfalles, betätigt sich einer Maschine gegenüber anlassend oder abstellend, schließt und öffnet einen Stromkreis usw.

Vom Menschen als *Ur-Heber* gehen wir über zur *Natur*: *auch sie ist tätig*, indem sie — menschlich gesehen — *Arbeit leistet* oder (durch ihre Teilgestalten) *Arbeit leisten läßt*. Der Windstoß oder „der Flügelschlag eines Vogels“, der (nach Robert Mayer) zur Bildung einer Lawine „das Signal gibt“, stellt an sich eine sehr geringe *Arbeitsleistung* dar, die in keinem quantitativen Verhältnis zu dem Effekt der ausgebreiteten Zerstörung steht; die „*Arbeit*“ wird von dem Fall der Schneemassen geleistet, der Windstoß oder der Flügelschlag des Vogels wirkt nur anstoßend, einleitend, *auslösend*; indem er ein labiles oder metastabiles in ein stabiles Gleichgewicht überführt. (Ein Glasstab mit inneren Spannungen kann durch bloßes Tönen zum Zerspringen gebracht werden.) Das Wort *auslösen*, ursprünglich gleichbedeutend mit „herauslösen“ (z. B. den Vogel aus dem Garn), hat also eine ganz bestimmte Bedeutung gewonnen, in der Alltagsrede wie in der Wissenschaft.

Die Zwiefältigkeit, welche dem allgemeinen Verursachungsbegriff von vornherein anhaftet, ist zum ersten Male klar zum Ausdruck gebracht worden durch Robert Mayer. Die energetischen Wirkursachen sind der Gegenstand seiner berühmten Eingangsschrift von 1842, sowie der folgenden größeren Schrift von 1845; die energetisch ganz oder nahezu belanglosen Anstoß- oder Veranlassungsursachen aber hat er in seiner Schrift „Über *Auslösung*“ von 1876 endgültig formuliert.

Hier stellt R. Mayer dem herkömmlichen mechanischen, einschließlich statistischen Kausalbegriff, der so oft im Stiche läßt, als erster einen nie versagenden (dualen) *energetischen Kausalbegriff* gegenüber.

Im Anschluß an Robert Mayer sprechen wir von energetischer *Erhaltungs- oder Umsetzungskausalität (E.K.)*; wenn in irgendwelchem System eine energetische Äquivalenz von Ursache und Wirkung, eine Erhaltung des „Ursächlichkeitsbetrages“, beobachtet wird, von *Anlaß-, Anstoß- oder Auslösungskausalität (A.K.)* aber, wenn ein Gebilde sich in einer Weise betätigt, die keine energetische Äquivalenz dieser Betätigung mit der Gesamtwirkung erkennen läßt. (Was ich früher als *Erhaltungskausalität* bezeichnete, nenne ich gegenwärtig vorzugsweise *energetische Kausalität oder Umsetzungskausalität, Arbeitskausalität*. Es handelt sich ja nicht um beliebige Erhaltungen und Gleichbleibungen, wie solche in zahlreichen Naturkonstanten zahlenmäßig niedergelegt sind, sondern immer um Erhaltung der Energiegröße.)

Bei näherem Zusehen bemerkt man leicht, daß die A.K. keineswegs einen *Gegensatz*, sondern eine unentbehrliche *Ergänzung* der E.K. bildet. Eine jede Ursache besitzt einen *Arbeits-* und einen *Auslösungsanteil*. Immer wenn *etwas Neues* geschehen soll, *muß* irgendein *Anlaß*, ein *Anstoß* da sein; ohne solche *Anstöße* gibt es nur stationäre Systeme, wie eine ruhende Gasmasse, ein ruhendes Atom. Oft liegt der „Anstoß“ in dem System selbst verborgen — man spricht dann von *Selbstausslösung* (z. B. bei einem Fotografenapparate, oder bei Selbstentzündungen). Betrachtet man *das ganze System*, einschließlich die oft verschwindend kleine *Arbeitsleistung* des *Auslösers*, so gilt in jedem Falle die Gleichheit von *Ursache* und *Wirkung*, die in Form energetischer Gleichung mathematisch symbolisiert werden kann. Auch bedeutet der *Auslösungsakt* für sich regelmäßig eine gewisse, wenn auch sehr geringe *Arbeitsleistung* mit eigener *Energiegleichung* (der besondere Fall der *Katalyse* ist später kurz zu erörtern). Energetisch gesehen, ist die *Betätigung* des *Auslösers* immer nur ein leichtes *Anhängsel*, während sie für die *Beurteilung* des *ganzen Vorganges* (man denke an ein *Eisenbahnunglück*) entscheidende *Bedeutung* besitzen kann!

Schaut man sich im Sprachgebrauch des Alltagslebens sowie der Wissenschaft danach um, *welche Art Verursachung* die *Hauptrolle* spielt, so wird die Antwort sicher lauten: die *Anstoß- oder Anlaßkausalität*, nicht die *Umsetzungskausalität*. Man will wissen, welcher *Anstoß*, welcher *Anlaß* unter einer bestimmten *Bedingungskonstellation* auslösend gewirkt hat; diese „*Partialursache*“ ist als „*eigentliche Ursache*“ in der Regel von größerem Gewicht als die *Beantwortung* der Frage nach der energetischen *Umsetzungsgleichung*².

Daß es sich bei *Auslösungsprozessen* um *Beseitigung* von *Hemmungen* handelt, die einer durchgängigen *Selbstausslösung* im Wege stehen, zeigen schon eine Anzahl *Wortausdrücke*, die für *Auslösungsprozesse* im Gebrauch sind. Fast durchweg von *mechanischer Urbedeutung*, wurden „*Auslösungswörter*“ sodann auch für beliebige andere *Gebiete* — bis in das Reich des *Seelisch-Geistigen* — als *Stamm-begriffe* des *Geschehens* verwendet. Wir führen nur einige wichtigste *Ausdrücke* an: *Entbinden*, *entfesseln*, *enthemmen*, *entzünden*, *entriegeln*, *entfachen* und *anfachen*, *anregen*, *anstiften*, *anstecken*, *anzünden*, *antreiben*, *anstaecheln*, *anspornen*, *anbahnen*, *einleiten*, *einklinken*, *einschalten* (und *ausschalten*), *beschleunigen*, *erregen*, *eröffnen*, *erwecken*, *hervorrufen*, *hervorlocken*, *reizen*, und *anreizen*, *verstärken*, *befehlen*, *erinnern*, *herausfordern*, *Anstoß*, *Impuls*, *Stichwort* oder *Signal* geben, *Startenlassen*, in *Gang* setzen, in *Arbeit* geben, zum *Umkippen* oder *Überlaufen* bringen. *Negative* *Gegenausdrücke*: *hemmen*, *lähmen*, *brem-sen*, *drosseln*, *abstellen*, *abbrechen*, *vergiften*, *zügeln*, *beschwichtigen*, *verdrängen*, *eindämmen*, *einschränken*, *einlullen*, *auslöschen*, *beruhigen* usw. Dazu zahlreiche *Fremd-wörter* wie: *animieren*, *evocieren*, *alarmieren*, *dirigieren*, *koordinieren*, *kommandieren*, *signalisieren*, *induzieren*, *realisieren*, *aktualisieren*, *katalysieren*, *sensibilisieren*, *stimulieren*, *provozieren*, *infizieren*, *innervieren*, *inhibieren*, *blockieren*, *paralysieren* usw. Ebenso gibt es eine Anzahl *Wortausdrücke* für die *Begriffsklasse* des *Ausgelöstwerdens*; es seien nur folgende genannt: *anspringen*, *ansprechen*, *sich auslassen*, *sich entladen*, *reagieren*, *Feuer fangen*, *in Brand geraten*, *explodieren*, *antworten*, *nachahmen*,

aufmerken, gehorchen; dazu: sich erinnern, begreifen und verstehen, üben, lernen, sich entwickeln.

Auch für die *Vorbereitung einer Auslösungsdisposition* gibt es Bezeichnungen: einspannen, die Tür öffnen, auf die Füße bringen, voraktualisieren (z. B. in der Morphogenese).

Den Zustand der *Auslösungsbereitschaft* — physisch oder psychisch — deuten Wortausdrücke an wie: auf der Kippe, auf der Lauer, auf dem Sprunge stehen, geladen sein, in Erwartung sein, sich eröffnen, aufmerken. Mit dem Worte „Bedingung“ wird teils die Auslösungsbereitschaft (eine bestimmte Konstellation potentieller Energien), teils auch der Auslösungsakt selber bezeichnet; andauernde schleichende Anstöße (z. B. schädigender Art) können die Voraussetzung bilden, daß ein neues Einfluß-Geschehen eine stürmische Aktion (etwa Krankheitsinfektion des Organismus) als Lawinenreaktion entfesselt.

Den totalen Auslösungen nach der Alles- oder Nichts-Regel treten an die Seite die quantitativ abgestuften Auslösungen, z. B. drosseln durch bestimmte Ventileinstellung, verstärken usw. Hier gibt es besondere Gesetzmäßigkeiten, z. B. das Weber-Fechnersche Gesetz für den Empfindungsbereich. Zu den in bezug auf die Qualität des Auslösers indifferenten Auslösungen kommen die qualitativ angepaßten, nach dem Schema Schlüssel und Schloß, Sender und Empfänger, Effektor und Rezeptor. Handelt es sich um verschiedene Spielraummöglichkeiten, von denen je nach Beschaffenheit der Auslöser eine bestimmte verwirklicht, so nennt man die Auslösung Lenkung, Führung, (auch Verführung), Steuerung, Weichstellung, Regulierung; die Auslösekraft wird zur Richtkraft.

Angepaßte Auslösung setzt spezifische Bereitschaft als wahlhafte Ansprechbarkeit, Abgestimmtheit, Disposition, Anfälligkeit, Angreifbarkeit voraus. (Der ruhende Hund wird nur durch ganz bestimmte Geräusche aus seinem Schlummer erweckt.)³

Die *Resonanzfrage* des Anklangfindes, mit ihrer Konsequenz einer Annahme oder Ablehnung (von Nietzsche schon im unbewußten Bereich auf eine Art Schätzung durch den Empfänger zurückgeführt), nimmt in lust- oder unlustbetonten Bewußtseinsvorgängen das Gepräge der Willensentscheidung, also von Wertung und Wahl an.

Durchweg handelt es sich in Naturvorgängen und im Geistesgeschehen nicht um Einzelauslösung, sondern um Auslösketten und schwer entwirrbare Auslösungsverfaltungen; das Ausgelöste wird zum Auslöser, z. B. ein Schreckausruf zum Fluchtsignal für andere Individuen.

In zahlreichen Wortsymbolen ist der Anteil von Umsetzung durch bestimmte Arbeitleistung und von Anstoß ohne wesentliche energetische Betätigung unbestimmt; dahingestellt bleibt, wieviel von der Gesamtwirkung auf Rechnung des Urheber-Subjektes und wieviel auf die Eigenaktivität des angegriffenen Objektes zu setzen ist. Wir nennen in dieser Beziehung die Wortausdrücke: bestimmen, verwirklichen, beeinflussen, antreiben, zwingen, verschulden, entwickeln, zeugen, organisieren, determinieren, erziehen, beherrschen; passivisch: von — abhängen, durch — bedingt sein, Funktion — sein. Erst eine sorgfältige logische Analyse kann in solchen Fällen den Kausalzusammenhang hinsichtlich des Arbeitanteils von Sender und Empfänger feststellen — bis in juristischen und moralischen Geltungsbereich hinein. Über das logische Verhältnis von „Ursache“ und „Bedingung“, sowie von Partialursache und Totalursache ist schon viel gesagt worden. (Es sei nur an den Konditionalismus von Max Verworn und an Ernst Machs Kritik des Ursach-Begriffes erinnert.)

Oft entscheidet das Sprachgefühl über den Gebrauch dieses oder jenes Wortes für Kausalbeziehungen.

Von großer Wichtigkeit ist die Frage, was auslösend und richtend sich betätigen kann:

1) Physische Gebilde, und zwar sowohl stofflich energetische (chemische Substanzen, Körper beliebiger Art) wie auch stofflose Agenzien (elektrische Einflüsse, Strahlungen).

2) Psychische bzw. psychophysische Gebilde: Antriebe aus dem unbewußten Seelenleben, sowie bewußte Willensmotive (Impulse) und sonstige beliebige Bewußtseinsinhalte in Assoziation, Reproduktion, Apperzeption — bis zu Suggestivwirkung.

Während 1) und 2) durchweg anerkannt, weil wissenschaftlicher Forschung zugänglich sind, überschreitet man mit einer dritten Gruppe das Gebiet bestimmter Nachweismöglichkeit:

3) Metaphysische bzw. metapsychische Antriebe aus kosmischen Bereichen: Dämonische Einflüsse, Intuition, Inspiration, göttliche Fügung und Vorsehung. Das System durchgängiger Kausalität wird unsicher, sobald transzendente Mächte durch „Neusetzungen“ in das dem Dasein immanente Auslösungsgewebe einschließen; der Kausal-Monismus der Wissenschaft wird in Frage gestellt, und ein Reich des Glaubens schließt sich mehr oder weniger unvermittelt dem Reiche des Wissens an.

Zusammenfassend ist zu sagen: Auslösung in dem umfassenden Sinne Robert Meyers setzt ganz allgemein (auch auf psychischem Gebiet) das Bestehen arbeitsfähiger und arbeitsbereiter Energien voraus, wobei das Wort „Energie“ rein physikalisch verstanden wird; das auszulösende Gebilde muß eine bestimmte Bedingungskonstellation, eine Potenz der Spannung, der Bereitschaft, der Disposition, wohl auch des Aufmerkens und der Erwartung für eigenes Tun aufweisen. Totales Gleichgewicht kennt keine Auslösung, ein derartiges System kann nur leidendes Objekt für fremde *Arbeitsleistung* sein. Die Auslösung kann von einem äußeren stofflichen oder energetischen Gebilde ausgehen oder auch aus dem auslösungs- und steuerungsberreiten System selber stammen (Fremdauslösung — Selbstauslösung, Selbstregelung, Selbstbestimmung). Der Auslösungsvorgang kann unspezifisch oder spezifisch wahlhaft sein: ein Lawinensturz, ein Kriegsausbruch kann durch sehr verschiedene Umstände hervorgerufen werden; eine tuberkulöse Erkrankung kommt lediglich auf eine ganz bestimmte Infektion hin zustande.

Ein kurzes Wort ist noch über den schon viel erörterten *Wechselwirkungs-Begriff* am Platze. Die hier obwaltenden Unstimmigkeiten hängen damit zusammen, daß das Wort „Wechselwirkung“ zumindest in drei verschiedenen Bedeutungen gebraucht wird:

a) Im Sinne *Wechselbeziehung* als einer ganzheitlichen Entsprechung simultaner Art. So stehen im „ruhenden System“ Atomkern und Elektronenhülle, Sonne und Planetensystem jeden Augenblick in „Wechselwirkung“, ohne daß die Frage nach Vorher und Nachher berührt wird. Auf das Leib-Seele-Problem angewendet, kann man von einem

„psychophysischen“ Parallelismus, von Polarität, von einer Zweiseitentheorie (innen und außen) sprechen.

b) Im Sinne *wechselseitiger Arbeitsleistung* bei zeitlichen Änderungen eines Systems, z. B. einer Pflanze, deren Blätter die Lichtenergie verarbeiten, die hiervon Nutzen ziehenden Wurzeln den oberirdischen Teilen Wasser und Mineralstoffe liefern. Auf das Leib-Seele-Verhältnis nicht anwendbar. (Irrtümliche Annahme einer „psychischen oder psychophysischen Energie“, die mit anderen Energien wie mechanische, chemische, elektrische in quantitativem Umwandlungsverhältnis stehe.)

c) Im Sinne eines *wechselseitigen Auslösungsverhältnisses* mit deutlicher Beantwortbarkeit der Frage: wer hat angefangen? Ein das offene Auge treffender starker Lichtreiz löst centripetal eine entsprechende starke subjektive Empfindung aus, diese löst centrifugal ein Schließen der Augenlider (als „Reflex“ oder als Willensakt) aus. Jeder dieser zwei Akte für sich bedeutet in seinem physischen Teile eine Arbeitsleistung, eine Energieumsetzung des Körpers; für das Verhältnis des physiologischen Reizes zu der eine Reizbeantwortung veranlassenden Empfindung als psychischem Erlebnis aber besteht kein energetisches Verhältnis, sondern nur eine formale Beziehung.

Wie leicht ersichtlich, ist die Abgrenzung zwischen b) und c) auf physischem Gebiet von rein begrifflicher Art, da tatsächlich bei allen Vorgängen in Natur und Menschenleben energetisches Wirken und energetisch belangloses Auslösen und Steuern auf das engste verknüpft sind. „Arbeiten und arbeiten lassen“ tritt in Wirklichkeit durchweg verbunden auf — auch bei zeitlicher (sukzessiver) Wechselwirkung, gemäß Zug um Zug.

Bemerkungen zum Kraftbegriff

Zwei Aussprüche sind zu beherzigen, wenn man das so viel gebrauchte Wort „Kraft“ recht verstehen will. Hermann Lotze sagt (1842): „Die Dinge wirken nicht, weil sie Kräfte haben, sondern sie haben dann scheinbare Kräfte, wenn sie etwas bewirken.“ Und Robert Mayer ähnlich: „Es kommt ja zunächst nicht darauf an, was für ein Ding eine Kraft ist, sondern welches Ding wir Kraft nennen wollen.“

Wie sehr exakte Wissenschaft genötigt ist, von grobsinnlicher Anschaulichkeit auf dem Kraftgebiet immer weiter zu abstrahieren, zeigt deutlich das Beispiel der *chemischen Bindung*; von der Vorstellung feiner Häkchen und Ösen am Einzelatom über die Bindestrich-Darstellung zur rein mathematisch-abstrakten Symbolik heutiger Quantenchemie! Dabei kann hier aber eine nachträgliche Veranschaulichung sekundärer Art von Fall zu Fall — als Modell und Figment — sehr zweckdienlich sein.

Auf die unzähligen und durch Jahrhunderte währenden Streitigkeiten, die bei den Physikern durch die zweierlei Kraft-Definitionen der Mechanik hervorgerufen wurden (Kraft bei Descartes = heutiger Kraftbegriff, Kraft bei Leibniz = Arbeit, Energie) soll hier nicht eingegangen werden. Noch Kant hat 1747 (gegen Leibniz) nachweisen wollen: „Also ist der nachfolgende Zustand der Kraft, der in der Natur ist, unstrittig größer, als der vorhergehende, der ihn veranlasst hat“ (scheinbare Negierung der Erhaltung der Energie!).

Will man einen Leitfaden für das Verständnis des in allen Farben schillernden Kraftbegriffes — vor allem bei seiner Anwendung außerhalb physikalischer Disziplinen — gewinnen, so folgt man am besten Robert Mayers Vortrag, indem man zwischen *arbeitleistenden Wirkkräften* und *energetisch ganz oder nahezu belanglosen Auslöse- und Richtkräften unterscheidet*.

Gegen den Gebrauch des Wortes „Kraft“ für arbeitleistende Wirkkräfte wie mechanische, elektrische, strahlende, chemische Kraft wird heute selbst der Positivist kaum ernsthafte Einwendungen erheben; mit dieser vermenschlichenden Symbolik selbst hinsichtlich Anziehungs- und Abstoßungs-, sowie Kohäsions- und Widerstandskraft hat man sich durchweg abgefunden.

Wie steht es aber mit Auslöse- und Richtkräften nach der Art von katalytischer Kraft und Willenskraft? Hat sich doch gegen Berzelius' Aufstellung der katalytischen Kraft (1835) ein Sturm des Widerspruchs erhoben, und die „Lebenskraft“ gar wurde im vorigen Jahrhundert fast durchweg in Acht und Bann getan!

Wir folgen Robert Mayer, indem wir weitherzigen Sinnes sagen: Kraft ist jede Fähigkeit, Ursache zu sein, entweder durch Arbeit leisten oder durch Arbeit leisten lassen.

Was S. 511 bereits über Wortbegriffe wie bestimmen, entwickeln gesagt wurde, daß sie Wirkanteile und Auslösungsanteile in sich vereinigen, das gilt in gleichem Grade von zahlreichen Richtkräften, die vor allem in Kulturwissenschaft und Kulturphilosophie eine große Rolle spielen: z. B. Volkskraft, wirtschaftliche, soziale, geistige Kräfte. Man kann hier allgemein von Triebkräften reden, in Weiterführung der elementaren Triebe, die allen Lebewesen eigentümlich sind: Erhaltungs-, Wachstums- und Entfaltungs-, Heiltrieb u. dgl.

Wie steht es im tatsächlichen wissenschaftlichen Sprachgebrauch? In der Physik herrscht weitgehend Klarheit: der Begriff Kraft (als Wirkkraft) ist scharf definiert und gegen verwandte Begriffe wie Energie, Potential, Impuls, Wirkung, Leistung gut abgegrenzt. Keine Zweifel bestehen hinsichtlich allgemeiner Grundkräfte, wie mechanische, chemische, elektrische, oberflächenhafte, strahlende, inneratomare, sowie der mannigfachen untergeordneten und abgeleiteten Kräfte. Anders in Physiologie, Biologie, Psychologie, wo es von Aussagen über Kräfte, Potenzen, Faktoren usw. nur so wimmelt, und doch die Klarheit der Definition oft viel zu wünschen übrig läßt. Hier vermag erst eine saubere Scheidung nichtenergetischer Auslöse- und Richtkräfte von den arbeitenden Wirkkräften (wie sie die Physik und Chemie lehrt) Ordnung zu schaffen⁴.

Ist man sich klar, daß Katalyse immer nur Vorgänge beschleunigen, vermitteln und richten kann, die nach dem 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik möglich sind, so mag man mit Berzelius und Robert Mayer unbesorgt von „katalytischer Kraft“ sprechen. Ist man sich ferner klar, daß im lebendigen Organismus die gleichen physikalischen und chemischen Gesetze gelten wie in der „toten“ Natur, nur in anderer Bündelung und mit anderen Erfolgen, so mag man von „Lebenskraft“ in gleicher Weise reden wie von der ja auch nur als Richtkraft anzusprechenden „Willenskraft“; die Lebenskraft ist dann nichts anderes als der Körperwille des Bestehenbleibens und Sichentwickelns, gemäß der „großen Vernunft des Leibes“ (Nietzsche), von

der die kleine Vernunft des Bewußtseins nur ein letzter Ausläufer ist. Tatsächlich sind katalytische Kraft, Lebenskraft (als organismisches Prinzip) und Willenskraft besonders scharf hervortretende Richtkräfte der Natur.

Als besonderes Beispiel seien genannt die so unglaublich beständigen Richtkräfte, welche in den organismischen Zell-Chromosomen vorhanden sind; und dies sogar trotz der unaufhaltsam andauernden stofflichen Auflösung und Erneuerung dieser Gebilde durch eine Kopplung von Stoffwechsel-Oxydation und autokatalytischer Ersatzleistung.

Den sozusagen „einfachen“, d. h. physisch leicht definierbaren Kräften stehen „kompliziertere“, sogenannte *höhere Kräfte* gegenüber, die den Triebkräften unterzuordnen sind. Was schon von bestimmten Wortsymbolen wie bestimmen, entwickeln u. dgl. sowie von Triebkräften allgemein gesagt wurde, daß sie energetische Wirkanteile und energetisch nicht ins Gewicht fallende Auslösungs- und Richtanteile enthalten, das gilt von den „höheren Kräften“ in gleichem Maße. Auch Kräfte wie Herrscherkraft, Volkskraft, wirtschaftliche, soziale, kulturelle Kräfte setzen ganz reale physische latente Energien voraus, daneben aber eine auslösende und richtende „Triebfeder“, die physisch kaum mehr erschöpfend beschrieben, geschweige „erklärt“ werden kann. Materielles und Ideelles verquickt sich hier zu einem schwer analysierbaren Ganzen. Auch Worte wie seelische und geistige Energie, Gestaltungsenergie, Willensenergie dürfen nicht im Sinne arbeitender physischer Energien, sondern als integrale Bezeichnung für höhere Richtkräfte verstanden werden.

Sind Richtkräfte aber Realitäten? Hier ist scharf zu betonen: *Auslöse- und Richtkräfte sind ebenso sehr oder ebenso wenig Realitäten wie Wirkkräfte nach Art der mechanischen, elektrischen usw.* Volle Realität besitzen nur meine Erlebnisse und die (erschlossenen) Erlebnisse anderer Wesen, mit denen wir in Wechselwirkung stehen; alle Begriffe der Wissenschaft aber sind Kunstgebilde, Sprachsymbole zum Zweck der intellektuellen und der praktischen Beherrschung der Natur. Insofern behält Boltzmann mit seinem Ausspruch recht: „Gegenwärtig hält kaum jemand noch die Kraft für eine Realität“.

Auf alle Fälle steht fest, daß Robert Mayers deutliche Scheidung des Tätigseins durch Auslösung und des Tätigseins durch eigene Arbeitleistung aller engherzigen mechanischen Kausalbetrachtung turmhoch überlegen ist; nimmt doch seine Kausallehre durch Einführung der Willensbetätigung sogar *Teleologie als Willens-, Ziel- und Planlehre* mit in sich auf. Das Humesche Problem, wieso gewohnte zeitliche Zusammenhänge zugleich Ursachenzusammenhänge sein können, ist gelöst: Verursachung besteht in Arbeitleisten und in Arbeitleistenlassen!

Übersicht

A) Wirkkräfte, energetische Kräfte; sie leisten Arbeit.	B) Auslöse- u. Richtkräfte, entelechiale Dominanten; sie lassen Arbeit leisten
Mechanische Kräfte	1. Zugänglich: Katalyse und Willenskraft
Thermische Kräfte	2. Unzugängliche Zielkräfte: Physiologische Entelechien (Lebenskraft, Heilkraft) sowie planende höhere Richtkräfte des Universums (Schopenhauers Wille in der Natur)
Elektrische Kräfte	
Chemische Kräfte	
usw.	

Hauptformen der Auslösung

„Wir müssen versichert sein, daß niemals eine Ursache so klein wäre, daß sie nicht die größten Wirkungen nach sich ziehen könnte.“

Holbach, *Système de la nature* 1770

An anderem Orte (Reichweite des Auslösungsbegriffes) habe ich den Auslösungs- und Richtungsbegriff durch die verschiedenen Wissenschaften hindurch verfolgt. Das soll hier unterbleiben. Die wichtigsten Formen der Auslösung und Richtungebung mögen jedoch kurz erörtert werden:

1. *Physikalische Auslösungen*, in Mechanik, Thermik, Elektrizitäts- und Strahlungslehre, insbesondere auch Verstärkerwirkung, Relaiswirkung. Als eine Sonderform mechanischer Auslösung kann ferner die Bewegungserleichterung durch Ölung (Schmierung) von Gleitflächen beliebiger Mechanismen gelten. (Sie ist schon als Modell der folgenden Auslösungsform angesehen worden.)

2. Chemische Katalyse

Schon wiederholt ist darauf hingewiesen worden, daß bei typischer Katalyse, als stofflicher Vermittlung einer Reaktion durch den in Zwischenreaktionen pulsierend sich einschaltenden und sogleich wieder ausschaltenden Katalysator, der katalytische Urakt aus der Umsetzungsgleichung stofflich wie energetisch ganz herausfällt, anders als der Flügelschlag des Vogels, der, den Lawinensturz auslösend, an sich nicht wieder rückgängig gemacht wird, hier in der Katalyse gibt es *bilanzfreien Impuls*, ein Wirken durch (scheinbar) bloße Gegenwart. Im Sinne solcher Anstoßkausalität nennt Berzelius die katalytische Kraft „eine Ursache chemischer Tätigkeit“ (Brief an J. Liebig vom 11. Dezember 1840).

Bedeutsame Erscheinungen können sich bei Verwendung von *Stoffgemischen als Katalysator* zeigen. Setzt man dem Katalysator (im Falle der Ammoniakkatalyse etwa Eisen oder Molybdän) einen beliebigen zweiten Stoff zu, so wird dieser (in der Regel) indifferent sein, oder er wird die Wirkung des Katalysators abschwächen bzw. ganz verwischen, oder auch sie erhöhen, verstärken bzw. modifizieren, d. h. in andere Bahnen lenken. Abweichungen von additivem Verhalten in kaum vorausschbarer Weise treten auch ein in Gemischen zweier oder mehrerer Stoffe, von denen jeder für sich als Katalysator für eine bestimmte Reaktion brauchbar ist.

Aus einem Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemisch kann so bei passender Temperatur und geeignetem Druck je nach Wahl nicht nur des Katalysators, sondern auch des zugehörigen „Aktivators“ die eine oder andere organische Verbindung erhalten werden, infolge Eintretens von Folgereaktionen und Reaktionsverzweigung schließlich eine ganze Skala von Kohlenwasserstoffen, Alkoholen, Aldehyden usw. Nur kurz sei bemerkt, daß solche Erscheinungen im Leben der *Organismen* mit ihren Biokatalysatoren, Aktivatoren, Paralytoren usw. ganz besonders stark ausgeprägt und von höchster Wichtigkeit sind.

Weit stärker als in physikalischer Auslösung tritt bei chemischer Auslösung die Erscheinung der Spezifität als einer Wahlhaftigkeit auf, die eine gewisse „Abstimmung“ im System verlangt. Eine Lawine kann auf mannigfachste

Weise ausgelöst werden, eine chemische Reaktion wie die katalytische Schwefelsäurebildung geht nur mit bestimmten Kontakten als Vermittlern vor sich, während alle anderen Stoffe unwirksam bleiben, indifferent sind.

Zu dieser Substrat-Spezifität gesellt sich vielfach eine Wahlhaftigkeit in bezug auf den Verlauf der Reaktion: In einem Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemisch können verschiedene Katalysatoren verschiedene Produkte erzeugen. Hier tritt der Spielraumcharakter des Chemismus hervor, ohne welchen vor allem organisches Leben gar nicht denkbar wäre. Die verschiedenen *Fermente* oder Enzyme in pflanzlichen und tierischen Organismen greifen als organische Katalysatoren *bestimmte* reaktionsfähige Stoffe zersetzend oder aufbauend an und lenken den Verlauf in *bestimmte* Richtung.

An diese altbekannten Fermente schließt sich formal ohne scharfe Grenze das große Gebiet organischer *Wirk- und Reizstoffe* an (besser hieße es Anlaß- und Reizstoffe); es eröffnet sich das unübersehbare Reich der Hormone und Vitamine, Induktions- und Organisationsstoffe, bis zu den Termonen und Gamonen nach Max Hartmann, Richard Kuhn und Möwus. Der *katalytische* Eindruck der Wirkung derartiger Stoffe kann nach H. Staudinger allerdings Täuschung sein, indem bei *stöchiometrischer* Einwirkung von Stoffen mit niedrigem Molekulargewicht auf Makromolekeln der gleiche Eindruck: kleine Ursache — große Wirkung entsteht. Chemische Befehlgeber aber bleiben alle Wirk- und Reizstoffe auf jeden Fall.

Andererseits: Auch im subatomaren Bereich spielen Katalyse und sonstige Formen der Auslösung eine bedeutende Rolle: die Vereinigung von Wasserstoffkernen zu Heliumkernen wird durch Kohlenstoff- und Stickstoff-Kerne katalysiert, die Spaltung von Uranatomen unter Freiwerden gewaltiger Energiemengen durch Neutronenbeschuß erreicht.

3. Physiologische Reizwirkung

Als eine Art erste Auflehnung gegen die panmechanistische Denkweise der Physiker im 18. Jahrhundert kann es gelten, wenn Albrecht von Haller den physiologischen *Reizbegriff* schuf — der nachträglich allerdings wieder

mechanisiert worden ist. „Ich nenne Reiz diejenige Ursache, die selbst keine ihrer Wirkung angemessene Gegenwirkung erleidet“ (Schopenhauer). Reizung, Erregung, Steuerung mannigfachster Vorgänge, beschränkter oder umfassender Art, ist die typische Erscheinungsform von Auslösung und Richtunggebung in jedem Lebewesen. Da ist die Sinneserregung von außen, die zentrifugale Muskelreizung durch den Nerv; da sind die verschiedensten mechanischen, chemischen, elektrokinetischen Reizungen, die von Stoffgebilden oder rein energetisch (z. B. durch Strahlung, durch elektrischen Strom) im Organismus dauernd zur Auswirkung gelangen und die Mannigfaltigkeit der Lebenserscheinungen hervorrufen⁵. Reflexe sind automatisierte, mechanisierte Auslösungs-Kausalismen, ähnlich auch Taxien, Tropismen u. dgl.

Besondere Beachtung findet neuerdings das organismische Richtfeld (nach Herbst u. a.), in weiterer Ausgestaltung des Feldbegriffes von Alexander Gurwitsch und Paul Weiß. Das organismische Kraftfeld jedes Organismus kann logisch in ein energetisches Wirkfeld und ein entelechiales Richtfeld zerlegt werden.

4. Die Willenstätigkeit

Der Übergang von physiologischer Reizwirkung zu psychophysischem Willensantrieb ist fließend; ist doch auch die Grenze von dem unbewußten Körperleben — der Herrschaft der „großen Vernunft des Leibes“ — zum bewußt Seelisch-Geistigen nur unscharf. Willensmotiv — Willensentschluß — Willenshandlung: das ist die regelmäßige Auslösungskette bei bewußten menschlichen Tathandlungen. Dem *Motiv* steht nach Schopenhauer das *Quietiv* entgegen, welches das Wollen „beschwichtigt und aufhebt“ (entsprechend den Hemmungs- und Vergiftungserscheinungen bei der Katalyse: hätte Schopenhauer wohl gesagt, wenn er von dieser schon gewußt hätte).

Man kann die Willenswirkung als *psychisches Gegenbild der Katalyse* bezeichnen. Der menschliche Wille stößt an, löst aus, steuert, oder auch hindert, bremst, hält an, und er kann das immer von neuem tun, ohne daß er selber „weniger“ wird; auch er wirkt durch bloße Gegenwart, genauer durch rasch wechselnde Einschaltung und Aus-

schaltung gleichwie der Katalysator, und ist in keiner Weise in der Energiegleichung des veranlaßten Geschehens zu erfassen. Der Begriff einer psychischen oder psychophysischen Energie im physikalischen Sinne ist ein Unding; wenn wir von Willenskraft, von Willensenergie sprechen, gebrauchen wir die Ausdrücke Kraft und Energie nicht im physikalisch-energetischen Sinne.

Der Wille kann nicht Arbeit leisten, sondern nur Arbeit leisten lassen. Sigwart erwägt, wie weit ein Willensimpuls „bloß als auslösender Vorgang gegenüber einer disponiblen Energie zu betrachten sei, analog dem Schließen eines elektrischen Stromes, der eine Mine entzündet“. Auch Boltzmann bezeichnet den Willen als Auslöser.

Sowohl bei Reizungsvorgängen wie bei Willenshandlungen treten Merkmale hervor, die rein physikalisch und chemisch nicht beschrieben werden können: eine vielgestaltete und bewegliche *Ordnung* der Einzelvorgänge, mit einheitlichem Erfolge, der als „Ziel“ erscheint und auf Plan und „Sinn“ hinweist. Der chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeit ist eine „höhere Gesetzmäßigkeit“ überlagert. Diese Obergesetzmäßigkeit des Lebens und des menschlichen Wirkens setzt Chemie und Physik voraus und bedient sich ihrer, läßt sich aber daraus nicht zwingend ableiten.

Wie schon Lotze erkannt hat, ist das Problem psychophysischer Wechselwirkung sachgemäß nur unter dem Auslösungsgesichtspunkt zu erörtern. Gefühle, Affekte, Willenserregungen als ganzheitliche Vorgänge und Zustände des Organismus lösen bestimmte weitere Vorgänge im Nerven-, Drüsen-, Muskelsystem aus, wie umgekehrt irgendwelche von außen empfangenen Reizungen auch bestimmte psychische Zustände auslösen.

„Auslösung“ drängender Affekte durch Abreagieren bedeutet zugleich eine „Herauslösung“, eine Entlastung, eine Befreiung. („Auch das Rauchen ist für mich eine Art „Auslösung“, hat Robert Mayer einst gesagt.) „Jeder wahre, echte, unmittelbare Akt des Willens ist sofort und unmittelbar auch erscheinender Akt des Leibes. Also was im Gehirn *Motiv* war, wirkt, wenn es durch die Nervenleitung zum Muskel gelangt, als bloßer *Reiz*“ (Schopenhauer)⁶.

Assoziation und Apperzeption: allenthalben handelt es sich um *Auslösung*. Auch das Gebiet der Sprache (Ge-

barden- und Wortsprache), der Kunst, ja der gesamten Ausdruckskultur und der Geschichte kann nur vom Auslösungsbegriff her sachgemäß behandelt werden. Jede Melodie ist eine psychophysische Auslösenkette. Persönliches Innenleben findet mannigfachen Ausdruck (Ausdrucksbewegungen) und erweckt durch Mitteilung (Übertragung) bestimmte seelische Vorgänge der Einlebung und Einfühlung (Empathie) in anderen. Selbstausslösung aber reicht vom einfachen „mir fällt ein“ bis zu schöpferischer Inspiration!

Der „Wille in der Natur“; entelechiale Kräfte

„Die Natur wäre nicht die Natur, wenn sie keinen Geist hätte“
Novalis

a) Niemand zweifelt daran, daß bewußte menschliche Handlung durch den menschlichen Willen und seine „Motive“ ausgelöst wird. Sollte man dann nicht auch von einem „Willen in der Natur“ (nach Schopenhauer) reden können, wenn auch nur als Fingment, als Symbol? Überall da, wo das Geschehen wahlhafter Art ist oder gar Unwahrscheinlichkeitsgepräge trägt — wie zumeist im Reich der Biologie — gewinnt diese Interpretation metaphysisch an Gewicht, obgleich sie wissenschaftlich nicht beweisbar ist. Der Naturwille tritt auf als Wille zur Vermannigfaltigung, zur Steigerung, zu künstlerischer Gestaltung.

b) Bewußter menschlicher Wille steht in engster Verbindung mit Wahrnehmen, Vorstellen, Denken, ist also dem Bereich seelisch-geistigen Geschehens zuzuordnen. Kein Wille ohne Intellekt (im allgemeinsten Sinne), ohne Geist (im allgemeinsten Sinne). So wird der Geist zum großen Auslöser und Richtunggeber — ganz deutlich (als „Wühler“) in der Menschengeschichte, unzweifelhaft aber auch in der Entwicklungsgeschichte des Kosmos im allgemeinen, von unserer Erde im besonderen.

c) Bewußter Geisteswille schließt Ziel, Plan und Sinn in sich. Wie schon S. 517 angedeutet, besteht für eine Kausalik im energetischen (Robert Mayerschen) Sinne kein Zwiespalt zwischen Ursache und Zielgebung, zwischen Kausalität und Teleologie; Teleologie gehört sogar wesentlich zur Kausalik. Jede Naturkausalität kann und wird in irgendwelcher Weise Teleokausalität sein. Freilich muß man beim Übergang vom menschlichen Handeln zum „Handeln der

Natur“ sich bewußt sein, daß der Ziel setzende menschliche Wille jedem aus eigenem Erlebnis bekannt ist, der zielsetzende Wille der Natur jedoch eine metaphysische Annahme, wissenschaftlich gesehen also nur Fingment ist. Wer will sich anmaßen, Sicheres über Plan und Sinn der Auslösungen und Steuerungen in der Natur aussagen zu können?

d) Alle höheren Kräfte und Potenzen des Organismus — in der Astronomie wird niemand von solchen Oberkräften reden — tragen durchweg das Gepräge von Auslöse-, Richt-, Trieb- und Entfaltungskräften; sie leisten nicht Arbeit, sondern lassen Arbeit leisten. Man kann sie schließlich unter einheitlichem Symbol wie Physis, Archeus, Lebenskraft, Entelechie zusammenfassen.

Unter „Lebenskraft“ oder (nach Driesch) „Entelechie“ ist darnach das Integral aller chemisch-physikalisch nicht beschreibbaren Oberkräfte, d. h. Richtkräfte und Gestaltungskräfte des lebenden Organismus zu verstehen.

„Allerdings wirken im tierischen Organismus physikalische und chemische Kräfte; aber was diese zusammenhält und lenkt, so daß ein zweckmäßiger Organismus daraus wird und besteht, — das ist die Lebenskraft: sie beherrscht demnach jene Kraft und modifiziert ihre Wirkung, die also hier nur eine untergeordnete ist. — An sich ist jene Lebenskraft der Wille.“ (Schopenhauer.)

Noch in Liebigs „Chemischen Briefen“ von 1844 wurde fehlerhaft die Lebenskraft mit „Verwandtschaft, elektrischer Kraft, Cohäsionskraft“ in eine Reihe gestellt, anstatt sie der Willenskraft beizuordnen. Fritz Mauthner bezeichnet die Lebenskraft als Auslösekraft. Nach L. Krehl ist Physis „eine Eigenschaft oder Fähigkeit des Organismus, funktionelle Unordnungen seiner Organe wieder in Ordnung zu bringen“. Hans Spemann sieht in Entwicklungsvorgängen eine „Konkurrenz von Wirkungsfeld und Führungsfeld“.

e) Bei menschlicher Willenshandlung, z. B. künstlerischer Art, wird sich niemand damit begnügen zu sagen: das ist Wille. Man will wissen, wie es der Wille macht, welche Pläne er verfolgt, welche Mittel er anwendet, welche Ziele er erstrebt.

Sollte man nicht ähnlich in der Biologie fragen dürfen — ohne den wissenschaftlichen Boden zu verlieren —: Wie

macht es die Lebenskraft, wie macht es die Heilkraft, wie macht es die Entelechie? Wobei immer zu beachten bleibt, daß solche steuernde „Kräfte“ (Dominanten nach J. Reinke) Symbole sind, wertvolle Sprachsymbole, die unserer Erkenntnis dienen, ohne also je an „Ding und Vorgang an sich“ heranzureichen. „Die Kraft selbst ... bleibt ihr ewig ein Geheimnis.“ — „Jede echte, also wirklich ursprüngliche Naturkraft ist wesentlich *qualitas occulta*“ (Schopenhauer).

„Finalität“ aber wird letztlich nicht das dialektische Gegenstück der Natur-Kausalität (nach Ernst Schwarz), sondern ein notwendiger Bestandteil dieser Kausalität sein.

Im Grunde wird das Naturgeschehen immer mit menschlichem Maße gemessen bleiben. Die höchsten Formen menschlicher Planung und Betätigung mag man als *Modell* und Abglanz göttlichen Wirkens in der Natur nehmen. Dem Wesen kann nur das *Gefühl* in begnadeten Augenblicken nahe kommen, und das Gefühlte kann in hohen Symbolen, vor allem Kunst-Symbolen, angedeutet und durch Mitteilung übertragen werden.

„Das hauptsächliche Arbeitsfeld der naturwissenschaftlichen Biologie liegt auf der Ebene der Auslösungsvorgänge, auch weit über morphogenetische Fragen hinaus... und die darauf bezüglichen, besonders nach der praktischen Verwertungsseite (der ärztlichen) hochbedeutsamen Entdeckungen sind ständig im Wachsen“, sagt Hedwig Conrad-Martius. Wenn sie hinzufügt: „Aber das eigentliche Werk der lebendigen Morphogenese liegt in viel tieferen Seinschichten“, so wird außer acht gelassen, daß der energetische Auslösungsbegriff von Robert Mayer (anders als der vorausgehende mechanistische von E. Du Bois-Reymond) auch den veranlassenden, planenden und zielenden Willen in sich schließt. Warum soll dann der veranlassende, steuernde und zuordnende „Wille in der Natur“, der entelechiale Logos-Wille, der die gegebenen Natur-Energien in seiner Weise nutzt, *außerhalb* des Auslösungsschemas bleiben?

Anzuerkennen ist allerdings, daß derartige sinngebende Verursachung physikalisch-chemisch nicht restlos beschreibbar ist, sondern auf letzte Geheimnisse der schaffenden Natur hinweist; insbesondere ist das für Lebewesen geltende planmäßige Zusammenspiel stofflicher und energetischer Auslösungs-Faktoren und -Potenzen auf Grund verwickel-

ter Vorbereitungsstadien aktualisierender, sensibilisierender und mobilisierender Art etwas Besonderes, das sich hoch über die Ebene „einfacher“ Auslösungen erhebt. Bestehen bleibt, daß Begriffe wie Entelechie, Naturwille u. dgl. philosophische Grenzbegriffe von anscheinend unentbehrlicher Art sind, nicht aber als Erklärungsprinzipien gelten dürfen⁷.

Auslösungen in der Menschheitsgeschichte

Was in der Geschichte „Ursache“ genannt wird, ist zu- meist *Auslösungsursache*, nicht arbeitleistende Ursache. Umstände, Verhältnisse, Bedingungen gehören im wesentlichen in die Rubrik „potentielle freie Energien“, welche ausgelöst, gerichtet, realisiert werden. Das Schöpfertum des Geistes ist seinem Wesen nach von auslösender und steuernder Art.

Der körperlich und geistig, materiell und ideell bestimmten Art jeder menschlichen Kultur entspricht es, daß die Auslösungen in der Geschichte des Einzelmenschen wie auch bestimmter Gemeinschaften teils physikalisch-chemisch-physiologisch beschreibbar sind, teils sich einer solchen Beschreibbarkeit entziehen, indem sie auf seelisch-geistiger Nötigung (Motivierung) beruhen. Naturereignisse wie Überschwemmungen oder auch Ausbleiben von Niederschlägen können große menschliche Wanderungen auslösen, Wetterverhältnisse oder Unpäßlichkeiten führender Feldherren können schlachtentscheidend wirken, bestimmte psychisch bedingte Verhaltensweisen eines Volkes können beim Nachbarvolk Freundschaft oder grimmigen Haß hervorrufen.

Was aber gibt uns das Recht, den Auslösungsbegriff auch auf das seelisch-geistige Leben anzuwenden, da doch der Begriff einer „psychischen Energie“ (im Sinne quantitativer Umsetzungsfähigkeit) ein Fehl-begriff ist? Die Antwort ist leicht zu geben: Alles was vom Subjekt an seelisch-geistigem Geschehen erlebt wird, findet seinen physischen Ausdruck in organismischen Umsetzungen chemischer und elektrischer Energie — bis zu den feinsten Vorgängen des Nerven- und Muskelsystems — und führt auf diesem Wege zu Handlungen. Es ist also tatsächlich immer und überall „Auslösung“ am Werke!

Wie im einzelnen tierischen und menschlichen Organismus handelt es sich auch im Gemeinschafts-Organismus um ausgedehnte *Auslösungsverkettungen und Verfilzungen*, denen nachzugehen die Aufgabe des Historikers ist. Befehlen und Überzeugen sind hier die Hauptformen des Auslösens, Gehorchen und Überzeugtwerden (oder das Gegenteil hiervon) des Ausgelöstwerdens.

Energetische Wirkkräfte und energetisch mehr oder weniger belanglose Auslöse- und Richtkräfte beherrschen alles Menschheitsgeschehen. Im Begriff kultureller „Entwicklung“ findet der Forscher das großartigste Zusammenspiel von schaffendem Wirken und führendem Auslösen, von Arbeiten und Arbeitenlassen. So ist tatsächlich Kausalität „der Lebensnerv der Geschichte“.

Die Bedeutung von Auslösungsprozessen und Triebkräften für das Einzelschicksal wie für das Völkerleben haben Friedrich Nietzsche, Alois Riehl, Felix Buttersack („Triebkräfte des Lebens“ 1929) betont; Wundts geschichtliches Gesetz der Heterogonie der Zwecke (weitergeführt von Willy Hellpach) ist ein Auslösungsgesetz. Das Leben der Völker in Frieden und Krieg — ein gewaltiges Auslösungsgewebe, gewirkt am Webstuhl der Zeit.

„Die stillsten Worte sind es, welche den Sturm bringen. Gedanken, die mit Taubenfüßen kommen, lenken die Welt. — *Wirkung*. Der Reiz, den einer ausübt, die Auslösung, die es gibt, bei der andere ihre Kräfte auslösen (z. B. der Religionsstifter), ist gewöhnlich mit der *Wirkung* verwechselt worden: man schließt aus großen Kraft-Auslösungen auf große ‚Ursachen‘. Falsch! Es können unbedeutende Reize und Menschen sein: aber die Kraft war angesammelt, und der Weg zur Explosion bereit. — Blick auf die Weltgeschichte!“ (Nietzsche.)

Da im Menschen nicht nur der Geist der Natur, sondern auch Gefühl und Wille der Natur die höchste uns bekannte Steigerung erfahren, mischen sich in aller Kulturwissenschaft Wertungsfragen in die Sachverhaltsfragen. „Kultur stellt ein Gebiet dar, das mittels der Begriffe Kraft, Arbeit, Verursachung nicht erschöpfend zu behandeln ist. wertende Begriffskategorien wie Plan und Sinn, Verantwortung und Schuld, Recht und Moral kommen neu hinzu. Immer aber bleibt auch für normative Wissenschaft

„Auslösung“ ein unentbehrliches Denkhilfsmittel; das komplementäre Begriffspaar „Schicksal und Schuld“ verlangt nach gründlicher Auslösungsforschung. An der Grenze steht die Frage, ob gute und böse Dämonen, welche anscheinend in irdisches Menschenwesen bestimmend eingreifen, sogar als allgemein-kosmische Existenzen anzuerkennen sind: ein Kampf des guten und des bösen Prinzips nicht nur auf der Erde, sondern im Universum?

Rückblick

„Ist nicht Kraft etwas, was uns unmittelbar geistig vertraut ist, und dokumentiert das nicht, daß selbst das Anorganische letzten Endes geistiger Herkunft sein muß?“
Wilhelm Burkamp

Katalytische Kraft haftet an elementaren Stoffgebilden (Atomen, Molekeln), organische Richtkräfte haften an Organen und Organgruppen oder dem ganzen Organismus. Als Spitze organismischer Richtkräfte erscheint die *Willenskraft*, die erfahrungsgemäß an die Ausbildung bestimmter Zentralorgane von Tier und Mensch geknüpft ist. Eine Art verborgene Willenskraft, einen nicht nachweislichen „Willen“ des Unbewußten, des Unterbewußten stellen Instinkt und Trieb (auf Grund des Erbgedächtnisses) dar, ja schon jede organische Gestalt weist auf eine höhere formgebende Kraft hin.

Allgemein bildet der Begriff Auslöse-, Richt- und Bildkraft eine tragende Brücke, die von der Naturwissenschaft in Kultur- und Geisteswissenschaft führt.

Wie wir gesehen haben, hilft der Auslösungsbegriff dazu, daß Teleologie und Kausalik — wohlgemerkt eine energetische, nicht eine mechanistische Kausalik — keineswegs im Gegensatz zueinander stehen; die Begriffe Ziel und Zweck, Plan und Sinn gehören vielmehr notwendig in eine umfassende Kausalik mit hinein. Immer wird es irgendein Geistwille sein, der Pläne faßt und Sinn verwirklicht, als Auslöser eingreifend in chemische und biologische Gesetzlichkeit der Natur, die eine Spielraumgesetzlichkeit ist⁶.

Der *Ganzheitscharakter des Geschehens*, vor allem in der lebendigen Natur, das auf-ein-Ziel-hin-Wirken und -Richten zahlloser Einzelvorgänge, erinnert durchweg an die Betätigung des menschlichen Willens, der sich Einzelmög-

lichkeiten wahlhaft dienstbar macht, um seine Ziele zu erreichen. *Es ist, als ob in der Natur Willenskräfte unbekannter höherer Art wirkten*: Entelechien, Dominanten, diaphysische Kräfte, große Vernünfte des Leibes. Über Lebenskraft ist viel gestritten worden. Als Wirkkraft analog Elektrizität und Chemismus hat sie ausgespielt, als in dem Spielraum-Geschehen der Natur tätige Richtkraft übergeordneter Art wird sie niemals wegdisputiert — allerdings ebensowenig bewiesen werden können: Höhere Zielkräfte der Natur wie der Kultur sind Sache des Glaubens, aber zugleich Postulat der Vernunft, sobald nach Sinn und Zweck des Ganzen gefragt wird.

Durchweg wird in Harmonie und Disharmonie der Natur eine Rangordnung des Geschehens mit höheren und niederen Instanzen anzunehmen sein. Alle Zwischeninstanzen zeigen ein Doppelantlitz: befehlend und gehorchend — gehorchend höheren und höchsten auslösenden und richtenden Mächten, bis zu der Ziele setzenden und verwirklichenden Gewalt des Ewigen, Unausprechlichen. „Befehlen und Gehorchen ist die Grundtatsache“ (Nietzsche).

Fragt man schließlich, ob unsere Kraft- und Ursache-Betrachtungen nur der *Ordnungslehre* (im Sinne von Hans Driesch) angehören, oder ob sie bereits in die *Wirklichkeitslehre* (Metaphysik) münden, so wird zu sagen sein, daß wir uns so gut wie völlig auf dem Boden menschlicher Ordnungslehre bewegt haben, jedoch mit leichten Ausblicken nach der Welt der Wirklichkeit, wie sie unabhängig vom menschlichen Ordnungsdenken beschaffen sein mag. Potenz und Akt, Vermögen und Handeln, planenden Willen und bewirktes Geschehen überall in der Natur festzustellen, ist zwar ein menschlicher Aspekt, der sich beim Ordnen der Erlebnisse ergibt; dieser Aspekt aber führt zu Folgerungen, welche eine ahnende Überzeugung zu geben vermögen davon, daß im Naturganzen irgendein geheimnisvoller Plan und Sinn waltet, in den der strebende Mensch sich harmonisch einfügen sollte, gemäß ewigen Ideen des Guten, Schönen, Wahren.

Zumindest erlaubt der Auslösungsbegriff, eine wichtige metaphysische Frage scharf zu formulieren: Wenn es der Naturwissenschaft unmöglich ist, für ganzheitliche Lebenserscheinungen das auslösende, dirigierende und koordinie-

rende Agens zu ermitteln, darf man dann einen uns unbekannt planenden Naturwillen fingieren, der im Großen ähnlich sich betätigt wie menschliche Willenskraft in Ihrem bescheidenen Wirkungsbereich? „Das Seelische der Natur setzt sich im Seelischen der Kultur fort“ (J. Reinke).

Von wohldefinierbaren und kontrollierbaren Begriffen „Kraft“ und „Ursache“ sind wir ausgegangen; am Ende aber steht eine Begriffssymbolik, die nach der Welt der Wirklichkeit fragt, also nach einer *Metaphysik der Natur* verlangt.

„Im Anfang war die Tat?“ Naturphilosophisch gesehen, nein, sondern: Im Anfange war die Kraft, die Energie; sie war da als Ur-Sache, als die Fähigkeit, tätig zu sein, d. h. Arbeit zu leisten oder Arbeit leisten zu lassen. „Vis = vera substantia“ (Leibniz).

Anmerkungen:

1 Schon bei Aristoteles sind die platonischen Ideen zu Entelechien, zu Kräften geworden (ohne scharfe Scheidung der Begriffe Energie und Entelechie). Auf die Vorboten der Robert Meyerschen Abtrennung der Auslösungskausalität (Lotze, Du Bois-Reymond, in gewisser Weise auch Schopenhauer) kann hier nicht näher eingegangen werden. Es ist beachtenswert, daß Robert Meyers Ursachelehre mit ehrwürdig-alter philosophischer Scheidung zusammenstimmt: I. Energie-Umsetzungskausalität = *causa efficiens*, II. Auslösungs- oder Anstoßkausalität = *causa occasionalis*. Als Sonderfall von II: Zielkausalität des Willens = *causa finalis*. Von dem Tatbestand potentieller Energie führt das Wort „können“ in der Kategorie der Möglichkeit. Nur bei physikalischen und chemischen Vorgängen, für die der Satz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung gilt, besteht nach Schopenhauer „Ursache im engsten Sinne“ (auch „mechanische Ursache“ genannt, welche „die faßlichste von allen“ sei). „Hier ist der Grad der Wirkung dem Grade der Ursache stets genau angemessen, so daß aus dieser jene sich berechnen läßt und umgekehrt. Die zweite Form der Kausalität ist der Reiz. — Die dritte Form der Kausalität ist das Motiv.“ — „Also Ursach und Wirkung sondern sich mehr und mehr, werden heterogener, ihr Zusammenhang unverständlich, die Wirkung scheint mehr zu enthalten, als die Ursach ihr liefern konnte.“ „Im Motiv . . . hat jene Heterogenität zwischen Ursach und Wirkung . . . den höchsten Grad erreicht. — Der Stein muß gestoßen werden, der Mensch gehorcht einem Blick.“ — 2 Maine de Biran (1766—1824) sagt: „Das Ich erkennt sich unmittelbar als Kraft. Es sieht mit Gewißheit die Wirkungen voraus, die es durch seinen Willen hervorbringen wird. Mit diesem Wissen kann sich das Ich keine Veränderungen vorstellen, ohne sie auf eine Ursache, und zwar auf eine Ich-ähnliche Ursache zu beziehen. Also sind Naturkräfte (. . .) nach Analogie des Ich unkörperliche und unveränderliche Tätigkeitsprinzipien. Wir fühlen die Kausalität des Willens“. (Ähnlich Schopenhauer: „Der Wille hat Kausalität“.) „Alle Kräfte sind tot in unserer wissenschaftlichen Abstraktion . . . ; alle Kräfte sind lebendig in ihrem realen Zusammenwirken, die Kräfte des Erdleibes so gut wie die unseres Leibes“ (G. Th. Fechner). — 3 In Meyers Konversationslexikon 1893 liest man: „Auslösung, der oft geringfügige äußere Anstoß, durch welchen die in einem Körper aufgespeicherte Wirkungsfähigkeit zu plötzlicher Kraftäußerung veranlaßt wird. Im Organismus wirken die Nerven als Auslösungsapparate“. Es wird sich leicht zeigen lassen, daß die verschiedenen Kausalitätsformen, welche W. Hellpach in seinem Buche

Sozial-Organismen, Leipzig 1944, S. 82 ff. unterscheidet (plastische und bioplastische Kausalität, Unbewußtseinskausalität, Sozialkausalität, Geistkausalität u.s.w.) so gut wie sämtlich der Auslösendenkausalität unterzuordnen sind. Hemmung und Enthemmung, Bindung und Lösung (nebst Auslösung) sind ein polares Begriffspaar, das uns auf allen Naturwissenschaftsgebieten, vor allem aber im Reich des organischen Lebens immer wieder begegnet. — 4 Auch Wirkkräfte können r i c h t e n d sich betätigen, indem sie ihrer Art gemäß die bestehenden Möglichkeiten einengend realisieren. Das magnetische Erdfeld richtet die Kompaßnadel, der Wind die Wetterfahne. Hier wird aber niemand von „Auslösung“ reden. — 5 Physiologischen Auslösungen ist vielfach das Bestehen antagonistischer Beziehung von Spieler und Gegenspieler zu eigen, besonders auf hormonalem Gebiete. Etwas Ähnliches begegnet uns schon auf dem Gebiet der Katalyse, in der Gegensatzlichkeit von Verstärkung und Abschwächung, Aktivierung und Vergiftung. — 6 Schon Lotze hat ähnliche occasionalistische Äußerungen getan; ihm schließt sich Ludwig Busse an. Dahingestellt sei die Frage, ob es rein seelische und geistige Auslösungen (in Assoziation und Reproduktion, Einprägung und Erinnerung) gibt. Grundsätzlich wird anzunehmen sein, daß ein jeder seelische Auslösungsvorgang (z. B. auch im Spiel der Traumbilder) von außen als stofflich energetischer Körpervorgang — schließlich als Spiel von Atomen, Elektronen und Wirkungsquanten — beobachtet werden kann. „Die Seele ist das Innesein der Organismen“ (Wundt). Jedem psychischen Vorgang entspricht ein physischer Ausdruck. Ist auch umgekehrt alles Physische der Natur Ausdruck und Gebärde für eine seelisch-geistige Innerung? — 7 In der Biologie sind die Ausdrücke „Mechanismus“ und „Vitalismus“ im Grund veraltete und überlebte Schlagworte. Staudinger wirft die Frage auf (1946), ob im Organismus „ein neues Prinzip, eine Entelechie, den physikalischen und chemischen Mechanismus als Grundlage benutzt und ihn dirigiert, wobei wir dieses neue Prinzip durch physikalisch-chemische Beobachtungen nicht erfassen können“. Auf besondere organismische Richtkräfte, die, weil an unwahrscheinliche „höhere“ Strukturen gebunden, physikalischer und chemischer Beschreibbarkeit unzugänglich sind, weisen auch Arbeiten von G. K. Schulz und E. Huemann hin (Ztschr. f. Naturforschung 1946, 268. Beobachtungen über die Fortsetzung makromolekularer Gesetzmäßigkeit in übermolekularen Zell- und Gewebestrukturen lassen darnach „die biologische Struktur als das Primäre gegenüber dem chemischen Vorgang erscheinen. „Gerade die für den Lebensprozeß fundamentalen chemischen Reaktionen sind an das ordnende Milieu des lebendigen Organismus mit seiner vorgegebenen Feinstruktur gebunden“. „Omnis structura e structura“ (Frey-Wyßling). Nach Hedwig Conrad-Martius ist die Lebenskraft „das organisierende Imagoid“, der „innere Leib“, die ausgliedernde Bildungsentelechie, genauer „die gegenüber dem Körpersubstrat verselbständigte entelechial-energetische Organisationspotenz desselben, d. h. eine vom Artlogos bestimmte Bildungsmacht, die sich gestaffelter „felddynamischer Wirkfaktoren“ als Differenzierungsschatz bedient. Kritische Wissenschaft verlangt nach sicherer Erkenntnis, jedoch unter Respektierung von Grenzbegriffen wie Entelechie, Naturplan und Naturwille. Noch kann keine Wissenschaft beispielsweise aufdecken, wie in der stofflichen Keimzelle die Anweisung für die ganze spätere Lebensentwicklung (bis zu geistiger Höhe beim Menschen) niedergelegt sein möchte. — 8 In „Katalyse und Determinismus“ heißt es: „Die universelle Harmonie einer ermöglichenden Kausalität von unten (chemische und physikalische Kausalität) und führender und planender Kausalität von oben in einer wahren Ganzheitskausalität ist letztlich ein Geheimnis“. Die Sinne zeigen uns jenseits des Selbst nur Außenungen; die Innerung der Naturvorgänge bleibt uns wesentlich unbekannt und kann, zumal im Organischen, wohl nur nach gewisser Analogie mit dem eigenen menschlich-seelischen Inneren beurteilt werden. Dazu aber: „Bisher sind beide Erklärungen des organischen Lebens nicht gelungen, weder die aus der Mechanik, noch die aus dem Geiste. Ich betone Letzteres“ (Nietzsche).

Dritter Teil:

GESCHICHTLICHES ZU SCHOPENHAUER,

ROBERT MAYER, NIETZSCHE

Schon in den vorausgehenden Abhandlungen sind einige Arbeiten wissenschaftsgeschichtlicher Art enthalten. Eine Ergänzung bietet der nun folgende dritte Teil, der sich auf die hohen Namen Arthur Schopenhauer, Robert Mayer, Friedrich Nietzsche bezieht. Wie weit diese drei Männer mit dem „katalytischen Gedanken“ zu tun haben, und inwiefern die dargebotenen Aufsätze innerlich zusammengehören, möchte aus dem Text genügend klar werden.

Zur Einführung:

Wie ich Robert Mayer erlebte

(Geschrieben Dezember 1942)

Vor mir liegt ein Büchlein in schwarzer Glanzleinwand, mit Niederschriften von Universitätsvorlesungen Leipzig 1894 gefüllt; und an erster Stelle finden sich 48 Seiten, stenographiert:

Energetik

Vorlesungen von Professor Wilhelm Ostwald
Sommer-Semester 1894

Als Inhalt der ersten Vorlesung ist durch Randbemerkungen angedeutet: „Wechselwirkung von Physik und Philosophie. Entwicklung des physikalischen Weltbildes. Die mechanische Weltauffassung von Galilei ausgehend. Newtons Lehre von den Fernwirkungskräften. Robert Mayer und Helmholtz: Konstanz der Energie“. Hierüber heißt es im Texte: „Der Erste, der den Satz allgemein aussprach, daß nicht nur die Materie in der Welt ihrer Menge nach unveränderlich ist, sondern auch die Kraft, die Energie, ist Julius Robert Mayer gewesen.“ In elf Vorlesungen wurde dann Mayers Energielehre und deren insbesondere durch Georg Helm und Wilhelm Ostwald selber bewirkter Ausbau dargelegt, in einer Weise, wie sie aus späteren naturphilosophischen Büchern Ostwalds allgemein bekannt geworden ist.

Wie war ich zum Anhören dieser Vorlesung gekommen? Als junger Leipziger Volksschullehrer der verbreiteten Gepflogenheit folgend, nebenbei an der Universität Vorlesungen verschiedener Art zu hören, hatte ich von 1892 an Einblicke in die wissenschaftlichen Ergebnisse von Männern wie Wilhelm Wundt, Karl Lamprecht, Max Murrenrecher, Friedrich Ratzel, Arthur von Oettingen erhalten. In Wundts philosophischen und psychologischen Vorlesungen waren meine unzureichenden Lehrerseminarkenntnisse in den exakten Naturwissenschaften mir unangenehm zum Bewußtsein gekommen. Das vielversprechende Wort „Energetik“, das mir in einer für Sommer 1894 angekündigten öffentlichen Vorlesung entgegensprang, ergriff so-

gleich Gewalt über mich: Hier war wohl die beste und schönste Gelegenheit, naturwissenschaftliche Lücken auszufüllen und sichere neue Grundlagen zu gewinnen? Glücklicherweise lag die Vorlesung in einer dienstfreien Nachmittagsstunde, und mit hohen Erwartungen ging ich eines Mittwoch-Nachmittags nach dem in der Brüderstraße gelegenen alten Physikalisch-Chemischen Institut (das neue in der Linnéstraße ist erst im Herbst 1897 bezogen worden).

Die gehegten Erwartungen wurden nicht enttäuscht; lückenloser Besuch der ganzen Vorlesungsreihe, eifriges Nachschreiben und gründliches Ausarbeiten daheim legen Zeugnis davon ab. Aber noch eine weitausgreifende *besondere* Wirkung war gegeben: Ostwalds Vorträge, die Physik und Chemie zu einer philosophischen Einheit zusammenschließen sollten, hatten mich insbesondere in den *chemischen* Teilen so stark gefesselt, daß ich den Vorsatz faßte: *Ich will Chemie studieren!* Ich konnte dabei von der in Sachsen bestehenden Möglichkeit Gebrauch machen, daß Volksschullehrer mit gutem Abgangszeugnis des Lehrerseminars *Pädagogik* studieren durften. Als Student der *Pädagogik* ließ ich mich also im Herbst 1896 einschreiben. *Pädagogische* Vorlesungen habe ich ja keine einzige gehört, dafür aber ein regelrechtes Studium der *Chemie* nebst Begleitfächern wie Physik, Mathematik usw. getrieben, und zwar neben meinem Lehrerberuf — das war damals möglich —! Um Mitte Dezember 1901 war ich mit dem Bestehen der Doktorprüfung bei Ostwald, Wiener und Wundt plötzlich Chemiker geworden. Robert Mayer als der Vater der „Energetik“, der Erkenntnis, daß hinter der Fülle der Krafterscheinungen nur *eine* unzerstörliche, im Gesamtbetrag unveränderliche „Kraft“ steht, und daß „Kraft“ „Alles ist“, — Robert Mayer also ist es schließlich gewesen, der über Wilhelm Ostwald den Anstoß, den zwingenden Anlaß für den Wechsel meiner Lebensbahn gegeben hat!

In den dann folgenden Jahrzehnten meiner *chemischen Berufstätigkeit* hat sich die Hochachtung vor Robert Mayers Gedankenleistung, die eine der festen Grundlagen der heutigen Naturwissenschaft bildet, erhalten, ohne daß ich indessen mich mit ihrem Urheber besonders beschäftigt hätte. Daß ich bei meinen langjährigen *katalytischen* Arbeiten noch in einer *anderen* Weise mit R. Mayer ver-

bunden war, ist mir lange unbekannt geblieben: Erst als ich gegen Ende meiner praktischen Laufbahn mich mit der *Geschichte der Katalyse* zu beschäftigen anfang, entdeckte ich mit großem Erstaunen, daß auch die „katalytische Kraft“ (Berzelius 1835), die in der Natur lebt und wirkt, in R. Mayers Nachdenken schon von Anfang an (1845) eine bedeutsame Rolle gespielt hat.*

Die *geschichtliche Entwicklung und die allgemeinwissenschaftliche Bedeutung der Katalyse* ist es gewesen, die mich im Ruhestande von 1934 an immer mehr beschäftigte, und so hat nach Jahrzehnten der Latenz, des Schlummerns, der Verhaltung, der Name Julius Robert Mayer von neuem mich in seinen Bann geschlagen — bis zum heutigen Tage. Hatte in den früheren Jahren der Robert Mayer der „Energie“ vor meinem geistigen Auge gestanden, so war es von nun an Robert Mayer der *Auslösung*, der *Katalyse*, der *nichtenergetischen Verursachungs- und Richtkraft*.

Die bewußte und immer zunehmende Beschäftigung mit der Gedankenwelt des schwäbischen Arztes führte im Jahre 1941 dazu, daß angenehme persönliche Beziehungen zu Robert Mayers *Nachkommen* entstanden. An einem kalten Februar-Nachmittag 1942 bin ich bei einer Enkelin von ihm in Wiesbaden zu Gaste, in Gegenwart einer Urenkelin aus Köln a. Rhein. Die ansprechend behagliche Möbelausstattung des Zimmers, in dem wir uns aufhalten, entstammt größtenteils der alten Mayerschen Wohnung in Heilbronn. Bilder aus seiner Lebenswelt und sonstige Andenken steigern das Gefühl, bei Robert Mayer zu Gaste zu sein, ein mit besinnlichen Gedanken verbundenes Gefühl, das sich noch weiter verstärkt, als von der liebenswürdigen Wirtin das alte Familien-Kaffeegeschirr auf den Tisch gebracht wird. — — —

Mancherlei Neues, das noch der Auswertung harret, erfuhr ich bei dieser Gelegenheit, und eine Menge Schriftstücke und Drucksachen wurden vor mir ausgebreitet, die sich auf Robert Mayers Leben und Wirken beziehen.

* Es mag im Jahre 1938 gewesen sein, daß mich ein chemie-
besichtlich gut bewandertes Fachgenosse, Dr. Eduard Förber, auf
Robert Mayers Auslösungs-Aufsatz von 1876 hinwies und damit den
Anstoß zu gründlicher Beschäftigung mit jenem Großen gab. Mayers
Ausspruch über „katalytische Kraft“ war mir bereits vorher bekannt
gewesen; s. Mittasch und Theis 1932, S. 109.

An einem schönen Frühlingstage konnte ein zweiter Besuch abgestattet werden, der ebenso ergebnisreich verlief, und der mein Wissen über Robert Mayers Persönlichkeit aus Quellen der Familienüberlieferung noch erweiterte.

Hatte ich so einen starken Eindruck von der pietätvollen Weise erhalten, in der Robert Mayers Andenken von seinen Kindes-Kindern lebendig gehalten wird — auch Dokumente aus dem Besitz anderer Nachkommen waren mir mittlerweile zugänglich gemacht worden —, so vermittelte ein ähnlich starkes Erlebnis ein Besuch der Stätte von Robert Mayers Tätigkeit, der schwäbischen Stadt Heilbronn, den ich im Frühjahr einer freundlichen Einladung der Stadtverwaltung verdankte. Das äußerlich fast unverändert gebliebene Wohnhaus im „Kirchhöfle“ — zu einem künftigen Robert Mayer-Museum bestimmt — bietet sich meinen Blicken dar; in eine Gastwirtschaft „Zur Fischerstube“, in der ein Wandspruch auf vielfache Anwesenheit des temperamentvollen Oberamtsarztes in vergangenen Tagen hinweist, kann kurz hineingeschaut werden. Was aber die Hauptsache ist: Ich werde vom Vertreter des erkrankten Oberbürgermeisters durch das Robert Mayer-Archiv im Rathaus geführt, wo ich unter sachkundiger Erklärung Einblick in die überraschend reichen Schätze an Dokumenten aus R. Mayers Nachlaß gewinne, die teilweise der Veröffentlichung wert erscheinen. Auch sonstige Erinnerungsgegenstände (so der Schreibtisch) sind noch vorhanden; ja man kann mir mitteilen, daß vor kurzem das Klavier in einer Heilbronner Wohnung aufgefunden wurde, das einst in Robert Mayers Räumen gestanden hatte. Die freundliche Bewirtung zum Schluß im anheimelnden Ratskeller mit 1940er Stiftsberg Trollinger und 1938er Heilbronner Lerchenberg Riesling war sicher ganz im Geiste Robert Mayers, der mit echt schwäbischer Innigkeit und Treue auch an seinem heimischen Weine hing!

Bemerkung 1947: Ich habe damals mich bemüht, wichtige Niederschriften Robert Mayers und Äußerungen über ihn zu registrieren, zu sammeln und zu verwerten, namentlich soweit sie bei Weyrauch und Hell in ihren biographischen Darstellungen unberücksichtigt blieben. Ich fand volles Entgegenkommen bei Mayers Nachkommen und verständnisvolle Hilfe an anderen Stellen, so bei den Forschern Erich Pletsch und Emil Abderhalden, sowie bei dem Verleger Keiper in Berlin. Einen Auftakt für Künftiges sollte die daselbst 1942 erschienene Schrift „R. Mayer, Erstes und Letztes“ bilden. Ein geplantes zweites Bändchen ist als Manuskript nebst wertvollen Begleitdokumenten 1943 in Berlin durch Brand verlorengegangen.

Ein Schlußbild noch: Die Robert Mayer-Feier der *Deutschen Akademie der Naturforscher*, die am 29. Mai 1942 in Halle an der Saale stattgefunden hat. Hier war die Familie Mayer in Ansehung der Kriegsverhältnisse stark vertreten; nicht weniger als neun unmittelbare Nachkommen aus drei Generationen (Enkelin, Urenkelin, Ur-Urenkelin) waren zugegen, von denen die zwei anwesenden Enkelinnen mit den ersten Stücken der für die Feier geprägten Robert Mayer-Denk Münze bedacht wurden. Ein lichtvoller Vortrag von Professor Hermann Rein, Göttingen, im Anschluß an die Einführungsworte des Präsidenten, Geheimrat Emil Abderhalden, gab Einblick in die Bedeutung, die Robert Mayers Energieprinzip insbesondere für die heutige Ernährungs- und Arbeitsphysiologie besitzt.

Für meine Person gab es bei der Feier eine ehrenvolle Überraschung, bestehend in der Verleihung der Gustav Carus-Denk Münze: „in Anerkennung seiner führenden Forschungen auf dem Gebiete der Katalyse und ferner seiner bedeutungsvollen Studien über das Kausalprinzip, vor allem in Verbindung mit Robert Mayer“.

Die mannigfache Schicksalsgunst, die Robert Mayer bei Lebzeiten erfuhr, hat eine Art Widerspiegelung darin gefunden, daß sowohl das Hundertjahrgedenken seiner Geburt (1814), wie auch das Hunderjahrgedenken seiner Aufstellung des Energieprinzips (1842) in Kriegszeiten gefallen ist. So manche geplante Feier, vor allem die beabsichtigte Reichsfeier, hat 1942 unterbleiben müssen. An der noch im Herbst veranstalteten Erinnerungsfeier in Heilbronn teilzunehmen bin ich leider verhindert gewesen.

Und noch ein letztes Wort: Als Robert Mayer starb (1878), war ich 9 Jahre alt, und mit 13 Jahren (am 12. Dezember 1882) habe ich in der Volksschule zu Großdehsa in Sachsen einen Aufsatz geschrieben „Über die Ursache der Wärme“, der mir kürzlich wieder in die Hände geriet. Darin werden als Ursache der Wärme angeführt: 1. Mechanische Arbeit, 2. Chemische Vorgänge, 3. die Strahlung der Sonne. Ohne es ahnen zu können, bin ich damit erstmalig Robert Mayers Gedankenkreis nahegekommen. Bei Robert Mayer heißt es (1845): „Die Sonne ist eine nach menschlichen Begriffen unerschöpfliche Quelle physischer Kraft“. Bei dem Schulknaben Mittasch (vor nunmehr 60 Jahren): „Ohne die

Sonnenwärme würde die Erde bald zu einem Eisklumpen erstarren“.

Nachschrift 1946: Mit Wehmut erfüllt der Gedanke, daß so vieles von geschauten Mayer-Erinnerungen gegen das Kriegsende hin der Vernichtung anheimgefallen ist. Vor allem: Das Robert Mayer-Haus in Heilbronn steht nicht mehr! Möge es einer zu gründenden Robert Mayer-Gesellschaft gelingen, alles Gerettete zu sammeln und der Allgemeinheit zugänglich zu machen, dem großen Schwäbischen Genius zu Ehren!

Robert Mayers Lehre über das Wirken in der Natur*

Es ist von Wichtigkeit, daß Robert Mayer, der die spekulative Naturphilosophie seiner Zeit oft hart und schroff verurteilt¹, selber mit bester philosophischer Überlieferung innig verbunden ist; Erkenntnistheorie wie Metaphysik kommen unbeschadet seiner in methodischer Beziehung kritisch-positivistischen Einstellung durchaus zu ihrem Rechte.

Robert Mayers *naturphilosophisch-erkenntnistheoretische Ausführungen*, mit denen wir es hier zu tun haben, gruppieren sich durchweg um den *Kausalbegriff*, genauer um die *Frage des Wirkens in der Natur*, die sein ganzes Sinnen und Denken beherrscht und die er im Geiste von Leibniz zu beantworten sucht. Wie sehr er dabei einer deduktiven Ableitung — oder einer deduktiven Rechtfertigung — seiner Gedanken zuneigt, geht schon aus den Anfangssätzen seiner Hauptschrift von 1842 hervor, die seine auf der Rede von Surabaya bereits im Sommer 1840 gefaßte Idee von der „Unzerstörbarkeit der Kraft“ im allgemeinen und von dem mechanischen Wärmeäquivalent im besonderen wiedergibt. Es heißt in dieser Arbeit „Bemerkungen über die Kräfte in der unbelebten Natur“: „Kräfte sind Ursachen; mithin findet auf dieselben volle Anwendung der Grundsatz *causa aequat effectum*. — In einer Kette von Ursachen und Wirkungen kann, wie aus der Natur einer Gleichung erhellt, nie ein Glied oder ein Teil eines Gliedes zu Null werden. Diese erste Eigenschaft aller Ursachen nennen wir ihre *Unzerstörlichkeit*“ (M I. 23).

Es ist ein ausgeprägter *Dynamismus*, den R. Mayer ähnlich seinem großen Vorgänger Leibniz vertritt; nicht der Begriff der räumlichen Konstellation von Masseteilchen und der gegenseitigen Ortsveränderung dieser steht im Mittelpunkt — wie nach der mechanischen Weltformel von Laplace (1814) —, sondern der anthropomorphe *Begriff der Kraft als Wirkungsfähigkeit und Arbeitleistung*, also *Energie* nach heutigem Wortgebrauch².

In einem Briefe an Marquis de l'Hôpital hatte Leibniz gesagt: „Sie sehen, daß der Satz von der Gleichheit von

* Forschungen und Fortschritte 16 (1940) 178—180.

Ursache und Wirkung, d. h. die Ausschließung eines mechanischen perpetuum mobile, meiner Schätzung der Kraft zugrunde liegt. Diese erhält sich demgemäß in unwandelbarer Identität, d. h. es erhält sich immer das Quantum, das zur Hervorbringung einer bestimmten Wirkung... erforderlich ist, ohne daß in der Gesamtwirkung das Geringste gewonnen oder verlorengehen kann, wenngleich allerdings oft ein Teil von ihr, den man jedoch niemals in Rechnung zu stellen vergessen soll, durch die nicht wahrnehmbaren Teile der Körper selbst oder durch seine Umgebung absorbiert wird“³.

Was hier als Idee, als Programm ausgesprochen wird: quantitative Verhältnisse bei der Umwandlung aller „Kraft“ (Energie), das hat zuerst R. Mayer an dem Beispiel der Umwandlung von Bewegungsarbeit in Wärme (und umgekehrt) auf Grund vorhandener experimenteller Daten rechnerisch nachgewiesen und für die Umwandlungsverhältnisse anderer Energien (Magnetismus, Elektrizität, „chemische Differenz der Materie“ = chemische Energie) überzeugend verkündet.

Das Wirken „lebendiger Kräfte“ (freier Energien) in der Natur

„Kräfte sind: unzerstörliche, wandelbare, imponderable Objekte“ (M. I, 24). „Als Axiom — und bei allen tausend Teufeln — nicht als Hypothese: eine Kraft ist nicht weniger unzerstörlich als eine Substanz“ (M. II, 115). „Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft“ (M. I, 48). „Fallkraft und Bewegung sind Kräfte, die sich zueinander verhalten wie Ursache und Wirkung, Kräfte, die ineinander übergehen, zwei verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objektes“ (M. I, 24). Auch „die Wärme ist eine Kraft; sie läßt sich in mechanischen Effekt verwandeln“ (M. I, 51), jedoch nicht als Ganzes“ (M. I, 57). An die Aufstellung der fünf Hauptformen der physischen Kraft⁴ knüpft R. Mayer „die Aufgabe, die Metamorphosen dieser Formen durch fünfundzwanzig Experimente zu beweisen...“ (M. I, 72). „In der Mitte der Burg weht das Panier: Arbeit läßt sich in Wärme verwandeln“ (M. II, 188).

Auch für die Pflanzen und Tiere gilt, „daß während des Lebensprozesses nur eine *Umwandlung*, so wie der Materie, so der Kraft, niemals aber eine *Erschaffung* der einen oder andern vor sich gehe“ (M. I, 76). „Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf und bringen eine Kraft hervor: die chemische Differenz“ (M. I, 75). Die Tiere aber sind Geschöpfe, die „den Vorrat durch Raub sich zueignen“ (M. I, 78). „Der Oxydationsprozeß ist die *physikalische Bedingung der mechanischen Arbeitsfähigkeit des Organismus*“ (M. II, 249). „So müssen wir gegen die Aufstellung einer besonderen Lebenskraft, um solche Erscheinungen zu erklären, Protest erheben“ (M. I, 95)⁵. In unzähligen Fällen gehen die Umwandlungen der Materien und Kräfte auf unorganischen und organischen Wegen vor unseren Augen vor, und doch enthält jeder dieser Prozesse ein für das menschliche Erkenntnisvermögen undurchdringliches Mysterium“ (M. I, 108).

Die Auslösung und Enthemmung gebundener Kräfte (potentieller Energien)

R. Mayer hat richtig erkannt, daß sein Erhaltungsgesetz ein bloßes *Rahmengesetz* ist, ein bloßer „Verkehrsregler“, der über die Motive dieses Verkehrs, d. h. über dasjenige, was die steten Wandlungen der Kraft jeweils „anstößt“ und anregt, keine Auskunft geben kann. Darum fügt er seiner „arbeitsleistenden Kraft“ die Anlaß- oder Anstoßkraft an⁶. Der Doppelsinn der Worte „Ursache“, „Kraft“ wird bereits 1844 von R. Mayer hervorgehoben: „Mit pedantischer Logik hege ich den frommen Wunsch, man solle unter Ursache und Effekt (in der leblosen Natur) entweder Dinge verstehen, welche in einem Größenverhältnis zueinander stehen, oder welche nicht im Verhältnis zueinander stehen. Der Funken entzündet das Pulver, die Mine fliegt auf. Man sagt hier: der Funken a ist die Ursache von dem Emporwerfen c der Erde“ (M. II, 222). Die Abhandlung „Über Auslösung“ von 1876 (M. I, 440—448) hebt an: „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die

neuere Wissenschaft ‚die Auslösung‘ nennt“. Als Beispiel derartiger bloßer „Einleitung“ oder „Veranlassung“ großer Energieumsetzungen, solcher Entfesselung gehemmter oder latenter Kräfte (potentieller Energien) durch geringfügige „Ursachen“ führt R. Mayer an: katalytische oder sonstige Entzündung von Knallgas, das Abfeuern von Schußwaffen usw. Hier bestehen Vorgänge, „bei denen die Ursache der Wirkung nicht nur nicht gleich oder proportional ist, sondern wo überhaupt zwischen Ursache und Wirkung gar keine quantitative Beziehung besteht, vielmehr in der Regel die Ursache der Wirkung gegenüber eine verschwindend kleine Größe zu nennen ist, ... mithin die Auslösung überhaupt kein Gegenstand mehr für die Mathematik ist. Die Auslösungen spielen nicht nur in der organischen Natur ..., sondern auch in der lebenden Welt, und namentlich also in der Physiologie und Psychologie, eine große und wichtige Rolle“: z. B. bei der Fermentation einer Zuckerlösung durch Gärungsstoff, ferner bei der Auslösung der Muskelbewegung durch die motorischen Nerven, schließlich auch bei der Auslösung dieses Nervenreizes, „freilich auf eine völlig rätselhaft und unbegreifliche Weise“, durch den Willen. „Unser ganzes Leben ist an einen ununterbrochenen Auslösungsprozeß geknüpft“, und dieser *jeweilige Zustand des Auslösungsapparates ist für das Allgemeingefühl oder für das allgemeine Befinden maßgebend*“ (M. I, 443)⁷.

Eine unmittelbare Folge von R. Mayers gedanklicher Beschäftigung mit den Anstoß- oder Anlaß-Ursachen bildet eine *fortschreitende Weitherzigkeit gegenüber dem Worte „Kraft“*. Schon 1851 heißt es: „so handelt es sich ja zunächst gar nicht darum, was eine „Kraft“ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir „Kraft“ nennen wollen“ (M. I, 260). Diese Duldsamkeit ist einerseits der anfangs abgelehnten „katalytischen Kraft“ von Berzelius (1835), andererseits der „Lebenskraft“ zugute gekommen, hinsichtlich deren Mayer schließlich mit Liebig darin übereinstimmt, daß es sich (nach einer Formulierung von Liebig) lediglich um einen „Kollektivnamen“ zur Kennzeichnung der Eigenart aller Lebenserscheinungen handle.

Höhere Richtungsgebung für die Wirkkräfte der Natur; Ziel und Sinn des Wirkens

So sehr R. Mayer den „Materialismus“ als „Methode“ schätzt, so steht er doch jedem Meinen fern, daß sich in den chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Materie auch die *Gesetzmäßigkeit des Lebenden* erschöpfe. Der *Auslösungsbegriff* eröffnet den Weg zur Vorstellung nichtenergetischer, „bilanzfreier“ *Richtkräfte und Zielkräfte* (Formungs- und Regulationskräfte, diaphysischer Kräfte nach J. Reinke), die als *Gesetzlichkeit höherer Art* (Obergesetzlichkeit) die physikalischen und chemischen Kräfte bändigen und leiten. „Dreierlei Kategorien von Existenzen“ gibt es in der Welt: 1. die Materie, 2. die Kraft und 3. die Seele oder das geistige Prinzip (M. I, 356). „Das Gehirn ist nur das Werkzeug, es ist nicht der Geist selbst“ (M. I, 357).

Demgemäß heißt es weiter: „und es wird gewiß die Zeit kommen, wo nicht jede tiefere Anschauung des Lebensprozesses durch mikroskopische und chemische Substitutionen verdrängt wird“ (M. II, 250). „Nicht nur *erhalten* wird die lebende Welt, sie wächst und verschönert sich“ (M. I, 355). „Im Leben wird die Notwendigkeit durch *Freiheit* gemildert, die Freiheit durch die Notwendigkeit beschränkt“ (M. I, 428). „Notwendigkeit und Gesetz auf der einen Seite, auf der andern Zufall und Freiheit sind freilich Gegensätze, aber Gegensätze schließen überhaupt einander nicht aus, sondern sie ergänzen sich“ (M. I, 427). Die lebende Welt ist nicht nur, wie das Mineralreich, ein „Reich der Notwendigkeit“ (M. I, 398), sondern auch „ein Reich der Zweckmäßigkeit und Schönheit, ein Reich des Fortschrittes und der Freiheit“ (M. I, 355), hervorgehend aus „einem allweisen höchsten Wesen“ (M. I, 401)⁸. So ist metaphysisch alles Wirken in der Natur zu verstehen als ein *göttliches Bewirken*, das ein Schaffen in Gegensätzen ist. „Und es mögen die Lebenserscheinungen einer wundervollen Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen, nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie; in der Harmonie nur liegt das Leben“ (M. I, 128). „Ein Kampf ums Dasein findet allerdings statt. Aber nicht der Hunger ist es, es ist nicht der Krieg, nicht der Haß

ist es, was die Welt erhält, es ist die Liebe“ (M. I, 413). „Gott hat aber bekanntlich an der Menschheit einen langsamen Schüler“ (M. I, 399).

Das Doppelgepräge menschlichen Erkenntnisstrebens — Vertrauen und Verzicht — kommt in folgenden Sätzen zum Ausdruck: „Was subjektiv richtig gedacht ist, ist auch objektiv wahr“ (M. I, 357). „Die Wahrheit ist ja an und für sich ewig, und das Ewige läßt sich nicht definieren und auch nicht beweisen“ (M. I, 418)⁹.

Anmerkungen:

1 R. Mayer mißachtet (ähnlich Liebig) „die Faseleien der Naturphilosophen“ (M. II, 184), vergleichbar dem „Streben der Adepten“ (M. I, 103), als „unnütze Spekulationen, womit man die Zeit totschißt“ (M. II, 115), er „will nicht in die Fehler der antiken Naturforscher oder in die Verirrungen einer modernen Naturphilosophie fallen“ (M. I, 46; dabei ist vor allem an „die linguistischen Turnübungen“ seines Landmannes Hegel gedacht: M. I, 418. Von Schopenhauer scheint R. Mayer keine Notiz genommen zu haben — und umgekehrt!) „Die Naturwissenschaften haben sich zum Glück von philosophischen Systemen emanzipiert und gehen an der Hand der Erfahrung mit gutem Erfolg ihren eigenen Weg“, heißt es noch 1870, acht Jahre vor seinem Tode; (M. I, 376). — 2 In dem Widerstreit des Kraftbegriffes von Galilei und Newton (Masse mal Beschleunigung, dem heutigen Kraftbegriff entsprechend) und demjenigen von Leibniz und Huygens (Masse bzw. halbe Masse mal Quadrat der Geschwindigkeit als „lebendige Kraft“) entscheidet sich Robert Mayer sehr rasch für Leibniz; seine „Fallkraft“ oder „räumliche Differenz ponderabler Objekte“ ist Energie der Lage oder eine Form potentieller Energie, seine „Kraft der Bewegung“ ist aktuelle oder kinetische Energie. „Dieses Produkt $ps = Mc^2$ nenne ich kurzweil eine Kraft“ (M. I, 256). „Ich meine, Newtons Geist sollen wir anbeten, nicht dessen Gewand“ (M. II, 169). — 3 E. Haas unterscheidet drei Stufen in der Entwicklung des Satzes von der „Erhaltung der Kraft“ vor R. Mayer, Joule und Helmholtz: 1. Erhaltung der lebendigen Kraft für den einzelnen Körper (Galilei) 2. desgleichen für Gemeinschaften, Systeme (Huygens) 3. „Die Summe von lebendiger und latenter Kraft ist konstant“ (Leibniz u. a.). — 4 Von gewissen späteren Verirrungen einer spekulativen Energetik hält sich R. Mayer völlig fern, indem er „Lebensenergie, psychische Energie, Willensenergie“ und andere nicht-energetische „Richtkräfte“, die mit physikalischer Energie nur den Namen gemein haben, nicht in seine Tabelle der Arbeit leistenden Kräfte aufnimmt! Über inneratomare Energie aber, d. h. die gewaltige latente Eigenenergie des Atomkernes, wie sie zuerst in den Erscheinungen der Radioaktivität sichtbar geworden ist, konnte R. Mayer noch nichts wissen. — 5 Auch das Bestehen einer Lebenskraft im dem Sinne eines „Schutzes gegen Selbstentmischung“ (nach G. E. Stahl, A. v. Humboldt, Liebig) wird verneint. Er führt hier die Ansteckung „der Säftemasse des lebenskräftigsten Mannes“ durch „ein Gran faulender Jauche“ an und fügt hinzu: „Wo bleibt hier die Lebenskraft? wo das Vermögen, Widerstand zu leisten gegen äußere Ursachen von Störungen? Hic Rhodus, hic salta!“ (M. I, 82). (Über spätere duldsamere Einstellung zur „Lebenskraft“ s. weiter unten.) — 6 Das Problem war von L. Euler 1738 dahin formuliert worden: Wenn die Wirkung proportional der Ursache ist und die Quantität der Bewegung und der Kräfte nicht vermehrt werden kann, wie kann dann aus dem kleinsten Funken der größte Brand entstehen? — 7 R. Mayers „auflösende Kräfte“ sind übereinstimmend mit Lotzes „Kräften zweiter Hand“ und leiten zu Reinkes „Dominanten“ über. „Die Welt besteht aus Energien und Dominanten“ (J. Reinke). — 8 Bei R. Mayers religions-

telistischer Grundrichtung (s. auch M. I, 376) — die derjenigen von Leibniz ähnelt, — ist es nicht verwunderlich, daß er gegen die aus dem II. Hauptsatz der Wärmetheorie, dem Satz der Entropiezunahme (W. Thomson, Clausius) gezogene Schlußfolgerung eines drohenden Wärmetodes der Erde, ja eines schließlichen Weltenstillstandes die gleiche Abneigung hegt hat wie gegen Darwins Selektionstheorie. — Die bei R. Mayer noch nicht endgültig geklärte Gegensätzlichkeit von rein energetischer, dynamischer Auffassung einerseits, mechanisch-kinetischer Auffassung andererseits — R. Mayer hat zeitweilig den Satz nicht anerkannt, daß die Wärme Bewegung ist — hat sich historisch in einseitiger Energetik einerseits (Mach, G. Helm, W. Ostwald), einseitiger Mechanistik andererseits fortgesetzt. In unseren Tagen gewinnt eine vermittelnde Auffassung endgültig die Oberhand, dahingehend, daß beide Betrachtungsweisen als komplementär der Wissenschaft unentbehrlich sind, die rein mathematisch-dynamische wie die molekular- und atomkinetische, wobei indes die erstere die überragende Rolle spielt, während die letztere vielfach nur „Folgentat“ ist. „Größenbestimmungen, Zahlen allein sind es, die uns den Ariadnefaden in die Hand geben“ (M. I, 241).

Zur Vorgeschichte von Robert Mayers Auslösungsbegriff*

Noch heutigen Tages ist es weiten wissenschaftlichen Kreisen unbekannt, daß der große Schwabe Robert Mayer sein Energie-Erhaltungsprinzip gegen Ende des Lebens (1876) durch ein zweites Prinzip von allgemeiner Bedeutung, das Auslösungsprinzip, ergänzt und damit einen unverrückbaren allgemeinen Kausalbegriff geschaffen hat, der sich in den Satz zusammenfassen läßt: Natur und Mensch sind tätig, indem sie Arbeit leisten (mit Erhaltung der Energie bei allen Umsetzungen) oder Arbeit leisten lassen (durch Auslösung, Veranlassung, Anstoß, Steuerung). Die neben der mechanischen Auslösung (z. B. einer Lawine, eines Bombenabwurfes) wichtigsten drei Auslösungs-Formen hat Robert Mayer bereits aneinandergereiht: chemische Katalyse, physiologische Reizung und psychophysische Willenswirkung.

Daß der Mayersche Auslösungsbegriff — der auch Selbstauslösung, Selbstregelung, Selbstbestimmung in sich faßt — nicht nur für das Naturgeschehen, sondern ebenso für die Menschengeschichte wissenschaftlich höchst bedeutungsvoll ist, haben vor allem Aloys Riehl und Friedrich Nietzsche klar erkannt und deutlich ausgesprochen.

Robert Mayers Aufsatz „Über Auslösung“ beginnt mit dem Satze: „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft die Auslösung nennt“¹.

Das Wort „Auslösung“ kommt in Mayers Schriften hier zum ersten Male vor; früher hatte er von Hervorrufung und Veranlassung, von Lenkung und Regulierung, auch von „katalytischer Kraft“ und Kontakteinfluß oder von „Ursache“ schlechthin geredet. Daß Mayers Auslösungslehre sowohl mit dem Auslösungsbegriff der klassischen Mechanik wie mit der Reizphysiologie von Haller und Johannes Müller sachlich zusammenhängt, ist leicht zu sehen. Wie aber kommt er dazu, das Wort „Auslösung“ in ganz allgemeiner Bedeutung zu verwenden und sich

* Der Heidelberger Akademie der Wissenschaften vorgetragen am 24. Februar 1945; bisher unveröffentlicht.

dabei auf die zeitgenössische Wissenschaft zu berufen? Diese Frage drängt sich um so stärker auf, da man den Eindruck haben kann, daß in dem damaligen Schrifttum durchaus nicht so allgemein von „Auslösung“ die Rede ist, wie man nach Mayers Worten vermuten könnte.

In Hübners Natur-, Kunst-, Berg-, Gewerk- und Handlungsllexikon von 1786 findet man wohl die Worte: ausblasen, ausbrechen, ausfahren, ausfallen, ausfordern, ausgehen, ausgießen, aushöhlen, auskeilen, auslassen, auslaufen, ausladen, ausmessen, ausrichten, ausschießen usw., nicht aber „auslösen“.

Schauen wir weiter in Wörterbücher des vorigen Jahrhunderts! Grimms Wörterbuch von 1854 kennt die waidmännische und juristische Bedeutung: Vögel aus dem Klebegarn nehmen; Gefangene, Briefe, Pfänder auslösen. In Sanders Wörterbuch von 1863 macht sich die Urbedeutung der mechanischen Auslösung stärker geltend: „Das Schlagwerk einer Uhr wird ausgelöst, der es hemmende Hebel zurückgeschoben, so daß es frei wird.“

Auf der Suche nach naturwissenschaftlichen Schriften, die R. Mayer im Sinne gehabt haben konnte, als er obigen Satz schrieb, kamen mir die „Reden und Vorträge“ von Emil Du Bois-Reymond zu Hilfe. In seinem Vortrage „Die sieben Welträtsel“ von 1880² spricht er u. a. von dem „der deutschen physiologischen Schule längst geläufigen Begriff der Auslösung („décrochement“). In einer Fußnote wird hingewiesen auf eigene frühere Schriften, zunächst auf einen Aufsatz in Karstens „Fortschritte der Physik im Jahre 1847“, ausgegeben 1850³. Hier findet man Seite 392—450 ein Referat von Du Bois-Reymond über *Elektrophysiologie*, unter Bezugnahme auf verschiedene Schriften, insbesondere auf Arbeiten von Matteucci in Phil. Trans. 1847. In dem Abschnitt „Beziehung zwischen Stromdichte und Zuckung“ (S. 412—426) werden besprochen Matteuccis „Elektrophysiologische Untersuchungen“ 7. und letzte Reihe. Hier will Matteucci die Frage beantworten: Welche Beziehung herrscht zwischen der angewandten Elektrizitätsmenge und der bei ihrem Durchgange durch den Nerven eines lebenden oder möglichst frisch getöteten Tieres hervorgebrachten Zuckung? Matteucci sucht dieses *elektrochemische Äquivalent* der elek-

trischen Muskelzusammenziehung zu bestimmen, indem er nach der Menge Zink fragt, welche oxydiert werden müsse, damit der erzeugte Strom durch Vermittlung des Nerven im Muskel eine bestimmte Arbeit leisten kann. Du Bois-Reymond verweist in diesem Zusammenhange auf Helmholtzens (im gleichen Bande referierte) Schrift „Über die Erhaltung der Kraft“ (1847), sowie auf sein eigenes Gesetz der Nervenregung durch den elektrischen Strom (1845), und will dann das Verfehlte des Matteucci-Unternehmens nachweisen, indem er (S. 214—216) ausführt:

„Die Physiologen pflegen zu lehren: es gebe in der Natur drei Arten der Wirkung von Körpern auf Körper. Erstlich die mechanische, wobei sich Bewegungszustände übertragen; zweitens die chemische, von Veränderungen der Qualität begleitete, zwischen kleinsten Theilen stattfindende; endlich drittens die in der organischen Natur obwaltende, die man mit dem Namen der Reizung zu bezeichnen pflegt. Diese soll darin bestehen, daß das Ursächliche nur eine Qualität des erregten Organischen zur Erscheinung bringt, die dem Wesen nach unabhängig ist von der Art der Ursache. Also ich brenne, quetsche, betupfe mit Kalihydrat, galvanisiere einen Nerven: immer erfolgt Zuckung, immer erfolgt Schmerz. Dies seien Reize, dies eine Wirkungsweise, wozu in der unorganischen Natur kein Seitenstück gefunden werde.

Diese Lehre geht nicht auf den Grund der Dinge. Es gibt in der Natur nur *eine* Art von Veränderung, nämlich Bewegung, nur *eine* Art der Wirkung von Körper auf Körper, nämlich die mechanische. An die Stelle des Begriffs der *Reizung der Organismen*, der so viel Verwirrung angestiftet hat, muß fortan in der Wissenschaft treten der Begriff der *Auslösung der Mechanismen*, die wir *Organismen* zu nennen pflegen. Es liegen in denselben Theilchen so angeordnet, daß jede Art der Gleichgewichtsstörung nichts vermag als ein Spiel dieser Theilchen *untereinander* freizugeben, welches eben deshalb ihm eigene Bahnen einschlägt, unabhängig von der Natur der Ursache, welche es ausgelöst hat. Damit fällt abermals ein Unterschied, den man aufrecht zu erhalten bestrebt war zwischen der organischen und der unorganischen Natur. Ich kann ein Uhrwerk, eine Lokomotive so ein-

richten, daß ich im Stande bin, sie mit der Hand, mittelst des elektrischen Funkens, des Magnets, des Lichts, der chemischen Wirkung, genug auf welche Weise man wolle, in Gang zu setzen. Gleichviel ob ich einen Nerven brenne, quetsche usw., die Folge ist stets ein unbekanntes Spiel seiner Molekeln, welches sich von Querschnitt zu Querschnitt mit großer Schnelle fortpflanzt, im Muskel angelangt aber wieder ein Spiel der Muskelmolekeln untereinander anregt, dessen Folge die Zusammenziehung ist. Wer sagt aber wohl von dem Lokomotivführer des abfahrenden Zuges, daß er jetzt seine Maschine reize? Von der Maultierschelle, deren Klang die Lawine zu Fall bringt, daß sie die Schneemassen reize? Auslösen nennt man diese Akte; und Haller wird es sich gefallen lassen müssen, daß wir auch diese vage Kategorie, so große Dienste sie ihrer Zeit der Wissenschaft geleistet haben mag, jetzt, nach gereifterer Einsicht in den Zusammenhang der Dinge, gleichfalls zu Grabe tragen.

Die Arbeit, die der Muskel verrichtet, war nicht vorher im Nerven durch eine entsprechende Summe von lebendiger Kraft vorgestellt; ja sogar zwischen der lebendigen Kraft, welche der Strom, und der, welche der Bewegung vermittelnde Vorgang im Nerven vorstellt, ist an keine Gleichwerthigkeit zu denken. Selbst also, wenn die Elektrizitätsmenge, die in der Zeiteinheit durch den Nerven geht, die Stärke der Erregung bedingte, würde es doch keinen Sinn haben, zu suchen nach einer festen Beziehung zwischen dem Stoffverbrauch in der erregenden Kette und der Arbeitsleistung des Muskels. Dies Unternehmen würde ebenso thöricht sein, als eine feste Beziehung zu suchen zwischen dem Stoffverbrauch in einer galvanischen Kette, mit der ich eine Dampfmaschine auslöse, und der Arbeit dieser Maschine. Ich hätte mit derselben Kette, bei demselben Stoffverbrauch, gar keine Maschine oder eine Maschine von hundertmal mehr Pferdekräften auslösen können. Die Kohlen auf dem Rost der Maschine sind es, deren Oxydation die Arbeit der Maschine geliefert hat, und so ist der Stoffverbrauch, der der Arbeit des Muskels entspricht, auch im Muskel selber zu suchen. Helmholtz hat ihn gesucht und ist so glücklich gewesen, Spuren davon aufzufinden.“

Auf den Inhalt dieser Darlegungen näher einzugehen, ist hier nicht der Ort. Wesentlich ist, daß Du Bois-Rey-
mond Johannes Müllers vitalistischen Begriff der Reizung
als zu unbestimmt bemängelt und an seine Stelle den,
wie er meint, mechanistisch wohldefinierten Begriff der
Auslösung setzen will. Zugrunde liegt das Bestreben, die
Grenzen zwischen Lebendigem und Leblosem zu ver-
wischen; in beiden Reichen sollen die gleichen mechani-
schen Gesetze gelten.

Im Kampf gegen den alten Begriff der „Lebenskraft“
als einer selbständigen Wirkursache verbreitet sich Du
Bois-Rey-
mond auch in späteren Schriften über das Wesen
der Auslösung. In seiner Vorrede „Über die Lebenskraft“
1848 zu den „Untersuchungen über tierische Elektrizität“⁴
polemisiert er gegen den Vitalismus von Johannes Müller,
Liebig u. a. In einer Anmerkung heißt es: „Johannes Mül-
lers spezifische Energie (der Sinnesorgane) erklärt sich
dadurch, daß in den Organen ein zur Tätigkeit bereiter,
aber gehemmter Mechanismus durch den physikalischen
oder chemischen Einfluß, welchen wir Reiz nennen, frei-
gegeben, ausgelöst wird“.

Weiter ist zu nennen der Aufsatz „Über tierische Be-
wegung“ von 1851⁵. Hier spricht Du Bois-Rey-
mond über das Problem der Fortpflanzung der Nervenreizung zum
Muskel und fragt: „Wie aber soll wohl die zarte Bewe-
gung in den Nerven, der ein geringes Hemmnis Einhält
tut, in den Muskeln eine Kraftanstrengung bewirken,
welche Zentnergewichte versetzt? Sonst entsteht doch nie
eine Kraft aus nichts, sowenig wie Materie; Ursache und
Wirkung sind immer gleichwertig; eine Uhr gibt in den
24 Stunden, während sie abläuft, genau die Kraft wieder,
welche zum Aufziehen der Feder verwendet wurde.“ Der
Autor weist dann auf die Schneemassen einer Lawine hin,
die durch einen Fußtritt oder einen Windstoß zum Ab-
stürzen gebracht werden⁶. „Jene Massen lagen, wie man
zu sagen pflegt, auf der Kippe; ein noch so leichter An-
stoß, und sie büßen das Gleichgewicht ein. Nicht die Schall-
schwingung der Luft war es, die sie zu Tale riß, sondern
ihre eigene Schwere, oder die Ziehkraft der Erde. So nun
haben Sie sich auch zu denken, daß die kleinsten Teile
der Muskeln in Ruhe fortwährend auf der Kippe sich

befinden, so daß die zarte Bewegung, welche die Nerven
hinab in die Muskeln sich fortpflanzt, hinreicht, um das
Gleichgewicht zu stören und innere Ziehkkräfte freizugeben
oder, wie man es in der Mechanik nennt, auszulösen, die
auf die Verkürzung des Muskels gerichtet sind.“

Und noch einmal kommt Du Bois-Rey-
mond auf die Aus-
lösung zu sprechen in seiner Gedächtnisrede auf Johannes
Müller (1858), und zwar da, wo er ihn als Reformator in
der Physiologie würdigt⁷. Bemängelt wird Johannes Mül-
lers unzureichende theoretische Vorbildung in der Physik,
die u. a. in seiner Begriffsbildung „Spezifische Energie
der Sinne“ zutage trete. „Hätte Müller mehr mit Mechanis-
mus sich abgegeben, so würde ihm aufgestoßen sein, daß
ein Repetierwerk genau wie ein Nerv, ein Muskel, eine
Mimose, gleichviel durch welche als Zwischenglieder be-
nutzten Vorgänge es ausgelöst (fast hätte ich gesagt gereizt)
wird, seine Energie in gleicher Weise äußert“.

Kann man nun annehmen, daß R. Mayer die verschie-
denen Aufsätze von Du Bois-Rey-
mond gelesen hat? Bei dem hohen Ansehen, das Du Bois-Rey-
mond genoß, ist es sehr wahrscheinlich, ja sicher, daß R. Mayer zumindest
den einen oder anderen jener Aufsätze kennengelernt hat.
Das muß schon, und zwar in besonderem Maße von dem
Referat in Karstens vielgelesenen „Fortschritten der Phy-
sik“ (1850) gelten. Hier kommt auch in Betracht, daß im
gleichen Bande der „Fortschritte“ R. Mayers Schrift von
1845 durch Helmholtz kurz besprochen wird, und daß
R. Mayer in diese Besprechung bestimmt Einsicht genom-
men hat⁸.

Daß R. Mayer Du Bois-Rey-
mond geschätzt hat, geht u. a.
aus einem Satze in seinen Besprechungen von Wilhelm
Wundt, „Über Verlauf und Wesen der Nervenreizung
(1871), in Memorabilia 1871“ hervor (Kleinere Schriften
und Briefe S. 432). Hier sagt R. Mayer: „Mit Recht
erstaunen wir über die Fortschritte, welche die Physik des
Nervensystems seit ihrer Begründung durch Charles Bell
und Johannes Müller, namentlich durch Leistungen von
Donders, Helmholtz, Du Bois-Rey-
mond usw. gemacht hat“.
Man kann also damit rechnen, daß R. Mayer Du Bois-Rey-
monds Hervorhebung des Auslösungsbegriffes kennen-
gelernt hat. Auffällig ist nur, daß der Ausdruck von

R. Mayer dann erst 1876 und nicht schon früher gebraucht worden ist.

Von sonstigen Literaturstellen, in denen R. Mayer dem Worte „Auslösung“ begegnet sein kann, habe ich Hermann Lotzes Aufsatz „Leben, Lebenskraft“ von 1843 ausfindig machen können⁹. In dieser Schrift spricht Lotze u. a. von der physiologischen „Reizung“, die er seinem „Prinzip der Störung“ (Gleichgewichtsstörung) und anschließender „Ausweichung“ zuordnet (S. 204 ff). Es heißt da: „Das Leben eines unbebrüteten Eies gleicht einer vollkommen ausgebildeten, aber nicht aufgezogenen Uhr; es fehlt ihm irgendeine Bedingung, welche das Spiel seiner Kräfte in Anstoß versetzen muß“ (S. 167). Die Muskelbewegung wird „im gesunden Zustande durch vielfältige Reize ausgelöst“ (S. 214). Aufgabe des Nervensystems im lebenden Organismus ist „die mechanische Sollicitation zur Auslösung der regulatorischen Tätigkeiten zu geben“ (S. 211)¹⁰

Der letzte Satz könnte auch bei R. Mayer stehen, vielleicht mit Weglassung des Wortes „mechanisch“.

Es ist leicht möglich, ja wahrscheinlich, daß R. Mayer die Lotze-Schrift gut gekannt hat. Enthält doch Mayers Aufsatz von 1845 u. a. eine Bekämpfung der alten Auffassungen über Lebenskraft, und man findet hier Sätze, die in vollem Einklange mit Lotzes Stellungnahme von 1843 stehen. Daß R. Mayer überhaupt mit Lotzes Schriften vertraut gewesen ist, geht aus mehreren Stellen in seinen Abhandlungen hervor.¹¹

Hält man sich nicht eng an das Wort „Auslösung“, sondern an den *Auslösungsgedanken*, so hat Robert Mayer noch weit zahlreichere Vorgänger. Wird von der großen Bewegung des philosophischen Okkasionalismus in früheren Jahrhunderten abgesehen, so ist in bezug auf „Anstoß und Anlaß“ neben Hermann Lotze vor allem Arthur Schopenhauer zu nennen. Schon 1820 hatte er, im Anschluß an Malebranche, gesagt, daß „die Ursache eigentlich nicht die Wirkung hervorbringe, sondern nur die Gelegenheit, den Anlaß gebe zum Hervortreten jener Kräfte“ (Vorlesung „über die gesamte Philosophie“).

Der „mechanischen Kausalität“, die eine *Entsprechung* von Ursache und Wirkung verlangt, stellt Schopenhauer später eine Kausalität mit „*Heterogenität*“ gegenüber.

Bereits im Chemischen sind Ursache und Wirkung nicht notwendig kommensurabel; noch mehr Heterogenität sieht Schopenhauer in den Wirkungen der Elektrizität. Vor allem aber besteht ein derartiges Mißverhältnis bei organischer Reizwirkung sowie der Motivwirkung des Willens. „Im Motiv hat jene Heterogenität zwischen Ursache und Wirkung den höchsten Grad erreicht“. „Der Stein muß gestoßen werden. Der Mensch gehorcht einem Blick.“ So sind also Kraft und Kausalität Begriffe, „aufsteigend vom bloßen Mechanismus zum Chemismus, zur Polarität, Vegetation, Animalität“.

Von diesen Gedanken Schopenhauers hat Robert Mayer bestimmt nichts gewußt, als er 1876 seinen Auslösungsaufsatz schrieb. Das Gleiche wird höchstwahrscheinlich von einem Buche gelten, das kurz vorher erschienen war. Ein Jahr vor Mayers Auslösungs-Schrift, im Jahre 1875, veröffentlichte Ludwig Noiré ein Werk: „Die Doppelnatur der Kausalität“, worin er „Bewegungsursachen“ und „Empfindungsursachen“, die schaffende Kausalität der Bewegung und die richtende Kausalität der Empfindung trennt. Da in die Empfindungskausalität auch die Willenstätigkeit einbeschlossen ist, so kommt Noiré Mayers Trennung von Äquivalenzursache und Anstoßursache sehr nahe.

So weit führen meine bisherigen Ermittlungen. Außer Du Bois-Reymond, Lotze, Schopenhauer wird man noch Berzelius (1835) anführen können, zumal, wenn man mit Ernst von Lippmann das Wort „Auslösung“ bei Mayer als Rückübersetzung des Wortes „Katalyse“ ansieht. In der Hauptsache sind es Vorgänge *physiologischer Reizung und Erregung*, auf welche der Begriff „Auslösung“ schon vor R. Mayer angewendet worden war.

Nach wie vor ist lebhaft zu bedauern, daß R. Mayers geplante große Schrift über Auslösung infolge vorzeitigen Todes ungeschrieben geblieben ist. In dieser Schrift, über deren Planung R. Mayer sowohl Eugen Dühring wie Heinrich Rohlf's Andeutungen gemacht hat,¹² würde wahrscheinlich auch über die Schriftumsstellen etwas gesagt sein, die er im Auge gehabt hat, als er den ersten Satz seines Auslösungsaufsatzes niederschrieb.

Bei weiterem Suchen wird man gewiß noch bei anderen Autoren vor 1876 den Begriff „Auslösung“ finden. Im wesentlichen aber wird bestehen bleiben, was man schon heute abschließend sagen kann. Das ist folgendes:

Robert Mayer hat als Erster dem Begriff „Auslösung“ eine sehr umfassende Bedeutung gegeben, indem er ihn in Zusammenhang mit seinem Prinzip der „Unzerstörlichkeit der Kraft“ gebracht hat. Das Wort „Auslösung“ dient nun zur symbolischen Bezeichnung für *jeden Akt der Mobilisierung, Aktivierung und Realisierung potentieller Energie*. Von der Frage der Beschreibbarkeit durch Sätze der Mechanik wird dabei ganz abgesehen. So wird es Mayer möglich, den Auslösungsbegriff auch auf die chemische Erscheinungsgruppe der Katalyse anzuwenden, sowie schließlich ihn von der Physiologie bis ins Gebiet psychophysischer Wechselwirkungen vorzutragen.

Ist doch der bewußte menschliche Wille nach Robert Mayer der höchste uns bekannte Auslöser!

Es dient also der von R. Mayer dynamisch erweiterte und in dieser Erweiterung scharf umrissene Auslösungsbegriff der *Vollendung seines energetischen Naturbildes*; er hat diesen Begriff aufgenommen und ausgestaltet, weil seine in Leibnizischem Geist gehaltene Kraftlehre gebieterisch darnach verlangte.

Anmerkungen:

¹ Die Mechanik der Wärme, 3. Auflage, Ausgabe J. Weyrauch 1893. S. 440—446. — ² Zwei Vorträge: Über die Grenzen des Naturerkennens. Die sieben Welträtsel. 3. Aufl. 1891. — ³ Diese „Fortschritte“ wurden vom Jahre 1845 an durch den Physikalischen Verein Berlin herausgegeben. Von hervorragenden Mitgliedern seien außer Helmholtz und Du Bois-Reymond noch genannt: Brücke, Halske, Magnus, Siemens, Traube. — ⁴ 4 Reden, 2. Aufl. 1912 (vom Sohne herausgegeben) Bd. 1, S. 1—26. Hier findet sich u. a. der Satz: „Es gibt überhaupt keine Kräfte“. Der Kraftbegriff sei vielmehr eine „Fiktion“, und man solle ihn entsprechend behandeln. — ⁵ 5 Reden, Bd. 1, S. 27—50. Hier wird wieder auf die Erhaltung der Kraft als eine Feststellung von Helmholtz hingewiesen. — ⁶ Das Lawinen-Beispiel tritt bei R. Mayer 1845 auf und zwar in Verbindung mit „katalytische Kraft“. — ⁷ 7 Reden, Bd. 1, Seite 135—317. Auf Seite 208 werden nun Helmholtz und R. Mayer als Urheber des Satzes von der Erhaltung der Kraft genannt. — ⁸ Auf S. 232—245 gibt Helmholtz ein Referat über „physiologische Wärmeerscheinungen“. An der Spitze des Schrifttums (aber in Klammern gesetzt) erscheint R. Mayers große Schrift von 1845 über „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel“. Der Text beginnt mit den Sätzen: „Die Schriften von Mayer und Donders sind der Vollständigkeit wegen erwähnt. Sie enthalten Zusammenstellungen der bekannten Facta, im wesentlichen von denselben Gesichtspunkten aus angesehen, wie es der Referent im Jahresbericht für 1845 getan hat“. Es schließt sich ein kurzes Referat über Helmholtzens Versuche zur Wärmeentwicklung bei

der Muskelaktion (1848) und eine ausführliche Inhaltsangabe der Schrift „Über die Erhaltung der Kraft“ (1847) an. Auch in den späteren Büchern von Karstens „Fortschritte“ werden Arbeiten von Mayer und ihr Verhältnis zu anderen Veröffentlichungen wiederholt behandelt, allerdings durchweg in sehr reservierter und der Bedeutung von R. Mayer keineswegs gerecht werdender Weise. Siehe die Zusammenstellung in R. Mayers „Kleine Schriften und Briefe“, Ausgabe Weyrauch, 1893, S. 316—326. — ⁹ Hermann Lotze. Kleine Schriften, Bd. 1 (1895) S. 139—220. — ¹⁰ Reizbarkeit definiert Lotze (S. 166) als „die Eigenschaft eines Körpers, durch Einwirkung einer Ursache zur Entwicklung einer mechanischen oder chemischen Bewegung veranlaßt zu werden, deren Richtung, Kraft, Größe, Form und Dauer nicht einfach den einwirkenden Ursachen entspricht“. S. 206 ff. wird von „Regulation im Organismus“ gesprochen. Das Wort „Auslösen“ kommt noch vor auf Seite 212; auf Seite 209 ist von „Lenken“ die Rede. Über Kraft heißt es S. 154: „Die Dinge wirken nicht, weil sie Kräfte haben, sondern sie haben dann scheinbare Kräfte. Wenn sie etwas bewirken“. In einem Referat von 1846 über v. Kooßen: „Der Streit des Naturgesetzes mit dem Zweckbegriffe“, 1845 (Kleine Schriften I. S. 361—381) finden sich die Sätze: „Unsere Tätigkeit gibt zu der Veränderung, durch die der Stoff die beabsichtigte Gestalt annimmt, immer nur den Anstoß; die in der Tat durch diesen ausgelösten Kräfte aber sind die des Stoffes selbst“. Das Wirken eines a auf ein b besteht nach Lotze darin, daß ... „ein Zustand, des a für b die zwingende Veranlassung ist, auf welche dieses b aus seiner eigenen Natur einen neuen Zustand hervorbringt“. In seinen „Streitschriften I“, 1857, gebraucht Lotze im Zusammenhang mit „Reiz“ lediglich das Wort „veranlassen“. Für die wichtige Frage psychophysischer Wechselwirkung, „welche äußeren Reize tatsächlich mit welchen inneren Zuständen allgemein und gesetzlich verknüpft sind“, wählt Lotze hier „den vorurteillosen und weitsichtigen Namen der Veranlassung“ (Seite 97 „Okkasionalistische Theorie des physisch-psychischen Mechanismus“, fortgeführt von Ludwig Busse). — ¹¹ Schriften von Lotze sind R. Mayer wohlbekannt gewesen. Im Briefwechsel mit Griesinger von 1843—44 wird Lotze erwähnt; R. Mayer verlangt nach dem Buche „Allgemeine Pathologie und Therapie als mechanische Naturwissenschaft“ (Kleinere Schriften und Briefe, S. 206, 214, 216). Auch später noch wird der Name Lotze genannt („Mechanik der Wärme“, 3. Aufl., S. 396). — ¹² Eugen Dühring, Robert Mayer, der Galilei des 19. Jahrhunderts, 1880. Heinrich Rohlf, Jul. Robert von Mayer. Sein Leben und sein Wirken. Deutsches Archiv für Geschichte der Medizin und medizinische Geographie, Bd. 2 (1879).

Robert Mayers Begriff der Naturkausalität, mit Beziehung auf Arthur Schopenhauers Kausallehre*

Im Juni 1940 waren hundert Jahre vergangen, seit Julius Robert Mayer auf der Reede von Surabaya seinen Kausalgedanken von der „Unzerstörlichkeit der Kraft“ gefaßt hat.

Von den in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts aufgestellten allgemeinen Kausalbegriffen sind es zwei, die, obwohl zur Zeit ihrer Formulierung kaum beachtet, in späteren Jahrzehnten zu weitreichender Bedeutung und Geltung für die Naturwissenschaft gelangt sind: Arthur Schopenhauer (1788—1860) und Julius Robert Mayer (1814 bis 1878), beide in Fortführung der Linie Leibniz—Kant, haben je eine Kausallehre gegeben, die ihrer Wirkung auch für die Zukunft sicher ist.

Zunächst mag es scheinen, daß jene zwei großen Männer sehr wenig Gemeinsames besitzen¹. Bei näherem Zusehen indes wird man überrascht, wie sehr *in bestimmten Grundgedanken der Kausallehre Übereinstimmung* herrscht. Dabei zeigt Schopenhauer einen größeren Reichtum farbenprächtig eingekleideter philosophischer Deduktionen, während bei R. Mayer andererseits ein Besitz mit schärferer wissenschaftlicher Begründung zu finden ist; für die weitere *wissenschaftliche* Entwicklung wird darum der Kausallehre von R. Mayer sogar noch höherer Wert beizumessen sein.

Für Schopenhauer wie für R. Mayer ist der *sachliche* Ursachbegriff als *primär maßgebender* Ursachbegriff überwunden². „Es hat aber gar keinen Sinn zu sagen, ein Objekt sei Ursach eines andern“ (D III. 143)³, „nur auf *Zustände* bezieht sich die *Veränderung* und die *Kausalität*. — *Jede Veränderung in der materiellen Welt kann nur eintreten, sofern eine andere ihr unmittelbar vorhergegangen ist: dies ist der wahre und ganze Inhalt des Gesetzes der Kausalität*“ (D II 49. 46). Diesen verbal-aktuellen an Stelle des substantivisch-sachlichen Kausalbegriffes vertritt gleichfalls Robert Mayer, so oft auch eine

* Die Naturwissenschaften 28 (1940). 193—196.

„scholastische“ Einkleidung seiner Aussprüche das Gegenteil zu zeigen scheint: *Umwandlungen* der „Kraft“ (Energie) sind es, deren Grundgesetz er gefunden hat. „In der Mitte der Burg weht das Panier: Wärme läßt sich in Bewegung verwandeln“ (M II. 216). „Was in einem Augenblicke Wärme ist, ist im nächsten Bewegung — und dies gilt auch umgekehrt“ (M II. 223).

Allerdings geht Mayer sogleich zu einer *substantivischen „Destillation“ seines Ursachbegriffes* über, indem er, alles Zufällige und Nebensächliche abstreifend, konstatiert: „Kräfte⁴ sind Ursachen. — Kräfte sind *unzerstörliche, wandelbare, imponderable Objekte*“ (M I. 23 bis 24). „*Gewichtserhebung ist Bewegungsursache, ist Kraft*“ (M I. 50). „*Bewegung ist die Ursache von Wärme*“ (M I. 24).

Bei Schopenhauer wie bei R. Mayer *überwiegt der dynamische Kausalbegriff den mechanischen*. Im Mittelpunkt aller Erörterungen steht — ganz in der Weise von Leibniz — nicht der Bewegungsbegriff, sondern der *Kraftbegriff*; der mechanistische Kausalbegriff von Laplace u. a., mit seinen Voraussagungsmöglichkeiten auf der Grundlage von „Konstellation“ und „Impuls“ von Massenpunkten, tritt zurück; der anthropomorphe Begriff der „Kraft“ ist vorherrschend. Schopenhauer: „Die Materie und die Naturkräfte... sind die Bedingungen der Kausalität“ (D II. 52). „Die Naturwissenschaft nun hat die Materie als Problem und das Gesetz der Kausalität als Organon“ (D I. 34). R. Mayer: „Kraft und Materie sind unzerstörliche Objekte“ (M I. 262). „Ist die Ursache eine Materie, so ist auch die Wirkung eine solche; ist die Ursache eine Kraft, so ist auch die Wirkung eine Kraft“ (M I. 31).

Schopenhauer wie R. Mayer vertreten die Idee einer *Einheit und Unzerstörbarkeit der Kraft* samt dem Gedanken einer „*Kräfte*metamorphose“. „Ein Entstehen und Vergehen von Materie auch nur vorzustellen, ist uns schlechterdings unmöglich“ (D III. 451). Allen Naturkräften... muß man „eine Äternität und Ubiquität unmittelbar zuerkennen, an welcher uns die Vergänglichkeit ihrer flüchtigen Erscheinungen keinen Augenblick irre macht“ (D II. 536). R. Mayer: „*Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft*. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie

in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft! (M I. 48). Hier aber scheiden sich schon die Geister: Während sich Schopenhauer bei jedem Überschreiten der klassischen Mechanik mit der *philosophischen Idee* einer Einheit der Kraft begnügt — die zugleich eine Einheit des „Willens in der Natur“ ist —, geht Robert Mayer von Anfang an der Metamorphose, der „Isomerie“ der Kräfte *quantitativ messend* nach und erreicht durch eine glückliche Vereinigung kühner Spekulation mit kritischer Empirie⁵ eine *Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes*, dem sodann zahlreiche andere energetische Äquivalenzen bei der Umwandlung beliebiger Kraftformen an die Seite treten.

Für Schopenhauer wie für R. Mayer erschöpft sich der Kausalbegriff zunächst in dem *Erhaltungsbegriff*. „*Ursache*, im engsten Sinne des Wortes“, schließt den Gedanken in sich, „der Grad der Wirkung“ sei „dem Grade der Ursache stets genau angemessen, so daß aus dieser jene sich berechnen läßt und umgekehrt“ (D III. 155). Diese Art Ursache herrscht vor allem in der Mechanik, und darum ist „*mechanische Kausalität*... die *faßlichste* von allen“ (D III. 507).

R. Mayer nennt sein neues Prinzip ein „nach dem Bisherigen als konstatiert zu betrachtendes Naturgesetz der Erschöpfung der Ursache durch die Wirkung“ (M I. 275).⁴ „Der Satz, daß eine Größe, die nicht aus Nichts entsteht, auch nicht vernichtet werden kann, ist so einfach und klar, ... und dürfen wir ihn so lange als wahr annehmen, als nicht etwa durch eine unzweifelhaft festgestellte Tatsache das Gegenteil erwiesen ist“ (M I. 247). Der Leibnizsche Satz: „*Causa aequat effectum*“ kehrt bei R. Mayer in verschiedenen Abwandlungen immer wieder, und zwar als *genereller Kausalbegriff*, der sowohl die Unzerstörlichkeit der Materie wie diejenige der Kraft bei allen Wandlungen der Form in sich faßt. „Wenn es mir gelungen ist, Dir zu zeigen, daß es keineswegs eine ungewöhnliche und willkürliche Begriffsbestimmung des Kausalitätsverhältnisses ist, an der meine ganze Theorie hängt, so ist mein Zweck erreicht“ (an Griesinger, 20. Juli 1844; M II. 226).

Bei Schopenhauer wie bei R. Mayer *findet der kausale Erhaltungsbegriff eine Ergänzung in einem kausalen „An-*

stoß-, Auslösungs- und Anlaßbegriff“, der sich in dem Satze: „*Kleine Ursachen, große Wirkungen*“ ausspricht, und der in der Wissenschaft ebenso wie im Alltagsleben eine gewichtige Rolle spielt. Nach Schopenhauer sind Ursache und Wirkung schon im Chemischen nicht notwendig kommensurabel;* noch mehr „*Heterogenität*“ findet er „in den Wirkungen der Elektrizität“. Vor allem aber gilt der Satz „*causa aequat effectum*“ nicht in organischer *Reizwirkung*, sowie in der *Motivwirkung* des Willens. „Im *Motiv*... hat jene Heterogenität zwischen Ursache und Wirkung... den höchsten Grad erreicht“ (D III. 508). „Der Stein muß gestoßen werden; der Mensch gehorcht einem Blick“ (D III. 156).

R. Mayer faßt derartige Formen des Kausaldenkens zusammen in dem Begriff der „*Auslösung*“, des „*Anstoßes*“. Eine besonders augenfällige Auslösungserscheinung ist ihm die *Katalyse* und die *Fermentwirkung*; andere Beispiele sind die Auslösung einer Lawine, etwa durch den Flügelschlag eines Vogels, das Abfeuern eines Schusses usw. Durchweg handelt es sich hier um Vorgänge, bei denen „die Ursache der Wirkung nicht nur nicht gleich oder proportional ist, sondern wo überhaupt zwischen Ursache und Wirkung gar keine quantitative Beziehung besteht, vielmehr in der Regel die Ursache der Wirkung gegenüber eine verschwindend kleine Größe zu nennen ist“ (M I. 441). „Die Auslösungen spielen nicht nur in der anorganischen Natur..., sondern auch in der lebenden Welt, und namentlich also in der Physiologie und Psychologie, eine große und wichtige Rolle. Wir sehen, daß unser ganzes Leben an einen ununterbrochenen Auslösungprozeß geknüpft ist“ (M I. 442). „Der Wille wird also, freilich auf eine völlig rätselhafte und unbegreifliche Weise, durch die Bewegungsnerven zu den entsprechenden Muskeln geleitet, und auf diese Weise erfolgt sofort die Auslösung, die gewünschte Aktion“ (M I. 443). „Die zahllosen Auslösungsprozesse haben nun das unterscheidende Merkmal gemein, daß *bei denselben nicht mehr nach Einheiten zu zählen ist*, mithin die Auslösung überhaupt kein Gegenstand mehr für die Mathematik ist“ (M I. 442). Darum auch: „In

* Bemerkung 1947: Eine leichte Andeutung dafür, daß Sch. eine gewisse Kenntnis von Kontaktprozessen (Katalyse) gewonnen hätte?

der Physik ist die Zahl alles, in der Physiologie ist sie wenig, in der Metaphysik ist sie nichts (M I. 335).

Der *dualen Gestaltung des Ursachbegriffs* entspricht bei R. Mayer folgerichtig eine Auflockerung des *Kraftbegriffes*. Im Anfange, da er nur *bewegende* (mit heutigem Ausdruck *energetische*) Kräfte anerkannt hatte, mußte er sowohl Berzelius' „katalytische Kraft“ wie auch die „Lebenskraft“ (selbst in der geläuterten Bestimmung von Liebig, als Widerstandsfähigkeit gegen „Selbstentmischung“) verwerfen; in seinen späteren Jahren kommt er jedoch zu einer Duldung, ja Anerkennung auch der nichtenergetischen „*Richtkräfte*“ („diaphysische Kräfte“ oder Dominanten, nach Joh. Reinke; „bilanzfreie Impulse“ nach R. Woltereck). Eigentlich „handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine ‚Kraft‘ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir ‚Kraft‘ nennen wollen“ (M I. 260). Auch hinsichtlich der Stellung zur „Lebenskraft“ ergibt sich so schließlich eine Annäherung an Schopenhauer (gleichwie an Liebig)⁷: „Wer die Lebenskraft leugnet, leugnet im Grunde sein eigenes Dasein, kann sich also rühmen, den höchsten Gipfel der Absurdität erreicht zu haben“ (D V. 173).

Die Tatsache der „Auslösung“ von Aktionen (die Überführung der Potenz in den Akt), zusammen mit der Tatsache einer Stufenfolge stofflicher Gebilde — vom Atom bis zum „Körper“ und zum „Organismus“ —, bringt es mit sich, daß eine Stufenfolge, eine *Rangordnung auch der Kausalität* (genauer der Anstoß- oder Auslösungskausalität) festgestellt werden kann. Hierzu sagt Schopenhauer: „Allerdings wirken im tierischen Organismus physikalische und chemische Kräfte; aber was diese zusammenhält und lenkt, so daß ein zweckmäßiger Organismus daraus wird und besteht — das ist die Lebenskraft“ (D V. 174). Es ist so, „daß die Lebenskraft die Kräfte der anorganischen Natur allerdings benutzt und gebraucht, jedoch keineswegs aus ihnen besteht; so wenig wie der Schmied aus Hammer und Amboß“ (D I. 169). Kraft und Kausalität sind „aufsteigend vom bloßen Mechanismus zum Chemismus, zur Polarität, Vegetation, Animalität“ (D I. 32). Bei R. Mayer lesen wir sogar, daß „bei den Lebensvorgängen die Chemie im Stiche läßt“ (M I. 333).

Oder: „Es wird gewiß die Zeit kommen, wo nicht jede tiefere Anschauung des Lebensprozesses durch mikroskopische und chemische Substitutionen verdrängt wird“ (M II. 250). Erläutert und gemildert wird diese anscheinend übertriebene Schroffheit durch die weiteren Sätze: „Will man nun über physiologische Punkte klar werden, so ist Kenntnis physikalischer Vorgänge unerlässlich“ (M II. 213). „Der Physiologe muß wissen, was denn die ‚Kräfte‘ der toten Natur sind, sonst bleibt er vorweg in betreff der Kräfte, von denen er sprechen muß, in trostloser Finsternis“ (M II. 140)⁸.

Der spezielle *Kausalbegriff der klassischen Mechanik*, der auf eine exakte Vorausberechnung künftiger Konstellation von Massepunkten auf Grund genauer Kenntnis der Lage- und Impulsverhältnisse in einem früheren Augenblick hinausläuft, spielt sowohl für Schopenhauer wie für R. Mayer nur eine untergeordnete Rolle, indem man ihn in die Schranken jener Mechanik als Spezialwissenschaft verweist.

Stimmen Schopenhauer und Robert Mayer weitgehend in ihren Kausalanschauungen zusammen, vor allem in der Unterscheidung der Grundformen der Verursachung: *Erhaltungskausalität und Anstoßkausalität* (diese als Auslösung, Reizung, Motivwirkung), so zeigen sich bei genauerem Zusehen doch auch bemerkenswerte Unterschiede. So fehlt bei Schopenhauer auf weiten Gebieten *das quantitative Moment*, die Betonung der Meßzahlen, durch die jede physikalische Auseinandersetzung über Erhaltung — und in gewissem Maße auch über Auslösung — erst praktischen Wert erhält. Noch tiefer gehende Unterschiede tun sich auf, wenn man zu *allgemeinsten Kausalfragen* übergeht, die dann weiter zu den Begriffen Zweck, Sinn und Wert hinüberführen.

In bezug auf die Frage: *Notwendigkeit oder Freiheit?* vertritt Schopenhauer einen strengen, wenngleich nicht mechanischen *Determinismus*. „*Alles was geschieht, vom Größten bis zum Kleinsten, geschieht notwendig*“ (D III. 530). „Mit einem Wort: Der Mensch tut allezeit nur was er will, und tut es doch notwendig“ (D III. 568). Daneben aber doch: „*Notwendigkeit ist das Reich der Natur; Frei-*

heit ist das Reich der Gnade“ (D I. 478). Dieser Ton überwiegt durchaus bei R. Mayer; das Reich des Anorganischen (das Mineralreich) ist ihm „das Reich der Zweckmäßigkeit“, die „animalische Welt“, insbesondere das Menschentum, „das Reich der Freiheit“ (M I. 398, 404, 407). „Im Leben wird die Notwendigkeit durch Freiheit gemildert, die Freiheit durch die Notwendigkeit beschränkt“ (M I. 428)“.

Treffen Schopenhauer und Robert Mayer in der Ablehnung jedes weltanschaulichen Materialismus zusammen, so scheiden sie sich doch deutlich darin, daß Schopenhauers Dynamismus unistischer und dabei voluntaristischer Art ist, während R. Mayer „dreierlei Kategorien von Existenzen“ annimmt: „1. die Materie, 2. die Kraft und 3. die Seele oder das geistige Prinzip“ (M I. 356). Für Schopenhauer gilt die Gleichsetzung: Materie = Kraft = Wille. „Demgemäß besteht das ganze Wesen der Materie im Wirken . . ., sie ist durch und durch lauter Kausalität“ (D II. 347). „Also was objektiv Materie ist, ist subjektiv Wille“ (D II. 350). „Überall wo Kausalität ist, ist Wille; und kein Wille agiert ohne Kausalität“ (D III. 378). „Der Wille ist die Kraft.“ (Gespräche; 20. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. 1933, 320.)

R. Mayer sieht zwar auch in der Natur einen überragenden Willen am Werke, aber es ist nicht ein „blinder“, der Natur immanenter und schließlich resignierender und sich verneinender Es-Wille, sondern ein sehender, wissender und sorgender Er-Wille: der zu verehrende Wille Gottes, der zugleich höchste Vernunft ist. „Der griechische Weltweise Anaxagoras hat schon als letzten Grund aller Bewegungserscheinungen den Nous, ein allweises höchstes Wesen, was im Grunde mit dem Johanneischen Logos identisch ist, angenommen“ (M I. 401). „Die ewige Vernunft möchte ich mir aber nicht getrauen mit kritischem Maßstabe ausmessen zu wollen“ (M I. 376). Und doch: „Was subjektiv richtig gedacht ist, ist auch objektiv wahr“ (M I. 357).

Hiermit hängt zusammen eine grundverschiedene Stellung zu der Frage nach Zweck, Sinn und Wert in der Natur. Schopenhauer sieht zwar im Einzelnen Zwecke und Zielgesetzlichkeiten; er kennt und bewundert die „innere

Zweckmäßigkeit“, die Zielstrebigkeit, die den Organismus charakterisiert; er kennt und bewundert die reine Verwirklichung der Idee in der Schönheit; im großen und ganzen aber ermangelt der Weltlauf eines vernunftgemäßen Zweckes. Es heißt da z. B.: „Die Erreichung der letzten Stufe nun aber, die der Menschheit, muß meines Erachtens die letzte sein, weil auf ihr bereits die Möglichkeit der Verneinung des Willens, also der Umkehr von dem ganzen Treiben, eingetreten ist, wodurch alsdann diese divina commedia ihr Ende erreicht“ (D V. 154).

R. Mayer dagegen sieht wie Leibniz in der ganzen Natur göttliche Zieltätigkeit, deren Wesen freilich dem Menschengeist verborgen ist¹⁰. Darwins Selektionstheorie lehnt er gefühlsmäßig ebenso ab wie den Gedanken eines schließlichen „Wärmetodes“ des Universums (auf Grund zunehmender „Zerstreuung der Energie“, gemäß R. Clausius und W. Thomson). Trotz zahlreicher bitterster Lebenserfahrungen neigt er einer vollen Bejahung der Welt zu. „Nicht nur erhalten wird die lebende Welt, sie wächst und verschönert sich“ (M I. 355). „Wir wissen auch, daß die Natur in ihrer einfachen Wahrheit größer und herrlicher ist als jedes Gebild von Menschenhand und als alle Illusionen des erschaffenen Geistes“ (M I. 74). „Und es mögen die Lebenserscheinungen einer wundervollen Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen; nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie, in der Harmonie nur liegt das Leben“ (M I. 128). „Ein Kampf ums Dasein findet allerdings statt. Aber nicht der Hunger ist es, es ist nicht der Krieg, nicht der Haß ist es, der die Welt erhält — es ist die Liebe“ (M I. 413). „Gott hat aber bekanntlich an der Menschheit einen langsamen Schüler“ (M I. 399).

Es zeigt sich hier wieder einmal deutlich, daß bei weitgehender Übereinstimmung in Sachen empirischen Wissens und Urteilens und bei gleicher human-kultureller Grundhaltung die Meinungen über letzte Fragen der Menschheit weit auseinander gehen können. Hier kommt ein irrationales, und zwar emotionales Element zur Geltung, indem jedes individuelle Gefühlsleben eine Art Eigengesetzlich-

keit entwickelt und sich ein Haus des Glaubens zimmert, zu welchem die Ratio nur den geringeren Teil des Baumaterials geliefert hat

„Jede echte, also wirklich ursprüngliche Naturkraft . . . ist wesentlich *qualitas occulta*, d. h. keiner physischen Erklärung weiter fähig.“ Schopenhauer

„Die Wahrheit ist ja an und für sich ewig, und das Ewige läßt sich nicht definieren und auch nicht beweisen.“ R. Mayer

Anmerkungen:

1 Es liegt für keinen von beiden ein Zeugnis vor, daß er auch nur den Namen des anderen vernommen und auch beachtet hätte. — 2 Ähnlich schon bei Kant: „Die Möglichkeit eines Dinges überhaupt, als einer Ursache, sehe ich gar nicht ein.“ — 3 Schopenhauer wird nach der Ausgabe Deussen (D) zitiert, R. Mayer nach der Ausgabe Weyrauch: Die Mechanik der Wärme, ges. Schriften 1893 = M I. Kleinere Schriften und Briefe 1893 = M II — 4 Es handelt sich dabei bekanntlich um den Kraftbegriff von Leibniz und Huygens (lebendige Kraft $\frac{1}{2}mv^2$), der unserem heutigen Energiebegriff entspricht: kinetische Energie und potentielle Energie, Arbeit und Arbeitsfähigkeit, Wucht und Tucht. — 5 R. Mayers Jugendfreund G. Rümelin spricht von einem charakteristischen „unaufhaltsamen einbohrenden Durchdenken eines Gedankens bis in seine letzten Ausläufer“. — 6 Es handelt sich um einen quantitativen „Zusammenhang von Verbrauch und Leistung“; in Umwandlungsgleichungen von der Art $ps = mc^2$ stellt die eine Seite die Ursache, die andere die Wirkung dar. Kraft ist: „Etwas, das bei der Erzeugung der Bewegung aufgewendet wird, und dieses Aufgewendete ist als Ursache der Wirkung, der hervorgebrachten Bewegung gleich“ (M I, 255). — 7 Für Liebig („Chemische Briefe“) gilt, „daß in dem lebendigen Leibe eine Ursache besteht, die die chemischen und physikalischen Kräfte der Materie beherrscht und sie zu Formen zusammenführt, die außerhalb des Organismus niemals wahrgenommen werden“. (Lotzes „Kräfte zweiter Hand“.) — 8 Als Eigentümlichkeiten des Lebenden erörtert R. Mayer vielfach die „Regulationen“ und die „Irritabilität“. — 9 Hierzu Nietzsche: „Die unbedingte Notwendigkeit alles Geschehens enthält nichts von einem Zwange“. — 10 „Die echte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntnis und überläßt es willig dem Poeten und Naturphilosophen, die Auflösung ewiger Rätsel mit Hilfe der Phantasie zu versuchen“ (M I, 52, Anm.). „Der Urgrund der Dinge ist ein dem Menschenverstand ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit“ (M I, 262).

Arthur Schopenhauers Stellung zur Chemie seiner Zeit*

Arthur Schopenhauers Leben und Wirken (1788—1860) fällt in die erste Blütezeit der neueren Chemie, die in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch Namen wie Davy, Gay-Lussac, Döbereiner, Berzelius, Dumas, Liebig, Wöhler, Faraday, Schönbein gekennzeichnet wird. Im Anschluß an den neuen Elementbegriff von Boyle, an Lavoisiers neue Verbrennungstheorie und an Daltons Atomvorstellungen war eine wägende und messende chemische Wissenschaft entstanden, die überraschende Fortschritte machte und auch sehr bald eine praktische Anwendung der neuen Errungenschaften ermöglichte. Waren Hegel und Schelling in ihren Äußerungen zur Chemie ihrer Zeit allzu rasch in metaphysische Gewaltsamkeiten abgeglitten, so begegnet uns bei Schopenhauer die erste eingehende philosophische Beachtung und Würdigung der neuen chemischen Bestrebungen.

Der universell gerichtete Bildungsdrang, den Schopenhauer schon in seinen Universitätsstudien (1809—1813) zeigte, hat sogleich auch zu einer Beschäftigung mit Chemie geführt¹. In Göttingen hat Schopenhauer nicht nur den berühmten Physiologen Blumenbach, sondern auch Vorlesungen bei dem namhaften Chemiker Stromeyer (Entdecker des Cadmiums) gehört, in Berlin diejenigen des verdienten Mineralchemikers Klaproth, der als früher Anhänger Lavoisiers zuerst Schopenhauers Blick auf jenen großen Forscher gelenkt haben mag. So rühmt Schopenhauer bereits 1816 in seiner Schrift „Über das Sehn und die Farben“ die Verdienste von Lavoisier, in dessen „großem Kopfe“ sich die vorher gewonnenen chemischen Einzeltatsachen „zu einer Theorie organisierten, welche gleichsam die Seele der gesamten Naturwissenschaft ist, durch die unsere Zeit über alle früheren emporragt“.

In Schopenhauers Werken und in seinem Briefwechsel sind zahlreiche Äußerungen verstreut, die auf ein für einen Philosophen jener Zeit recht anerkennenswertes chemisches Wissen hindeuten. Er kennt Davys Alkalimetalle,

* Forsch. u. Fortschr. 15 (1939) 167—170. Ausführlich im 26. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. 1939: Schopenhauer und die Chemie.

Schönbeins Ozon, die (damals noch unzerlegbare) Flußsäure usw.; er weiß von Leuchtsteinen, von dem aktiven Chlor des Chlorkalkes, von Chevreuls Arbeiten über die ausbleichenden Wirkungen des Sonnenlichtes, von der Elektrolyse des Wassers und der Salze, von den Eigenschaften galvanischer Elemente, von den „etwa 60 Grundstoffen“, die bis dahin nachgewiesen waren, usw.

Auch in die aufblühende *organische Chemie* ist Schopenhauer einigermaßen eingedrungen. Er kennt „die große Begierde“ des Aldehyds, sich mit Sauerstoff zu Essigsäure zu verbinden. Er weiß von den „Radikalen“ Liebig's und Dumas', die als beständige Atomgruppen bei chemischen Umsetzungen unverändert bleiben können. Dementsprechend nennt er den Willen vergleichsweise „das Radikal der Seele“, ähnlich wie ihm die Voltasche Säule als Gleichnis der menschlichen Erscheinung dünkt: „die Metalle, nebst Flüssigkeit, wären der Leib; die chemische Aktion, als Basis der ganzen Wirkens, wäre der Wille, und die daraus hervorgehende elektrische Spannung, welche Schlag und Funken hervorruft, der Intellekt“.

Vom „Zoochemiker“ Liebig rühmt Schopenhauer, er habe „das Budget der organischen Natur nachgerechnet und die Bilanz ihrer Einnahmen und Ausgaben gezogen“. Die „organische Assimilation“ der Kohlensäure in den Pflanzen und die Umwandlung der Pflanzennahrung in den tierischen Organismen sind ihm wohlbekannt, desgleichen die Verhältnisse der „Sekretion“, des „Steigens der Säfte“ in den Pflanzen und der „Ossifikation“ in Tieren, die der „Krystallisation“ ähnlich sei, obwohl sie über diese hinausgehe.

Auch für *Anwendungen der Chemie auf das Leben* hat Schopenhauer starkes Interesse. Die Erfindung Daguerres (1839) erscheint ihm „hundertmal scharfsinniger als die so bewunderte Entdeckung des Leverrier“ (die Vorausberechnung des Neptun)².

Die *chemische Affinität* ist für Schopenhauer eine Erscheinung, die sich nach den Gesetzen der klassischen Mechanik nicht erklären läßt und die eher *Beziehungen zu den elektrischen Erscheinungen* mit ihrer Polarität aufweist (Davy, Berzelius). Die Bestrebungen von Lomonossow, Lesage und Berthollet, eine *chemische Mechanik*

im eigentlichen Sinne des Wortes zu begründen, hält er für verfehlt. „Die Gesetze des Mechanismus gelten nicht mehr, wo der Chemismus wirkt —, und nimmermehr werde ich glauben, daß jemals auch die einfachste chemische Verbindung, oder auch die Verschiedenheit der drei Aggregationszustände sich wird mechanisch erklären lassen —“. Chemische Verwandtschaft ist wie jede andere ursprüngliche Naturkraft eine „vis occulta“, d. h. keiner physischen Erklärung weiter fähig. „Selbst jeder Bergkrystall, jeder Schwefelkies ist . . . ein Abgrund von Unbegreiflichkeiten und Geheimnissen.“ „Die Kraft selbst . . . bleibt ihr ewig ein Geheimnis.“

In bezug auf das *Verständnis der Lebenserscheinungen* sind nach Schopenhauer der Chemie Schranken gesetzt insofern, als „nie ein Organisches auf ein Chemisches“ zurückgeführt werden kann. Es ist ein bloßer „Wahn unserer *physiologischen* Chemiker“, daß hier die „armsälligen chemischen Verwandtschaften ausreichen“. Schopenhauer betont, daß die „Lebenskraft die Kräfte der unorganischen Natur allerdings benutzt und gebraucht, jedoch keineswegs aus ihnen besteht; so wenig wie der Schmied aus Hammer und Ambos“. (Vgl. Blumenbachs „*nisus formativus*“, Bildungstrieb).

Hinsichtlich der *Entstehung der chemischen Elemente* ist Schopenhauer überzeugt, daß in der Entwicklung des Weltalls die verschiedenen Elemente anfänglich aus einem *Grundstoff oder Urstoff* hervorgegangen seien. Auch mutmaßt er, daß „alle Metalle die Verbindung zweier uns noch unbekannter absoluter Urstoffe sind und bloß durch das verhältnismäßige Quantum beider sich unterscheiden, worauf auch ihr elektrischer Gegensatz beruht . . . Wenn man die Metalle in jene Bestandteile zu zersetzen vermöchte, so würde man wahrscheinlich sie auch machen können. Da aber ist der Riegel vorgeschoben.“ —

Auf eine Urperiode der Erde mit einem „Titanenkampf“ der Elemente hat sodann der Urwille in der Natur im ganzen stetig, im einzelnen aber auch sprunghaft eine *Welt der Organismen* hervorgerufen. Eine „*Urzeugung*“ in beschränktem Maße, insbesondere von „Epizoen und überhaupt Parasiten“ ist nach Schopenhauer dauernd möglich, ja wahrscheinlich. Die experimentelle Widerlegung durch

Milne-Edwards, Pasteur u. a. (1859) erkennt er nicht als stichhaltig an; vielleicht habe nur die natürliche atmosphärische Luft eine „vivificirende Kraft“, nicht aber eine „chemisch behandelte“ oder ein „seelenloses Nachbild“. Hier bleibt Schopenhauer in einer Art „romantischer Stimmung“ befangen, die er sonst oftmals so schonungslos bekämpft. —

Schopenhauer vertritt im Anschluß an Leibniz und Kant einen *philosophischen Dynamismus*, der sich zu einem allgemeinen *Voluntarismus* steigert. „Demgemäß besteht das ganze Wesen der Materie im Wirken . . . und das Materielle ist das Wirkende überhaupt. — Denn was nicht *wirkt*, das ist auch nicht . . . Denn *die Materie ist durch und durch nichts als Kausalität*.“ Also gilt, daß „die empirisch gegebene Materie sich überall nur durch die sich in ihr äußern den Kräfte manifestiert“. Kraft und Kausalität aber sind „aufsteigend vom bloßen Mechanismus zum Chemismus, zur Polarität, Vegetation, Animalität“.

Was aber ist *das innere Wesen dieser Kraft*, die in den verschiedenartigsten Erscheinungen zutage tritt, im Grunde aber nur *eine* ist? „Der *Wille* ist die Kraft“; wobei aber der Begriff *Wille* „eine größere Ausdehnung erhält, als er bisher hatte“. — „Am Leitfaden der Analogie mit unserm Wesen“ werden wir dahin geführt, „auch die Kraft, welche in der Pflanze treibt und vegetirt, ja die Kraft, durch welche der Krystall anschießt, die, welche den Magnet zum Nordpol wendet . . . die, welche in den Wahlverwandtschaften der Stoffe als Fliehen und Suchen, Trennen und Vereinen erscheint . . . diese Alle nur in der Erscheinung für verschieden, ihrem innern Wesen nach aber als das Selbe zu erkennen . . . was da, wo es am deutlichsten hervortritt, *Wille* heißt.“ Mithin, daß „auch das Unorganische einen Willen habe . . . dies ist ein wesentlicher Punkt meiner Lehre. — Überall wo Kausalität ist, ist *Wille*, und kein *Wille* agirt ohne Kausalität. — Auch ist allerdings der *Wille* das Centrum, ja, und der Kern der Welt“³.

Bei dieser ausgeprägt „innerlichen“ Einstellung zu dem Wesen des Chemismus nimmt es nicht wunder, daß Schopenhauer ähnlich wie Goethe eine starke *Abneigung gegen die Atomistik* jener Zeit bekundet. Wohl können Atome

als „Rechenpfennige“, als „Fiktion“ methodisch nützliche Dienste tun, indem sie z. B. eine anschauliche Grundlage für die Verbindung der Elemente in bestimmten und dabei multiplen Gewichtsverhältnissen bilden; sie dürfen jedoch nicht „als Atome im eigentlichen Sinne, als objektiv und als real verstanden werden“. — Schopenhauer tadelt wiederholt mit heftigen Worten „die unglaubliche *Rohheit der jetzigen mechanischen Physik*, deren Adepten jede Naturkraft höherer Art, Licht, Wärme, Elektrizität, chemischen Proceß u.s.w. zurückführen wollen auf die Gesetze der Bewegung, des Stoßes und Druckes, und auf geometrische Gestaltung, nämlich ihrer imaginären Atome“⁴. Verwerflich erscheint ihm „der eben jetzt, in der Mitte des 19. Jahrhunderts wieder aufgewärmte, aus Unwissenheit sich original dünkende, rohe Materialismus, welcher zunächst, unter stupider Leugnung der Lebenskraft, die Erscheinungen des Lebens aus physikalischen Kräften erklären, diese aber wieder aus dem mechanischen Wirken der Materie, Lage, Gestalt und Bewegung erträumter Atome entstehen lassen und so alle Kräfte der Natur auf Stoß und Gegenstoß zurückführen möchte, als welches sein ‚Ding an sich‘ sind. — Des Berzelius Äquivalenten-Tafeln übernehmen die Rolle des lieben Gottes . . .“ usw.

Die Materie ist vielmehr zu denken als ein *Continuum*, so daß z. B. in einer chemischen Verbindung wie dem Wasser „kein selbst unendlich kleiner Theil angetroffen werden kann, der nicht beide verbundene Substanzen enthielte“. Allgemein gilt: „Das Ganze ist nicht durch die Theile, noch diese durch jene; sondern beide sind nothwendig zusammen, weil sie Eines sind und ihre Trennung nur ein willkürlicher Akt ist.“

Von Interesse ist eine Gegenüberstellung von Aussprüchen G. Th. Fechners, der um dieselbe Zeit (1855) u. a. gesagt hat: „Warum könnte nicht auch ein Atom den Raum durch seine Kraft erfüllend gedacht werden? — Was ist wirklich? Dasjenige, was Erscheinungen wirkt und leistet; so sind Atome wirkliche Dinge. — So weit Gott und das Atom auseinanderliegt, eine Kette muß doch von einem zum andern reichen“⁵.

Im ganzen genommen zeigt *Schopenhauers Philosophie der Chemie* — gleichwie seine Philosophie der gesamten

Naturwissenschaften — ein *Doppelgesicht*: Auf der einen Seite finden wir eine berechtigte Bekämpfung und Ablehnung des philosophischen Materialismus seiner Zeit (L. Büchner, Moleschott u. a.), der versuchte, „die Welt der Atome auch zur eigentlichen Heimat des Geistes zu machen“ (F. A. Lange); auf der anderen Seite aber läuft seine Verurteilung des Materialismus und Mechanismus nur zu oft auf eine *Negierung auch der mechanistisch-materialistischen Methode der Naturwissenschaft* hinaus, die sich dauernd als eminent fruchtbar erweist und damit den Beweis ihrer Daseinsberechtigung erbringt⁰.

Schopenhauer hat selber eine Handhabe zur *Beseitigung der bestehenden Dissonanzen und Differenzen* dargeboten, als er — in seiner Spätzeit — folgende Sätze aussprach: „Statt die Wahrheit der Religionen als *sensu allegorico* zu bezeichnen, könnte man sie, wie eben auch die Kantische Moralthologie, Hypothesen zu praktischem Zweck, oder hodegetische Schemata nennen, Regulative, nach Art der physikalischen Hypothesen von Strömungen der Elektrizität, zur Erklärung des Magnetismus, oder von Atomen zur Erklärung der chemischen Verbindungsproportionen u. s. w., welche man sich hütet, als *objektiv wahr* festzustellen, jedoch davon Gebrauch macht, um die Erscheinungen in Verbindung zu setzen, da sie in Hinsicht auf das Resultat und das Experimentieren ungefähr das Selbe leisten, als die Wahrheit selbst. Sie sind Leitsterne für das Denken.“ Was hier Schopenhauer „Hypothesen zu praktischen Zwecken“, „hodegetische Schemata“ und „Regulative“ nennt, ist in der Folgezeit als Fiktion (Vaihinger) oder besser als Figment (Helmholtz), als Anschauungshilfe, als Vorstellungsbild, als Modell, als Denkbehelf, als dynamische Illustration (Maxwell), als Darstellungsform (Dingler), als Symbol, auch als „Mythos“ im Sinne einer „Vordergrundphilosophie“ (Nietzsche) bezeichnet worden. „Einer bloßen Analogie kann man es nicht übelnehmen, wenn sie in einzelnen Punkten hinkt“ (Boltzmann).

Erst die Folgezeit hat indes erweisen können, daß „in der Atomistik selbst, während sie den Materialismus zu begründen scheint, schon das Princip liegt, welches alle Materie auflöst und damit wohl auch dem Materialismus den Boden entzieht“. Es kann dann „der Materialismus

wohl noch eine vortreffliche *Maxime der Naturforschung* sein (und das ist er nach unserer Ansicht auch), aber er ist keine Philosophie mehr“ (F. A. Lange). „Die Wahrheit ist ja an und für sich ewig, und das Ewige läßt sich nicht definieren und auch nicht beweisen“ (Robert Mayer).

Bei allen Vorbehalten, die sich an eine Würdigung der Stellung Schopenhauers zur Chemie seiner Zeit knüpfen, ist rühmend anzuerkennen, daß er *der Chemie eine Eigen-gesetzlichkeit zugesprochen* hat, die von den großen Chemikern des 19. Jahrhunderts in mühsamer Empirie und geistvoller Intuition erarbeitet worden ist und die in der heutigen Begründung der Affinitätslehre auf „Quantenmechanik“ (statt auf klassische Mechanik) ihre volle Rechtfertigung findet⁸. Und es wird ferner bestehen bleiben, daß nächst der von Schopenhauer so hochgeschätzten Physiologie (Biologie)⁹ der Chemie bei der Entwerfung eines allgemeinen philosophischen Naturbildes eine besonders wichtige Rolle zukommt.

Im ganzen gilt nach Schopenhauer, daß das Fundament philosophischer Metaphysik „allerdings empirischer Art seyn“ muß; „daher soll Keiner sich an diese wagen, ohne zuvor eine, wenn auch nur allgemeine, doch gründliche, klare und zusammenhängende Kenntniß aller Zweige der Naturwissenschaft sich erworben zu haben“.

Anmerkungen:

¹ Vgl. hierzu A. Hübscher, Schopenhauers sämtliche Werke (Brockhaus) ab 1937, Bd. I, Schopenhauers Lebensbild, S. 31 ff.; auch A. Hübscher, Der junge Schopenhauer, Piper, München 1938. — ² Zum Thema „Erfinden“ bemerkt Schopenhauer allgemein: „Die Erfindungen geschehen meistens durch bloßes Tappen und Probieren: die Theorie einer jeden wird hinterher erdacht; eben wie zu einer erkannten Wahrheit der Beweis.“ — ³ Man wird hier an Oken erinnert: „Keine Tätigkeit ohne Materie, aber auch keine Materie ohne Tätigkeit, beide sind eines . . . Es gibt keine tote Materie; sie ist durch ihr Sein lebendig, durch das Ewige in ihr.“ Da Schopenhauers Kraftbegriff an die „lebendige Kraft“ von Huygens und Leibniz anschleßt, mithin — anders als der Kraftbegriff bei Descartes und Newton — in der Richtung des späteren Energiebegriffes liegt, so kann man hier, wenn man will, leichte Anklänge an die spätere Energetik von Wilhelm Ostwald u. a. sehen. „Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Verminderung der freien Energie“ (W. Ostwald, Scientia 1911, 369; Der Wille und seine physische Grundlegung). — ⁴ So wendet sich Schopenhauer mit harten Worten dagegen, daß „unwissende Apotheker . . . in Kompendien, geradezu dogmatisch und ganz ernsthaft, als wüßten sie etwas davon, den Studenten vortragen: ‚die Krystallform der Körper habe ihren Grund in einer geradlinigen Anordnung der Atome‘ (Wähler, Grundriß der Chemie I. p. 3).“ — ⁵ Gustav Theodor Fechner: Über die physikalische und philosophische Atomlehre, 1. Aufl. 1855, 2. vermehrte Aufl. 1864.

Leipzig. (Ähnlich später Boltzmann) — 6 Schopenhauer scheidet zu-
treffend eine „Aetiologie der Natur“, die dem Satz vom Grunde folgt,
von einer „Metaphysik der Natur“, die sich darüber erhebt; beide
„gehen nebeneinander, denselben Gegenstand aus verschiedenen Ge-
sichtspunkten betrachtend“. Im einzelnen aber hat er dieser Scheidung,
die auch eine Verschiedenartigkeit der Denkmethoden bedingt, nicht
hinreichend Rechnung getragen. Daher kann sein Verhältnis zur Natur-
wissenschaft noch heute zwiespältig beurteilt werden; s. z. B. A. Geh-
len einerseits, B. v. Juhos andererseits in: Emge und v. Schweinichen,
Gedächtnisschrift für Arthur Schopenhauer, 1938. Berlin. — 7 In seinem
Aufsatz „Über Religion“ (Parerga und Paralipomena II; die Stelle fehlt
in Ausgabe Deussen). — 8 Vgl. Bonino: „Die Theorie der chemischen
Klassiker stellt eine erste Näherung, die quantenmechanische Methode
ein zweite und bessere Näherung dar“ (Ber. d. Chem. Ges. 71 [1938] 129).
„Mechanische Fiktionen“ dienen dazu, „die Forschung zu fördern“ (Max-
well, Boltzmann). — 9 „Physiologie ist der Gipfel gesamter Natur-
wissenschaft und ihr dunkelstes Gebiet“.

Über Robert Mayers Beziehungen zu Chemikern*

An anderer Stelle¹ ist gezeigt worden, in welchem innigem
Verhältnis Robert Mayer zur *Chemie* gestanden hat. Nicht
nur, daß chemisches Wissen und daran sich knüpfende
Überlegungen bei der Auffindung seines Satzes über die
Aquivalenz von Arbeit und Wärme und die *Erhaltung der
Energie* eine maßgebende Rolle gespielt haben, sein ganzes
naturwissenschaftliches Denken ist chemisch durchtränkt.
Es muß darum von Belang sein, der Frage nachzugehen,
wie weit R. Mayers Beziehungen zur Chemie auch persön-
liches Gepräge tragen, d. h. sich an die Bekanntschaft mit
bestimmten Vertretern der chemischen Wissenschaft knüp-
fen.

Der erste Chemiker, den Robert Mayer (1814—1878) ken-
nengelernt hat, ist sein eigener Vater, Besitzer der Heil-
bronner Apotheke „Zur Rose“, gewesen. Dazu kam noch
Roberts neun Jahre älterer Bruder Fritz, der als Gehilfe
in die väterliche Apotheke eintrat und sie später, um 1832
(schon vor des Vaters Tode 1850), übernommen hat. „Der
Vater beschäftigte sich viel mit naturwissenschaftlichen
Studien und sah es gerne, daß seine Söhne Interesse an
denselben gewannen“ (Weyrauch). Anlaß zu Fragen über
chemische Dinge wird der wißbegierige Knabe vielfach
gefunden haben, zumal es in der Apotheke auch physika-
lische und chemische Apparate, sowie anregende Bücher
verschiedenster Art gab. Sein Bruder Fritz hat ihm später-
hin geradezu als „chemisches Wörterbuch und Nachschlage-
werk“ gedient².

Schon im Vaterhause ist R. Mayer der Name Lavoisier
geläufig geworden, war doch sein für alles Neue empfäng-
licher Vater ein Verehrer des großen französischen Che-
mikers. So ist denn *Lavoisiers stöchiometrische Lehre*
schon früh in den Blickkreis des jungen R. Mayer getreten,
und auf der Hochschule zu Tübingen, wo er bei seinem
Medizinstudium auch Chemie zu treiben hatte, wird ihm
dieser Name noch vertrauter geworden sein. Sein Chemie-
lehrer war hier *Christian Gottlob Gmelin*, seit 1817 ordent-

* Chem. Ztg. 66 (1942) 4—6.

licher Professor der Chemie und Pharmazie in Tübingen, Entdecker des Ultramarins; er ist es gewesen, der dem Prüfling in Chemie die Note 1 geben konnte (1837)³.

Der Name Lavoisier spielt in den Schriften Mayers eine bedeutsame Rolle. Schon in seinem großen Aufsatz von 1845 „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel“ kommt er wiederholt auf dessen Oxydationstheorie zu sprechen. (M. I. 81, 86). In der späteren Schrift „Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme“ (1851) berichtet er über seine auf der Reede von Surabaya (Java) gemachte Entdeckung:

„Von der Theorie Lavoisiers ausgehend, nach welcher die animalische Wärme das Resultat eines Verbrennungsprozesses ist, betrachtete ich die doppelte Farbenveränderung, welche das Blut in den Haargefäßen des kleinen und großen Kreislaufes erleidet, als sinnlich wahrnehmbares Zeichen, als den sichtbaren Reflex einer mit dem Blute vor sich gehenden Oxydation.“ (M. I. 244, s. auch 276).

In der Veröffentlichung „Über das Fieber“ (1862) wird wiederum die Theorie Lavoisiers erwähnt, „welche die tierische Wärme ausschließlich als Produkt des chemischen Effekts darstellt“, (M. I. 331.) Die Schrift „Über die Bedeutung unveränderlicher Größen“ von 1870 enthält die Sätze:

„Die Chemie wurde aber erst vor hundert Jahren dadurch zu einer exakten Wissenschaft, als es Lavoisier gelang, die zwischen den verschiedenen Stoffen bestehenden, unveränderlichen Größenbeziehungen aufzufinden, welche man Mischungsgewichte und deren Kenntnis man die Stöchiometrie nennt. Lavoisier gelangte hierzu bekanntlich dadurch, daß er die Zusammensetzung des Wassers entdeckte, welches aus einem Gewichtsteil Wasserstoff und acht Gewichtsteilen Sauerstoff oder aus einem Volumteil Sauerstoffgas und zwei Volumteilen Wasserstoffgas besteht, und erst die Kenntnis dieser unveränderlichen Verhältniszahlen hat die Chemie zu dem Range einer Wissenschaft erhoben.“ (M. I. 389—390).⁴

In dem Vortrag „Über die Ernährung“ (1871) sagt R. Mayer von dem Naturgesetz der *Erhaltung des Stoffes*, daß „der unsterbliche französische Chemiker Lavoisier vor

nun hundert Jahren diesen einfachen Satz als ein für alle wägbaren Substanzen oder Materien gültiges Gesetz erkannt hat, wodurch er, wie Sie wissen, der Begründer einer neuen Wissenschaft geworden ist“. (M. I. 399).

Außer Lavoisier sind R. Mayer auch die an Erstgenannten anschließenden großen französischen Chemiker (sowie Physiker) bekannt geworden; der kurze Studienaufenthalt in Paris vom Herbst 1839 bis Februar 1840 (vor der Java-reise) hat dabei sicher mitgewirkt. Die Leistungen von Gay Lussac, Dumas, Dulong, Despretz, Laplace, Regnault und Thénard waren R. Mayer wohlbekannt. Besondere Bedeutung haben für ihn die namentlich von französischen Forschern entwickelten Gasgesetze erlangt, vor allem hinsichtlich der spezifischen Wärme; sind sie es doch gewesen, die ihm später die sicheren Unterlagen für seine Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes lieferten.

In zunehmendem Maße hat R. Mayer auch die *deutschen Chemiker* beachtet. Der Physiker und Chemiker Christian Heinrich Pfaff in Kiel, ein Vertreter der elektrochemischen Kontakttheorie, hat als Erster eine ausführliche Besprechung der grundlegenden Mayer-Schrift von 1842 „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ geliefert. (M. I. 141, II. 229 ff.) Obgleich Pfaff von seinem Standpunkt aus Mayers Lehre von der „Unzerstörlichkeit der Kraft“ voll auf zu würdigen nicht imstande war, hat R. Mayer doch die Bemühungen Pfaffs dankbar anerkannt; in seiner schon erwähnten Schrift von 1851 sucht er die Einwendungen zu entkräften, welche „von einem sehr verdienten Naturforscher“ (Pfaff ist hier nicht ausdrücklich genannt) seiner Auffassung entgegengestellt worden waren. (M. I. 257).⁵

Auffälligerweise finden sich in R. Mayers Schriften und Briefen keinerlei Hinweise auf Johann Wolfgang Döbereiner (1780—1849), Friedrich Wöhler (1800—1882) und Jakob Berzelius (1779—1848); doch ist als sicher anzunehmen, daß ihm die Schriften auch dieser großen Chemiker bekannt geworden sind. Auf Berzelius wird ihn schon sein Universitätslehrer Gmelin hingewiesen haben (siehe Anm. 3). Die starke Beachtung der *katalytischen Kraft* durch R. Mayer gibt einen hinreichenden Beweis, daß er vor allem Berzelius' berühmten Katalyseaufsatz von 1835 gekannt hat.⁶

In einem Schreiben an den Astrophysiker Friedrich Zöllner, Leipzig, vom 5. August 1873, berichtet Professor G. Hüfner, Tübingen, u. a.: „Unter den deutschen organischen Chemikern hält er Kolbe für den bedeutendsten.“ (Zöllners Wissensch. Abhandl. 1881, Bd. 4, S. 688). Ein anderer wohlbekannter Chemiker-Name begegnet uns in R. Mayers Besprechung des Buches von R. Fresenius, „Die chemische Untersuchung des Lamscheider Mineralbrunnens“ (in „Memorabilien“ 1869, wiedergegeben M. II, 430). Auch auf R. Mayers Briefwechsel mit Karl Friedrich Mohr über Kraft, chemische Affinität u. a. m. sei hingewiesen (M. II, 416 ff.).

Sehr starke und nachhaltige Beziehungen bestehen zu R. Mayers großem Zeitgenossen Justus Liebig (1803—1873). Diese Beziehungen, die sichtlich vielseitig und weitreichend sind, sollen hier in rascher Übersicht geschildert werden, und zwar mit besonderer Hervorhebung des persönlichen Momentes.

Justus Liebig gebührt der Ruhm, R. Mayers grundlegenden Aufsatz in seine „Annalen der Chemie und Pharmazie“ aufgenommen zu haben, nachdem der Physiker Poggen-dorff den vorausgehenden (noch unvollkommenen) Aufsatz von 1841 weder einer Antwort gewürdigt, noch zurück-gesandt hatte (M. I. 16 ff.). Von dem verbesserten Aufsatz sagt R. Mayer in einem Schreiben an seinen Freund Carl Baur vom 17. Juli 1842 (M. I. 133):

„Von meinem System schickte ich die ersten Grund-sätze an Liebig zur Aufnahme in seine Annalen, worauf ich die Freude hatte, daß Liebig in einem verbindlichen Schreiben mir seine vollkommene Zustimmung ausdrückte, und daß der Aufsatz alsbald, im Maiheft, erschien“ (die gleiche Mitteilung erhielt Wilhelm Griesinger, M. II. 176).⁷

Tatsächlich war Liebig aus seinen chemischen Gedanken-gängen heraus, die eine quantitative *Erhaltung des Stoffes* voraussetzten, für die Erkenntnis einer „Erhaltung der Kraft“ weit empfänglicher, als es den meisten in eng mechanistischer Denkweise befangenen Physikern jener Zeit möglich war. In seiner Abhandlung von 1845 kommt R. Mayer wiederholt auf die Leistungen von Liebig zu sprechen. So heißt es:

„Die einzige Ursache der tierischen Wärme ist ein chemischer Prozeß, *in specie* ein Oxydationsprozeß. Es ist ein großes und anerkanntes Verdienst Liebig's, die Wahr-heit dieses aus den Entdeckungen Lavoisiers resultierenden Satzes gegen erhobene Zweifel und Bedenklichkeiten sieg-reich verteidigt zu haben.“ (M. I. 81).

Im einzelnen, d. h. über die Art der Wärmeentstehung im Organismus und die in diesem waltende „Lebenskraft“, vertritt R. Mayer von Liebig teilweise abweichende An-schauungen, ja es ist sogar eine seitenlange *Polemik* ein-geschaltet. (Bei der Herausgabe seiner gesammelten Schrif-ten im Jahre 1867, unter dem Titel „Mechanik der Wärme“, hat R. Mayer jene Sätze als überflüssig gestrichen).

Wenn Liebig den großen, ihm gleichfalls angebotenen Aufsatz von 1845 nicht angenommen hat, so mögen eben angedeutete sachliche Differenzen in physiologisch-chemi-schen Fragen eine gewisse Rolle gespielt haben. Tatsäch-lich wurde das Manuskript am 6. Januar 1845 an R. Mayer zurückgeschickt, und zwar mit einem in Liebig's Auftrag verfaßten Schreiben von August Wilhelm Hofmann, dama-ligem Assistenten von Liebig (M. I. 139). Die Ablehnung wird mit Raummangel sowie mit dem angeblich „mehr physikalischen Inhalt“ begründet (das hätte für die Arbeit von 1842 eher zutreffen!).⁸

Zeitweilige sachliche Meinungsverschiedenheiten haben die gegenseitige persönliche Hochschätzung unberührt ge-lassen. In seinem Aufsatz „Über die Ernährung“ (1871) sagt R. Mayer im Anschluß an Ausführungen über die „Wurzel-ernährung der Pflanze“ (durch Zuführung von Kali, Kalk, Phosphorsäure usw.):

„Es war unserem großen Landsmann Liebig vorbehalten, diese Verhältnisse mit Klarheit zu erörtern, und er hat sich schon hierdurch ein ewiges Verdienst um die Wis-senschaft und die Menschheit erworben. Liebig ist als der eigentliche Begründer der Agrikultur-Chemie zu be-trachten“ (M. I. 405).

Andererseits ist Liebig einer der Ersten gewesen, die *Mayers* große Tat nach außen hin verkündet haben — leider zunächst nur mit geringem Erfolg.

Seinen bekannten Zyklus der Abendvorlesungen im Winter 1857 bis 1858 in München hat Liebig am 30. März

1858 mit einer Vorlesung „Über die Metamorphose der Kräfte“ beschlossen, worin durchweg Robert Mayers wissenschaftliches Verdienst erläutert und gewürdigt wird⁹. Nach einleitenden Worten über verschiedene bekannte Beobachtungen, welche eine Umwandlung der Naturkräfte ineinander zeigen, und über ältere Vorstellungen hinsichtlich einer möglichen Entstehung der Kraft aus Nichts heißt es:

„Eine richtigere Vorstellung über das Wesen der Naturkräfte, die man einem Arzte Dr. Mayer in Heilbronn verdankt, und welche jetzt eine kaum geahnte Wichtigkeit und Bedeutung gewonnen hat, brachte Licht in eine Menge unverständlicher und unerklärbarer Vorgänge. Eine Kraft, sagt Dr. Mayer, ist unzerstörlich und auch die Wirkungen sind unzerstörlich.“

Es folgt dann eine Fülle von Belegen (mit Experimenten?) nebst Schlußausführungen über die Sonne als Energiespenderin für alles organische Leben.

In einem Briefe vom 1. Dezember 1867 an seinen Freund K. Friedrich Mohr (M. II. 415) schreibt Liebig: „Wie unendlich fruchtbar ist doch das Prinzip der Erhaltung der Kraft in den Naturwissenschaften geworden“, der geistige Fortschritt erscheint ganz wunderbar.“

Das erste *persönliche Zusammentreffen* von R. Mayer und Liebig hat auf der Naturforschertagung in Karlsruhe 1858 stattgefunden. R. Mayer berichtete seiner Frau in einem Briefe vom 17. September 1858 (M. II. 477): „Vorgestern auf dem Bahnhofe in Bruchsal wurde ich von Sicherer (einem Heilbronner Arzt, d. Verf.) Liebig vorgestellt, der sehr charmant gegen mich war, und der mich gestern auch wieder beim Festessen begrüßte.“ (Auch Helmholtz, Clausius, Holtzmann hat R. Mayer damals persönlich kennengelernt.) Von der Naturforschertagung in Speyer schreibt R. Mayer seiner Frau am 18. September 1861: „Professor Schönbein kam gestern nachmittag an. Liebig ist mit seiner Frau hier; doch weiß ich nicht, ob Du Deine Rechnung gefunden hättest, wenn Du mitgegangen wärest.“ (M. II. 478). Zwischen diesen zwei Zusammenkünften wahrscheinlich liegt ein Besuch, den R. Mayer Liebig in München abgestattet hat.¹⁰

Noch inniger ist offensichtlich das Verhältnis gewesen, in welchem R. Mayer zu einem anderen großen Chemiker seiner Zeit, zu Christian Friedrich Schönbein, gestanden hat.

Schon im Herbst 1858 ist eine persönliche Bekanntschaft zwischen beiden Forschern geschlossen worden, die bald zu herzlicher Freundschaft geführt hat¹¹. Schönbein hat damals R. Mayer in Heilbronn besucht — was gäbe man darum, etwas über den Verlauf der Unterredung dieser zwei kongenialen, scharf geprägten Forscher zu wissen! Auf alle Fälle hat Schönbein von R. Mayers Art einen sehr starken und nachhaltigen Eindruck erhalten. Seinen Bemühungen ist es bald gelungen, bei der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel Mayers Ernennung zum Korrespondierenden Mitglied — Mayers erste Ehrung! — durchzusetzen. Wir führen aus Schönbeins Begleitbrief zum Diplom, vom 13. November 1858 (M. II. 355), den Hauptteil an:

„Zu allernächst muß ich Ihnen noch einmal schriftlich den wärmsten Dank ausdrücken für die so freundliche Weise, mit der Sie mich neulich in Ihr Haus aufgenommen, und für die vielen Beweise von Güte, welche Sie und Ihre liebe Frau während meines Aufenthalts in Heilbronn mir gegeben. Sie dürfen sich versichert halten, daß die verbrachten ebenso genuß- als lehrreichen Tage nicht so bald von mir vergessen werden, die Tage, welche einen so schönen Schluß meiner diesjährigen vergnüglichen Herbstferien bildeten.

Es wird kaum meiner ausdrücklichen Versicherung bedürfen, daß die hiesige Naturforschende Gesellschaft Sie einstimmig zu ihrem Mitglied ernannt hat. Leider war dies das einzige ihr zu Gebot stehende Mittel, wodurch sie bezeugen konnte, daß sie auf Ihre wissenschaftlichen Arbeiten über die Wärme einen hohen Wert legt, und ich bitte Sie im Namen des Vereins, diesen schwachen Ausdruck seiner Gesinnungen gegen Sie freundlich entgegenzunehmen. Ich hoffe zuversichtlich, daß die Zeit nahe ist, wo auch die übrige wissenschaftliche Welt Ihnen diejenige Anerkennung zollen wird, welche sie Ihnen schon längst schuldet. Ich weiß es wohl, daß der geniale Forscher wenig um den Beifall sich kümmert, den die Menge seinen Leistungen spendet; er schafft und wirkt, weil dies

seine Lust ist und er nicht anders kann. Da er aber noch kein ganzer Gott ist, ja die Götter selbst als solche anerkannt sein wollen, so kann es ihm nicht völlig gleichgültig sein, ob seine Erzeugnisse gewürdigt werden oder nicht. Auch in diesem Falle: *Suum cuique*.

Ich bin so frei, Ihrem Diplom noch eine Abhandlung beizulegen, in welcher ich darzuthun gesucht habe, daß es zwei Arten thätigen Sauerstoffs gebe¹². Vielleicht gewährt Ihnen der Gegenstand trotz seiner chemischen Natur doch einiges Interesse.“

Wie stark das von Schönbein (1839) entdeckte Ozon R. Mayer beschäftigt hat, geht aus zwei Briefstellen hervor, in denen R. Mayer fast gleichlautend auf eine vermeintliche physiologische Bedeutung des Ozons hinweist. In einem Schreiben an den Physiologen Hermann Schaaffhausen in Bonn, vom 30. Juli 1867 (M. II. 411), findet sich der gewagte Satz: „Dagegen liegt mir die Annahme nahe, daß durch die capillare Bluttätigkeit im Gehirn unter dem Kontakteinflusse des Phosphors Ozon, d. h. Sauerstoff plus latente Elektrizität, gebildet wird, und daß durch die gewonnene Elektrizität die Nervenfasern befähigt wird, dem Willen als Organ zu dienen und die Muskelfaser zur Kontraktion anzusprechen.“ Und ähnlich heißt es in einem bald darauf, am 13. Dezember 1867 geschriebenen Briefe an Moleschott in Turin (M. II. 362): „Die Rolle des Gehirnphosphors betreffend, so geht meine Ansicht dahin, daß derselbe per contactum zur Ozonbildung dient, und daß durch das auf solche Weise gewonnene elektrische Agens die Nervensubstanz befähigt wird, den Willen und die Empfindung zu leiten.“ (Es ist von psychologischem Interesse, wie der sonst so hypothesenfeindliche R. Mayer hier seiner Phantasie freien Lauf läßt; in seinen *Veröffentlichungen* finden sich allerdings dergleichen Grenzüberschreitungen kaum.) In autobiographischen Aufzeichnungen aus den siebziger Jahren nennt R. Mayer Schönbein „den unsterblichen Entdecker des Ozons“ (M. II. 388).

*

In den auf unsere Zeit gekommenen Nachrichten wird offenbar, daß R. Mayers lebhafteste Beschäftigung mit chemischen Fragen sich in einem mehr oder minder belang-

vollen Verkehr mit großen Vertretern der Chemie widerspiegelt. Auffallen aber muß, wie spärlich hier die biographischen Quellen fließen. Tatsächlich wird es kaum einen anderen unter unseren größten Naturforschern geben, mit dem liebevolle Einzelforschung sich so wenig beschäftigt hat, wie R. Mayer. Dringend zu wünschen wäre, daß Versäumtes noch nach Möglichkeit nachgeholt würde! Es kann als sicher gelten, daß dabei auch auf R. Mayers Stellung zur Chemie und zu ihren Vertretern hie und da noch neue Streiflichter fallen werden¹³.

Anmerkungen:

1 A. Mittasch, Julius Robert Mayers Stellung zur Chemie (1940). Sonderdruck aus *Angew. Chemie* 1940. S. 113. — 2 Über das Verhältnis zu seinem Bruder Fritz, sowie über dessen durch Beteiligung an den Unruhen von 1848 veranlaßte Auswanderung nach Amerika und seine spätere Rückkehr s. M. I. 17; S. 144, 229, 320, 431; sowie auch M. II. Unsere Zitate beziehen sich auf Jakob Weyrauchs zweibändige Ausgabe von R. Mayers Schriften (1893). M. I. Bd. 1: *Mechanik der Wärme*; M. II. Bd. 2: *Kleinere Schriften und Briefe*. — 3 Christian Gottlob Gmelin (1793—1860), Vetter von Leopold Gmelin, war Schüler von Vauquelin, Klaproth und Berzelius, dessen erste drei Jahresberichte über die Fortschritte der physischen Wissenschaften (bis 1824) er übersetzt hat. An seinen Freund Carl Baur schreibt R. Mayer am 12. September 1841: „An Chr. Gmelin habe ich eine mathematische Entwicklung meines Hauptgrundsatzes abgeschickt und denselben um sein Urteil gebeten; ich konnte aber natürlich keine Antwort erhalten, wahrscheinlich hat sie derselbe nach gewohnter Manier ungelesen ad acta gelegt.“ (M. II. 133). Über die Chemiker-Sippe Gmelin s. E. Pietsch, *Ber.* 1939 (A), Bd. 78. — 4 Lavoisiers Vorläufer wie Mayow, Hooke, Bathurst werden R. Mayer unbekannt geblieben sein. — 5 Es handelt sich um die Schrift: „Parallelen der chemischen Theorie und der Voltaschen Kontakttheorie der galvanischen Kette, mit besonderer Rücksicht auf die neuesten Einwürfe Faradays, Leopold Gmelins und Schönbeins gegen letztere, nebst allgemeinen Betrachtungen über das Wesen einer physischen Kraft und ihrer Tätigkeit.“ Kiel 1845. — (Bemerkenswerterweise hat auch der hier genannte große Faraday zeit seines Lebens das Prinzip von der Erhaltung der Kraft nicht anerkannt; s. G. Bugge, *Das Buch der großen Chemiker* I, 426). — 6 Siehe hierzu A. Mittasch, Robert Mayer und die Katalyse; *Chemiker-Ztg.* 1940, S. 38. Auch in der Tatsache, daß R. Mayer die chemischen Kräfte in enge Beziehung zur elektrischen Kraft bringt (s. das Schema M. I. 71), kann ein Einfluß von Berzelius gefunden werden. — 7 *Lieb. Ann.* 1842, Bd. 42, S. 233—240. — 8 J. Volhard, *Justus v. Liebig* II. Bd., 1909, S. 352, spricht die Vermutung aus, Liebig, der damals „in einem förmlichen Rattenkönig von schriftstellerischen und experimentellen Arbeiten steckte“, habe jene Abhandlung gar nicht zu Gesicht bekommen, sie sei vielmehr „von dem Annalengehilfen a limine abgewiesen worden“. (?) Völlige Klarheit über die vielmumstrittene „Lebenskraft“ ist erst durch R. Mayers Erhaltungsprinzip gewonnen worden: Als eine aus dem Nichts heraus schaffende Wirkkraft hat sie ausgeschieden, als nichtenergetische, entelechiale Trieb-, Richt- und Formkraft steht sie unerschütterlich da. Ein wesentlicher Meinungsunterschied zwischen Liebig und R. Mayer hat in der späteren Zeit hierüber nicht bestanden. Siehe auch A. Mittasch, „Katalyse und Lebenskraft“; *Umschau* 1936, S. 733. — 9 Siehe hierzu Jakob Volhard, *Justus v. Liebig* II. Bd., 1909, S. 352, sowie den Wortlaut des Zettelentwurfes für die Vorlesung faksimiliert und in Reindruck I. Bd., S. 439 ff. Der Inhalt des Vortrages wurde aufgenommen in Liebig's „Wissenschaftliche Vorträge vom Winter 1858“, Braunschweig 1858; sowie in „Chemische Briefe“ Nr. 13. Siehe auch E. v. Lippmann, *Chemiker-Ztg.* 1905, S. 341:

Abhandl. und Vorträge Bd. II, S. 460. — 10 Volhard berichtet darüber (Bd. II, S. 353): „Robert Mayer machte durchaus keinen genialen Eindruck, sondern den eines biederen Bürgers. Obwohl Liebig und die anderen Münchener Naturforscher ihm jede mögliche Aufmerksamkeit erwiesen, blieb er nur sehr kurze Zeit in München und war plötzlich, ohne sich von Liebig oder sonst wem verabschiedet zu haben, wieder verschwunden.“ Die Schilderung steht im Gegensatz zu Äußerungen anderer Männer (z. B. Rümelin, Gerok, Th. Ziegler), die Mayers glänzenden Geist und Witz nicht genug rühmen können. Eine gewisse seelische Bedrücktheit aber mag sich für R. Mayer ergeben haben, wenn er die ehren- und glanzvolle Tätigkeit seines Bruders im Geiste mit der eigenen damaligen unbefriedigenden Lage — vielfach verkannt, gemißachtet, angefeindet, verspottet — verglichen hat. „Einsam mußte der Ketzer seine Straße ziehen.“ (B. Hell). — 11 Nach Weyrauchs Angabe (M. I. 321, II. 383) waren R. Mayer und Schönbein erstmalig auf der Naturforscherversammlung in Karlsruhe zusammengetroffen (s. auch M. II. 972). — 12 Es handelt sich um den Aufsatz, „Fortgesetzte Untersuchungen über den Sauerstoff“, Poggend. Annalen 1856, Bd. 105, S. 268. — 13 Außer der verdienstvollen Arbeit von Weyrauch und zusammenfassenden Biographien (namentlich von B. Hell) liegen nur wenige Veröffentlichungen vor, die mit Dühringschem Elfer (jedoch ohne dessen Einseltigkeit) das Werk Robert Mayers bis in entlegene Ausläufer verfolgt haben. So manche wertvolle Erinnerungen sind mit dem Tode von R. Mayers Kindern auf immer verlorengegangen; einiges könnte aber wohl noch gerettet werden. Es ist leicht möglich, daß eine Neubelebung der R. Mayer-Forschung, für die bereits Ansätze vorhanden sind, neue belangreiche Aufschlüsse auch persönlicher Art bringen wird.

Die Persönlichkeit Robert Mayers

Zum 100jährigen Jubiläum des Satzes von der Erhaltung der Energie*

Das unheilvolle Jahrzehnt in Robert Mayers Leben, etwa von 1852 bis 1862: verkannt, mißgeachtet, zur Gemütskrankung geführt, weiterer Arbeitslust zunächst beraubt — hat es mit sich gebracht, daß sein Persönlichkeitsbild nicht so geschlossen der Zukunft überliefert worden ist, wie dies beispielsweise bei Helmholtz oder Liebig der Fall ist. Vielfach haben Robert Mayers Schilderer die Dissonanzen seines Lebens und die dunklen Seiten seines Wesens allzu einseitig betont, so vor allem H. v. Freitschke: „einer jener unseligen, zwischen Genie und Wahnsinn schwankenden Geister, die unter den Erfindern und Entdeckern nicht selten erscheinen“. Es wird ratsam sein, aufmerksame Zeitgenossen anzugeben, die Robert Mayer in seinen guten Tagen — die weitaus überwogen — kennen und schätzen gelernt haben.

Da ist zunächst Gustav Rümelin (1815—1889), Robert Mayers Jugendfreund, Staatsmann und Gelehrter, 1848 Abgeordneter zur Nationalversammlung in Frankfurt, Chef des Württembergischen Kultdepartements und Kanzler der Universität Tübingen. In seinen „Erinnerungen an Robert Mayer“ (Reden und Aufsätze, Neue Folge 1881, S. 350—405) berichtet er, daß er mit Mayer bis in die erste Kindheit zurück durch eine Reihe von Jahren in täglichem Verkehr zusammenlebte; „wir blieben uns für immer in treuer Zuneigung verbunden“.

Von dem Schüler Robert Mayer (im Seminar Schönthal) gibt Rümelin folgende Charakteristik: „Er war ebenso beliebt und geachtet bei den Lehrern wie bei den Mitschülern. Er gab sich stets ganz wie er war; es kam kein unwahres Wort aus seinem Munde; er hatte eine volle und freudige Anerkennung für fremde Vorzüge und trat niemandem zu nahe. Er war nach seiner Gemütsart eine anima candida zu nennen. Aber alles, was er sagte und tat, trug den Stempel der Originalität. Sein Gedankengang, der ganz logisch war, bei dem er aber die verbindenden Mittelglieder übersprang oder unausgesprochen ließ, war

* Deutsche Allgem. Zeitung, 18. Okt. 1942

stets überraschend und oft verblüffend; bis man den Faden gefunden hatte, war er wieder wo anders angekommen. Und da es an Witz und gutem Humor nicht fehlte, so war seine Unterhaltung stets ergötzlich: an Zitaten und Sentenzen aus Bibel und Gesangbuch, aus Sprichwörtern, Dichtern und alten Autoren war er unerschöpflich und wußte sie anzubringen, wo sonst kein Mensch an sie gedacht hätte. Manche sahen ihn stets verwundert und erwartungsvoll an und lachten über jedes Wort, das er sprach. Einigen war ein solches Feuerwerk von Gedankensprüngen unbehaglich.“

An dem Studenten hebt Rümelin hervor „das unaufhaltsame, einbohrende Durchdenken eines Gedankens bis in seine letzten Ausläufer — das Bedürfnis, das Warum der Dinge bis in die letzten noch erkennbaren Enden zu verfolgen, die verhängnisvolle Gabe, stets in einer Sache zu leben und die ganze Masse seiner Vorstellungen in deren ausschließlichen Dienst zu stellen, dazu die reinste und unbefangenste Wahrheitsliebe —. Er lernte alles eher aus Anschauung denn aus Büchern.“

Es ist bemerkenswert, in welch hohem Grade bestimmte Charaktereigenschaften des Mannes Robert Mayer sich schon im Jüngling gezeigt haben. Daß auch der später stark hervortretende Rechtlichkeitssinn, verbunden mit ausgesprochener Starrköpfigkeit (nach Rümelin: „ungewöhnlich tiefe und nachhaltige Erregbarkeit... starre Unbeugsamkeit des Willens“) nicht gefehlt hat, zeigt sein Verhalten, als er 1837 wegen geheimer Weiterführung des von ihm gegründeten, 1836 aber aufgelösten Corps Guestphalia in Untersuchungsarrest gesetzt wurde. Jakob Weyrauch berichtet hierüber, nach Zeugnissen von Rümelin u. a.: „Während des Arrests lehnte Mayer jede Speise ab, trank nur Wasser und klagte über Kongestionen, so daß man ihm auf Verlangen zweimal zur Ader ließ. Als er auch am sechsten Tage noch auf seiner Weigerung beharrte, wurde er aus dem Karzer in seine Wohnung gebracht, wo er drei Tage Hausarrest hatte.“

Über den Mann Robert Mayer sagt Rümelin: „Er war keineswegs unempfindlich für Ruhm und Ehre, wenn auch noch weit empfindlicher für Mißachtung und Kränkung. Aber im ganzen ist er doch den Männern beizuzählen,

die ihre Verdienste um die Menschheit mit dem Preis ihres Lebensglückes erkaufen mußten.“

Über Mayers Stellung zur Religion heißt es: „Er war ein eifriger Bibelleser und bei trefflichem Gedächtnis bibelfester als viele Theologen. Aber er legte das einzelne frei in seiner Weise aus, wobei es ohne Paradoxien und Seltsamkeiten nicht abgehen konnte. Die Idee der Autorität war für ihn eine so dominierende, daß er eine Zeitlang für eine Verschmelzung der katholischen Kirchenverfassung mit dem protestantischen Dogma geschwärmt hat.“ Frau Lissi Schleenstein in Wiesbaden, eine Enkelin Robert Mayers, teilte mit, ihr Großvater habe beim Gewahrwerden von Unstimmigkeiten und scheinbarem Widersinn in Natur und Menschenleben öfters ausgerufen: „Was bin ich froh, daß ich's nicht gemacht habe!“

Im Jahre 1844 hatte R. Mayer an seinen Freund Lang über den Tod der Mutter geschrieben: „Die feste, auf wissenschaftliches Bewußtsein gegründete, von jedem Offenbarungsglauben gereinigte Überzeugung von der persönlichen Fortdauer der Seele und von einer höheren Lenkung war mir der kräftigste Trost.“ R. Mayers letzte Worte auf dem Sterbelager an seine Tochter Emma waren: „Mein Kind, befehl dem Herrn deine Wege und hoffe auf ihn, er wird es wohl machen.“

Dem Entschlafenen hat Rümelin eine tief empfundene Grabrede gehalten. Er rühmt Robert Mayer als „einen der geistvollsten Naturforscher aller Zeiten, eine der ersten Zierden der deutschen Wissenschaft“. Weiter heißt es, daß „dieser Mann zu jenen seltenen bahnbrechenden Geistern zu rechnen ist, welche ihre Lichtfunken und befruchtenden Keime über weitentlegene Gebiete und in ferne Jahrhunderte austreuen. Der Name Robert Mayer wird in der Geschichte der Wissenschaften für alle Zukunft in ungetrübtem Lichte strahlen“.

Der Philosoph Eugen Dühring (1833—1911), der vor allem in seinem Buche „Robert Mayer, der Galilei des 19. Jahrhunderts“ (1879) geradezu fanatisch für Robert Mayer eingetreten ist (mit maßlos heftiger Bekämpfung von Helmholtz), hat am 28. Juli 1877 in Wildbad Robert Mayers Besuch empfangen. Infolge Dührings Erblindung kommt hier nur der Eindruck durch das Ohr in Betracht. Er berichtet

u. a.: „Mayer sprach den schwäbischen Volksdialekt so ungemischt und so lebendig... mit einer Fülle von volksmäßig einfachen Ausdrücken, ja selbst von Sprichwörtern. Robert Mayer gab sich einfach wie die Natur, auf die und mit der er sich ja in einem Hauptpunkt der Physik gut verstanden hatte.“

Heinrich Rohlf, medizinischer Schriftsteller (Bruder des Afrikaforschers Gerhard Rohlf), hat an Mayers Wirken und an seinem Geschick lebhaften Anteil genommen und ihn im Juni 1876 in Heilbronn besucht. In einem Berichte hierüber (Deutsches Archiv für Geschichte der Medizin und medizinische Geographie Bd. 2 (1879) S. 348 ff.) wird folgende Schilderung gegeben:

„Unsere Gespräche erstreckten sich über alle möglichen Themata. Dabei entwickelte Mayer einen blendenden Witz, einen köstlichen, oft scharfen, aber stets zugleich gutmütigen Humor und eine so einnehmende Kindlichkeit und Liebenswürdigkeit, daß ich ganz hingerissen wurde. Nach seiner Fotografie, die bereits aus dem Jahre 1866 stammte, würde ich ihn übrigens nicht erkannt haben: er war in Wirklichkeit viel älter, man hätte ihn dreist für einen Siebziger halten können. Von mittlerer Statur, frappte er durch sein geistreiches Auge. Dasselbe verriet zugleich den tiefen, forschenden, dem Wesen der Dinge nachspürenden Denker. Ein ganz eigentümlicher Blick strahlte einem aus den dunklen braunen feinen Augen entgegen. Etwas scharf Beobachtendes, tief Eindringendes, Durchbohrendes und doch Träumerisches, nach innen Gekehrtes, die Außenwelt Vergessendes und doch zugleich bei allem Ernste Schalkhaftes. Dazu gaben die dicht behaarten Brauen dem wundervollen Zauber, welcher dem Auge entquoll, etwas Melancholisches, Ernstes, geisterhaft Verklärtes. Es war mir klar, die ganze Macht seiner Persönlichkeit lag in seinem Auge, und eben dies gab nicht bloß seinem Gesicht, sondern seinem ganzen Kopf etwas ungemein Einnehmendes, Originelles, jeden Menschenkenner Hinreißendes. Betrachtete man bei ihm die einzelnen Teile seines Gesichtes, so durfte man von ihnen nicht aussagen, daß sie Anspruch auf Schönheit hätten machen können; seine Stirn stand nicht im Verhältnis zu dem unteren Teil des Gesichts, sie war zu niedrig und zu schmal, die Ohren zu lang, die Nase

an ihrer Spitze zu breit, der Mund zu groß. Und doch war der Gesamteindruck ein imponierender. Jeder Unbefangene mußte den Eindruck empfangen, daß er es hier mit einer ungewöhnlichen Persönlichkeit zu tun habe; es war, als wenn das Auge, diese Leuchte des Geistes, seinen Abglanz über alle einzelnen Teile ausstrahlte.“

Der Physiologe Wilhelm Preyer (1841—1897), Herausgeber der Schrift „Robert von Mayer, über die Erhaltung der Energie“ (1889) und Verfasser des Buches „Die Seele des Kindes“, der mit R. Mayer schon auf der Naturforscherversammlung in Gießen 1864 zusammengetroffen war, schreibt: „In der Naturforscherversammlung zu Innsbruck im Jahre 1869, wo er in der ersten allgemeinen Sitzung einen Vortrag über die mechanische Wärmetheorie hielt, fiel mir aufs neue seine außerordentliche, hier und da zu weit gehende und doch ganz ungekünstelte Bescheidenheit auf.“ (Bei dem anschließenden Ausflug nach Bozen hat Mayer, nach Pfauenders Bericht, „größte Fröhlichkeit“ gezeigt.)

Zum Schlusse eine kurze Schilderung, die eine Enkelin Robert Mayers, Frau E. Grüneberg (Köln, gest. 1938), in einer Familienchronik gegeben hat*). „In der Familiengeschichte lebt sein Bild in verklärter Erinnerung, verschönt durch viele Züge reichster Menschlichkeit. Er hatte ein gütiges Herz, das an den Seinen mit unendlicher Liebe hing, und seine Enkel bewahren ihm, in Erinnerung an glückliche Kindertage im Heilbronner Großelternhaus, ein dankbares Gedenken. Allmorgendlich führte er uns Kinder spazieren, meist nach dem etwa eine halbe Stunde entfernten Weinberg. Auf den schmalen Gartenmauern, die den Weg dorthin begrenzen, ließ er uns immer gehen, indem er jedes an der Hand hielt, und freute sich wie ein Kind mit Kindern, daß wir nicht herunterfielen. Täglich brachte er uns selbst in den Kindergarten in der Nachbarschaft und holte uns auch dort wieder ab. Abends ging er stets zu seinem Stammtisch in der Wirtschaft Sommer auf dem Kirchhöfle, die einige Häuser von der Wohnung entfernt lag; wir Enkel durften ihn dort zum Abendessen nach Hause holen und waren glücklich, wenn er uns an seinem Glas nippen ließ. An schönen Sommertagen saßen die Her-

* Zum Abdruck von ihrer Schwester Frau Lissi Schleenstein freundlichst überlassen.

ren unter den Bäumen auf dem Kirchhöfle und tranken ihr Schöppchen im Freien. — Die Großmutter war eine grundgescheite Frau, die ganz im praktischen Leben stand, ohne den Blick für das Hohe und Ewige zu verlieren; sie sorgte rührend für ihren Mann und ging auf seine Wünsche und Gedanken ein, so daß er sie den guten Engel seines Lebens nannte.“ Bis in die vierte Generation haben sich durch Überlieferung Text und Melodie eines Reimes erhalten, den R. Mayer bei guter Stimmung vor sich hinsang: „Wo i geh und wo i steh, denk i an mei Minele.“

Auf eine Harmonie der Seelen — trotz einzelner Verstimmungen — weist auch eine parapsychische Begebenheit hin: „Eines Morgens beim Aufstehen sagte meine Großmutter ihrem Mann, daß sie geträumt habe, der Postbote habe einen Brief vom Verlag Cotta gebracht, worin mitgeteilt wurde, daß eine Neuauflage seiner „Mechanischen Wärmetheorie“ nötig sei. Sie gab dann ganz genau an, welche Änderungen in der Neuauflage nötig seien und welche Wünsche Cotta für einen Neudruck habe. Während sie noch im Sprechen darüber waren, kam der Briefbote, der einen Brief von Cotta brachte, in dem fast wörtlich alles stand, was sie geträumt hatte. Unser Großvater sagte, daß er froh sei, daß seine Frau ihm vorher den Traum erzählt hätte, denn sonst hätte er es wahrscheinlich nicht geglaubt.“

Und weiter: „Über Großvaters Bett hing das Kästchen mit den selbstgeschriebenen Bibelsprüchen, von denen er sich täglich einen herausholte, und es war für uns Kinder eine große Wichtigkeit, wenn wir auch einen Spruch ziehen durften.“

Bei Robert Mayers Bestattung am 22. März 1878 hat der Vertreter des Freien deutschen Hochstiftes, Dr. Betz, seine Grabrede mit den Worten geschlossen:

„Uns bist du ein leuchtender Stern,

Ein leuchtender Führer wirst du den Kommenden sein.“

Jakob Weyrauch, der verdienstvolle Herausgeber von Robert Mayers Schriften, sagt von ihm: „Er ist nicht nur ein Bahnbrecher der Erkenntnis, ein Märtyrer der Wissenschaft, sondern auch ein Förderer des Gemeinwohls, ein charaktervoller und guter Mensch gewesen.“

Was ist uns gegenwärtig Robert Mayer?

Die Naturforscher feiern im Jahre 1942 einen hundertjährigen Gedenktag des großen Genius aus der schwäbischen Stadt Heilbronn, des Arztes, Physiologen, Chemikers, Physikers und Naturphilosophen Julius Robert Mayer (1814—1878). Was ist seine unvergängliche Leistung, und was bedeutet er uns heute noch?

1. Robert Mayer hat im Jahre 1842 als Erster für die Umwandlung (das Arbeitsverhältnis) von Wärme und Bewegung das geltende Maß, das sogenannte *mechanische Wärmeäquivalent* (1 große Kalorie = 425 Meterkilogramm) rechnerisch festgestellt. Mechanische Arbeit und Wärme stehen durchweg in diesem quantitativen Verhältnis zueinander.

Wärme, strahlende Wärme wie Körperwärme, war der Physik um 1840 eines der sonderbarsten Dinge. Nicht nur mit Windeseile, nein mit Blitzesschnelle, gleich wie das Licht von der Sonne durch „leeren Raum“ auf die Erde gelangend, benimmt sie sich oft wie ein feiner *Stoff*, der von Körper zu Körper (als „Fluidum“) übergeht; andererseits kann sie als eine Art *Bewegung* kleinster Teilchen aufgefaßt werden.

Robert Mayer erklärt die Wärme einfach als *Kraft* (nach heutigem Sprachgebrauch als „Energie“), die sich nach festem Zahlenverhältnis in andere Kräfte, vor allem in „Bewegung“ *umwandeln* kann. Auf verschlungenem Denkpfad, von der Beobachtung des bei geringerer Arbeitleistung helleren Venenblutes in den Tropen ausgehend, hat der damalige junge Schiffsarzt auf der Reede von Surabaya (Java) die entscheidende Idee gefaßt, und im Jahre 1842 ist die grundlegende kurze Schrift erschienen, in welcher R. Mayer seine Gedanken über Kraft, Arbeit, Wärme niedergelegt und die *rechnerische Ableitung des mechanischen Wärmeäquivalents* bekanntgegeben hat.¹

2. Robert Mayer ist derjenige Forscher, der zum ersten Male klare, einwandfreie Anschauungen über die „Unzerstorlichkeit der Kraft“, d. h. *Erhaltung der Naturenergie als solcher in allen Umwandlungen ihrer Formen* entwickelt hat. In seiner großen Schrift von 1845 unterscheidet

er folgende Arten von Kräften (Energien), von denen er sagt, daß sie sich sämtlich nach festen Zahlenverhältnissen ineinander „verwandeln“ können: Fallkraft (= Schwere, als eine „potentielle Energie“), Bewegung („kinetische Energie“), Wärme, Magnetismus, Elektrizität und dieser sich anschließende chemische Kräfte. (Von inneratomarer Energie, die in Radioaktivität und in experimenteller Atomumwandlung zutage tritt, konnte R. Mayer noch nichts wissen.)

„Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft!“ (1845.)

Tierische Körperwärme z. B. entsteht nach R. Mayer nicht aus dem Nichts, etwa durch zauberische Wirkung der Nerven, wie mitunter angenommen worden war, sondern sie entstammt der Oxydation verdaulicher organischer Verbindungen (Kohlehydrate, Eiweißstoffe) des Körpers, ist mithin ein Umwandlungsprodukt chemischer Energie.

Spekulationen über das eigentliche „Wesen“ dieser Kräfte (insbesondere der Wärme) lehnt R. Mayer ab. „Wärme ist latente Bewegung, Bewegung ist latente Wärme“. „Was Wärme, was Elektrizität usw. dem inneren Wesen nach sei, weiß ich nicht...“ R. Mayer wird somit (nach Leibniz) der erste Vertreter einer neueren Denkrichtung, welche den Begriff der Kraft, der Energie (nicht den anschaulichen Begriff der Bewegung) in den Mittelpunkt der Physik stellt². Hier knüpft um 1890 ein späterer *Energetismus* an, welcher vielfach Mechanismus und Atomismus auch methodisch ablehnt. Heute sind derartige Überspannungen des Energiegedankens überwunden. Bestehen bleibt aber, daß für Physik und Chemie „Energie“ und nicht „Masse“ und „Massenbewegung“ der Grundbegriff ist; die potentielle Energie (latente, geballte Kraft) z. B. eines Knallgasgemisches oder eines Sprengstoffes oder eines Akkumulators läßt sich nicht als „Bewegung“ adäquat beschreiben. Wie wir gegenwärtig wissen, gibt es unter besonderen Verhältnissen sogar eine Umwandlung von Masse in Energie und von Energie in Masse als „Äquivalenz“ (Gleichwertigkeit) höchster Art. Da für alle Umwandlungen feste Zahlenbeziehungen herrschen, so ergibt sich eine *Hochschät-*

zung des mathematischen Symbols, das nach R. Mayer jeder mechanischen Betrachtung überlegen ist: „Größenbestimmungen, Zahlenverhältnisse allein sind es, die uns den Ariadnefaden in die Hand geben. — Die angewandte Mathematik . . . ist der Anfang und das Ende für den Sternkundigen, den Techniker, den Seemann, sie ist die feste Achse aller Naturforschung.“ Jedoch weiter: „In der Physik ist die Zahl alles, in der Physiologie ist sie wenig, in der Metaphysik ist sie nichts.“

3. Kurz vor seinem Tode (1876) hat R. Mayer seinen Begriff der Erhaltung ergänzt durch den Begriff der „Auslösung“. „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft „die Auslösung“ nennt.“ Mit anderen Worten: Potentielle, latente Energien verschiedenster Art, die zunächst irgendwie gehemmt, gebremst, kompensiert sind, werden freigesetzt, verwirklicht, in Tätigkeit gerufen durch irgendeinen Anstoß, ein Agens stofflicher oder nichtstofflicher Art. Die wichtigsten Gebiete solcher Auslösung sind — abgesehen von rein mechanischer „Auslösung“ (z. B. der Bomben eines Flugzeuges) — die *Katalyse*, die physiologische *Reizwirkung* und die *Willenswirkung*. Welche ungeheure Bedeutung diese „Auslösung“ (Anstoß, Anlaß, Anregung), vielfach von bemessener oder gerichteter und wahlhaft angepaßter Art (also Steuerung, Regulierung, Führung), sowie deren Gegenstück, die Hemmung, für alles Naturgeschehen, vor allem bei den Lebewesen hat, kann hier nur kurz vermerkt werden;³ es sei an die Betätigung der Wirk- und Reizstoffe, sowie die Steuerungen des Nervensystems erinnert.

4. Der Erhaltungsgedanke und der Auslösungsgedanke zusammengenommen bilden Robert Mayers *Wirklehre*, seine Auffassung über *Kausalität*. Im Anschluß an den alten Satz „*causa aequat effectum*“ und in Übereinstimmung mit bester philosophischer Überlieferung (Leibniz) sieht R. Mayer das *Kausalprinzip* in der Natur verwirklicht in den *Energieumsetzungen* nach festen Zahlenverhältnissen (nicht in den speziellen gesetzlichen Erscheinungen des „Mechanismus“, die in Druck und Stoß, Anziehung und Abstoßung von Massepunkten und Körpern zutage

treten). *Energetische Wirkkräfte, arbeitsleistende Kräfte werden ergänzt durch nichtenergetische Trieb- und Richtkräfte* (nach Johannes Reinke „diaphysische Kräfte, Dominanten“, nach Richard Woltereck „bilanzfreie Impulse“). Als solche bestehen neben der katalytischen Kraft vor allem die Lebenskraft (die als *Wirkkraft* ausgespielt hat!) und die Willenskraft.⁴ *Die Wechselwirkung von Körper und Seele* ist unter dem Gesichtspunkt der „Auslösung“ anzusehen und bietet dann keine unüberwindlichen logischen Schwierigkeiten mehr. „Das Gehirn ist nur das Werkzeug, es ist nicht der Geist selbst. — Wir haben einen Geist zum Denken, eine Seele zum Fühlen und einen Leib zum Handeln und — Behandeln. — Der geistige Einfluß lenkt, aber er bewegt nicht“; R. Mayer vergleicht ihn mit dem Steuermann des Schiffes, der sich der Dampfkraft als arbeitender Wirkkraft bedient.

5. Die Weite und Tiefe von R. Mayers Naturanschauung offenbart sich darin, daß er im Anschluß an die Verallgemeinerung des Auslösungsgedankens⁵ neben die Begriffe Masse (Stoff) und Kraft (Energie) die Seele als ein „*geistiges Prinzip*“ der Natur stellt. Dieses herrscht, indem es die physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten der Welt nicht etwa aufhebt, sondern sie *leitet*. Vor allem im Gebiet des *organischen Lebens* tritt dieses geistige Prinzip in Erscheinung, indem es sich hier in zweckmäßiger *Gestaltung*, in *Erhöhung* und *Entwicklung* offenbart. „Nicht nur *erhalten* wird die lebende Welt, sie wächst und verschönert sich.“ Die lebende Welt ist „ein Reich der Zweckmäßigkeit und Schönheit, ein Reich des Fortschrittes und der Freiheit“.

6. Wie aus dem Bisherigen hervorgeht, erscheint Robert Mayers Art des Denkens vorbildlich für den Typ strenger Naturforschung, der, von sicherem, möglichst mathematisch begründetem Wissen ausgehend, nach *Erkennung allgemeiner Zusammenhänge* strebt, wobei auch Fragen nach Sinn und Zweck nicht gescheut werden. Schließlich gilt: „Kraft ist: Alles . . .“. Das Erhaltungsgesetz ist nach R. Mayer „eine naturgemäße Grundlage für die Physik, Chemie, Physiologie und Philosophie!“ Allerdings: „Der Urgrund der Dinge ist ein dem Menschenverstand ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit. — Die ewige Vernunft

möchte ich mir nicht getrauen, mit kritischem Maßstabe ausmessen zu wollen. — Wir wissen auch, daß die Natur in ihrer einfachen Wahrheit größer und herrlicher ist, als jedes Gebild von Menschenhand und als alle Illusionen des erschaffenen Geistes. — Und es mögen die Lebenserscheinungen einer wundervollen Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen; nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie, in der Harmonie nur liegt das Leben.“

7. Was Robert Mayer besonders verehrungswürdig macht, das sind seine hervorragenden *Charaktereigenschaften*, unter denen bis zu Starrköpfigkeit gehende Willensstärke und Beharrlichkeit, sowie ein ausgeprägter Sinn für Recht und Billigkeit besonders hervorstechen⁶. „Da muß man mit der Katze durch den Bach“, war einer seiner Lieblingsausprüche. „Seine Neigung zu feiner und scharfer Satire vertrat sich ohne Widerspruch mit einem warmen Herzen“, sagt sein Studienfreund Carl Baur. Ihn zierten Natursinn, menschliche Güte und hohes Gemeingefühl.

Es ist Robert Mayer bei seiner angeborenen Neigung zu heftigen Gemütsausbrüchen schwer genug gemacht worden, durch alle Widerwärtigkeiten seines Daseins eine feste Haltung zu bewahren. Von der Größe seiner wissenschaftlichen Leistung überzeugt, hat er durch zwei Jahrzehnte in den Kreisen der Wissenschaft fast nur Ablehnung, Verkennung, Mißachtung und Anfeindung erfahren. „Einsam mußte der Ketzler seine Straße ziehen“ (Hell).

Auch bei seinen Angehörigen fand er nicht durchweg vollen Rückhalt, dem Kleinbürgertum der Stadt Heilbronn galt er als „Hochnaus“ und „Rappelmayer“. In den Jahren 1851—52, als hochgradige Nervenregung zu Zusammenbrüchen führte, steigerte sich die Schicksalsungunst zum wahren Martyrium: In den Heilanstalten Göppingen und Winnenthal wurde er als Größenwahnsinniger behandelt, mit Zwangsjacke und Zwangsstuhl; in das Schrifttum ging die Behauptung ein, er sei im Irrenhause gestorben. Erst in den sechziger Jahren kam eine rasch wachsende Woge wohltuender Anerkennung, die ihm Kraft zu neuen Arbeiten von bleibender Bedeutung (vor allem der Auslösungsschrift von 1876) gegeben hat.

8. Robert Mayers Bild wäre unvollständig, wenn man nicht schließlich auch seine tiefreligiöse Grundeinstellung würdigte. In konfessionell-kirchlichem Sinne herangewachsen, tätigem Christentum sein Leben lang zugetan, hat er sich immer mehr zu freiem Denken und zu religiöser Duldsamkeit durchgerungen, wie sie besonders deutlich in einem Briefe an den bekannten „materialistischen“ Professor Moleschott in Turin vom 13. Dezember 1867 hervortritt. Es heißt daselbst: „Ihnen vor allem gebührt das große und bleibende Verdienst, den Satz siegreich verteidigt zu haben, daß wissenschaftliche Gegenstände und Forschungen nicht mit religiösen Dogmen oder gar kirchlichen Fragen vermischt werden dürfen, und wenn wir vielleicht... auf dem supranaturalen Gebiet nicht in allen Punkten harmonieren, so wundere ich mich darüber um so weniger, als ich in dieser Hinsicht, trotz der 53 Jahre, die ich nun auf dem Rücken habe, mit mir selbst nicht einmal ganz ins Reine kommen konnte... Immerhin werden wir uns selbst das Zeugnis geben können, und die Geschichte wird uns dasselbe nicht versagen, daß wir als redliche Arbeiter der Wahrheit nachgestrebt und dieselbe nach Kräften auch gefördert haben. Jeden aber, der zu denken wagt, auf den Scheiterhaufen führen zu wollen, dürfte zu unserm Glücke schon aus ökonomischen Gründen nicht rätlich erscheinen.“ Und ferner lesen wir (1866): „Immerhin ist es aber leichter, den Aberglauben mit Gründen zu bekämpfen, als denselben in der eigenen Brust auszurotten, und schwierig ist es oft, den Wahn zu bekämpfen, ohne den Glauben zu verlieren.“ —

R. Mayers Freund Schönbein in Basel hatte am 13. November 1858 (bei Übersendung des Diploms der Ernennung zum korrespondierenden Mitglied der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel — Mayers erster Auszeichnung!) geschrieben: „Ich hoffe zuversichtlich, daß die Zeit nahe sei, wo auch die übrige wissenschaftliche Welt Ihnen diejenige Anerkennung zollen wird, welche sie Ihnen schon längst schuldet!“ Die ganze Größe von R. Mayer hat erst die Nachwelt voll erkannt; er ist und bleibt einer der tiefsten naturwissenschaftlichen Denker und dazu ein Vorbild wahrhaft humaner Art: obenan steht ihm der Wille zu wertvollem Werk, zum Wohle des Ganzen!⁷

Anmerkungen:

1 Umfangreiche Versuche unmittelbarer experimenteller Feststellung der Wärmezahl hat in den gleichen Jahren J. Pr. Joule in England ausgeführt, eine mechanisch-mathematische Darstellung der „Erhaltung der Kraft“ hat H. Helmholtz 1847 gegeben. (Heutiger Wert = 427 Meterkilogramm). — 2 S. hierzu A. Mittasch, Einhundert Jahre Energetik. Kraftstoff 1940, 267. — 3 S. hierzu A. Mittasch, Auslösungskausalität, ein vergessenes Kapitel Robert Mayer? Umschau 1939, 1114; Robert Mayers Begriff der Naturkausalität mit Beziehung auf Arthur Schopenhauers Kausallehre, Naturwiss. 1940, 193. — 4 Aus obigem ergibt sich ohne weiteres, wie R. Mayer über die vermeintliche „Akausalität“ (Ursachlosigkeit) speziell im Mikrogesehen, wie sie noch immer vielfach behauptet wird, urteilen würde. Das ist Amechanität, keineswegs aber Akausalität. — 5 Noch E. Du Bois-Reymond (1848) hatte sich auf die rein mechanische Auslegung der Auslösungserscheinung beschränkt. — 6 Wie sehr diese Eigenschaften schon dem jungen R. Mayer anhafteten, dafür folgendes Beispiel: Weil er sich trotz des Verbotes von Studentenverbindungen weiterhin in der „Guestphalia“ betätigte, war der junge Mayer in Tübingen mit Karzer belegt worden. „Während des Arrestes lehnte Mayer jede Speise ab, trank nur Wasser (J. Weyrauch), so daß man ihn unter Verfügung von drei Tagen Hausarrest am sechsten Tage in die elterliche Wohnung entließ. Im Gespräch zeigte er „Schnelligkeit und Leichtigkeit der Wendungen, sowie eine Fülle von volkstümlich einfachen Ausdrücken, ja selbst von Sprichwörtern. Er sprach den schwäbischen Volksdialekt so ungemischt und lebendig“ (Dürring). — 7 B. Hell, Robert Mayer und das Gesetz von der Erhaltung der Energie, 1925.

Was hat Robert Mayers Kausallehre dem Juristen zu bieten?

Es ist nur wenig bekannt, daß der schwäbische Arzt Dr. Julius Robert Mayer (1814—1878), dessen Aufstellung des Satzes von der *Erhaltung der Energie* (von ihm „Kraft“ genannt, 1842) demnächst in der Kulturwelt gefeiert werden wird, auch Urheber einer *Kausallehre* ist, die über die Schranken der Naturwissenschaft hinaus bis in das Gebiet der Geistes- und Sozialwissenschaften vorzudringen vermag¹.

I. Robert Mayers Scheidung von Erhaltungsursache (Äquivalenzursache) und Anstoßursache

Als Robert Mayer sein Gesetz von der „Unzerstörbarkeit der Kraft“ aufstellte, verallgemeinerte er die Vorstellung von Leibniz, Huygens u. a., daß in den Umwandlungen von „lebendiger Kraft“ (später kinetische Energie genannt) in „tote“, latente Kraft (Spannkraft, später potentielle Energie genannt) und umgekehrt *genaue Maßbeziehungen* bestehen, die bei Wahl passender Umwandlungsfaktoren zu Gleichheitsbeziehungen werden können. Es heißt z. B. bei R. Mayer: „Fallkraft und Bewegung sind Kräfte, die sich zueinander verhalten wie Ursache und Wirkung, Kräfte, die ineinander übergehen“ (M. I. 24). Auch „die Wärme ist eine Kraft; sie läßt sich in mechanischen Effekt verwandeln“ (M. I. 51), und dasselbe gilt für magnetische, elektrische, chemische und sonstige Kraft. „Kräfte sind Ursachen. Mithin findet auf dieselben volle Anwendung der Grundsatz: *causa aequat effectum*. Kräfte sind also: unzerstörliche, wandelbare, imponderable Objekte“ (M. I. 23). Verschwindet in der Natur irgendein bestimmter Betrag Energie (etwa mechanische), so steht fest, daß dafür ein *äquivalenter* Betrag thermischer, elektrischer oder sonstiger Energie als Wirkung jener Ursache entstanden ist. Neben den Stoffäquivalenten, die für chemische Umsetzung schon Lavoisier u. a. festgestellt hatten, bilden Kraftäquivalente, besser Arbeits- oder Energieäquivalente, die *Grundlage der logischen Relation Ursache — Wirkung*. Der Begriff Ursache — Wirkung geht also nach

¹ Archiv f. Rechts- u. Sozial-Philosophie 33 (1940) 236—249. Mit einem Nachwort von Karl Engisch S. 250—252.

R. Mayer in dem Prinzip der Erhaltung des Stoffes (der Materie) einerseits, der Energie andererseits zunächst vollkommen auf.

Nun ist jedoch dieses Energiegesetz, oder anders betrachtet „Kausalgesetz“ ein bloßes *Rahmengesetz*, gewissermaßen lediglich eine Vorschrift für reellen Geldwechsel im Energieverkehr. Was diesen „Geldverkehr“ oder Energieverkehr veranlaßt oder anstößt und welcher Sinn darin liegt, darüber sagt das Gesetz nichts aus. Demgemäß hat R. Mayer sehr bald das Bedürfnis empfunden, seiner „Erhaltungsursache“ eine Veranlassungs- oder Anstoßursache, seinen Erhaltungskräften nichtenergetische Anstoßkräfte, seiner Erhaltungskausalität (E.K.) eine „Auslösungskausalität“ (A.K.) hinzuzugesellen.

Diese Zwiefältigkeit „Erhaltungsursache“ und „Anstoßursache“ (von Mayer in der Regel als „Auslösung“ bezeichnet) findet sich schon in dem alltäglichen Sprachgebrauch. Man spricht von Ursache und Wirkung, wenn ein fallender Stein eine Porzellanvase zertrümmert, oder wenn ein Beilhieb einen Holzklotz spaltet; hier besteht volle energetische Äquivalenz, d. h. Proportionalität zwischen dem Betrag der Ursache und der Größe der Wirkung. Andererseits aber: „Der Funke entzündet das Pulver, die Mine fliegt auf“. Auch hier sagt man: „Der Funke a ist die Ursache der Pulverexplosion b“ (M. II. 222; 1844), obgleich doch der schwache Funke und die gewaltige Explosion offensichtlich in quantitativem Mißverhältnis zueinander stehen.

Derartige Gedankengänge haben R. Mayer dauernd stark beschäftigt. Im Jahre 1876, zwei Jahre vor seinem Tode, hat er einen damals wenig beachteten Aufsatz „Über Auslösung“ veröffentlicht, der seine endgültigen Anschauungen über den Dualismus von „Erhaltungsursache“ und bloßer „Anstoßursache“ wiedergibt. Der kurze Aufsatz (M. I. 440—446) beginnt: „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft ‚die Auslösung‘ nennt“ (M. I. 440)². Als Beispiele führt R. M. hier und an anderen Stellen an: die Entfesselung einer herabstürzenden Lawine „durch einen Windstoß oder den Flügelschlag eines Vogels“ (M. I. 104),

die Entzündung von Knallgas „durch Wärme oder einen elektrischen Funken, oder durch Platinschwarz“, das Abfeuern eines Gewehres u. a. m. Es handelt sich durchweg um Vorgänge, bei denen „die Ursache der Wirkung nicht nur nicht gleich oder proportional ist, sondern wo überhaupt zwischen Ursache und Wirkung gar keine quantitative Beziehung besteht, vielmehr in der Regel die Ursache der Wirkung gegenüber eine verschwindend kleine Größe zu nennen ist“ (M. I. 441). „Die zahllosen Auslösungsprozesse haben nun das unterscheidende Merkmal gemein, daß bei denselben nicht mehr nach Einheiten zu zählen ist, mithin die Auslösung überhaupt kein Gegenstand für die Mathematik ist. — Die Auslösungen spielen nicht nur in der anorganischen Natur . . . , sondern auch in der lebenden Welt, und namentlich also in der Physiologie und Psychologie, eine große und wichtige Rolle“. So werden Muskelbewegungen durch den motorischen Nerv ausgelöst; diese Nervenerregung wird wiederum durch die Betätigung des Willens angestoßen oder ausgelöst. Es wird nämlich der Wille, „freilich auf eine völlig rätselhafte und unbegreifliche Weise, durch die Bewegungsnerven zu den entsprechenden Muskeln geleitet, und auf diese Weise erfolgt sofort die Auslösung, die gewünschte Aktion“. Jede Auslösung, jede bloße Veranlassung aber setzt das Vorhandensein irgendwie gehemmter, gehinderter, gefesselter, blockierter, gesperrter, latenter Energie voraus, als „gespannte Feder“ oder „geladene Leydener Flasche“, die nunmehr entspannt, entfesselt, entladen wird; die Potenz wird zum Akt.

II. Wesen und Bedeutung der Erhaltungskausalität (E. K.)

Wenn nach R. Mayer Erhaltung des Stoffes und Erhaltung der Energie unter den Begriff der E.K. fallen, so war ihm doch weiter bewußt, daß es daneben noch andere Erhaltungen, Gleichbleibungen und Umwandlungs-Äquivalenzen in der Natur gibt. Dieser Gedanke ist sehr entwicklungsfähig. Tatsächlich sind Erhaltung des Stoffes und der Energie nicht die einzigen, sondern nur die *allgemeinsten* Erhaltungen, Erhaltungen übrigens, die nach unseren heutigen Kenntnissen unter extremen Bedingungen in eine einzige universelle Erhaltung übergehen. Hier-

nach steht auch der „Stoff“, die Materie, in einer Äquivalenzbeziehung zur Energie, er erscheint gewissermaßen als Zusammenballung ungeheurer atomarer, ja subatomarer Energien, die bei Vorgängen wie radioaktiven Umwandlungen teilweise frei werden; Masse „verwandelt“ sich dann in Energie; oder auch umgekehrt: ein energiereiches Lichtquant (Photon) kann in ein Elektron-Positron-Pärchen, also in Ruhmasse übergehen.

Im einzelnen kennt die Wissenschaft *zahllose Erhaltungen, Beharrungen, Gleichbleibungen* untergeordneter und beschränkter Art, beschränkt auch hinsichtlich der Zeitdauer ihrer Beharrung; und zu konkreten Erhaltungen kommen formale und abstrakte Beharrungen, Invarianzen u. dgl. Die Physik hat zahlreiche numerische Konstanten ermittelt, mit denen sie nun dauernd arbeitet, wie die sogenannte Gaskonstante R, das elementare Wirkungsquantum h nach Planck und die Feinstrukturkonstante nach Sommerfeld; und sie sucht dauernd neue Konstanten zu gewinnen, bis zu allgemeinsten „Weltkonstanten“. Die Chemie kennt Erhaltungen des Atoms, der Molekel, des Kristalls, des Körpers, wobei indes diese Erhaltungen um so unsicherer und bedingter werden, je komplizierter das Gebilde ist. Physiologie und Biologie reden z. B. von Erhaltung der Blutgruppenstoffe, der Enzyme, des Körperplasmas, der Gewebe und Organe, des Individuums, der Rasse und Art, summarisch von Erhaltung des Lebens. Für die Psychologie bildet die Erhaltung der individuellen Vorstellungen und Begriffe als Gedächtnis (für die Zwecke der Erinnerung) die Grundlage des seelisch-geistigen Lebens. Die Geschichte kennt — als Gegenstück zu dem mechanischen Trägheitsgesetz — konservative Kräfte, Beharrungstendenzen, denen impulsive revolutionäre Tendenzen als neue Anstoß- und Auslösungsursachen gegenüber treten. Immer und überall, wo in der Welt etwas Neues geschieht, vermöge einer Wechselwirkung der Dinge „im Alleinen“ (Lotze), da haben irgendwelche Anstoßursachen als Auslösungen gewirkt; zugleich aber gibt es in jedem Wechsel, in jeder Umsetzung und Entwicklung irgendwelche Beharrungen realer und formaler Art. Sogar in einem Zerstörungsgeschehen, wie z. B. einer Überschwemmungskatastrophe, findet der Naturwissenschaftler

Erhaltungen und Äquivalenzen bestimmter realer und formaler Art, selbst wenn dabei hohe und höchste „Werte“ verlorengegangen sind.

III. Katalyse und Willensbetätigung als die reinsten Fälle der Anstoß- oder Auslösungskausalität (A. K.)

In der Regel ist ein Anstoß, eine Auslösung zugleich eine gewisse *Energiemitteilung und -übertragung*, und sei dieser Anstoß auch nur der Windhauch, der die auf einer Spitze schwebende Metallkugel herabweht; in der Zertrümmerung eines Glasgefäßes, von der fallenden Kugel verursacht, spielt jener Windhauch quantitativ keine Rolle mehr. Ähnlich ist es beim Öffnen eines Hahnes oder einer Schleuse, bei der Ankurbelung einer Maschine, der Einschaltung des elektrischen Stromes, der Auslösung einer Bombe aus dem Flugzeug, der zündenden Wirkung des Blitzes, der Reizung eines Nerven usw.

Es sind jedoch zwei Gruppen von Tatbeständen bekannt, bei welchen der Anstoß, die Veranlassung, statt energetisch gering und „unbedeutend“ zu sein, aus der *energetischen Gesamtgleichung des Vorganges vollkommen herausfällt: Katalyse und Willenswirkung*³. Die auslösende und steuernde Kraft des zielsetzenden Willens hat, wie schon R. Mayer erkannt hat, mit eigentlich energetischer, d. h. Arbeit leistender Kraft nichts zu tun; in seiner Tabelle der Naturkräfte wird Willenskraft, die geistige Kraft (ebenso die Lebenskraft) nicht mit aufgeführt. Das physische Gegenstück der Willensbetätigung aber ist der Vorgang der *Katalyse*. Schon R. Mayer hat beide Erscheinungen einander nahe gebracht, indem er sie (neben der physiologischen Reizwirkung) der „Auslösung“ unterordnete. Katalyse und Willensbetätigung stimmen aber darin vollkommen überein, daß bei beiden Vorgängen das anstoßende und auslösende Etwas *energetisch gleich Null* gesetzt werden kann.

Um was handelt es sich bei der so hochbedeutsamen Tatsache der Katalyse? *Katalyse* als die Hervorrufung oder Beschleunigung bestimmter, an sich energetisch zugelassener stofflicher Umsetzungen durch die Gegenwart eines geeigneten spezifischen Fremdkörpers als Vermittler, ist nur darum möglich, weil die chemischen Gebilde

der Natur vielfach zeitliche Verzögerungen oder ein „Verhaltens-Verhalten“ aufweisen. Es bestehen chemische Widerstände, chemische Trägheiten, chemische Blockierungen und Fesselungen, die sich z. B. darin äußern, daß Knallgas oder Dynamit trotz seiner quantitativ hohen Arbeitsfähigkeit, seiner starken, latenten oder potentiellen Energie, aufbewahrt, gelagert werden kann; die Verwandtschaften „schlummern“, um einen Ausdruck von Berzelius zu gebrauchen; sie können aber erweckt und in Freiheit gesetzt werden. So wird Knallgas z. B. durch das Heranbringen eines Stückchens Platinschwamm als Katalysator entzündet: die Potenz wird freigelegt und verwirklicht sich im Akt. Nur wenn „Bereitschaft“ neben spezifischer Resonanz vorhanden ist, kann der Katalysator „zureden“, „kuppeln“, „einleiten“, „vermitteln“; und er ist ein selbstloser Vermittler, getreu altruistischem Grundsatz: Alles für andere!

Wir nehmen ein besonders anschauliches Beispiel: Im Handel gibt es ein kleines katalytisches Feuerzeug: In einem winzigen Blechbehälter befindet sich Watte, die mit Methylalkohol getränkt ist; angeschlossen ist ein herausziehbares und hineinsteckbares „Stäbchen“ mit einer Zündpille aus Platin. Bringt man dieses Stäbchen in den Gasraum oberhalb der getränkten Watte, indem Luft ungehindert Zutreten kann, so fängt die Pille zu glühen an, und der Alkoholdampf entzündet sich an der Luft. Das Spiel kann nach dem Auslöschen beliebig wiederholt werden, solange noch Dampf nachgeliefert wird; *die Platinpille bleibt dabei äußerlich unverändert*, sie wirkt rein katalytisch, lediglich durch Berührung, durch Kontakt.

Es ist allgemein bekannt, daß derartige Katalyse sowohl in der chemischen Technik, wie auch im lebenden Körper (hier als Ferment- oder Enzymwirkung u. dgl.) eine hochbedeutsame Rolle spielt. Dabei kann diese Wirkung sich je nach der Lage der Dinge verschieden äußern, entweder in der bloßen „Hervorrufung“ oder „Beschleunigung“ eines bestimmten Vorganges, oder, sofern für das chemische System *verschiedene Möglichkeiten* des Reagierens bestehen, in einer bestimmten „Auswahl“ unter den möglichen Reaktionen, also in einem Lenken, Richten, Steuern, Dirigieren, Regulieren. Das bekannteste technische Bei-

spiel gibt das System Kohlenoxyd-Wasserstoff, aus welchem je nach der Wahl des Katalysators und den Arbeitsbedingungen *verschiedene* wertvolle Verbindungen mit geringerem Betrage an freier Energie entstehen können: entweder Methan oder flüssige Kohlenwasserstoffe oder Methylalkohol usw. Derartige *Richtunggebung und Lenkung ist das hervorstechende Merkmal der Enzyme*, die in jedem Lebewesen zusammen mit Hormonen, Vitaminen u. dgl. die Möglichkeit eines geordneten Stoffwechsels samt geordneten Bewegungen und Handlungen geben. Stellt der Organismus in bezug auf seinen Vorrat an freien Energien gewissermaßen eine Leydener Flasche mit gewaltigen Kapazitäten dar, so ist er doch eine Über-Leydener-Flasche insofern, als dauernd die verschiedenartigsten Teilentladungen durch Anstoß und Auslösung geordnet vor sich gehen, Entladungen, die zu ihrer steten Erneuerung und Wiederholung ein regelmäßiges „Nachladen“ erfordern; dieses geschieht durch Ernährung und Atmung als „Assimilation“.

Energetische Entladungen mannigfachster Art, genauer selbständige sowie gekoppelte Vorgänge, die einen Verbrauch freier Energie darstellen, finden im „Stoffwechsel“ des werdenden sowie des gewordenen Organismus dauernd statt, und zwar unter Wahrung des Satzes der Erhaltung von Stoff und Energie. Der großen Gruppe der „unwillkürlichen“, d. h. ganz von selbst, und zwar auch im Schlafe, im Zustand der Bewußtlosigkeit stattfindenden Vorgänge steht die Gruppe derjenigen energetischen Entladungen gegenüber, die der Herrschaft eines Oberen gehorchen, d. h. dem Gebot des Willens untertan sind, also vor allem die *willkürlichen Muskelbewegungen*. Hier kommt die von Schopenhauer der zentripetalen physiologischen Reizwirkung an die Seite gestellte zentrifugal gerichtete *psychische Motivwirkung* oder „*Motivation*“ zur Geltung. Wäre ihm die Katalyse bekannt gewesen, so würde Schopenhauer auch diese als eine solche Form der Kausalität bezeichnet haben, bei der in gleicher Weise wie bei Reizkausalität und psychischer Kausalität eine ausgesprochene „Inkommensurabilität“ zwischen Ursache und Wirkung besteht. „Im Motiv... hat jene Heterogenität

zwischen Ursache und Wirkung... den höchsten Grad erreicht.“ — „Der Stein muß gestoßen werden; der Mensch gehorcht einem Blick“^d.

IV. Analogie von katalytischer Verursachung und bewusster Willensbetätigung

Kann wirklich zwischen „Katalyse“ und „Wollen“ eine Ähnlichkeit, d. h. eine in gewisser Hinsicht bestehende formale Übereinstimmung gefunden werden? Sind es doch anscheinend grundverschiedene Dinge; hier das Wirken eines körperlichen Etwas, das im wahren Sinne des Wortes „begriffen“ werden kann; dort das Walten eines nicht sichtbaren geheimen Kommandos, das mit ichbewußten Signalen aus dem Psychischen in das Körperliche hinüber wirkt und von da wiederum Rückwirkungen erfährt! (Die Wirkung unbewußten oder unterbewußten Wollens, das von der Tiefenpsychologie gelehrt wird, lassen wir hier aus dem Spiele.)

Die *Analogie zwischen katalytischer Bewirkung (Auslösung) und Willensbewirkung* läßt sich folgendermaßen durchführen:

1. *Bestimmender Katalysator sowie zielsetzender Wille leisten energetisch gesehen keinerlei Arbeit*. Der Katalysator kann nicht zaubern, er kann keine Wunder der *Erzeugung von Energie* tun, er kann nur an sich mögliche Energieumwandlungen veranlassen, er kann in das thermodynamisch oder elektrodynamisch bestimmte, aber zeitlich und oft auch richtungsmäßig unbestimmte Energiegetriebe erweckend, beschleunigend und richtend eingreifen, indem er Widerstände beseitigt und neue bequemere Wege eröffnet. Von bestehenden „Ungleichgewichten“ führt so der Katalysator das chemische System bestimmten Gleichgewichten entgegen, unter Abfall der disponiblen freien Energie; man denke an die katalytische Wasserbildung aus Knallgas und an den Vergleich mit der Leydener Flasche samt ihrer potentiellen Energie.

Die *Parallele mit dem Willen* ist leicht gegeben. Auch er ist keine energetische bewegende Kraft, sondern eine nichtenergetische Richt- und Formkraft, also eine „Kraft zweiter Hand“ nach Lotze, eine diaphysische Kraft nach J. Reinke, eine „Oberkraft“, welche Impulse gibt, die in

den physiologisch-chemischen Stoff- und Energiegleichungen der Umsetzung nicht erscheinen, insofern also „bilanzfreie Impulse“ sind⁵. „Willensenergie“ — gleichwie geistige Energie — ist mithin nicht „Energie“ im physikalisch definierten Sinne des Wortes. Der Wille betätigt sich vielmehr nur lenkend und zielsetzend in dem Getriebe der Welt, die *Transformation der physischen Energie regelnd* und wahlhaft oder willkürlich ordnend, mitunter wohl auch unzweckmäßig gebrauchend und ordnend. Daher Wilhelm Ostwalds energetischer Imperativ: „Vergeude keine Energie, sondern nutze sie!“ Als rein *psychische Gegebenheit* angesehen, steht jeder Willensakt außerhalb der energetischen Geschehensgleichungen, die man für seine *physischen* Auswirkungen aufstellen kann“.

Der Wille ist, um ein Bild von R. Mayer zu gebrauchen, dem Steuermann gleich, der das Schiff durch die Wogen leitet. „Dem Willen des Steuermannes und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfbootes. Der geistige Einfluß aber, ohne welchen das Schiff sich nicht in Gang setzen, oder am nächsten Riff zerschellen würde, er lenkt, aber er bewegt nicht; zur Fortbewegung bedarf es einer physischen Kraft, der Steinkohlen, und ohne diese bleibt das Schiff, auch beim stärksten Willen seiner Lenker, tot“ (M. I. 87).

In Nietzsches „Fröhliche Wissenschaft“ (2. Aufl. 1887) findet man Sätze, die unmittelbar wie eine Fortsetzung solcher Gedanken anmuten: „Zwei Arten Ursachen, die man verwechselt. Das erscheint mir als einer meiner wesentlichsten Schritte und Fortschritte: ich lernte die Ursache des Handelns unterscheiden von der Ursache des So-und-So-Handelns, des In-dieser-Richtung-, Auf-dieses-Ziel-hin-Handelns. Die erste Art ist ein Quantum von aufgetauter Kraft, welches darauf wartet, irgendwie, irgendwozu verbraucht zu werden; die zweite ist dagegen etwas, an dieser Kraft gemessen, ganz Unbedeutendes, ein kleiner Zufall zumeist, gemäß dem jenes Quantum sich nunmehr auf eine und bestimmte Weise ‚auslöst‘; das Streichholz im Verhältnis zur Pulvertonne, — ‚treibende Kraft‘ gegen ‚dirigierende Kraft‘, man hat dabei den Steuermann und den Dampf verwechselt“.

2. Der Katalysator zeigt gleich wie der Wille typische Dauerwirkung, ohne selbst dabei quantitativ etwas zu verlieren oder zu gewinnen.

Eine Platinzündpille kann — Fernbleiben von Störungen vorausgesetzt — wiederholt, ja im Idealfalle unbegrenzt lange zur Zündung, zur „Auslösung“ dienen, und ähnlich ist es bei zahlreichen Katalysen der Technik (Schwefelsäure-Kontaktprozeß, Ammoniaksynthese und so weiter), sowie, mit der durch die labile Beschaffenheit organischer Verbindungen gebotenen Einschränkung, auch bei der biokatalytischen Betätigung der organischen Enzyme. Tatsächlich eröffnet die Katalyse die Aussicht auf die Möglichkeit eines unendlichen Wirkens *durch bloße Gegenwart*. Nicht daß der Katalysator *ganz unbeteiligt* wäre und *tatsächlich* durch seine bloße Gegenwart, durch sein Zugewesen magisch, nach Art eines Dämons wirkte. Wie schon z. B. die allmähliche Aufrauung und Verstäubung von katalysierendem Platin im Gebrauch zeigt, und wie eindringliche wissenschaftliche Analyse bestätigt, ist *jeder Katalysator in jedem Falle irgendwie aktiv*; schon die Tatsache, daß für ein bestimmtes Substrat nur ganz bestimmte Stoffe als Katalysator tauglich sind, ein bestimmter Stoff wiederum nur bestimmte Vorgänge „beschleunigen“ oder in eine spezifische Richtung lenken kann, zeugt von einer, wenn auch *geheimen Mitwirkung*). Im großen und ganzen aber geht der Katalysator aus seinen Abenteuern unverändert hervor, und er wird es nie müde, das gleiche Abenteuer von neuem zu beginnen.

Und wie steht es bei der Willensbetätigung? Wird der Wille an sich geringer, wenn er eine Stunde, einen Tag, ein Jahr wirksam gewesen ist, und kann nicht aus dem schwächlichsten Körper noch ein „eiserner Wille“ zündend und umgestaltend in die Außenwelt überspringen?

3. Katalysatorwirkung wie Willensbetätigung lassen sich unter dem Gesichtspunkt einer „Kausalität von oben“ betrachten.

Richtkräfte, Kräfte zweiter Hand sind „Oberkräfte, Dominanten“ nach J. Reinke, die für das Naturgeschehen ebenso unentbehrlich sind wie die Energien. „Die Welt be-

steht aus Energien und Dominanten... In der Verbindung der Dominanten mit den Energien enthüllt sich uns eine Durchgeistigung der Natur“ (J. Reinke).

Wie in biologischer *Kausalitäts-Rangordnung* der Wille als „Kausalität von oben“ mit dem rein chemisch-physiologischen Getriebe als einer „Kausalität von unten“ konkurriert, und wie hierbei seine Macht groß, jedoch nicht unbeschränkt ist, das zeigen z. B. Leistungsgrenzen bei Körperanstrengung oder bei Beherrschung bestimmter Muskel- oder Drüsenfunktionen, sowie die Schwierigkeiten der Selbstbeherrschung gegenüber niederem Drang und Antrieb; in der Staffelung mannigfachen Geschehens eines Organismus ist der Wille vielmächtig, jedoch nicht allmächtig.

Es ist ohne Belang, wenn, wie schon R. Mayer betonte, die Oberwirkung des Willens gegenüber dem Geschehen des Leibes unerklärlich, d. h. mechanistisch unerklärlich ist. Durch Jahrhunderte haben sich zahlreiche beste Köpfe um das Problem *psychophysischer Wechselwirkung*, speziell der Willenswirkung in das Physische hinein bemüht, von der Aufstellung der „*causa occasionalis*“ der Scholastiker bis zu den ganzheitlichen Theorien unserer Zeit. Wirklich „begreiflich“ erscheint dem menschlichen Verstand nur die mechanische Wirkung durch Druck, Stoß, Schlag, die der eigenen Muskelbetätigung analog ist. Schon die Wirkung eines Lichtquanten auf die Elektronenhülle des Atoms ist im Grunde unbegreiflich, und das gleiche gilt von jedem Chemismus einschließlich Katalyse. Wie könnte darnach die komplizierteste und höchste Form irdischer Anstoßkausalität, d. h. die Willensbetätigung, wirklich „einzu-sehen“ sein!

4. *Die Wirkung des Katalysators ist abhängig einerseits von der spezifischen Natur des Katalysators, andererseits von den „Umständen“ und Bedingungen seines Substrates; beides zusammen bildet eine Wirk-Ganzheit; ähnlich ist die Wirkung des Willens abhängig von seiner Natur (dem Charakter), sowie auch von den jeweiligen Verhältnissen, d. h. der jeweiligen Geltendmachung bestimmter Motive, die das eigene Innere, sowie der Zwang der Umwelt liefert.*

Wir wollen hier lediglich ein Einzelbeispiel durchführen. Es sei auf das Platin zurückgegriffen, das seit Döbereiner 1823 immer wieder als das Urbild allen katalytischen Verhaltens gilt. Unser Feuerzeug, unsere Zündpille möge wochenlang unverändert gewirkt haben; plötzlich wird ein Versagen, eine „Passivität“ sichtbar. Der Chemiker weiß aus Erfahrung, woher das kommen mag: das Platinmetall ist durch irgendwelche Verunreinigung — etwa Schwefel, Phosphor oder dgl., der aus der Luft absorbiert oder „angezogen“ wurde — beeinträchtigt, abgeschwächt, passiviert oder „vergiftet“ worden und kann etwa durch Säuberung, durch Ausglühen in einer Flamme zu erneuter Betätigung gebracht, reaktiviert werden.

Hier haben wir eine volle Analogie zu dem juristisch so bedeutsamen „*Unterlassungsvergehen*“. Wir könnten dem Platin den Prozeß machen. Der Katalysator hat — so wird der Ankläger sagen —, seine Pflicht gröblich verletzt, er hat das Ausbleiben eines wertvollen Effektes verschuldet, er ist verantwortlich dafür, daß durch die Nichtzündung (oder beim Eisenkatalysator der Ammoniak-katalyse durch das Unterlassen der Stickstoff-Wasserstoff-Beziehung) bestimmte Werte nicht erreicht wurden und daß somit bestimmter „Schaden“ angerichtet worden ist⁶. Das Platin wird sich mit „Gegenmotiven“ entschuldigen, die sich zwingend seiner bemächtigt haben (unerwartete Schwächung seines Charakters durch äußere Einflüsse, d. h. Aufnahme schädlicher Stoffe aus der Luft). Und wie ist es beim Menschen? „Der Mensch tut allezeit was er will, und tut es doch notwendig“ (Schopenhauer). Das gleiche aber gilt für das *Unterlassen*, für das Verzichten auf ein Tun. Dazu auch: „Die absolute Notwendigkeit alles Geschehens hat nichts von einem Zwange“ (Nietzsche).

In Summa: *Der physische Katalysator ist ein Modell, u. E. das deutlichste Modell des psychischen Willens*; „Katalyse“ und „Wollen“ (Trieb, Streben) stellen die reinsten Formen der Auslösungs-, Anstoß- oder Anlaßkausalität dar, die in die physischen und psychischen Beharrungen und Äquivalenzen bei aller Umsetzung, bei aller Energietransformation bestimmend und regelnd eingreift.

5. *Unzulänglichkeit des mechanischen Kausalbegriffes schon im Bereich des Physischen; Schranken des energetischen Kausalbegriffes von R. Mayer.*

Es hat eine Zeit gegeben, da man alles Weltgeschehen auf den Druck und Stoß von Atomen zurückführen wollte. Ihren schärfsten Ausdruck hat diese Geistesrichtung in der bekannten Weltformel von Laplace (1814) gefunden. Danach soll es für einen umfassenden Geist möglich sein, die Lageverhältnisse und Geschwindigkeiten von Massepunkten oder Körpern im Universum in einem späteren Zeitpunkt scharf vorauszuberechnen, sobald Konstellation und Impuls für einen früheren Zeitpunkt genau bekannt sind; und in solcher Weise soll alles Naturgeschehen bestimmt, determiniert sein. Die großen Erfolge, welche die terrestrische und vor allem die astronomische Mechanik seit Kopernikus, Kepler, Galilei und Newton gebracht hat, konnten einen solchen Glauben zeitigen und festigen.

Und doch mußte sich diese Kausalformel bald als allzu eng herausstellen. Schon in der leblosen Natur gibt es nicht nur *Atome* als elementare stoffliche Wirkeinheiten, sondern es gibt auch ein damit in Wechselbeziehung stehendes allgemeines stoffloses *Wirkfeld* mit seinen elektromagnetischen Kräften. Der Elektrotechniker will ganz andere Dinge vorhersagen und berechnen als eine „Konstellation von Massepunkten“; der Chemiker hat es mit spezifischen Spielregeln der Atomverkettung zu tun, wobei jede Vorstellung allgemeiner „Zentralkräfte“ als bestimmender Atomkräfte gemäß bestimmten Potenzen der Entfernung versagt hat. Und dazu gesellen sich die übergeordneten Spielregeln des „Lebensfeldes“ der Natur und schließlich des „Geistesfeldes“!

Das viel breitere Kausalschema von R. Mayer mit seinem Dualismus von Erhaltung und Äquivalenz einerseits, Auslösung und Veranlassung andererseits läßt auch im *Gebiet des Psychophysischen* nicht im Stiche. Seine Schranken liegen an anderer Stelle: R. Mayers dualer Kausalbegriff dient der *Analyse eines vorliegenden konkreten Tatbestandes*, der Zergliederung eines bestimmten Geschehens; er *hat unmittelbar nichts zu tun mit der Gewinnung höherer Werturteile*, wie sie vor allem in den Geistes- und Sozialwissenschaften erstrebt werden. Liegt z. B. der Tatbestand

eines Eisenbahnunglücks vor, so wird dem Beurteiler die Gültigkeit stofflicher und energetischer *Erhaltungsgesetze* als Selbstverständlichkeit erscheinen, die kaum einer Erörterung bedarf und für den Juristen keinerlei Interesse bietet. Weiter führt schon der Begriff der *Auslösung*, der Veranlassung, indem man der Verkettung und Verfilzung der physischen und psychischen Gegebenheiten und „Bedingungen“ nachgeht, die irgendwie als anstoßende, veranlassende, auslösende Ursachen inmitten des Vorgangsbereiches wirksam gewesen sind. *Die Frage der Verantwortung, der Schuld* indessen gehört einem Urteilsoberbau an, der sich dem Mayerschen dualen Kausalschema begrifflich überlagert, und für welchen jenes Schema überhaupt nicht zuständig ist.

Schon in der Naturwissenschaft bildet R. Mayers Wirkungsschema: Äquivalenzursachen und Anstoßursachen, nur die *unentbehrliche Grundlage jeder Kausalanalyse*, die dann zu höheren Kausalbegriffen wie Abhängigkeit, Funktion, Induktion, Organisation, Anpassung, Entwicklung und dgl. fortschreitet. Hierbei können bereits bestimmte *Wertungen* Platz finden, indem z. B. der Mediziner die ganze Fülle der ganzheitlich zusammenwirkenden anstoßenden und bedingenden Ursachen einer Erkrankung in Betracht zieht und nun diejenigen Ursachen sucht, welche „in erster Linie“ anstoßend und veranlassend, insofern also „entscheidend“ gewesen sind. Immer aber handelt es sich noch um eine *logische* Scheidung und Wertung in bezug auf Normen des Seins; *ethische* Wertungen in bezug auf Normen menschlichen Sollens, menschlichen Handelns, z. B. im Falle des oben erwähnten Eisenbahnunglücks, sind der Naturwissenschaft mit ihrem Kausalschema nach R. Mayer fremd und unbekannt¹⁰.

Schluß

Wie Eugen Dühring in seinem Buche „Robert Mayer, der Galilei des 19. Jahrhunderts“ (1880) berichtet, hat R. Mayer die Absicht gehabt, seinen kurzen, aber inhaltreichen Aufsatz über „Auslösung“ von 1876 durch eine ausführliche Schrift zu ergänzen; mit dieser wollte er sich um die Erteilung des Bressa-Preises (12 000 Franken) der Turiner Akademie der Wissenschaften bewerben, die ihn 1876 zum Mitglied ernannt hatte. Hieraus geht hervor,

welchen Wert R. Mayer selber dem *Auslösungsgedanken* beigemessen hat, den er seinem großen *Erhaltungsgedanken* zugesellte! Sache der Wissenschaft ist es, R. Mayers kausalen Doppelbegriff bis zu seinen Grenzen weiterzudenken. Es scheint, daß in dieser Beziehung noch mancherlei offensteht, und daß insbesondere die Rechtswissenschaft gut tun wird, bei ihrer ethisch wertenden Kausallehre den engen mechanistischen Kausalbegriff in seine Schranken zu verweisen und dafür Robert Mayers logisch analysierendes Kausaldenken umfassender Art zur Grundlage für ihr eigenes übergeordnetes Begriffssystem zu nehmen.

Anmerkungen:

1 S. hierzu A. Mittasch, Auslösungskausalität, ein vergessenes Kapitel Robert Mayer? Umschau 1939, 1144; R. Mayers Lehre über das Wirken in der Natur, Forsch. u. Fortschr. 1940, 178. Die Zitierungen beziehen sich durchweg auf J. Weyrauchs Ausgabe von R. Mayers Schriften, 1893. M. I = Mechanik der Wärme, gesammelte Schriften; M. II = Kleinere Schriften und Briefe. — 2 Das zugrunde liegende Problem war von L. Euler 1738 so formuliert worden: „Wenn die Wirkung proportional der Ursache ist... wie kann dann aus dem kleinsten Funken der größte Brand entstehen? Schon in der scholastischen Scheidung der *causa efficiens* von der *causa occasionalis* hatte sich die logische Trennung von energetischer Wirkursache und Anlaß- oder Anstoßursache vorbereitet; und die durch Jahrhunderte währende Erörterung über die psychophysische Wechselwirkung ist nur unter dem Gesichtspunkt der Auslösungs- oder Anstoßursache sinnvoll“. — 3 Ein jegliches Wirken nach dem Schema „Kleine Ursachen, große Wirkungen“ mit dem Worte „Verstärkung“ (oder auch „Mikrokausalität“) zu kennzeichnen, wie es mitunter geschieht, erscheint unzuverlässig; Verstärkung mikro-physikalischer Vorgänge, z. B. in der Elektrik, ist nur eine Form der A. K., neben Katalyse, Reizwirkung usw. — 4 Vergl. A. Mittasch, Robert Mayers Begriff der Naturkausalität, mit Beziehung auf Arthur Schopenhauers Kausallehre; Naturwissenschaften 1940, 193. In besonderer Weise hat Wilhelm Ostwald die Beziehungen des Willens zur „Energie“ erörtert: „Der Wille und seine physische Grundlegung“, Scientia 1911, 364; ferner auch in „Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaft“ (1909). W. Ostwald geht aus von dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (Energetik), der von Clausius und W. Thomson (um 1850) aufgestellt worden ist und der bei R. Mayer selber noch kaum eine Rolle spielt. Dieser Satz knüpft an die Tatsache an, daß in einem abgeschlossenen System mit Gebilden verschiedener hoher Energieintensität (z. B. Nachbarschaft eines warmen und eines kalten Körpers) ein Ausgleich, eine Zerstreung (Dissipation) und damit „Entwertung“ der Energie (z. B. zu lauer Wärme) stattfindet und daß von selber diese Gleichheit nicht wieder in Ungleichheit übergehen kann (Abnahme der Arbeitsfähigkeit = Wachstum der „Entropie“). „Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Verminderung der freien Energie“ (unter Erhaltung der Gesamtenergie). Hieraus soll folgen, „daß wir im Dissipationsgesetz den Grund von allen den Vorgängen erkennen, welche Schopenhauer als Manifestation des Unwillens darstellt“. — 5 Energie im naturwissenschaftlichen Sinne hat Umsetzwert, Sachwert, Substanzwert, Nutzungswert, Geldwert. Ich kann mechanische Energie in Form menschlicher Muskelkraft kaufen, oder chemische Energie in Form von Kohle, oder elektrische Energie usw. Schon Liebig ist mit R. Mayer darüber einig gewesen, daß es eine psychische oder geistige Energie im Sinn von physischer Arbeitsfähigkeit nicht gebe; sonst müßte es auch gelingen, „Lasten durch Gedanken zu heben oder diese in Elektrizität, Magnetismus und Wärme überzu-

führen“. Wird dennoch von „Willensenergie“ (und ähnlich von Lebensenergie, von geistiger Energie usw.) geredet, so liegt hier eine andere (die geschichtlich ursprüngliche!) Bedeutung des Wortes vor. Jede „Energie“ im naturwissenschaftlichen Sinne kann nur mit ihrem Maß gemessen, nach ihren eigenen Einheiten gezählt werden; wo aber ist das Maß für „psychische Energie“? — 6 Wenn der Physiolog bei jeder Willensbetätigung (auch rein innerlicher) energetische „Änderungen“ im Hirn, in den Nerven, in den Muskeln apparativ feststellen und registrieren kann, so handelt es sich um chemische, elektrische und sonstige Energieumwandlungen, die von außen gesehen denjenigen ganzheitlichen Zustand des Organismus bezeugen, der von innen gesehen als Willenszustand erscheint. — 7 Erscheint Katalyse als ein Wirken durch bloße Gegenwart, so handelt es sich tatsächlich doch um eine rasch pulsierende, rhythmisch wechselnde Einschaltung des Katalysators in das Geschehen mit unmittelbar anschließender Loslösung, Auswirkung und Ausschaltung; so entsteht der Anschein einer „Wirkung durch bloße Gegenwart“; in die energetische Bruttogleichung geht demnach der Katalysator mit dem Betrag Null ein. Das gleiche gilt für den Willen, der ebenfalls gewissermaßen zwischen Einschaltung in das physiologische Geschehen und Ausschaltung dauernd hin- und herpendelt. — 8 Es ist bemerkenswert, daß die wertenden Wortausdrücke „verantwortlich sein, verschuldet haben“ metaphorisch bis in strenge Physik hinein gebracht werden; ein Hinweis auf die alten Beziehungen der Begriffe Sache bzw. Ur-Sache einerseits, Streitfall und Schuld andererseits. — 9 S. hierzu A. Mittasch, Über Kausalitätsrangordnung, Forschungen und Fortschritte 1938, 16. — 10 Schon Begriffe wie „adäquate“ und „zufällige“ Ursache (v. Kries) erheben sich über die logische Ebene der Kausallehre R. Mayers. Über die volutiven Kausalbegriffe der Rechtswissenschaft s. Karl Engisch, Die Kausalität als Merkmal der strafrechtlichen Tatbestände 1931; Helmut Mittasch, Wertbeziehendes Denken in der Strafrechtssystematik 1939; ferner Veröffentlichungen von Belling, Mezger, R. Wirth u. a. „Vielleicht, daß die exakte Erforschung der Kontakteinflüsse und Auslösungen einen Weg eröffnet, auch das rein Tatsächliche, das Historische, in der Zusammenordnung und dem Verlauf der Dinge einem Gesetzesbegriff unterzuordnen“ (Alois Riehl).

Was vermag Robert Mayers Wirklehre dem Biologen zu bieten?*

Und es mögen die Lebenserscheinungen einer wunderbaren Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen; nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie, in der Harmonie nur liegt das Leben. R. MAYER 1845.

Vorbemerkung:

Es war im Jahre 1842, daß der Heilbronner Arzt Dr. Julius Robert Mayer (1814—1878) den kurzen und doch so inhaltsreichen Aufsatz „Bemerkungen über die Kräfte der un belebten Natur“ veröffentlichte, worin er seinen Satz von der „Unzerstörlichkeit der Kraft“, der *Erhaltung der Energie* aufstellt und durch Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes fest untermauert. Drei Jahre später erschien als ausführliche Abhandlung: „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel.“ Hier und in nachfolgenden Schriften hat Robert Mayer eine neue *Kraft- und Wirklehre* entwickelt, die, wie gezeigt werden soll, für jeden Biologen und Mediziner — auch für den Neurologen — dauernd Geltung und Wert besitzt. „Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft!“ (1845.)

I. Es unterliegt keinem Zweifel: zu dem hohen Stand der heutigen biologischen Einzelforschung in Botanik, Zoologie und Anthropologie steht in gewissem Mißverhältnis eine Zersplitterung der Anschauungen über *oberste biologische Wirkbegriffe*. Eine selbstgenügsame positivistische Bescheidung auf bloßes „Beschreiben“ der Einzelformen organischen Seins und Geschehens kann auf die Dauer nicht befriedigen: Sobald es indessen an die Beantwortung allgemeiner Fragen geht: Was ist das Wirkende im Leben? Wo ist sein Ursprung und wo ist sein Sinn? —, da gehen die Meinungen in den Richtungen Mechanismus¹, Vitalismus, Psychovitalismus, Holismus, Mnemismus, Organizismus usw. weit auseinander. Sollte es nicht doch einen festen

* Der Nervenarzt 15 (1942) 1—12. Anschließend S. 13: Armin Müller. Das Kausalproblem in der Neurologie.

Punkt geben, um den sich allgemeinbiologisches Denken sammeln könnte?

Der wissenschaftliche Drang, zu besserem Verständnis eines schwierig zu beherrschenden Gebietes dadurch zu gelangen, daß man dessen Allgemeinbegriffe an leichter Einzusehendes anknüpft, hat im Anfang der neueren Wissenschaft zu dem Versuch geführt, die von Galilei und Newton ausgehende *klassische Mechanik* der Aufhellung der Lebensvorgänge dienstbar zu machen. Man lehrte: Der Organismus gleicht einer Maschinerie, entsprechend der großen „Maschinerie“ des durch mechanische Gesetze der Anziehung beherrschten Sonnensystems, oder noch besser: entsprechend den künstlichen Maschinen, die menschlicher Verstand auf Gesetze von Druck und Stoß, Schwere und Hebelwirkung zu bauen gelernt hatte. Die innere Berechtigung der Annahme, daß das *gesamte* organische Leben (nicht nur Einzelbetätigungen wie Blutkreislauf, Knochenfunktion und Organbewegung) mechanischen Gesetzen untertan sei, mußte verloren gehen, sobald man in *Einzelheiten des Stoffwechsels* eindrang, der durchaus *chemischen Gesetzen* untertan ist. In bezug auf jeden „Chemismus“ mußte, zumal seit dem verunglückten Versuch von Cl. L. Berthollet (1801), eine *wahre chemische Mechanik* der Atome zu begründen (Ostwalds Klassiker Nr. 74), immer deutlicher erkannt werden, daß im Mikrogeschehen der Atome andere Spielregeln gelten als für die Strukturveränderungen qualitätsloser Massenpunkte und Körper². Ein Gramm Kohle oder Eisen und ein Gramm Brot verhalten sich in mechanischer Beziehung gleichartig, für den chemisch arbeitenden Magen sind sie von sehr ungleicher Bedeutung: Jeder Stoff hat seine eigene *spezifische* Reaktionsweise. Unzweifelhaft bot eine *chemische Auslegung* der Lebensvorgänge weit günstigere Aussichten. Hier, im Chemischen, war, gleichwie im Leben, qualitative Ungleichheit, unterschiedhaftes Reagieren, „Wahlverwandtschaft“. *Methodischer Materialismus* — nicht ohne weiteres identisch mit weltanschaulichem Materialismus — trat in der Biologie zum methodischen *Mechanismus*, diesen bald in untergeordnete Stellung drängend. „Alle Eigenschaften des Organischen sind aus mechanischen Gründen unableitbar“ (Nietzsche).

Eine gewisse Wahlhaftigkeit gegenüber mechanischer Einerleiheit tritt auch in den Erscheinungen der *Elektrizität* zutage, die seit den Froschschenkelversuchen von Galvani immer mehr — vor allem in der Zeit der Romantik — in Beziehung zu Lebensvorgängen gesetzt worden war. Die Physiologie des Muskel- und des Nervensystems, durch E. du Bois-Reymond u. a. erfolgreich entwickelt, brachte die *Bedeutung polarer Elektrizität für den Organismus* immer mehr zur Geltung. Unterstützend war der Umstand, daß durch Forscher wie H. Davy, Faraday, Berzelius mehr und mehr die *innigen Beziehungen von Elektrizismus und Chemismus* aufgedeckt wurden; hat doch Berzelius (und ähnlich Fechner) sogar die Gesetze chemischer Bindung unmittelbar auf die elektrische Polarität der chemischen Elemente zurückzuführen gesucht. Auch Robert Mayer stellt in seinem *Schema der Naturkräfte* von 1845 (M. I. 71) die „chemischen Kräfte“ als nach der Elektrizität hinübergreifend dar.

Wenn reiner „Elektrismus“ dennoch — im Gegensatz zu Mechanismus und Chemismus — kaum jemals nach dogmatischer Beherrschung der Gesamtbiologie gestrebt hat, so verhält es sich anders mit einem der *allgemeinsten* physikalischen Begriffe, dem Begriffe der *Kraft*. Zwei Strömungen lassen sich unterscheiden, für deren Auseinanderhaltung der Name „Robert Mayer“ eine wesentliche Bedeutung besitzt.

Dem menschlichen Kraftgefühl, dem menschlichen Kraftwillen entsprossen, hat der wissenschaftliche Kraftbegriff u. a. zu der Annahme einer *spezifischen Lebenskraft* geführt, und zwar zunächst als einer *Wirkkraft*, welche z. B. die tierische Wärme erzeuge, im Nervensystem Umwandlungen hervorrufe, die stofflichen Bestandteile des Organismus bilde, kurz, das gesamte Leben nicht nur lenke, sondern *bewirke*. Diese Lebenskraft alten Stiles ist nicht durch Fr. Wöhlers Harnstoffsynthese 1828 überwunden worden (diese betraf nur eine Teilerscheinung), auch nicht durch Lotzes Bekämpfung (1842), sondern durch Robert Mayers *Prinzip von der Erhaltung der Kraft in Umwandlungen nach bestimmten Zahlenbeziehungen*¹. Der *gesamte Stoffwechsel der Organismen* gehorcht durchaus, nicht anders als anorganischer Stoffwandel, energetischen

Gesetzen, wie R. Mayer und ähnlich J. Liebig nicht müde wurden darzutun, und wie später Rubner, Atwater u. a. experimentell bestätigt haben¹.

War die Lebenskraft als eine *aus dem Nichts erzeugende Wirkkraft* seit R. Mayer ein für allemal abgetan, so kam ein *eigenartiger Wiederbelebungsversuch aus Kreisen der Energetik selbst*, indem — im Gegensatz zu Mayers Beschränkung der Energieformen auf die rein physikalischen und chemischen Energien — nunmehr von einer besonderen „vitalen Energie“, einer seelischen Energie, einer psychophysischen Energie, ja Geistesenergie geredet wurde, die in einem *Umwandlungsverhältnis* zu den physischen Energieformen stehe, ohne daß je ein Forscher eine Zahlenangabe hierüber hätte machen können⁵! Der Lebensbegriff kann ebensowenig dem Energiebegriff, wie dem Materiebegriff untergeordnet werden. „So wurden auch für die Lebenserscheinungen noch keine Formeln gefunden“ (M. I. 333).

Sämtliche Versuche, die Lebenserscheinungen aus einem *physikalischen oder chemischen Allgemeinbegriff* (oder aus mehreren derartigen Begriffen zugleich) vollständig und zwingend abzuleiten, waren zum Scheitern verurteilt, so daß mehr und mehr eine *Eigengesetzlichkeit* des Lebens betont werden mußte, die in Wirklichkeit eine *Obergesetzlichkeit* ist, auf physikalisch-chemischer Gesetzlichkeit als neue „Schicht“ sich erhebend.

Demgemäß heißt es bei R. Mayer, daß „uns bei den Lebensvorgängen Chemie im Stiche läßt“ (M. I. 333). Wiederum aber will er „das auf dem Boden exakter physikalischer Wissenschaft Gewonnene zur Begründung physiologischer Lehrsätze anwenden“ (M. I. 88). „Organologisches und Chemisches spielt gleichzeitig seine Rolle“ (M. I. 128; s. auch M. I. 355, 398, M. II. 140, 204, 213). „Und es wird gewiß die Zeit kommen, wo nicht jede tiefere Anschauung des Lebensprozesses durch mikroskopische und chemische Substitutionen verdrängt wird“ (M. II. 250).

Wie aber kann eine *einheitliche autonome biologische Wirklehre* möglich sein, wenn doch nur *physikalische und chemische Beziehungen und Kräfte* (gleichwie der chemische „Stoff“) exakt meßbar sind? Um eine Antwort auf diese Frage hat die Biologie seit mehr denn einem Jahr-

hundert gerungen; ihre Beantwortung ist methodisch möglich durch die Einführung des Begriffes „*nichtenergetische Trieb- und Richtkraft*“. Dieser Begriff aber erhebt sich auf Robert Meyers unvergänglicher Lehre von der „*Auslösung*“ (1876) als einer *besonderen Form des Tätigseins, das dem Bewirken nach Äquivalenzverhältnissen causa aequat effectum — ergänzend zur Seite steht*“.

In Eislers „*Wörterbuch der philosophischen Begriffe*“ lesen wir: „*Auslösung* heißt die Aktualisierung von Energie durch eine ihr nicht adäquate Energie oder Kraft.“ Am besten wird der Begriff *Auslösung* an die Tatsache des Bestehens mannigfacher *potentieller oder latenter Energien* geknüpft, die, zunächst irgendwie gehemmt, gehindert oder kompensiert (auf der Kippe stehend), durch ein stoffliches oder energetisches Agens zur Betätigung gelangen, „*aktiviert*“ oder realisiert werden, und zwar im Sinne des Satzes von der *Zunahme der Entropie*.

Es ist nun nicht so, daß dieser Begriff „*Auslösung gehemmter Kräfte*“ — gleichbedeutend mit *Entfesselung, Enthemmung, Entbindung, Entfachung, Anlaß, Veranlassung, Anstoßung, Anregung, Hervorrufung u. dgl.*, dazu die Gegenbegriffe, *Hemmung, Hinderung, Fesselung, Bindung, Unterdrückung, Ablendung, Vergiftung u. dgl.* — von Robert Mayer „*erfunden*“ worden wäre; er hat ihn jedoch als Erster in das rechte Licht gesetzt und in ein umfassendes Kausalsystem eingeordnet.

Schon alltäglichem Denken muß sich ein deutlicher Unterschied aufdrängen zwischen einer menschlichen *Bewirkung* wie *Holzspalten, Pflügen, Lasttragen* einerseits, *Feueranzünden, Schleusenöffnen, Maschine in Gang setzen, Anweisen, Kommandieren, Führen* usw. andererseits. In dem einen Falle entspricht die *Wirkung der Ursache*, die geleistete *Arbeit* ist äquivalent der *Energieaufwendung, causa aequat effectum*; im anderen Falle steht die *Wirkung zahlenmäßig* in keinem festen Verhältnis zur *Ursache*.

In der „*causa occasionalis*“ oder *Gelegenheitsursache* der älteren Philosophie — neben der *causa efficiens* als *Wirkursache* — ist der *Auslösungsgedanke* mannigfach abgewandelt und zugleich erhoben worden. Ferner liegt in dem vielerstrebten „*Stein der Weisen*“ eine „*Auslösungs-*

ursache“ reinsten Wassers vor: durch seine bloße *Gegenwart*, ohne selber irgend etwas abzugeben und zu verlieren, soll dieser *Stein*, wie es von Karl Arnold Kortum 1789 so schön gesagt worden ist, vor allem „*die herrlichsten Wirkungen auf den menschlichen Körper haben, und wenn er eingenommen wird, die Lebensgeister stärken, die natürliche Wärme befördern, den Giften widerstehen, alle sonst unheilbaren Krankheiten vertreiben, die Gesundheit erhalten und das Leben verlängern*. Ja, man rühmt sogar, daß sein Besitz den moralischen Charakter des Menschen bessere und ihn weise, gleichgültig gegen alle Übel und fromm mache“.

In *wissenschaftlicher Physiologie* beginnt die Berücksichtigung der *Auslösung* mit der bedeutsamen *Reizlehre*. Albrecht v. Hallers *Irritabilität, Exzitabilität und Sensibilität* sind allgemein Begriffe, die den *Auslösungsgedanken* aus dem Gebiet des Mechanischen — aus dem er seinem Wortsinne nach stammt — in das Gebiet des Lebenden vortragen. In der medizinischen *Erregungstherapie* von John Brown wird eine besondere praktische Anwendung der *Reizlehre* — an heutige „*Schocktherapie*“ anklingend — geschaffen.

Ungefähr in der gleichen Zeit, um 1800, werden auf chemischem Gebiet die ersten stichhaltigen Beobachtungen über eine *stoffliche Wirkung scheinbar durch bloße Gegenwart, durch einfache Berührung* gemacht. Durch verschiedene *Einzelfeststellungen* angebahnt, ist am 3. August 1823 von dem Jenaer Chemieprofessor Johann Wolfgang Döbereiner einwandfrei festgestellt worden, daß sog. *Platinschwamm* (fein verteilt-poröses Platin) bei gewöhnlicher Temperatur *Knallgas* zu entzünden vermag, und zwar nicht nur einmal, sondern zehnmal, hundertmal, im Idealfall unbegrenzt oft. Thénard, Schweigger, Eilhard Mitscherlich und viele andere haben für diese neuartige „*Reaktion durch bloße Gegenwart*“ weitere Beispiele gefunden und allgemeine Betrachtungen darüber angestellt; Jakob Berzelius hat 1835 für diese *Berührungswirkung* den Namen „*Katalyse*“ geschaffen. Schon dazumal waren Fälle einer *Biokatalyse* mit einbegriffen, d. h. fermentative Vorgänge nach der Art der *Rohrzuckerspaltung* durch *Dia-stase* (Invertase)⁷.

II. Hören wir nun, was Robert Mayer 1876 — nach früheren vorbereitenden Äußerungen — in seinem kurzen und doch so inhaltreichen Aufsatz „Über Auslösung“ (M. I. 440—446) sagt⁸: „Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft ‚die Auslösung‘ nennt.“ Vorangestellt wird die *Katalyse*. Als Einzelbeispiele führt R. Mayer die Entzündung von Knallgas „durch Wärme oder einen elektrischen Funken oder durch Platinschwarz“, die Entzündung eines Streichholzes, die Abfeuerung eines Schusses an. Derartige *auslösende Verursachung* besteht überall, „wo die Ursache der Wirkung nicht nur nicht gleich oder proportional ist, sondern wo überhaupt zwischen Ursache und Wirkung gar keine quantitative Beziehung besteht, vielmehr in der Regel die Ursache der Wirkung gegenüber eine verschwindend kleine Größe zu nennen ist“. Den Auslösungsprozessen ist also „gemein, daß bei denselben nicht mehr nach Einheiten zu zählen ist, mithin die Auslösung überhaupt kein Gegenstand mehr für die Mathematik ist“. Solche Auslösungsprozesse spielen, „auch in der lebenden Welt und namentlich also in der Physiologie und Psychologie eine große und wichtige Rolle. Alle Gärungsprozesse beruhen auf Auslösung“, desgleichen „die während des Lebens beständig vor sich gehenden Bewegungserscheinungen“, und zwar „willkürliche, halbwillkürliche und unwillkürliche“. — „Der Wille wird also, freilich auf eine völlig rätselhafte und unbegreifliche Weise, durch die Bewegungsnerven zu den entsprechenden Muskeln geleitet, und auf diese Weise erfolgt sofort die Auslösung, die gewünschte Aktion.“ (Bumke: „Schon die einfachste Willkürbewegung ist nicht einzusehen“.)

Weiter wird kurz die *Auslösung von Bewegungen durch freudige, zornige und sonstige Gefühle und Affekte* (heute Ausdrucksbewegungen genannt) behandelt, ferner die Störung regulierender Auslösung bei Fieberkrankheiten, die stimulierende oder deprimierende Wirkung bestimmter Chemikalien, sowie der „unverantwortliche Schlendrian“. . . die so nötigen Auslösungen auf brutale Weise mit Zwangsjacken, Zwangsstühlen und Zwangsbetten unter-

drückt“. Ferner verweist R. Mayer auf „sexuelle Verrichtungen“ als „physiologische Auslösungen in höchster Potenz“, sowie auf verbrecherische Handlungen nach Art des Herostratos als „gewaltige Auslösungen“. (Bumke: „Man kann sich von quälenden Gefühlen durch Handlungen befreien“.)

Wo fließen die *Quellen* für diese weitschauenden und tiefgreifenden Bemerkungen über die „Auslösung“? Zunächst ist anzunehmen, daß beständiges Nachdenken über die mannigfachen „Umwandlungen der Kraft“ (später „Energie“ genannt) R. Mayer von selbst auf die Feststellung führen mußte, daß derartige Umwandlungen nur selten „spontan“ stattfinden, daß sie vielmehr meist eines besonderen *Agens als auslösenden, enthemmenden Mittels bedürfen*. Ferner war dem Arzte Robert Mayer der Begriff „Regulation“ (schon in der Arbeit von 1845 auftretend) durchaus geläufig; Regulierung aber ist nichts anderes als gerichtete und spezifisch angepaßte („Resonanz“ voraussetzende), vielfach auch bemessene Auslösung. (Von „geordneter Auslösung“, neben „totaler Auslösung“, hat später Wilhelm Ostwald gesprochen.) Der Begriff der „potentiellen Energie“, an den wir heute jede Auslösung knüpfen, war von R. Mayer allerdings noch nicht ausdrücklich gefaßt worden, jedoch im Keime schon in seiner Unterscheidung von Fallkraft (= Schwere, als potentielle Energie) und „Bewegung“ (als kinetische, aktuelle Energiebetätigung) enthalten.

In derartiger Denkhaltung muß R. Mayer durch sein Vertrautwerden mit der „*Katalyse*“ des Berzelius in vollkommener Weise bestärkt worden sein. Dazu kommt jedenfalls noch eine Beeinflussung durch eine Abhandlung von Emil du Bois-Reymond, die er beim Lesen ärztlicher Zeitschriften kennengelernt haben wird. Es handelt sich hier um eine bedeutsame Abhandlung⁹ über *Elektrophysiologie* (von 1850), in welcher ähnlich wie bei R. Mayer (1845) der Lawinenfall, also die Auslösung ruhender Schneemassen ein typisches Beispiel bildet. Sodann heißt es, daß „die kleinsten Teile der Muskeln in der Ruhe fortwährend auf der Kippe sich befinden, so daß die zarte Bewegung, welche die Nerven hinab in die Muskeln sich fortpflanzt, hinreicht, um das Gleichgewicht zu stören und innere Zieh-

kräfte freizugeben, oder wie man es in der Mechanik nennt, auszulösen, die auf die Verkürzung des Muskels gerichtet sind“. Der Reiz, die *Anregung* oder *Erregung* wird so von Du Bois-Reymond unmittelbar als *Auslösung von Wirkkräften* erkannt; für die Wirkkräfte selber gilt das Äquivalenzgesetz. „Sonst entsteht nie Kraft aus nichts, so wenig wie Materie; Ursache und Wirkung sind immer gleichwertig; eine Uhr gibt in den 24 Stunden, während sie abläuft, genau die Kraft wieder aus, die zum Aufziehen der Feder verwendet wurde.“

Sieht man genauer zu, so entdeckt man zwischen dem Aufsatz von Du Bois-Reymond und demjenigen von R. Mayer doch wesentliche Unterschiede. E. du Bois-Reymond leitet den Auslösungsbegriff ausdrücklich aus dem *Mechanischen* ab und bleibt bei einer mechanistischen Auslegung auch andersartiger Auslösungen als *Bewegungserscheinungen* stehen. Bei R. Mayer aber wird das mechanische *Urbild* der Auslösung stillschweigend vorausgesetzt; eine ganze Reihe neuer *energetischer* Auslösungen wird ohne jeden Versuch mechanischer „Erklärung“ aufgezählt, bis in das Gebiet leibseelischer Wechselwirkung. Den Begriff „Auslösung“ ordnet R. Mayer schließlich ebenso wie den Erhaltungsbegriff seiner allgemeinen Wirklehre ein, so daß diese fortan ein *geschlossenes Kausalsystem* bildet, das als *ausreichendes und zweckdienliches logisches Schema für alles Naturgeschehen, leiblicher und seelischer Art, dienen kann*¹⁰.

III. Genügt nun dieses Kausalsystem Robert Mayers, das *Erhaltungskausalität* und *Anstoßkausalität* umfaßt, auch noch heutigen biologischen Ansprüchen? Man wird mit einem vollen Ja antworten dürfen, wenn man sich die *logischen Bedürfnisse einer Gesamtbiologie* vergegenwärtigt. Welche *Anforderungen* muß die Biologie an eine zuverlässige allgemeine Wirklehre stellen, eine solche, die vom festen Boden der uns bekannten Sachverhalte den Blick zu erheben gestattet auch nach den fernen Höhen einer Metaphysik? Was ist in dieser Beziehung einer Biologie vonnöten, die ohne Bevorzugung eines bestimmten Teilgebietes *das Ganze der lebendigen Wirklichkeit* zu umfassen bestrebt ist, ohne sich in ganz abstrakte Begriffe wie „das Absolute“ oder „die Existenz“ zu verlieren?

1. Die Biologie kann sich nicht mit der Verfolgung von *Quantitäten* begnügen, wie sie die wissenschaftliche Mechanik erfolgreich feststellt und systematisiert; sie hat es mit unzähligen *Qualitäten* zu tun. Robert Mayers kurze Andeutungen zeigen ohne weiteres, daß der *Auslösungsbegriff* für alle Qualitäten, sogar solche seelisch-geistiger Art, gültig ist. Sämtliche Qualitäten aber haben, physikalisch betrachtet, irgendwie mit „*Energie*“ (Wirkung und Wirkfähigkeit) zu tun. „In der unbelebten Welt spricht man von Atomen, in der lebenden Welt finden wir Individuen. Der lebende Körper aber . . . besteht wesentlich auch aus Kraft“ (M. I. 356).

2. Wenn die Biologie vom Begriff *notwendigen Geschehens* zu dem für sie ebenso nötigen Begriff des *wahlhaften Tätigseins*, des spontanen Reagierens, übergehen will, so kann sie nicht durch den starren Determinismus befriedigt werden, welchen die Mechanik (einschließlich Himmelsmechanik) zeigt. Ihr „Determinismus“ muß locker, beweglich sein, er muß darum vom *Chemismus*, vor allem dem katalytischen und dem kolloidischen Chemismus ausgehen, der (samt anschließendem Elektrismus) in der Regel vielerlei Möglichkeiten des Geschehens zuläßt. Damit wird erreicht, daß die Begriffe selektive Reaktion, spezifische Reizung, gerichteter Trieb und Instinkt, dazu Labilität und Plastizität¹¹, fortschreitende Entwicklung, schließlich auch *Freiheit der Entscheidung* ihren Platz finden. Die Grundlage bildet R. Mayers Auslösungsbegriff, der schon in anorganischer Katalyse ein Etwas enthält, das nicht nur Hervorrufung und Beschleunigung, sondern auch Auswahl und Richtungsgebung bedeutet. Biologische Wahlhaftigkeit — von der Nahrungssuche des Infusoriums bis zur Gattenwahl höherer Tiere und darüber hinaus — baut sich auf chemische Wahlhaftigkeit oder Spezifität auf, ist in dessen damit nicht identisch.

3. Nicht nur der grundlegende Begriff der Reizung (s. Reizphysiologie, -pathologie, -therapie nach Virchow, Bier u. a.)¹², sondern auch die *abgeleiteten Begriffe* Steuerung, Regulierung, Induzierung, Organisierung, Koordinierung, Adaptierung müssen in biologischer Kausalik ihren Platz finden. Das trifft für Mayers System zu: Die von ihm in den Vordergrund gestellte Auslösung sowie „Regulierung“

(s. S. 619)¹³ als gerichtete, abgestimmte, oft auch bemessene Auslösung bildet den Ausgangspunkt.

„Die Aktion des Muskels wird auf geheimnisvolle Weise durch einen Kontakteinfluß bedingt, der erfahrungsgemäß dem Nervensystem zukommt“ (M. I. 124). Dazu weitere Beispiele: Die lebende Substanz antwortet selektiv auf spezifische und unspezifische, materielle und immaterielle Lebens- und Wachstumsreize (formative Reize nach Herbst). Die Kohlensäurespannung des Blutes wirkt in verwickelter Weise steuernd auf die Aktivität des Organismus im Atmungsprozeß, Kreislaufapparat und Gewebestoffwechsel. „Reflexe“ sind verwickelte spezifische Reizkausalismen, die durch „Entwicklung“ (meist stammesgeschichtlicher Art) in Geleise „eingefahren“, automatisiert wurden. Eine Erfolgserwartung steuert als Motiv, als „cerebrale Reizursache“ (Hasebroek) das Ziel der Willenshandlung.

4. Die Biologie faßt eine *Rangordnung* des Wirkens ins Auge. Eine solche ist schon in dem Begriff „Regulation“ angedeutet: Niederes wird durch Höheres aktualisiert und geleitet, vielfach in gegnerischem Wechselspiel. In *biologischer Schichtung oder Abstufung* mannigfachster Art werden Enzyme von Hormonen aktiviert oder aber „zurückgestellt“, synergische und antagonistische Hormonwirkung wird vom Nerv gezügelt, im Nervensystem selbst herrscht mehrfach gestufte Subordination des Anlassens und Regulierens bis zum entelechialen „Körperwillen“ und seinem Ausläufer, dem bewußten Willen¹⁴.

5. Die Biologie bedarf zur Ergänzung ihrer Vorstellungen über Regulation (insonderheit zum Ausbau der „Regulationspathologie und -therapie“) in weitem Umfange des *Hemmungsbegriffes*, sowie allgemein der Begriffe Synergismus und Antagonismus. Einen Anfang hierzu bietet schon die von R. Mayer vollauf gewürdigte *Katalyse* in ihrer *Mehrstoffkatalysatoren-Wirkung*. Hier gibt es nicht nur Additivität, sondern auch Verstärkung und Abschwächung, Richtungsänderung, vielfach sogar vollständige Aufhebung (Paralysierung) der Wirkung. Chemisch-katalytisches „Vergiftetsein“ kann schließlich als ein physisches Modell solcher psychischer Hemmungen erscheinen, die dem Individuum als „Unterlassungsschuld“ angerechnet werden!¹⁵

6. Biologische Wirklehre, als Feststellung der *Ordnungsgesetzmäßigkeit im Nacheinander* des Lebens, verlangt zur Ergänzung eine Berücksichtigung von „Ganzheit“ und „Gestalt“, die sich vorwiegend auf Wohlordnung im *Gleichzeitigen* bezieht (es gibt aber auch eine „Gestalt der Melodie“). „Ganzheit“ ist bei R. Mayer ohne weiteres gegeben: gereizte und gesteuerte Organe, zu Ausdrucksbewegung veranlaßte Muskelgruppen sind Ganzheiten verschiedener Ebene, verschiedener Stufe. Das aktive Ansprechen einer Ganzheit auf empfangene Anreizung kann man als „Ganzheitskausalität“ bezeichnen¹⁶. Schon in elementaren Sinnesakten — tierischen und menschlichen — bildet psychische Wahrnehmung und physische Bewegung, Eindruck und Ausdruck, Erleben und Tun eine geschlossene Gestalt. (S. hierzu V. v. Weizsäcker: Der Gestaltkreis.)

7. Sinnoffene Biologie, die positivistische „Seelenscheu“ überwunden hat, findet bei R. Mayer eine Wirklehre, die durch den Begriff der Anstoßkausalität eine *logische Überbrückung der Gebiete der Physischen und des Psychischen* ermöglicht. Betont wird, daß „*der jeweilige Zustand des Auslösungsapparates für das Allgemeingefühl oder für das allgemeine Befinden maßgebend ist*“. „*Der Wein erfreut des Menschen Herz*“, d. h. stofflich bewirkte Anreize lösen gefühlsbetonte Empfindungen aus. Oder: Der Zorn entläßt sich (gemäß R. Mayer) in „massiven Handlungen“, d. h. Affekte lösen Ausdrucksbewegungen der Körperorgane aus. (So kommt schließlich der ganze Bereich menschlicher Sprache — ja auch derjenige der Kunst — in den Bann Mayerscher Kausalik.) Das *Psychische* ist dann keine „rechte Verlegenheit“ mehr für die Physiologie, es gehört vielmehr als wesentlicher Bestandteil mit hinein. Nie aber wird man — nach R. Mayer — sagen können: „Diese Ursache, die Gehirntätigkeit, *verwandle* sich in den Effekt, das Buch. Auch der Funke verwandelt sich nicht in Explosion“ (M. II. 225).

Allgemein erlaubt der Begriff der Auslösung eine *Wechselwirkung* von Physischem und Psychischem anzunehmen, ohne mit energetischer Kausalik in Widerspruch zu geraten¹⁷. Das Verhältnis von leiblichem Geschehen und seelischem Geschehen steht weitgehend in dem Zeichen der Auslösung. Wenn aber geltend gemacht wird, ein solches

Auslösungsverhalten sei nicht „*einzusehen*“: Wer hat es wohl je vermocht, die Wechselwirkung z. B. zwischen einem Photon und einem Elektron (oder einem ganzen Atom) „*einzusehen*“? „Jeder dieser Prozesse enthält ein für das menschliche Erkenntnisvermögen undurchdringliches Mysterium“ (M. I. 108).

Eine schroffe Gegenüberstellung: Parallelismus oder Wechselwirkung? ist zweifellos unberechtigt. *Beides* (aber in zweckdienlicher Definition!) gibt es innerhalb bestimmter Grenzen: Kausale Wechselwirkung besteht in den Beziehungen der Merkwelt und Wirkwelt, in Sensorik und Motorik; ganzheitlicher Parallelismus hinsichtlich des „*rein innerlichen*“ seelischen Geschehens, z. B. in Denkprozessen, im Traumspiel. Es heißt jedoch mutwillig unüberwindbare Schwierigkeiten schaffen, wenn man das innerhalb bestimmter Grenzen *bildmäßig* durchaus brauchbare Prinzip des psychophysischen Parallelismus als *psychomechanischen* — statt *psychoenergetischen* — Parallelismus faßt. *Ganzheitlichen psychischen Zuständen des Organismus korrespondieren ganzheitliche physisch-energetische Zustände*; so hat bereits R. Mayer, desgleichen v. Kries, sowie auch Wundt das Prinzip verstanden; und dem entspricht der Satz von Bumke: „Jedes psychische setzt ein physisches Geschehen voraus“ (S. 283). Eine Umkehrung der Behauptung indessen (die verallgemeinernd zu Panpsychismus führt) überschreitet die Grenzen positiven Wissens.

In welcher Weise dem entwickelten ganzheitlichen physischen Zustand eines Organismus, insbesondere des Menschen, jeweils eine bestimmte seelisch-geistige Konstitution mit spezifischen Äußerungsweisen auf „*historischer Reaktionsbasis*“ zugeordnet ist, bleibt dauernd ebenso rätselhaft wie die Frage, in welcher Weise dem Keim des Organismus der Plan und die spezifische Potenzfülle späterer leib-seelischer Struktur beigegeben wurde. Das, was ich innerlich erlebe, und das, was ich äußerlich messe, läßt sich nimmermehr zur vollkommenen Deckung bringen. (S. hierzu Reininger: Das psychophysische Problem; ferner Rohrachner, Rothacker u. a. m.).

8. Jede Biologie, vor allem auch die Anthropologie, fällt ohne die Spitze der „*Willensverursachung*“ der Verkümmern anheim. Nach R. Mayer ist *der Wille die höchste*

*auslösende und lenkende Instanz*¹⁸. „Der gelstige Einfluß lenkt, aber er bewegt nicht“ (R. Mayer). Schwach angedeutet wird von ihm sogar (s. S. 618) die Auslösung durch einen *dem Ich im allgemeinen unbewußten Körperwillen*. Es handelt sich um den spiritus rector (Berzelius), den Archeus (Paracelsus), die Entelechie als autonomen Lebenstrieb (Driesch), die „*Psyche*“ im allgemeinsten Wortsinne, das rätselhafte physiologische *Es*, das auf den Gebieten des Stoffwechsels und der Organbildung, in Regeneration und Heilung, sowie in Trieb- und Instinkthandlung animalischer Wesen als geheimnisvolle obere veranlassende und richtende Instanz tätig ist — bis zum „*Abenteuer des Geistes*“ (Glockner). Die Grenzen zwischen den dem bewußten Willen zugänglichen Auslösungen und den ihm entzogenen sind einigermaßen fließend. Hier eröffnet sich das schwierige *Gebiet des Unbewußten*, d. h. im wesentlichen des vom Menschen nicht gewußten innerkörperlichen seelischen Willens. Wenn bewußter menschlicher Wille, planender Wille handelt, Ziele verwirklicht, so vermag er dies nur *innerhalb des Spielraumes physikalischer und chemischer Ordnungsgesetzlichkeit*. Für den mir unbewußten organismischen Willen, die „*große Vernunft des Leibes*“ (nach Nietzsche) wird das Gleiche gelten.

Indessen wird verantwortungsvolle Forschung immer das Warnwort von Bonnet im Auge behalten: „*Seelen sind in der Naturforschung etwas sehr Bequemes: Sie sind immer bereit, alle verlangten Dienste zu leisten.*“ Sobald eine Beteiligung der Seele als Lebensprinzip angenommen wird, muß auch gefragt werden: *Wie macht es die Seele*, die Entelechie, indem sie sich zur Erreichung ihrer Ziele physikalischer, chemischer und sonstiger Gesetzmäßigkeiten niederer und höherer Art bedient?

9. Eine wertoffene und sinnsuchende biologische Kausalik verlangt nach inneren Beziehungen zu Teleologie, Morphologie, Typologie. Da nach menschlichem Ermessen es immer nur *Wille*, denkender und phantasierender Wille sein kann, der Ziele setzt, Gestalten und Werte schafft, Bilder („*Urbilder*“) und Baupläne verwirklicht, *so nimmt R. Mayers Kausallehre Teleologie, Morphologie, Typologie und Normenlehre mühelos in sich auf*¹⁹. „*Nicht nur erhalten wird die lebende Welt, sie wächst und sie verschönert*

sich.“ Sie ist „ein Reich der Zweckmäßigkeit und Schönheit, ein Reich des Fortschrittes und der Freiheit. Die Grenzmarke ist die Zahl“ (M. I. 355). Hier setzt auch *Entwicklungslehre* ein, sowie „Einführung des Subjektes“.

10. Ist es biologischer Kausalik unbenommen, einen ich-unbewußten, unterbewußten Willen des Leibes (beim Menschen die „Tiefenperson“ einschließend) anzunehmen, so wird es nicht gegen wissenschaftliche Besonnenheit verstoßen, wenn schließlich, zumindest als Figment, auch ein *überbewußter, überindividueller Naturwille*, zunächst etwa von der Art- oder Gruppenseele ausgehend, postuliert wird. Selbst ideelle *kosmische Anstöße*, als Anstoßkausalität höchster Art, sind widerspruchsfrei. Metaphysische bzw. metapsychische „Einflüsse“ können es sein, die in der Phylogenese vergangener Zeiten eine fortschreitende Vermannigfaltigung und Vervollkommnung (Differenzierung und Integrierung) organischer Gestalten — in gleichsam künstlerischer Weise — hervorgerufen haben. Dabei mußte der *Spielraum*, den physikalische und chemische Gesetzmäßigkeit läßt, zustatten kommen; so ist ein Variieren (durch Mutation z. B.), ein „aktives Umkonstruieren“ (Böker), ja ein Aufsteigen zu höheren Lebensformen möglich geworden. Bei R. Mayer nimmt die „Extrapolation“ auf Richtkräfte höchster Art theistische Form an: „Der Urgrund der Dinge ist ein dem Menschenverstand ewig unerforschliches Wesen, die Gottheit“ (M. I. 262).

Die Frage, ob der im Organischen sich offenbarende *Naturwille* dem Lebewesen immanent oder als „darüberstehende Macht“ transzendent sei, ist rein spekulativer Art; sie wird also wissenschaftlich unentscheidbar (vielleicht sogar „sinnleer“?) sein.

IV. Im Lichte von Robert Mayers Kausalik besteht eine Überlegenheit der *energetischen Naturbetrachtung* gegenüber der mechanistischen²⁰. Nicht „Bewegung“, sondern „Energie“ ist der Grundbegriff, wie namentlich die — positivistisch im Grunde unzulässige! — Vorstellung einer *potentiellen Energie* zeigt. Latente Wärmeenergie eines Körpers läßt sich noch adäquat als Bewegung, d. h. als Molekularbewegung fassen, das zeigt vor allem die erfolgreiche kinetische Gastheorie. Wie ist es aber mit der *potentiellen Energie* eines geladenen Akkumulators, eines

explosiven Knallgasgemisches, eines Sprengstoffes, oder der Kohlehydrate und Proteine des lebendigen Körpers in Gegenwart von disponiblem und aktivem Sauerstoff? Oder gar mit den ungeheuren schlummernden Energien eines Atomkerns wie des Radiums, der sich teilweise entmaterialisieren, in strahlende Energie übergehen kann? Eine *energetische Betrachtungsweise* ist primär und universell fruchtbar, und sie ist auch der Biologie, soweit diese sich physikalischer und chemischer Denkmethoden bedient, von vornherein angemessen. Begriffe wie Triebgrundlage, Mneme, organisches Erbgedächtnis, Potenz, Bereitschaft, Disposition schließen sich dem physikalischen Begriff potentieller oder latenter, virtueller Energien ohne weiteres an, indem sie diesen biologisch weiterführen.

Die *Unterscheidung zwischen Erhaltungs- oder Umsetzungskausalität (EK.)*, die festen Zahlenbeziehungen folgt, und *Anstoß- oder Anlaß- oder Auslösungskausalität (AK.)*, bei der dies nicht der Fall ist, läßt das eine unteilbare *Kausalpostulat unberührt*; sie ordnet sich dem allgemeinen Kausalprinzip unter: daß alles, was in der Natur geschieht, nach festen Regeln geschieht (Kant), daß also ein gesetzliches Ordnungsgefüge in der Aufeinanderfolge des Naturgeschehens besteht. Durchweg treten in der Naturwirklichkeit die vom Menschengestalt logisch verschiedenen kausalen Grundformen *verbunden* auf. Als verhältnismäßig reinste Formen der AK. erscheinen die katalytische Wirksamkeit und die Betätigung des Willens, jedoch auch sie setzen ein „Substrat“ voraus, das sich nach stofflichen und energetischen Äquivalenzverhältnissen umsetzt. Die meisten biologischen Begriffe konkreter oder abstrakter Art enthalten EK.- und AK.-Momente in inniger Verschmelzung, so z. B. die Begriffe Faktor (Lokal- und Allgemein-), Funktion, Induktion, Organisation, Trieb, Entwicklung, Vererbung, Anpassung.

Auch „Bedingungen“ der Umwelt und Inwelt können der „Anstoßkausalität“ eingeordnet werden. Sie sind Teilanstöße und Konstellationen von solchen, Anreize oft recht versteckter und schleichender Art — wie vor allem die Pathologie zeigt —; aus dem Dunkel kommende An- und Zugriffe, deren Wirkung erst beim Einsetzen eines neuen

„deutlicheren“ Anlasses sichtbar wird; dieser (z. B. eine Infektion) gilt dann als die *entscheidende Ursache*, die eigentliche Auslösung, der Hauptfaktor, doch ist die Ausdrucksweise hier nicht einheitlich.

Mathematische Biologie oder nicht? Soweit es sich um EK. handelt, sind von vornherein die Bedingungen für eine Anwendung der Mathematik gegeben. Im Hinblick auf die AK. hat R. Mayer mit etwas zu scharfer Zuspitzung gesagt: „In der Physik ist die Zahl alles, in der Physiologie ist sie wenig, in der Metaphysik ist sie nichts“ (M. I. 355). Seine eigene Arbeit aber hat unter dem Leitspruch gestanden: „Zahlen sind die gesuchten Fundamente einer exakten Naturforschung“ (M. I. 357).

Wie schon das Bestehen von „bemessener Auslösung“ zeigt (z. B. in der Dosierung eines Katalysators, eines Wirkstoffes), haben Zahlenbeziehungen auch für die AK. Bedeutung; jedoch wird die Anwendung der Mathematik, abgesehen von Statistik, um so schwieriger und aussichtsärmer, je mehr man sich dem Gebiet des auslösenden und richtenden Willens (reellen oder fingierten) zuwendet²¹. Während die Mathematik „in den physikalischen Wissenschaften ein souveränes Szepter führt“, ist sie nach R. Mayer auf dem Gebiet des Lebenden „doch durch Konstitutionen beschränkt“ (M. I. 428).

So wichtig die Rolle ist, die im Fortgang biologischer Forschungen *Hypothesen und Figuren* spielen: ein genereller *Relativismus* ist doch nicht angebracht²². Es gibt volle *biologische Wahrheiten*, und zwar nicht nur mathematisch formulierbarer Art; allerdings immer Wahrheiten für den forschenden Menschen, innerhalb der Grenzen menschlichen Erkenntnisvermögens. Das große Reich des Irrationalen bleibt bestehen, ja es tritt bei Anlegung von R. Mayers Wirklehre besonders deutlich hervor.

Grundsätzlich festhalten wird man nach R. Mayer an der Überzeugung „einer zwischen der subjektiven und der objektiven Welt prästabilierten ewigen Harmonie“: „Was subjektiv richtig gedacht ist, ist auch objektiv wahr“ (M. I. 357). Wiederum aber: „Die Wahrheit ist ja an und für sich ewig, und das Ewige läßt sich nicht definieren und auch nicht beweisen“ (M. I. 418).

Anmerkungen:

1 Einer strengen Begriffssauberkeit zuliebe sollte das Wort „Mechanismus“ auf die Gesetzmäßigkeiten der klassischen und der statistischen Mechanik eingeschränkt bleiben: alle Identifizierung von „Mechanismus“ mit den allgemeineren Begriffen „Physikalismus“ und „Chemismus“, oder gar mit „Kausalismus“ überhaupt, ist vom Übel. Schon Chemismus ist kein Mechanismus! (Es muß befremden wenn manche Forscher denjenigen Mechanismus, den man in der Biologie verurteilt, in der Physik seiner Anschaulichkeit wegen rühmen und als allein zulässig hinstellen, während man mathematischen Energetismus — auch kritisch besonnenen — schlechthin mit Formalismus gleichsetzt und darum verwirft.) — 2 Man braucht gar nicht bis in das subatomare Gebiet zu gehen; schon im Verkehr der Atome untereinander herrschen andere Spielregeln als den „Zentralkräften“ der klassischen Punkt- und Körpermechanik entspricht; sonst hätten sich nicht die größten Chemiker des 19. Jahrhunderts anzustrengen brauchen, die Kausalität des Chemismus aufzudecken. Was hier herrscht, das ist primär energetische Kausalität; und zwar haben in bezug auf Art und Richtung des Wirkens jedes Atom und jede Verbindung gegen ein beliebiges andere Stoffgebilde ihre eigene „spezifische“ Energie („Affinität“ genannt), auf Grund individueller Resonanzen. — 3 Zur biologischen Theorie der letzten Jahrhunderte, insbesondere hinsichtlich der „Lebenskraft“, s. Hans Driesch, *Geschichte des Vitalismus*. 2. Aufl. 1922; E. Bleuler, *Mechanismus, Vitalismus, Mnemismus*. 1930; E. v. Lippmann, *Urzeugung und Lebenskraft*. 1933; A. Mittasch, *Katalyse und Lebenskraft*, Umschau 1936, 733; E. Radl, *Geschichte der biologischen Theorien*. 2 Bde. Leipzig 1905 u. 1913. — 4 Dem zweiten Hauptsatz der Energetik, dem thermodynamischen Gesetz von der natürlichen Zunahme der Entropie (= Dissipation und Entwertung der Energie im irreversiblen Naturprozeß) hat R. Mayer geringe Beachtung geschenkt. Hier, zumal in den chemischen Konsequenzen hinsichtlich der variablen freien Energie eines Systems im Gegensatz zu der Gesamtenergie, kommen die Namen Clausius, W. Thomson, Helmholtz, W. Gibbs, Horstmann, van 't Hoff, Planck, Nernst („dritter Wärmesatz“) u. a. zur Geltung. (Thermische Energien z. B. auch höchsten Maßes, sind ohne die Möglichkeit eines „Intensitätenabfalles“ auf niedere Ebene unproduktiv; im wahren, totalen chemischen Gleichgewicht geschieht nichts Neues.) — 5 Der Umstand, daß das gleiche Wort „Energie“ von seiner ursprünglichen allgemeinen Bedeutung „Fähigkeit, Vermögen“ in der Physik zu einer besonderen mathematisch fixierten Bedeutung gelangt ist, kann leicht irreführen. Von J. von Grot, Bechterew, Krainsky, Lasswitz, G. Helm über Stumpf, Külpe u. a. bis zu C. G. Jung und Hans Berger (Psyche. 1941) ist immer wieder der Versuch unternommen worden, der Reihe der Energieformen der Natur eine psychische (oder auch „vitale“) Energie einzuordnen. Robert Mayer hat klarer gesehen, indem er „das geistige Prinzip“ der Anstoßkausalität zuordnet. (Siehe hierzu A. Mittasch, Julius Robert Mayers Kausalbegriff, S. 103 ff. Berlin 1940.) Auch Johannes Müllers „spezifische Energie“ der Sinnesnerven ist keine „Energie“ im physikalisch-chemischen Sinne; vielmehr erscheint sie schließlich als die Fähigkeit der Seele, physische Vorgänge auf bestimmten differenzierten Sinnesgebieten ihrer subjektiven Bedeutung gemäß auszulegen. — 6 1851 hat R. Mayer gesagt: „Was insbesondere die Kräftefrage angeht, so handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine ‚Kraft‘ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir ‚Kraft‘ nennen wollen.“ Das Bestehen nichtenergetischer Trieb-, Richt- und Formkräfte oder Oberkräfte ist z. B. von Johannes Reinke stark betont worden: „Dominanten, diaphysische Kräfte“; dem entsprechen die „bilanzfreien Impulse“ von R. Woltereck. Positivistischen Versuchen, den Kraftbegriff (auch für Wirkkraft!) ganz auszumerzen und sich auf reine Beschreibung des tatsächlich Beobachteten zu beschränken, ist ein Ausspruch von Heisenberg (1941) entgegenzuhalten: „Die Forderung, daß nur durchaus erfahrungsgemäß fundierte Begriffe zur Beschreibung der Erscheinungen angewendet werden dürfen, wäre ganz und gar undurchführbar, denn dann bedürften wohl die alltäglichsten Begriffe einer Revision, und es ist schwer abzusehen, wieviel von unserer

Sprache danach überhaupt noch übrigbliebe.“ Auslosekräfte sind auch in intellektueller wie motorischer „Erinnerung“ tätig. — 7 Siehe hierzu Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie. 1936; Kurze Geschichte der Katalyse. 1939. Wenn O. Bumke (Gedanken über die Seele, S. 146, 1941) sagt, die Chemie habe „ihre Lehren ... auf die rein quantitativen Beziehungen ihrer Elemente gestützt“, so ist von ihm das große Gebiet der Katalyse außer acht geassen worden; katalytische Bewirkung steht an sich außerhalb der Äquivalenzbeziehungen. Über die große Bedeutung der Autokatalyse in Chemie und Biologie s. A. Mittasch, Chemik.-Ztg 1936, 793. — 8 Schon in seiner großen Schrift von 1845 „Die organische Bewegung“ hatte R. Mayer der Katalyse starke Beachtung geschenkt. Hier findet sich die allgemeine (zu allgemeine) Definition: „Katalytisch heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Größenverhältnis steht. Eine Lawine stürzt in das Tal; der Windstoß oder der Flügelschlag eines Vogels ist die katalytische Kraft, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt“ (M. I. 102). — 9 Erschienen in „Fort-schritte der Physik“ 1847, ausgegeben Berlin 1850, S. 292 ff. Siehe auch in „Reden und Aufsätze“ Bd. 1: Über tierische Bewegung. 1851, Über die Grenzen des Naturerkennens. 1872; Bd. 2: Die sieben Welttratsel. 1882. — 10 Wenn bezweifelt wird (O. Scharlau, Naturwiss. 1941, 47), ob, gemäß R. Mayers Wirklehre, „die Unterscheidung von Erhaltung- und Auslöschungskausalität grundsätzlich notwendig ist“, so ist zu sagen: es handelt sich darum, welche Wirklehre logisch, d. h. in bezug auf Widerspruchsfreiheit und Geschlossenheit der Darstellung die größten Vorteile bietet. Das soll hier für Robert Mayers Wirklehre wiederum gezeigt werden. — 11 Für die Labilität und Plastizität des höheren animalischen Organismus ist es von größter Bedeutung, daß die „dirigierenden Reaktionen“, die sich in den Protoiden des Nervensystems vollziehen, an sehr geringe Energieumsetzungen geknüpft sind. Dazu steht allgemein in der Reaktionskopplung dem Organismus ein Mittel zur Verfügung, nicht „von selbst“ verlaufende Reaktionen, die dem Abfall der freien Energie entgegengerichtet sind, dadurch zu verwirklichen, daß sie stofflich-energetisch mit freiwillig vor sich gehenden Reaktionen innig verquickt werden. Von „Ektronomie“ (Fr. Auerbach) kann also, im ganzen gesehen, nicht die Rede sein. (Hierzu A. Mittasch, J.R. Mayers Kausalbegriff, S. 102. 1940.) — 12 „Biologischer Reiz ist jede Ursache, die an einem lebenden Organismus eine Folgewirkung ins Leben ruft“ (Herbst). Auf Widerstandsüberwindung gerichtete Reizwirkung kann entweder der Alles-oder-nichts-Regel folgen, entsprechend einer Explosion z. B. durch Katalyse, oder sie kann bemessener Art sein, nach der Weise einer Ventilstellung, einer Wirkstoffdosierung. Um ausgesprochene Reizkausalität handelt es sich, wenn es z. B. bei Otfried Foerster und O. Gagel heißt: „Vom vorderen Abschnitt des Hypothalamus wird die Rinde eingeschaltet, angeregt, getrieben, geschürt, entflammt, von der Oblongata und dem zentralen Höhlengrau des Aquädukts und des hinteren Abschnittes des dritten Ventrikels aus wird gehemmt, eingelullt und ganz ausgeschaltet“; Z. Neur. 149, 312 (1934). Gene als Stoffe oder Stoffsysteme bilden den Ausgangspunkt für Reaktionsketten, z. B. durch Bildung oder Aktivierung von Fermenten, und eröffnen so den Weg zur Bildung des „Merkmals“. In welchem Maße die gesamte heutige Physiologie, Pathologie, Psychologie, Psychiatrie auf die Begriffe Lenkung, Hemmung, Unterdrückung, Steuerung angewiesen sind, braucht nicht näher ausgeführt zu werden. Allenfalls wird von Erregen, Antreiben, Aufstören, Startenlassen, Stimulieren, Anfechten, Bremsen, Abstoppen, Induzieren, von Weichenstellung, von mehrfach gesicherter Regulierung, von Auslöschketten usw. geredet. — 13 Der Begriff „Regulierung“ spielt bei R. Mayers biologisch-medizinischen Äußerungen eine maßgebende Rolle. So heißt es in dem Aufsatz „Über das Fieber“ (1862): „Die Regulierung des chemischen Prozeß ... ist nun im Fieber wesentlich gestört“ (M. I. 330); und 1876 wiederum, „daß die Störung der Wärmeregulation ein wesentliches Symptom aller fieberhaften Krankheiten ist“ (M. I. 444). „Zahlreiche Apparate sind im lebenden Tier unausgesetzt beschäftigt ... die chemischen Prozesse ... zu regeln“ (M. I. 92). Alle Reizpathologie ist zugleich Regulations-, Ganzheits- und Rangordnungs-pathologie. Vgl. auch

Billroths „Oberkräfte“. — 14 Nach dynamischer Auffassung ist der Organismus kein bloßes „Sein“, sondern eine hierarchische Gefügeordnung stationärer Ströme, also ein Dauergeschehen, ein Wechselspiel von arbeitenden Energien und dirigierenden „Dominanten“ (nach J. Reinke). „Die Ereignisse, nicht die Teilchen, stellen die wahre objektive Wirklichkeit dar“ (Jeans). Tätigkeit ist die wahre Realität“ (Novallis). Überbedenkliche positivistische Einstellung führte früher zu der Behauptung: „Die Kraft hält kaum jemand noch für eine Realität“ (Boltzmann; ähnlich H. Hertz). Dem steht, zumal seit der Entdeckung der Äquivalenz von Energie und Materie, R. Mayers Satz gegenüber: „Kraft ist: Alles.“ (M. I. 251). „In allen Erscheinungen der Schöpfung kennen und erkennen wir nur die Kräfte“ (Faraday). Der großangelegte „holistische Versuch von Adolf Meyer, die Gesetzmäßigkeiten der niederen Schichten aus denjenigen der jeweils höheren abzuleiten (die physikalisch-chemischen Energien werden als „Degenerationsprodukte der organisch-spezifischen Energien“ hingestellt, „Entropie“ wird aus „Entleerung“ rückgeleitet), ist nicht streng durchführbar. Tatsächlich ist im Biologischen weder das Höhere aus dem Niederen, noch das Niedere aus dem Höheren exakt zu folgern (Kontingenz der Schichtgesetzlichkeit). Zur organismischen Hierarchie s. Armin Müller: Das objektive Rangordnungsprinzip in der Biologie, Philosoph. Hefte 4, 76 (1933). — 15 Siehe hierzu A. Mittasch, Was hat Robert Mayers Kausallehre dem Juristen zu bieten? Arch. Rechts- u. Sozialphilos. 33, 236 (1940). — 16 Siehe hierzu A. Mittasch, Was ist Ganzheitskausalität? Acta Biotheoretica 4, 73 (1938). — 17 Wenn hierzu kritisch bemerkt wird (Naturwiss. 1940, 47), es erscheine unmöglich, „daß etwas stofflich nicht Existierendes direkt mechanische Wirkungen ausüben könne“ (das Wort „direkt“ steht bei R. Mayer nicht!), so wird — ganz abgesehen von der Tatsache der Wirkung von Photonen und elektrischen Wellen auf die Materie — die Fragestellung gegeben sein: Kann der Wille bewirken (d. h. durch Anstoß bewirken)? Und wenn ja, ist er folglich etwas Stoffliches? „Der Wille hat Kausalität, nicht nur auf das unmittelbare Objekt und so auf die Außenwelt, sondern auch auf das erkennende Subjekt“ (Schopenhauer, Werke, Ausgabe Hübscher 7, 80. 1813). Tatsächlich sprechen Physiologie und Psychologie regelmäßig und mit Recht von auslösender Bewirkung physischer Vorgänge durch psychische Zustände und umgekehrt. Wenn aber gesagt wird, es könne „eine Willenskraft dem Physiker nie begegnen“ (Th. Haering, Z. dtsh. Kulturphilos. 8, 42 ff. [1940]), so mag das für den rechnenden Physiker stimmen, für den lebenden nimmermehr! Vom Gesichtspunkt der A. K. fallen Aussprüche wie der folgende ohne weiteres hin: „Ein psychisches Geschehen kann niemals als Wirkung eines physiologischen Vorganges und ebenso auch ein psychisches Geschehen nicht als Ursache eines physischen gelten“ (Sigwart). (Siehe hierzu A. Mittasch, Gedanken über das Wirken in der Natur. 28. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. 1941, 111 [Psychische und psychophysische Kausalität].) — 18 Wurde durch Schopenhauer und nach ihm durch Nietzsche der Primat des Willens in der Natur gelehrt, so hat R. Mayer gezeigt, daß „Willenskraft“ nicht Energie schaffend, sondern nur Energie auslösend und richtend sich betätigen kann. Nach Heyer, Seelenführung. 1929, ist der Wille „nie schöpferisch; er kann richten, bremsen und stoppen; aber schaffen kann er nie und nichts. Wenn wir die Dränge und Triebe mit dem Motor unseres Lebenswagens vergleichen, so wäre der Wille mit dem Steuer und der Bremsvorrichtung gekennzeichnet.“ (Der Vergleich des Willens mit dem Steuermann eines Schiffes findet sich bereits bei R. Mayer und bei Nietzsche.) Von W. Ostwald wird die Beziehung zwischen Willensgeschehen und „Energie“ mit Rücksicht auf den 2. Hauptsatz folgendermaßen gekennzeichnet: „Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Verminderung der freien Energie“ („Der Wille und seine physische Grundlegung“, Scientia 1911, 364). Spemanns „Organisatoren“ sind nach seiner eigenen Auffassung gewissermaßen Anweisung gebende Instanz, also letztlich eine Art „Willensträger“. — 19 Mit dem klassischen Physiker Gustav Adolf Hün (1815–1890) nimmt R. Mayer „dreierlei Kategorien von Existenzen“ an: „1. die Materie, 2. die Kraft und 3. die Seele oder das geistige Prinzip. — Das Gehirn ist nur das Werkzeug, es ist nicht der Geist selbst.“ Allerdings: „Der

Geist . . . ist kein Untersuchungsobjekt für den Physiker und Anatomen“ (M. I. 357). Indem nach R. Mayers energetischer Wirklehre der zielsetzende und gestaltende Wille selber als kausaler Faktor (d. h. auslösender und richtender Art) erscheint, ist „das gelstige Prinzip“ unmittelbar der Kausalität eingeordnet. Der Wille, dem Katalysator vergleichbar, wirkt auf latente Energie auslösend, richtend, zusammenfassend, gestaltend. Auch der von Armin Müller u. a. in bedeutsamen morphologischen Arbeiten durchgeführte Begriff der „Polarität“ kann demgemäß der Naturplanung eingeordnet werden, indem er auf eine A. K. hohen Stiles hinweist. „Keine Künstlichkeit ohne Vorbedachtheit“ (A. Krönig). — 20 Siehe hierzu A. Mittasch, *Ein hundred Jahre Energetik*, Kraftstoff 1940, 267. W. Ostwalds Energetik enthält durchaus einen gesunden Kern; durch übertreibende Einseitigkeit, wie die Ablehnung des Atomismus, hat sie sich jedoch um einen guten Teil möglicher Einwirkung auf die Wissenschaft gebracht. Die Folgezeit hat gezeigt, daß der Begriff der „Energie“ selber einer atomistischen Aufspaltung zugänglich ist, ja eine solche verlangt (Plancks Quantenlehre). Sachgemäß ausgelegt, wird W. Ostwalds Ausspruch von 1895 volle Geltung besitzen: „Die hoffnungsvollste wissenschaftliche Gabe, die das scheldende Jahrhundert dem aufdämmernden reichen kann, ist der Ersatz der mechanischen Weltanschauung durch die energetische.“ Was man Eigenaktivität und Spontaneität des Organismus nennt, das folgt aus der Tatsache des Bestehens zahlloser gerichteter potentieller Energien des Organismus, zusammen mit der weiteren Tatsache unablässiger „Relzüberflutung“ („Antriebsüberschuß“, nach Gehlen) als Förderung gewissermaßen ganz von selbst. Dauernde Not der Entscheidung drängt nach seelischer und überseelischer Führung latenter Energien. — 21 Menschliche Vernunft wird nicht fehlgehen, wenn sie diejenigen Betätigungen, welche die höchsten Werte erzeugen, — also vor allem diejenigen des Erkennenden und gestaltenden Genius — als einen Abglanz von Eigenschaften ansieht, welche der schaffenden Natur in höchstpotenziertem Maße zukommen. „Kann denn das Ganze der Welt schlechter gestellt und minder bemittelt sein als eines seiner Glieder?“ Allenthalben in der Natur herrscht nicht nur ein Wille zur Macht, sondern auch ein „Wille zum Werk“ (Georg Burckhardt) sowie ein Wille zum Wert und zur Werterhöhung. Im Anschluß an R. Mayer darf man metaphysisch vielleicht meinen: Im Anorganisch-Stofflichen waltet und spielt der „Naturgeist“ (oder das den Sinnen als „leerer Himmelsraum“ erscheinende Energiefeld) mit der Materie als seinem Erzeugnis; im organischen Leben kommt dazu, daß dieser Naturgeist — oder zunächst der ihm untergeordnete Erdgeist — auch mit sich selber experimentiert und so auf uns unbekannt Ziele hinstrebt. Siehe hierzu K. Groos, *Seele und Raum*. Z. dtsh. Kulturphil. 5, 107 (1939); auch 7, 25 (1940): Zur Frage des ursachlosen Geschehens. — 22 Über erkenntnistheoretischen Relativismus s. Eduard May, *Am Abgrund des Relativismus*. 1941; Else Wentscher, *Relative oder absolute Wahrheit?* 1941. Auf die zahlreichen Bemühungen der Gegenwart um eine sinnvolle Biologie; ohne in den „harten“ Vitalismus von Hans Driesch zu verfallen, kann hier nicht eingegangen werden; es seien andeutungsweise nur die Namen Alverdes, André, Bavink, Feyerabend, v. Bertalanffy, Bier, Boas, Böker, Bünning, Hasebroek, Herbst, Armin Müller, Adolf Meyer, Troll, E. Ungerer, v. Uexküll, R. Woltereck, Benninghoff, Beurlen genannt. In Robert Mayers Kausalik wird hierfür ein zuverlässiges und entwicklungsfähiges logisches Werkzeug geboten.

Der Kraftbegriff bei Leibniz, Robert Mayer, Nietzsche*

„Wer das Tiefste gedacht, liebt das Lebendigste“

Friedrich Hölderlin

Seit der Erneuerung der Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert haben zwei Grundbegriffe um die Vorherrschaft gerungen: *Bewegung und Kraft*. Ist die Ordnung des Naturgeschehens in erster Linie eine Bewegungsordnung oder eine Kraftordnung?

In den Anfängen hat unverkennbar — und begreiflicherweise — der *Bewegungsbegriff* im Vordergrund gestanden. Bewegungsgesetze sind es, die Galilei für irdische Körper, Kepler für die Gestirne aufgefunden hat; eine terrestrische und astronomische *Mechanik* hat sich von da ab durch die Bemühungen von I. Newton, Chr. Huygens und vielen anderen Forschern geradezu stürmisch und ungemein fruchtbar entwickelt. Selbst in verschiedenen Fällen, wo zunächst keine Bewegung, das heißt Verlagerung von Masseteilen erkennbar war, hat eine geschärfte Beobachtung doch solche Bewegungen feststellen können; die Wärme beliebiger Körper hat sich als ein Zustand geringerer oder heftigerer Molekularbewegung erwiesen. Temperatur und Druck von Gasen können gemäß der kinetischen Gastheorie als Funktion solcher Molekularbewegung behandelt und beherrscht werden. In Fällen, wo man keine wägbare Masse festzustellen vermochte, wurden demgemäß „Fluida“, Stoffe verborgener Art erdacht, vor allem der *Lichtäther*, dessen schwingende Bewegung die Fülle der Lichterscheinungen hervorrufen sollte. Schließlich wurden nicht nur alle Vorgänge, sondern auch alle materiellen Zustände der Natur als „offenbare oder verborgene Bewegungen offener oder verborgener Massen“ angesehen (H. Helmholtz, Heinrich Hertz).

Mehr und mehr hat sich aber auch in der strengen exakten Wissenschaft der *Kraftbegriff* geltend gemacht. Dem menschlichen *Kraftgefühl* bei freiwilliger Muskelbetätigung entsprossen, ist der Kraftbegriff aus dem alltäglichen Leben einst in den Begriffsschatz der griechischen Naturphilo-

* Julius Robert Mayer-Heft des „Proteus“ Bd. III Teil 3 (1942; Paul Diergart als Herausgeber). S. 69—76.

sohpie übergegangen. (Dynamis des Aristoteles). Er hat weiter in den Zeiten mittelalterlicher Scholastik hie und da (so bei Cusanus) eine Rolle gespielt; zu einer vollen Entfaltung hat er jedoch erst gelangen können, als im Zeitalter der Erneuerung der Wissenschaft und im Rahmen der neuen Mechanik die *Kraft genau meßbar* gemacht werden konnte.

Bei Leibniz steht zum ersten Male der (nach seinen Worten „metaphysische“) *Kraftbegriff* (statt des Massebegriffes) im Mittelpunkt nicht nur physikalischer Erörterungen, sondern auch philosophischen Denkens. Die *Motaden* sind in erster Linie Kräfteinheiten, zugleich aber auch „lebendige Spiegel des Universums“.

Aus der geschichtlichen Entwicklung folgt, daß es in erster Linie die in Druck und Stoß bestehende, auf Fall und „Anziehung“ zurückzuführende *Bewegungskraft* ist, welche experimentell und mathematisch verfolgt wurde; ist sie ja auch die dem Menschen auf Grund seiner Muskel-tätigkeit besonders vertraute Form der Kraft.

Außer dieser *lebendigen Kraft* (*vis viva, activa*) einer bewegten Masse, die zur Arbeitleistung führt, wurde bald eine „tote Kraft“ (*vis mortua*) als Arbeitbereitschaft erkannt. Sie liegt der lebendigen Kraft zugrunde: eine fallende Masse, eine herabrollende Kugel kann erst Wirkungen ausüben, wenn sie zuvor auf eine bestimmte Höhe gehoben worden ist; desgleichen muß eine Metallfeder gespannt worden sein, wenn sie durch Entspannung Arbeit leisten soll. Von Newton stammt die große Entdeckung, daß die Kraft des gehobenen Steines, die Schwerkraft (von R. Mayer „Fallkraft“ genannt) wesensgleich mit derjenigen universellen Kraft ist, welche die Gestirne ihren von Kepler erkannten Lauf vollführen läßt: *Attraktion, Gravitation* als eine „*Distanzenergie*“ (nach W. Ostwald), eine „*Zentralkraft*“ mit bestimmter Abhängigkeit von der Größe der Entfernung der „sich anziehenden“ Massen. Ferner haben Pendelversuche (Huygens) gezeigt, daß bei den Schwingungen jeden Pendels rhythmisch ein Übergang von toter Kraft (am Umkehrpunkt der Bewegung) in lebendige Kraft (Schwungkraft) stattfindet.

Im Zusammenhang mit der Unterscheidung von toter und lebendiger Kraft ergab sich die Feststellung einer

Äquivalenz, ja einer Gleichheit von Ursache und Wirkung. Je höher der Stein erhoben ist, und je größer seine Masse ist, um so größer kann die — erwünschte oder unerwünschte Wirkung sein, die er beim Fall auf einen Gegenstand hervorrufen kann: *causa aequat effectum*, die Ursache ist proportional, ja bei Wahl geeigneter Maße größengleich der Wirkung.

Der Streit um das *wahre Kraftmaß*, der durch Jahrhunderte die Geister beschäftigt hat, ist schließlich in einfachster Weise erledigt worden; sowohl der Kraftbegriff von Galilei, Descartes, Newton (Masse mal Beschleunigung) wie derjenige von Leibniz und Huygens (Masse mal Quadrat der Geschwindigkeit — nach Coriolis *halbe* Masse —) hat seinen gesicherten Platz in der Physik; nur, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, der letzteren „Kraft“ (noch von R. Mayer und Helmholtz so genannt) einen eigenen Namen zu geben: Energie nach William Thomson und W. J. M. Rankine (um 1850), umfassend *Arbeit* (kinetische oder aktuelle Energie) und *Arbeitsfähigkeit* (latente, potentielle, virtuelle Energie; früher „Spannkraft“).

Die Forschungen über die Umwandlungsbeziehungen von toter und lebendiger Kraft haben sich zunächst innerhalb der *Mechanik* bewegt. Eine Arbeit leistende Bewegungskraft ist die Ursache irgendeiner Wirkung. So konnte schon Leibniz eine Äquivalenz (Gleichwertigkeit) von toter Kraft und lebendiger Kraft und demgemäß auch eine *Erhaltung der Gesamtkraft im geschlossenen System* feststellen. Weiterhin aber hat Leibniz erkannt, oder zumindest geahnt, daß auch *über das Gebot der Mechanik hinaus*, also z. B. beim scheinbaren völligen Verschwinden von Bewegung, wie sie im Vorgang der Reibung zu beobachten ist, die „Kraft“ größtmäßig erhalten bleibt.

In einem Brief an Marquis de l'Hôpital schreibt Leibniz: „Sie sehen, daß der Satz von der Gleichheit der Ursache und Wirkung . . . meiner Schätzung der Kraft zugrunde liegt. Diese erhält sich demgemäß in unwandelbarer Identität, d. h. es erhält sich immer das Quantum, das zur Hervorbringung einer bestimmten Wirkung — zur Erhebung eines Gewichtes auf eine bestimmte Höhe, zur Spannung einer Feder, zur Mitteilung einer bestimmten Geschwindigkeit usw. erforderlich ist, ohne daß in der Gesamtwirkung

das Geringste verloren oder gewonnen gehen kann, wenn gleich allerdings ein Teil von ihr . . . durch die nicht mehr wahrnehmbaren Teile des Körpers selbst oder durch seine Umgebung absorbiert wird. — Was durch die kleinsten Teile absorbiert wird, geht keineswegs für das Universum verloren, obwohl es für die Gesamtkraft der zusammenstoßenden Körper verlorengeht.“

In der Zeit nach Leibniz bis in den Beginn des 19. Jahrhunderts ist man den *Beziehungen der Bewegungskraft zu anderen*, immer mehr in den Gesichtskreis tretenden *Formen der „Kraft“* in mannigfacher Weise nachgegangen. Durch mechanische Reibung kann *Wärme* entstehen, wie vor allem Graf Rumford in seinen Beobachtungen beim Bohren von Kanonenrohren (1778) gezeigt hat; durch Reibung aber kann auch *Elektrizität* entstehen, mit deren Gesetzen man sich von L. Galvani und Volta ab eifrig beschäftigte. Ferner wurden Zusammenhänge von Licht und Wärme, Magnetismus und Elektrizität, Elektrizität und chemischer Verwandtschaftskraft erkannt; die latente Kraft der Kohle, die in Dampfmaschinen auf dem Wärmewege Arbeit leistet, fand zunehmendes Interesse; Thermo-*elektrizität*, elektrisches Bogenlicht, die chemischen Wirkungen des Lichtes usw. wurden beobachtet und studiert. Auch von einer *Einheit der Naturkraft*, ja auch von einer Erhaltung der Gesamtkraft wurde mehrfach gesprochen. Arthur Schopenhauer lehrt eine „Äternität und Ubiquität“ der Naturkräfte. „Alle Naturkräfte sind nur eine Kraft. Alle Kraft gehört zur Weltkraft“ (Novalis-Hardenberg).

Noch aber war in keinem Fall ein strenger *Nachweis* erbracht, daß das Gesetz der *Erhaltung der Kraft über das Gebiet der Mechanik hinaus allgemeine Gültigkeit besitzt*. Diesen großen Schritt über Leibniz hinaus hat Robert Mayer 1842 getan, als es ihm gelang, aus vorliegenden experimentellen Daten der Gasphysik das mechanische Wärmeäquivalent zu berechnen: Eine Wärmeeinheit (Kalorie) entspricht nach seinen ersten Berechnungen 365, nach späteren auf Grund genauerer Unterlagen 425 Meterkilogramm.

Robert Mayer war von vornherein überzeugt, daß ähnliche feste Größenbeziehungen zwischen verschwindender Kraft und entstehender Kraft auch für andere Umwand-

lungen von Kräften bestehen, also z. B. zwischen chemischer Affinität und Elektrizität, zwischen Licht und Wärme usw.; genaue Messungen von anderen Forschern (z. B. Joule) haben ihm bald recht gegeben. Einzig das Gebiet der inneratomaren Energien, die in Radioaktivität und künstlichen Atomumwandlungen zutage treten, blieb ihm noch verschlossen.

In klassischen Formulierungen hat Robert Mayer seine Ergebnisse über die Unzerstörbarkeit der Kraft — weiter verfolgt von F. P. Joule und Helmholtz — niedergelegt: „*Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft*. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft.“ (1845). Dieses Prinzip bildet das „*Naturgesetz der Erschöpfung der Ursachen durch die Wirkung*“. „*Die Wärme ist eine Kraft*; sie läßt sich in mechanischen Effekt verwandeln. — Bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen bleibt die gegebene Kraft eine konstante Größe.“ Für Pflanzen und Tiere gilt, daß „während des Lebensprozesses nur eine Umwandlung so wie der Materie, so der Kraft, niemals aber eine Erschaffung der einen oder anderen“ vor sich geht¹. Max Rubner, Atwater und andere haben den experimentellen Nachweis geliefert, daß auch im lebenden Organismus keine Energie aus dem Nichts entsteht, sondern nur Umwandlungen, „Entwertungen“ freier Energie stattfinden.

Einen überraschend starken Eindruck hat Robert Mayers Kraftlehre auf Friedrich Nietzsche gemacht². Am 16. April 1881 schreibt er aus Genua an Peter Gast über Mayers Buch „*Mechanik der Wärme*“: „In solchen schlichten und fröhlichen Büchern wie dem Robert Mayers gibt es eine Harmonie der Sphären zu hören: eine Musik, die *nur* für den wissenschaftlichen Menschen bereitet ist.“

Robert Mayers Lehre bildet für Nietzsche nicht nur den Anlaß zu eigenen philosophischen Formulierungen des Erhaltungsprinzipes, sondern auch die willkommene vermeintliche Grundlage seiner Lehre von „ewiger Wiederkunft des Gleichen“. „Der Satz vom Bestehen der Energie (soll heißen von der Erhaltung der Energie) fordert die *ewige Wiederkehr*. Die beiden extremsten Denkweisen — die mechanische

und die platonische — kommen überein in der ewigen Wiederkunft: beide als Ideale.“

„Und wißt ihr auch, was mir die Welt ist? Soll ich sie euch in meinem Spiegel zeigen? Diese Welt: ein Ungeheuer von Kraft, ohne Anfang, ohne Ende, eine feste, eiserne Größe von Kraft, welche nicht größer, nicht kleiner wird, die sich nicht verbraucht, sondern nur verwandelt, als Ganzes unveränderlich groß, ein Haushalt ohne Ausgaben und Einbußen, aber ebenso ohne Zuwachs, ohne Einnahmen, vom ‚Nichts‘ umschlossen als von seiner Grenze, (...), als Kraft überall, als Spiel von Kräften und Kraftquellen zugleich eins und vieles (...), ein Meer in sich selber stürmender und flutender Kräfte, ewig sich wandelnd, ewig zurücklaufend (...).“

Wenn es somit durchaus keine Gewaltsamkeit bedeutet, Nietzsche an Leibniz und Robert Mayer anzuschließen, so findet diese Namenszusammenstellung doch ihre volle Rechtfertigung erst dann, wenn man von den anerkannten *Wirkkräften der Natur* zu den viel weniger durchschaubaren *Trieb- und Richtkräften* der Natur übergeht.

Schon in der alten scholastischen Unterscheidung einer *causa occasionalis*, sowie auch *causa finalis*, von einer *causa efficiens* bereitet sich eine logische Trennung vor, wie sie sich von Leibniz ab in der Naturwissenschaft mehr und mehr geltend gemacht hat. Leibniz kennt *Realisierungsantriebe*, die notwendig sind, damit die Potenz zum Akt wird: „Aus jeder Tendenz folgt die Aktion, sofern sie nicht verhindert wird.“ Den Wirkursachen stehen Zielursachen gegenüber, ein *Entelechieprinzip* herrscht in der Ordnungsgesetzlichkeit der Natur.

Schopenhauer kennt neben einem Gleichheitsverhältnis von Ursache und Wirkung, wie es in der mechanischen Kausalität zutage tritt, auch den Satz „Kleine Ursachen, große Wirkungen“. Schon im Chemischen sind Ursache und Wirkung nicht notwendig „kommensurabel“, noch mehr „Heterogenität zwischen Ursache und Wirkung“ zeigt sich in physiologischer Reizwirkung, sowie in der Motivwirkung des Willens: „Der Stein muß gestoßen werden; der Mensch gehorcht einem Blick³.“

Eine voll befriedigende Harmonisierung der zwei Sätze: „Die Ursache ist gleich der Wirkung“, und „Kleine Ur-

sachen, große Wirkungen“ konnte erst gegeben werden, nachdem das Prinzip der Erhaltung der Energie bei allen Wandlungen ihrer Form einwandfrei erkannt und belegt worden war. Insbesondere ist es der Begriff der *latenten, der potentiellen Energie*, als einer Arbeitsbereitschaft, der die Möglichkeit gegeben hat, das bestehende Problem einwandfrei und endgültig zu lösen. Dies ist die zweite große Leistung Robert Mayers, wie sie von 1845 ab in verschiedenen Veröffentlichungen vorbereitet wird, und schließlich in einem besonderen Aufsatz „Über Auslösung“ von 1876 — Mayers letzter Arbeit — ihren klassischen Niederschlag gefunden hat.

„Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden — und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft die ‚Auslösung‘ nennt.“ Als wichtige Fälle von Auslösungen führt Mayer an: 1. Die mechanische Auslösung z. B. einer Schneelawine etwa durch den Flügelschlag eines Vogels. 2. Die chemische Auslösung, wie sie in der Kontaktwirkung, der *Katalyse* von Döbereiner und Berzelius zutage tritt. 3. Die physiologische *Reizwirkung*. 4. Die Muskeltätigkeit veranlassende und steuernde Tätigkeit des *Willens*, sowie verschiedener Gefühle und Affekte (Ausdrucksbewegungen).

Mayers grundlegender Aufsatz von 1876 ist nur wenig beachtet worden; Heinrich Rohlf, Eugen Dühring, Aloys Riehl, Wi. Ostwald, E. O. v. Lippmann haben auf seine Bedeutsamkeit aufmerksam gemacht. Geradezu revolutionär aber hat dieser Aufsatz auf Nietzsche im Jahre 1881 eingewirkt: „Über Auslösung ist für mich das Wesentlichste und Nützlichste in Mayers Buch“, so heißt es in einem Nachsatz des vorher erwähnten Schreibens an Peter Gast.

Wie stark Nietzsches gesamtes Denken über das Geschehen in der Natur und über das Tun des Menschen (also auch Nietzsches Triblehre, seine Lehre vom Willen zur Macht) von R. Mayers Auslösungsgedanken befruchtet worden ist, kann hier nicht ausführlich gezeigt werden⁴; wir begnügen uns mit einigen andeutenden Belegen: „Alle physiologischen Vorgänge sind darin gleich, daß sie Kraftauslösungen sind. — Damit ein Reiz wirklich auslösend wirkt, muß er stärker als der Gegenreiz sein. — Es muß eine Auslösung im Gehirn für jeden Reiz geben. — Das

Bild dient als auslösender Reiz. Wir messen alles nach der Explosion, die einen Reiz in uns hervorruft, als groß, klein usw. — Verstimmung als verhinderte Auslösung. — Glück wäre das Gleichgewicht der auslösenden Tätigkeiten aller Triebe. — Man schließt aus großen Kraft-Auslösungen auf große ‚Ursachen‘! Falsch! Es können unbedeutende Reize und Menschen sein, aber die Kraft war angesammelt und der Weg zur Explosion bereit: Blick auf die Weltgeschichte! — Große Männer sind wie große Zeiten Explosivstoffe, in denen eine ungeheure Kraft angehäuft ist. Ist die Spannung in der Masse zu groß geworden, so genügt der zufällige Reiz, das Genie, die Tat, das große Schicksal in die Welt zu rufen.“

Als eine endgültige Zusammenfassung erscheint eine Äußerung aus dem 5. Buche der „Fröhlichen Wissenschaft“ über die „zwei Arten Ursache“; siehe S. 604. (Das Bild vom Steuermann hatte schon R. Mayer gebraucht.)

Deutlicher als in diesen Sätzen von Nietzsche ist noch nie das Bestehen einer Art *Zwiefalt*, einer Dualität in der menschlichen Auffassung über das Wirken in der Natur ausgesprochen worden.

Es gibt arbeitende, energetische Wirkkräfte in der Natur, und es gibt energetisch ganz oder nahezu indifferente Auslöse-, Trieb-, Form-, Richt- und Entwicklungskräfte in der Natur (Oberkräfte nach E. v. Hartmann und Th. Billroth, Dominanten nach Johannes Reinke, bilanzfreie Impulse nach R. Woltereck); es gibt Äquivalenzursachen und Anstoßursachen, Erhaltungs- oder Umsetzungskausalität (E.K.) und Anlaß- oder Auslösungskausalität (A.-K.). Auf höherer Stufe tritt diese als Richtunggebung, Regulierung, Zuordnung, Steigerung, Entwicklung, Entfaltung in Erscheinung. (Ganzheitskausalität, Zielgesetzlichkeit.)

Die *Führungstendenzen*, die schon in der Chemie große Bedeutung erlangen und die in der Biologie geradezu ausschlaggebend sind, setzen sich in der Tätigkeit des nicht eigentlich schaffenden, aber führenden, zuordnenden und formenden Willens fort; dieser tritt auf als unbewußter Körperwille, als bewußter Geistwille und als überindividueller, Gestaltung, Leben und Geist schaffender lebendiger Natur- und Weltwille. „Der Wille ist die Kraft.“ (Schopenhauer); Erich Bechers „Führerrolle des Seelischen“.

Der durch Jahrhunderte sich hindurchziehende Wettstreit der zwei grundlegenden Begriffe aller Naturwissenschaft und Naturphilosophie: *Bewegung und Kraft* neigt deutlich einer Entscheidung zugunsten der Kraft zu. Auch da, wo keine Bewegung zu beobachten ist: bei einem gehobenen und unterstützten Steine, einer gespannten Feder, einem geladenen Sammler, einem hochbrisanten Sprengstoff, den schlummernden Energien eines Atomkernes, ist doch — nach einem alten Ausspruch von W. R. Grove — „die Kraft keineswegs vernichtet“. Kraft, Energie, Potential als latente Wirkfähigkeit wird jeder aktueller Bewegung, jeder Erscheinungsweise kinetischer Energie, jeder Arbeitleistung zugrunde liegen. Potentielle Energie ist (nach Aug. Krönig) *gewesene oder zukünftige Bewegungsenergie*⁵.

Auf mühevolem dornigen Pfade ist die exakte Naturwissenschaft im Laufe der letzten hundert Jahre, vor allem durch die Eröffnung des neuen Gebietes der Mikrophysik zu der Erkenntnis gelangt, daß — ganz im Sinne von Leibniz, R. Mayer, Nietzsche — der Kraft- oder Energiebegriff (dazu Potential, Wirkung, Arbeitleistung) tatsächlich den Vorrang gegenüber dem Bewegungsbegriff besitzt. Damit ist einerseits eine Vorherrschaft des mathematischen unanschaulichen Symbols gegenüber dem mechanischen Bilde — das oft nur als Figment, als Modell gelten kann — gegeben, und andererseits ist eine *Verinnerlichung und Sinnggebung des Naturgeschehens* angebahnt, die echtem Forschergeist seit den Tagen des Nicolaus Cusanus, Kepler, Paracelsus von jeher am Herzen liegt.

Daß auch mit einer wohl durchgeführten Kraftlehre noch nicht das letzte Wort über das Naturgeschehen gesprochen ist, darüber sind sich Leibniz, Robert Mayer und Nietzsche einig gewesen, so verschieden ihre metaphysische Einstellung im einzelnen war⁶.

Leibniz: „Die ganze Natur ist voller Leben. Daher gibt es nichts Unbewohntes, nichts Unfruchtbares, nichts Totes im Universum.“

Nach R. Mayer gibt es „dreierlei Kategorien der Existenzen: 1. Die Materie, 2. Die Kraft und 3. die Seele oder das geistige Prinzip. — Der Urgrund der Dinge ist ein dem Menschen ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit.“

Nietzsche: „Zur Dynamis noch eine innere Qualität. — Meine Theorie wäre, daß alle treibende Kraft *Wille zur Macht* ist, daß es keine physische, dynamische oder psychische Kraft außerdem gibt!“

Anmerkungen:

1 S. hierzu A. Mittasch, „Julius Robert Mayers Kausalbegriff“, Berlin 1940, VII u. 297 S. — 2 Der Boden war vor allem dadurch vorbereitet, daß Nietzsche zuvor die dynamische Theorie Roger Boscovich kennen und schätzen gelernt hatte. „Wenn es neben Heraklit einen Denker gibt, dem Nietzsches Philosophie nahekommt, so ist es Leibniz (Alfred Baeumler). — 3 S. hierzu A. Mittasch, „Schopenhauer und die Chemie“, 26. Jahrb. d. Schopenhauer-Gesellschaft (1939, S. 81) (auch gesondert erschienen). — 4 S. A. Mittasch, „Friedrich Nietzsches Verhältnis zu Robert Mayer“, Blätter f. Deutsche Philosophie, Bd. 16 (1942), S. 139—161. — 5 Wilhelm Ostwald hat seine in den Grundzügen berechnete Energetik dadurch um einen großen Teil möglicher Wirkung gebracht, daß er, R. Mayers Zurückhaltung gegenüber dem Allmechanismus überbietend, dem Einzelnen und seiner Bewegung (z. B. dem Atom) allzugerings Bedeutung gegenüber dem energetischen Kollektiv und Kontinuum zugebilligt hat. S. auch A. Mittasch, „Hundert Jahre Energetik“, Kraftstoff 1940, 267. „Ist nicht Kraft etwas, was uns unmittelbar geistig vertraut ist, und dokumentiert das nicht, daß selbst das Anorganische letzten Endes geistiger Herkunft sein muß?“ (Wilh. Burkamp.) — 6 Auch bei Schelling (in seiner Spätzeit) hat ebenso wie bei Schopenhauer und Nietzsche der Wille im Mittelpunkt gestanden: „Wollen ist Ursein. — Das höchste Streben der dynamischen Erklärungsart ist kein anderes als eine Reduktion der Naturgesetze auf Gemüt, Geist und Willen.“ S. hierzu K. Engelke, „Die metaphysischen Grundlagen in Nietzsches Werk.“ 1942.

Robert Mayers Anschauungen über das Leib-Seele-Verhältnis*

„Der Sitz der Seele ist da, wo sich Innenwelt und Außenwelt berühren. Die Synthese von Seele und Leib heißt Person.“
Novalis

Von vornherein kann erwartet werden, daß in den Schriften J. R. Mayers, der so klare Gedanken über das Wirken der Kräfte in der Natur entwickelt und dabei „der Seele oder dem geistigen Prinzip“ gebührend Raum gelassen hat, die alte Frage der Beziehungen zwischen körperlicher und seelischer Betätigung im Leben des Menschen nicht unberücksichtigt geblieben ist. Auch wird seine Einstellung zu dieser die Gemüter so viel bewegenden Frage nicht oberflächlich materialistisch sein; eine Anschauung, daß alles Psychische nur Beiwerk und Randverzierung des Spieles der Atome im organischen Körper sei, mußte seiner tiefreligiösen Einstellung von vornherein zuwiderlaufen.

„Die Materie existiert“, sagte er, „und in ihrer Existenz liegt auch das Recht ihrer Existenz. — Wenn aber oberflächliche Köpfe, die sich gerne als die Helden des Tages gerieren, außer der materiellen, sinnlich wahrnehmbaren Welt überhaupt nichts Weiteres und Höheres anerkennen wollen, so kann solch lächerliche Anmaßung einzelner der wahren Wissenschaft nicht zur Last gelegt werden, noch viel weniger aber kann sie derselben zu Nutz und Ehre gereichen“¹. Mayers metaphysisches Denken ist „der materialistischen Anschauungsweise geradezu entgegengesetzt“². Er schließt sich durchaus seinem Zeitgenossen Gustav Adolf Hirn³ an, welcher „meiner Ansicht nach, so schön als wahr, dreierlei Kategorien von Existenzen statuiert: 1. Die Materie, 2. die Kraft und 3. die Seele oder das geistige Prinzip“⁴. In seiner Naturauffassung realistisch (dynamisch) eingestellt, hat Robert Mayer durch diese Anerkennung eines übergeordneten geistigen Prinzips die besten Überlieferungen des deutschen Idealismus gewahrt.

Bevor wir auf Mayers Vorstellungen über die Art und Weise, wie „das geistige Prinzip“ inmitten dieser „Kategorien von Existenzen“ sich äußert, näher eingehen, sei in

* Berliner R. Mayer-Gedenkschrift (s. S. 464) 1942, S. 329—357.

Kürze an die verschiedenen Möglichkeiten erinnert, die für die philosophische Stellungnahme hier überhaupt bestehen.

Philosophische Auffassungen des Leib-Seele-Problems

Alle Überlegungen über das Verhältnis Leib-Seele, von Descartes bis heute, sind mehr oder minder an die drei verschiedenen Begriffe geknüpft: Psychophysischer Parallelismus, psychophysische Wechselwirkung, psychophysische Energie. Innerhalb einer jeden dieser drei „Richtungen“ stimmen die Anschauungen keineswegs überein, insbesondere kann man rein empiristisch-beschreibende Formulierungen und Auslegungen von spekulativ-metaphysischen unterscheiden. Mitunter sind die im Laufe der letzten Jahrhunderte entwickelten Lehren so gefaßt, daß es nicht schwer fällt, sie vom heutigen anthropologischen Wissensstandpunkt aus zu widerlegen. Ein großer Teil der in dieser Beziehung vorliegenden Polemik ist aber an sich nicht einwandfrei, insofern als häufig ein Zerrbild der zu bekämpfenden Theorie entworfen wird, die dann unschwer erledigt werden kann.

Psychophysischer Parallelismus

Die Formulierung „psychophysischer Parallelismus“ wird jeder sprach- und erkenntniskritisch Eingestellte heutigen Tages ohne weiteres als eine Metapher, als Figment, d. h. als eine bildlich-anschauliche Ausdruckweise für etwas Nichtanschauliches ansehen; was im Wortausdruck als räumliche Beziehung erscheint, soll in Wirklichkeit eine zeitliche Ordnung, und zwar offensichtlich eine solche der *Gleichzeitigkeit* darstellen. Demgemäß heißt es bei Schopenhauer: „Der Willensakt und die Aktion des Leibes sind nicht zwei objektiv anerkannte verschiedene Zustände, die das Band der Kausalität verknüpft, stehen nicht im Verhältnis der Ursache und Wirkung, sondern sie sind Eines und das Selbe, nur auf zwei gänzlich verschiedene Weisen gegeben: einmal ganz unmittelbar und einmal in der Anschauung für den Verstand“.

„Nebeneinander, nicht durcheinander, sind die beiden Arten von Vorgängen“ (Paulsen). „Wir haben allen Grund, zu glauben, daß kein psychischer Vorgang ohne korrespondierende physiologische Veränderungen verläuft“ (Sigwart).

Im Organismus ist „die Empfindungsqualität den physischen Vorgängen signalartig oder repräsentativ zugesellt. — Das psychische Geschehen hat einen körperlichen, es darstellenden Ausdruck“ (V. v. Weizsäcker). „Alles Psychische ist irgendwie an Hirnzustände gebunden, und verschiedenen seelischen Vorgängen müssen verschiedene Hirnvorgänge entsprechen. — Jedes psychische setzt ein physisches Geschehen voraus“ (Bumke). „Mit dem äußeren Kreis kann ein innerer gekoppelt sein“ (W. Ostwald). Auch Driesch erkennt an, daß z. B. „in vielen Fällen eine Zuordnung von Erinnerungsstörungen zu Hirnstörungen tatsächlich besteht“. „Jede innere Bewegung (Gefühl, Gedanke, Affekt) ist begleitet von Vaskular-Veränderungen und folglich von Veränderungen der Farbe, der Temperatur, der Sekretion... Ein Bild, innerlich auftauchend, wirkt schon als Bewegung der Glieder —, eine gewisse Willensaushängung...“ (Nietzsche). Nach F. A. Lange ist das Seelische „die Innenseite“ materieller Vorgänge.

„In der Formulierung: ‚Jedem Psychischen entspricht ein Physisches‘ (Wundt) ist der psychophysische Parallelismus auch heute noch ein durchaus brauchbares Prinzip. — Sehnervrhythmen können in der Sehrinde spezifisch verschiedene objektive Prozesse auslösen, die Parallelprozesse zu den Empfindungen“ (A. Kohlrausch). So gibt es z. B. einen „deutlichen Parallelismus zwischen Netzhautströmen und Wahrnehmungen“. (Man denke an die „Bergerschen Schwingungen“ der Hirntätigkeit.) Nach Kleinpeter ist „Parallelismus“ als in Gleichzeitigkeit gegebene gegenseitige funktionale Abhängigkeit zu verstehen. „Es gibt keine Vorstellung, keinen Gedanken, keine Empfindung, die nicht mit irgend körperlichen Reaktionen verknüpft wären“ (D. Kulenkampf).

Spekulatives Weiterdenken hat jedoch zu wesentlich schärferen Formulierungen geführt. „Psychophysischer Parallelismus ist dasjenige Verhältnis von Seele und Leib, das nicht in einer Wechselwirkung, sondern in einem bloßen ‚Einander-Parallelgehen‘ beider Arten von Prozessen, der psychischen und der physischen besteht“ (Eisler). „Faßt man den psychophysischen Parallelismus in strengem Sinne auf, so ist eine Wechselwirkung, wie auch eine funktionelle Beziehung des Physischen und des Psychischen

ausgeschlossen. — Die Lehre vom metaphysischen Parallelismus braucht zu ihrer Ergänzung notwendig eine Hilfstheorie, entweder den Okkasionalismus oder die prästabilisierte Harmonie oder sonst eine andere“ (H. Schmidt).

Im Jahre 1914 sagte Wundt: „Jeder Empfindung entspricht ein physiologischer Parallelprozeß, der mit ihr verschwindet, aber eine Übergangsdisposition im Gehirn zurückläßt, die, wenn sie aus ihrem latenten wieder in den aktuellen Zustand übergeht, auch die Empfindung wieder aktuell werden läßt. — Dieses von der empirischen Psychologie vorausgesetzte Parallelismusprinzip ist von rein heuristischem Charakter, indem bei ihm von jedem Versuch einer Interpretation abgesehen wird. Grundet es sich doch gerade auf die strenge Scheidung der psychologischen von der physikalischen Aufgabe. — Wie ein solcher Parallelismus überhaupt denkbar ist, bleibt dahingestellt.“ Und weiter heißt es 1920, daß der Begriff eines psychophysischen Parallelismus „völlig unhaltbar“ wird, „wenn er, wie üblich, als eine Zweiheit von Gliedern verstanden wird, deren jedes nach dem andern orientiert sein soll“⁴⁵. Der eigentliche Sinn soll sein: „Es gibt keine im wahren Sinn organische ohne eine mit ihr zur Einheit verbundene geistige Welt, ebensowenig wie es eine geistige ohne eine organische physische Welt gibt.“

Eine Art „Parallelismus“ in derart kritisch geläutertem Sinne wird auch von manchen Forschern ausgesprochen, welche einen doktrinären Parallelismus in Bausch und Bogen abweisen. So heißt es bei Palagyi: „Ohne die Ausführung von mimischen oder symbolischen (sprachlichen) Bewegungen... gibt es nirgends eine menschliche geistige Tätigkeit, so daß das Studium dieser geistigen Tätigkeiten überall an ein Studium von wirklichen oder eingebildeten mimischen und symbolischen Bewegungen geknüpft ist. — Jeder Lebensvorgang ist mechanistisch und vitalistisch zu betrachten. — So gibt es keine Wahrnehmungserlebnisse ohne selbsttätige Bewegungen, wie es auch keine selbsttätige Bewegung gibt ohne Hilfe von Wahrnehmungserlebnissen“: „Vitalmechanistisches Prinzip“. („Einheit von Wahrnehmung und Bewegung“ nach V. v. Weizsäcker.)

Besonders anfechtbar ist die spekulativ-metaphysische Parallelismuslehre in der Form einer psychomechanischen

(statt *psychoenergetischen*, *psychophysiologischen*) Korrelation. Es muß irreführen, wenn man den Parallelismus so versteht, daß jedem elementaren, etwa atomaren oder molekularen Bewegungsvorgang des Gehirns ein psychischer Elementarvorgang zu entsprechen hat, so daß sich durch „Summierung“ auf der einen Seite der physische Gesamtvorgang, auf der anderen Seite aber der jeweilige psychische Prozeß ergibt. Schon v. Kries hat nachdrücklich betont, daß es sich im Psychischen wie im Physischen um Verflechtungen, um *ganzheitliche* Vorgänge und Zustände handelt, und daß netzartig verwobenen und selbstgesteuerten Cerebralerregungen bestimmte ganzheitliche subjektive Erlebnisse zugeordnet sind (siehe hierzu Rohrachter: Die Vorgänge im Gehirn und das geistige Leben 1939).

Wissenschaftlich bedenklich ist es auch, den Satz, daß jedem psychischen Geschehen ein physiologischer Vorgang entspreche, ohne weiteres umzukehren; gibt es doch z. B. unzählige Vorgänge des Stoff- und Energiewechsels, die zumindest nicht bewußt-seelisch erscheinen. Zu spekulativem Panpsychismus (oder Häckelschem Monismus) gelangt man aber, wenn überhaupt jedem materiellen Gebilde, auch im Bereich des Anorganischen, also schließlich jedem Atom, „Seele“ zugeschrieben wird. „Auch die Atome, Moleküle usw. sind aktiv handelnde Lebewesen mit einem Stoffwechsel“ (J. N. Hummel).

Eine methodologische Parallelismus-Lehre (nach Külpe, E. Becher u. a.) hält sich fern von solchen Übersteigerungen; sie beschränkt sich auf die „methodische Regel, die uns anweist, die psychologische Analyse der Bewußtseinserscheinungen als solcher mit der physiologischen ihrer körperlichen Begleiterscheinungen zu verbinden und so zu einer beiderseitigen Betrachtung zu gelangen“. Es ist ein Tatbestand, der eine Gebareseite und eine Erlebnisseite aufweist.

Psychophysische Wechselwirkung

Dann ist mithin die vielfach entgegengestellte Lehre von „psychophysischer Wechselwirkung“ hinfällig? Nach Eisler soll psychophysische Wechselwirkung bedeuten „die (von manchen angenommene) wechselseitige direkte Beein-

flussung von Leib und Seele, Psychischem und Physischem. Empirische Tatsache ist bloß die Wechselbedingtheit des Psychischen und Physischen im Sinne funktionaler Zuordnung“. Ähnlich heißt es bei H. Schmidt: „Betrachtet man die Seele als etwas Immaterielles, das weder stofflich noch energetisch ist, so ist nicht einzusehen, wie ein Immaterielles auf ein Materielles wirken, es in Bewegung setzen kann, um so weniger, als für dieses das Gesetz der geschlossenen Naturkausalität gilt, das Gesetz von der Erhaltung der Energie“.

Jedoch: „An dem psychophysischen Wechselverhältnis hat kein Mensch gezweifelt, bis es in Hypothesen befangene Menschen fertigbekamen, es zu leugnen. — Der psychophysischen Wechselwirkung standen angeblich die beiden berühmten Naturgesetze im Wege, nämlich das mechanische Kausalgesetz, welches lehrte, daß nur Physisches auf Physisches wirkt und nirgends in diese Kausalkette etwas anders Geartetes eingefügt werden könne, und vor allem das Gesetz von der Erhaltung der Energie, das bei allen Naturforschern zum Axiom geworden war“ (A. Bier). Vereinzelt ist man sogar geneigt gewesen, das Energieprinzip preiszugeben, da es mit der Tatsache eines Überganges von physischer Wirkung auf psychisches Geschehen unverträglich sei (siehe Busse).

Vorläufig sei hierzu nur die Frage aufgeworfen: Hat schon je ein Forscher wirklich *eingesehen*, wie ein elektromagnetischer Wellenzug, ein Photon, das gleichfalls im üblichen Wortsinn „immateriell“ ist, auf ein materielles Atom einwirkt? Und doch geschieht dies in jedem Augenblick in ungezählten Fällen! Dazu weiter: Will jemand das tatsächliche Wirken des Willens auf die Physis leugnen?⁶ „Der Wille hat Kausalität, nicht nur auf das unmittelbare Objekt und so auf die Außenwelt, sondern auch auf das erkennende Subjekt“ (Schopenhauer).

Kritisches Nachdenken hilft hier weiter. Zunächst ist zu beachten, daß man von „Wechselwirkung“ in *ganzheitlichem* Sinne und von „Wechselwirkung“ in rein *kausalem* Sinne sprechen kann. Ganzheitliche Wechselwirkung besteht z. B. in den Simultanbeziehungen zwischen Atomkern und Atomhülle, auch wenn im abgeschlossen gedachten System durchaus nichts Neues geschieht, desgleichen

zwischen den Atomen einer stationären Molekel usw. Hier hat es keinen Sinn zu fragen: Wer hat angefangen? Vielmehr handelt es sich um eine Gesetzmäßigkeit gegenseitiger Beziehungen in der *Gleichzeitigkeit*. Eine Zuordnung, eine Wohlordnung in der Gleichzeitigkeit haben wir aber schon als Kern der Lehre des psychophysischen Parallelismus erkannt; „Parallelismus“, richtig gesehen, ist mithin eine Art Wechselwirkung, ein Entsprechungsverhältnis in ganzheitlichem Sinne. Inneres und Äußeres, Erlebbares und Wahrnehmbares können eine geschlossene „Gestalt“ des Gleichzeitigen bilden. Was als inneres Erlebnis empfunden und gefühlt, was bewußt gedacht und gewollt wird, das stellt sich der objektiven Betrachtung — also von außen — jeweils als höchstkomplizierter Erregungsprozeß des Hirns bzw. des Nervensystems, ja des gesamten Organismus dar, also schließlich als ein Abfall, eine „Entwertung“ freier elektrischer und chemischer Energien — die im Grunde von einerlei Art sind —; Psychik *erscheint* äußerlich als Chemismus und Elektrodynamik. „Die Seele ist der Sinn des Leibes, das Bild des Leibes die Erscheinung der Seele“ (Klages). Alles bekannte seelische Erleben ist körperlich bedingt und findet körperlich seinen Ausdruck. Das Ich aber ist nach Palagyi „an sich kein geistiger Akt unter den übrigen geistigen Akten . . . , sondern ein perennierendes geistiges Wesen“. (Gegen Mach: „Das Ich ist unrettbar.“) „Einen Geist, der ohne und außer aller Materie wirkt, kennen wir nicht“ (Herder).

„Wechselwirkung“ in rein *kausalem* Sinne stellt dar eine gesetzliche Ordnung im *Nacheinander*, in der Weise eines Schachspiels, wo ein Zug den anderen ablöst und „auslöst“. Das ist diejenige Wechselwirkung, welche im lebenden Organismus dauernd in unendlicher Verflechtung wechselnden Geschehens zwischen den Geweben und Organen verschiedener Art und Lage stattfindet: Schachzug um Schachzug, und das ist weiterhin auch die Wechselwirkung, welche in Sensorik und Motorik des Gesamtorganismus (Sinneseindrücke und Willensausdrücke) einfach nicht abgeleugnet werden kann. Der Sinneseindruck löst im Nacheinander verwickelter Geschehnisse die Empfindung, das Gefühl, die Wahrnehmung aus, diese aber — bzw. ein Willensimpuls, ein Affekt als Antrieb oder

„Motiv“ — löst die physische Bewegung, d. h. eine Nerven-
erregung und schließlich vielleicht eine Muskelhandlung
aus; ein Psychisches schafft sich auf diese Weise beson-
deren physischen „Ausdruck“. Umweltvorgänge sind es,
„die uns als Reize ganz bestimmte Empfindungen und
Wahrnehmungen auslösen“ (A. Kohlrausch): Trieb- und
Willensvorgänge aber sind es, die auslösend und steuernd
auf die „Umwelt“ zurückwirken. (v. Uexküll: Merkwelt
und Wirkwelt)?

Psychophysische Energie

Dann wird endlich vielleicht die Annahme des Be-
stehens einer besonderen psychischen oder psychophysi-
schen „Energie“ überflüssig sein? Stellt sie doch ersichtlich
eine Hypothese dar, welche die Schwierigkeiten vermeiden
wollte, in die unkritische (mechanistische) Parallelismus-
lehre und ebensolche Wechselwirkungslehre unvermeidlich
geraten.

Wir werden hierauf noch zurückkommen, haben aber
hier eines zu betonen: Es wird vielfach nicht hinreichend
zwischen seelisch-geistigem Besitz (als Sein und Haben)
und seelisch-geistigem *Geschehen und Tun* unterschieden.
Seelisch-geistiger Besitz ist der gesamte sogenannte „Ge-
dächtnisinhalt“ des Menschen (samt Erbgedächtnis), für
den noch nie ein anatomisch-physiologisches Korrelat
gefunden wurde. Wie sollte man sich einen solchen „Nie-
derschlag“ im Dauerfluß des Stoffwechsels, im Wechsel-
spiel von Elektronen und Atomen, vorstellen! Das gilt
bereits für das „gewöhnliche“ Gedächtnis, ganz abgesehen
von den tatsächlichen Gedächtniswundern, etwa mit einem
„Hirnbesitz“ von über hundert verschiedenen Sprachen
oder von großen Musikwerken usw. in festliegender Zeit-
folge, aus der Vorratskammer des Unbewußten oder Unter-
bewußten.

Einer physiologischen Gedächtnistheorie, die somatische
Erinnerungsbilder (Orthner), eingeritzte Spuren, „Narben
im Gehirn“ als bleibende spezifische Änderungen von Gang-
lienzellen („Engramme“) annimmt, tritt die anscheinend
überlegene *psychistische* Gedächtnislehre von E. Becher,
H. Driesch und A. Wenzl gegenüber (siehe auch B. Bavink).
Nach dieser ist mehr oder minder verfügbarer Gedächtnis-

schatz nur als „seelischer Besitz“, nicht aber zugleich als
„Körperbesitz“, nachweisbar, d. h. er kann keineswegs in
chemischen Strukturen des Gehirns fixiert, sondern er kann
sozusagen nur im „leeren Raume“ niedergelegt gedacht
werden (Raum = Seele, nach K. Groos)⁸. Immer aber wird
man sich auf den Ausgangspunkt aller „Psychophysik“,
das *Eigenerlebnis*, zu besinnen haben. Die Fragestellung
heißt ja nicht: Wie kann eine Konfiguration, eine Struktur
von „Massepunkten“, organisches Sein und Leben schaffen,
sondern: Wie kann inneres Erleben den Sinnen als der-
artige Konstellation (als Struktur) und ihre Dauerverände-
rung erscheinen? Demgemäß ist nach Kleinpeter z. B. gegen
die Parallelismuslehre nur einzuwenden, „daß der körper-
liche Vorgang nicht ein an sich gegebener ist, sondern
daß wir ihn erst in unserer Vorstellungswelt konstruieren“.

Der *Erinnerungsvorgang* als ein *Geschehen* ist durchweg
an hirnpfysiologische Bedingungen (die „Auslösungskon-
stellation“) geknüpft, in gleicher Weise wie der Aufnahme-
und Lernprozeß. Das gilt auch für das motorische Ge-
dächtnis mit seinen Bewegungsphantasmen (nach Palagyi)
neben dem sensorisch-intellektuellen. (Siehe hierzu auch
Rohracher über die „Spezifizierung von Erregungen“ durch
Veränderung der Ganglienzellen). Die reproduzierende Tä-
tigkeit des Rindenhirns beim Erinnerungsvorgang kann
dann mit dem Arbeiten zahlreicher Bagger verglichen
werden, welche bestimmte Güter greifen und in die Höhe
heben; eine Unvollkommenheit oder Beschädigung oder
Zerstörung der Baggerschalen muß dahin führen, daß die
Schätze der Tiefe ganz oder teilweise ungehoben bleiben.
Oder auch: ein im organismischen Seelenraum bewahrter,
geordneter und im Leben dauernd vermehrter Schatz auf-
steigebereiter Ballons, deren Ausgeklinktwerden oder Sich-
ausklinken aus den jeweiligen Sperrhaken physiologisch
gut arbeitende Organ-, Gewebe- und Zellseelen voraus-
setzt. (Vergl. Heidenhains aktualistisch-enkaptische gegen
Leibnizens monadologische Seelenlehre, mit Unter- und
Überordnung bis zur umfassenden Allseele.) Das Gehirn
würde hiernach „nur eine jener Bedingungen sein, durch
welche der Verkehr eines immateriellen Seelenwesens mit
der Welt im Raume vermittelt wird“ (Hyrtl). „Daß es ein
Vergessen gibt, ist noch nicht bewiesen; was wir wissen,

ist allein, daß die Wiedererinnerung nicht in unserer Macht steht" (Nietzsche). Ähnlich schon Leibniz: „Es bleibt etwas von allen unseren vergangenen Gedanken, und keiner von ihnen könnte jemals völlig ausgelöscht werden“.

Seelisch-geistigem Besitz steht allgemein seelisch-geistiges *Geschehen* und *Tun* gegenüber, das von verfeinerter hirn-physiologischer Forschung äußerlich erfaßt werden kann. Dies gilt schon für scheinbar rein „innerliche“ Erlebnisse und Betätigungen wie das „Aufsteigen“ oder „Einfallen“ von Erinnerungen, das Spiel der Gedanken, das Phantasieren des Traumes; hier überall gibt es eine körperliche Grundlage des psychischen Geschehens. Besonders deutlich wird der Doppelaspekt Innen- und Außenwelt (der eigene Körper in die Außenwelt eingerechnet!) bei den von außen nach innen oder umgekehrt verlaufenden Vorgängen der Sensorik und Motorik, des Sinneseindrucks und des Willensausdruckes. Hier kann physikalisches und physiologisches Studium gewissermaßen von außen anschauen, was das Individuum innen erlebt; hier vor allem herrscht „Psychophysik“, Psychodynamik, Psychophysiologie, aber nicht „Psychomechanik“. Alles bekannte seelische Geschehen ist körperlich bedingt und findet körperlich seinen Ausdruck. „Eine vom Lebendigen losgelöste Existenz von Geist und Ideen widerspricht der Erfahrung“ (R. Woltereck). „Die Seele regt sich nicht, ohne daß gleichzeitig das Hirn sich regt, und umgekehrt“ (E. Hering).

Mayers Stellungnahme zum Leib-Seele-Problem

Wenn wir nun zu der Frage übergehen, wie Mayer über die Beziehungen zwischen Leib und Seele gedacht hat, so ist nach dem Gesagten die Möglichkeit gegeben, daß sowohl Aussprüche vorliegen, die nach „Parallelismus“ aussehen, als auch andere, die auf „Wechselwirkung“ hindeuten. Vollen Aufschluß über Mayers Gedanken würde wohl die große Preisbewerbungsschrift gebracht haben, die er nach Dührings¹⁵ Bericht über Auslösungskausalität schreiben wollte. Ein zu früher Tod hat Mayer an der Ausführung des Planes gehindert, und so müssen wir uns an die wenigen Bemerkungen halten, die sich in seinen verschiedenen Aufsätzen vorfinden.

Von Anfang an gibt es bei R. Mayer keine scharfe Trennung von „Wechselwirkung“ und „Parallelismus“ (als „Zweiseitenlehre“). In der großen Abhandlung von 1845 „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel“⁹ hebt Mayer den „geistigen Einfluß“ als *veranlassend und richtend* von den in Bewegung sich umsetzenden *Wirkkräften* (z. B. den chemischen Kräften des Organismus) deutlich ab: „Wie der ganze Organismus, so hat auch das Organ, der Muskel, seine psychische und seine physische Seite; zu jener zählen wir den Nerven einfluß, zu dieser den chemischen Prozeß. — Dem Willen des Steuermanns und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfbootes. Der geistige Einfluß aber, ohne welchen das Schiff sich nicht in Gang setzen oder am nächsten Riffe zerschellen würde, er lenkt, aber er bewegt nicht; zur Fortbewegung bedarf es einer physischen Kraft, der Steinkohlen, und ohne diese bleibt das Schiff, auch beim stärksten Willen seiner Lenker, tot“.

In dieser Schrift von 1845 läßt Mayer¹⁰ bereits erkennen, daß eine *Auslösung, Regelung und Steuerung*, insbesondere im Reich des Organischen, unter Umständen schon mit minimalem Kraftaufwand, mit verschwindend geringer Arbeitleistung möglich ist. „Die Aktion des Muskels, die Umwandlung von chemischer Kraft in mechanischen Effekt, wird auf geheimnisvolle Weise durch einen Kontakteinfluß bedingt, der erfahrungsgemäß dem Nervensysteme zukommt. Insoferne die Bewegungsapparate in verschiedenem Grade von diesem Einflusse abhängig sind, werden sie eingeteilt in willkürliche und unwillkürliche. Stellen wir uns eine Dampfmaschine vor, von der ein Teil arbeitet, sobald Dampf erzeugt wird, ein anderer Teil aber nur auf Veranstaltung des Maschinisten sich in Bewegung setzt, so haben wir auch hier willkürliche und unwillkürliche Bewegungsapparate. Der Maschinist vermag nur mittelst eines gewissen Kraftaufwandes seinen Einfluß auf die ihm zur Disposition gegebenen Apparate geltend zu machen, dieser Kraftaufwand aber ist, verglichen mit der herbeigeführten Maschinenleistung, ein verschwindend Kleines und läßt sich überhaupt bei wachsender Vervollkommnung des Apparates kleiner als jede gegebene Größe machen. Ebenso nun müssen wir es nicht nur für möglich,

sondern sogar für wahrscheinlich erklären, daß die Innervation ohne merklichen Aufwand einer physischen Kraft, ohne eine elektrische Strömung und ohne einen chemischen Prozeß überhaupt ihre Herrschaft auf die Muskelaktion ausübe.“

An einer Stelle dieses Aufsatzes gibt Mayer den später als „Auslösung“ bezeichneten Anlaßkräften glattweg die zusammenfassende Benennung „katalytische Kraft“, während er später (1876) die katalytische Kraft — neben der physiologischen Reizwirkung und dem psychischen Willensimpuls — dem Auslösungsbegriff *unterordnet*. 1845 heißt es: „Katalytisch heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Größenbeziehung steht. Eine Lawine stürzt in das Thal; der Windstoß oder der Flügelschlag eines Vogels ist die katalytische Kraft, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt. — Das Katalytische dieser Kraft bezieht sich zu allernächst auf die Logik oder das Kausalgesetz, welches durch selbige paralytisiert wird“¹¹. (Genauer würde man sagen, daß die Auslösekraft der Wirkkraft, die Anstoßkausalität (A. K.) der Erhaltungs- und Umsetzungskausalität (E. K.) ergänzend zur Seite tritt.)

Im Schlußteil seines schon erwähnten Vortrages bei der Naturforschertagung in Innsbruck 1869¹² bemerkt Mayer im Anschluß an die Scheidung der „Kategorien“, nach Hirn (siehe S. 643): „Der lebende Körper besteht, wie wir wissen, nicht bloß aus materiellen Teilen, er besteht wesentlich aus Kraft. Aber weder die Materie noch die Kraft vermag zu denken, zu fühlen und zu wollen.“ Es wird sodann die damals verbreitete materialistische Hypothese von der Bedeutung des „freien Phosphors“ für das Denken zurückgewiesen, und weiterhin wird gesagt: „Ogleich nun solche Illusionen vor den Ergebnissen einer exakten Wissenschaft schwinden müssen, so steht es andererseits nichts destoweniger fest, daß im lebenden Gehirn fortlaufend materielle Veränderungen, die man mit dem Namen der molekularen Tätigkeit bezeichnet, vor sich gehen, und daß die geistigen Verrichtungen des Individuums mit dieser materiellen Cerebralaktion auf das Innigste verknüpft sind. Ein grober Irrtum aber ist es, wenn man diese beiden parallel laufenden Thätigkeiten

identifizieren will. Ein Beispiel wird dies am deutlichsten machen. Bekanntlich kann ohne einen gleichzeitigen chemischen Prozeß keine telegraphische Mitteilung stattfinden. Das aber, *was* der Telegraph spricht, also der Inhalt der Depesche, läßt sich auf keine Weise als eine Funktion einer elektrochemischen Aktion betrachten. Das gilt noch mehr vom Gehirn und vom Gedanken. Das Gehirn ist nur das Werkzeug, es ist nicht der Geist selbst¹³. Der Geist aber, der nicht mehr dem Bereiche des sinnlich Wahrnehmbaren angehört, ist kein Untersuchungsobjekt für den Physiker und Anatomen. Was subjektiv richtig gedacht ist, ist auch objektiv wahr. Ohne diese von Gott zwischen der subjektiven und der objektiven Welt prästabilierte ewige Harmonie wäre all unser Denken unfruchtbar.“

Wenn hier von den „beiden parallel laufenden Thätigkeiten“ und von „prästablierter Harmonie“ geredet wird, so zeigt der Zusammenhang, daß Mayer mit diesen Ausdrücken nur einen Tatbestand andeuten will, ohne auf die philosophische Frage des Wie und Warum einzugehen.

Ein weiteres Mal äußert sich Mayer unmißverständlich über das Leib-Seele-Verhältnis in seinem als „Vorläufer“ gedachten Aufsatz von 1876 „Über Auslösung“, der eine wahre Fundgrube tieferschürfender Gedanken bildet^{14/15}.

Nachdem Mayer betont hat, daß „unser ganzes Leben an einen ununterbrochenen Auslösungsprozeß geknüpft ist“ (d. h. an ständige Realisierung, Aktivierung, Mobilisierung verschiedenartiger latenter, aber disponibler — „freier“ — chemisch-elektrischer Energien), fährt er fort: „Die während des Lebens ständig vor sich gehenden Bewegungserscheinungen beruhen alle auf Auslösung. Man kann diese Bewegungen einteilen in unwillkürliche, halbwillkürliche und willkürliche; da aber die letzteren das deutlichste Bild von Auslösung geben, so wollen wir uns hier ausschließlich an diese halten. Die willkürlichen Bewegungen entstehen bekanntlich durch Kontraktion quergestreifter Muskelfasern; die Auslösung aber erfolgt durch die Einwirkung der ganglienfreien motorischen Nerven. Oft und passend hat man die Nerven mit Telegraphendrähten verglichen. Allerdings ist die Geschwindigkeit der Nervenleitung, verglichen mit der Geschwindigkeit der elektrischen Schwingung im Drahte, eine unendlich geringe; aber

immerhin ist sie noch groß genug (bei etwa 30 Metern in der Sekunde), um bei den geringen Distanzen, um welche es sich hier handelt, als unendlich groß zu erscheinen. Der Wille wird also, freilich auf eine völlig rätselhafte und unbegreifliche Weise, durch die Bewegungsnerven zu den entsprechenden Muskeln geleitet, und auf diese Weise erfolgt sofort die Auslösung, die gewünschte Aktion. Es sind dieses bekannte Dinge¹⁶.

Was wird in diesen Sätzen ausgesprochen? Die Tatsache, daß der Wille (die Seele, das geistige Prinzip) auf den Körper wirkt, jedoch nicht kraftschaffend, arbeitsleistend, sondern nur auslösend, veranlassend, antreibend. Daß eine Auslösung auch ganz ohne eigene Arbeitsleistung des Auslösers möglich ist, zeigt die von Mayer in dem gleichen Aufsatz behandelte und dem Auslösungsbegriff untergeordnete *Katalyse* als ein Bewirken scheinbar durch bloße Gegenwart, genauer durch ständiges „Sich einwickeln und Wieder-ausgewickelt-werden“, durch einen im ganzen energetisch-indifferenten Rhythmus von Einschaltung und Ausschaltung, als für die dynamische Bilanz belanglose „Vermittlung“ durch heimliches Mitspielen.

Ist in Meyers Worten die Tatsache einer Einwirkung des Willens auf Körperliches in den Muskelbewegungen ausgesprochen, so finden sich weiterhin auch Ausführungen, welche die starke *Beteiligung von Gefühlen und Affekten* bei derart seelischer *Anstoßkausalität* dartun. „Wie die Trauer ein passiver, so ist der Zorn ein aktiver Seelenschmerz, der die Auslösungstendenz, und zwar vor allem die der Zunge, gewaltig steigert und sich dadurch Luft macht, womit aber nicht notwendig gegeben ist, daß die *in ira* begangenen Handlungen unzweckmäßig und zerstörend sein müssen. Wenn der Ungeduldige z. B. seinen Zorn an einem Scheite Brennholz ausläßt, das er zersägt und zerspaltet, so begeht er, während er sich Luft macht, auch noch eine äußerlich zweckmäßige Handlung. Physiologische Auslösungen in höchster Potenz sind die sexuellen Verrichtungen. Es gibt aber auch pathologische Auslösungen, die der Vollständigkeit wegen hier ebenfalls erwähnt werden müssen“¹⁷.

Pathologische Auslösungen liegen z. B. bei geistigen Störungen vor, und Mayer betont mit Nachdruck — aus

eigenen bittersten Erfahrungen heraus: „wie verkehrt es ist, wenn man in unverantwortlichem Schlendrian bei psychischen Leiden und geistigen Störungen, welche ohnedies keinem Sterblichen je ganz erspart bleiben, die so nötigen Auslösungen auf brutale Weise mit Zwangsjacken, Zwangsstühlen und Zwangsbetten unterdrückt. Freilich ist dies eine sehr bequeme Methode, indem solche gar keine Kunst erfordert: dieselbe gereicht aber erfahrungsgemäß in allen Fällen den so Mißhandelten zu großem Nachteil und läßt im günstigsten Falle ein bleibendes Gefühl von Verbitterung zurück. Möge, wer derartiges unsinniges Zeug anzuwenden imstande ist, nur nicht auf den Titel eines gewissenhaften Arztes Anspruch erheben!“

Allgemein besteht für den Organismus die Einrichtung, „daß der jeweilige Zustand des Auslösungsapparates für das Allgemeingefühl oder für das allgemeine Befinden maßgebend ist. Ein behagliches Gesundheitsgefühl beurkundet einen ungestörten Auslösungsapparat, während andererseits jede in letzterem eingetretene Störung sich durch sehr unangenehme Empfindungen kundgibt. Im allgemeinen gilt also der Satz, daß richtige physiologische Auslösungen, wenn nämlich solche gewisse Grenzen nicht überschreiten, angenehm empfunden werden, und es beruhen auch auf dieser Tatsache eine Menge von Vergnügungen, z. B. Spaziergehen, Singen, Tanzen, Schwimmen, Schlittschuhlaufen u. dgl. m.“

So bilden nach Mayer „richtige“, d. h. regelrecht einsetzende und verlaufende Auslösungen, durch Lebensgefühle hervorgerufene Entspannungen oder Ausdrucksbewegungen (um ein neueres Wort zu gebrauchen) „eine unerschöpfliche Quelle erlaubter Freuden und harmloser Vergnügungen“. Ist jedoch „der Auslösungsapparat gestört, so tritt Leiden an die Stelle der Freude. In Krankheiten, namentlich in Fiebern, ist gleichmäßig, wie das Auslösungsvermögen, so auch das Gemeingefühl gestört“.

Den „pathologischen Auslösungen“ werden schließlich auch die *verbrecherischen Auslösungen* angereicht. „Wir brauchen nicht auf *Herostratos* zurückzugreifen, sondern wir können uns mit der Gegenwart begnügen. Attentate haben ohne Zweifel in der Regel ihren Grund in der Sucht, recht eklatante Erfolge zu erzielen, d. h. also mög-

lichst gewaltige Auslösungen zu bewirken; ebenso ist es mit dem Brandstiften und dem schrecklichen Unternehmen, durch auf die Schienen gewälzte Steinblöcke ganzen Bahnzügen den Untergang zu bereiten. Ja, wäre unser Planet so beschaffen, daß es jedem möglich wäre, denselben wie ein mit Dynamit gefülltes Gefäß auseinanderzusprengen, so würden sich sicher zu jeder Zeit Leute genug finden, bereit, mit Aufopferung ihres eigenen Lebens unsere schöne Erde in den Weltraum explodieren zu lassen". —

Während die Auslösung körperlicher Erscheinungen durch seelische Zustände und Vorgänge von Mayer verhältnismäßig ausführlich behandelt wird, fällt auf die entgegengesetzte Erscheinung, *das auslösende Hervorrufen von Empfindungen und Gefühlen durch Sinneseindrücke*, nur ein Streiflicht. Es handelt sich um den in diesem Zusammenhang eingeordneten lapidaren Satz: „Der Wein erfreut das Menschenherz“, mit der anschließenden Bemerkung: „wogegen Narcotica die Auslösung deprimieren und deshalb auch, besonders bei nervenschwachen Personen, bei Weibern und Kindern, leicht sehr unangenehme Sensationen hervorrufen“. In dem Aufsatz „Über die Ernährung“ (1871) spricht Mayer von dem „zauberhaften Einfluß der Spirituosen auf das Nervensystem und den geistigen Menschen“¹⁸. Der Medizinhistoriker Heinrich Rohlfis berichtet, daß Mayer bei der Unterhaltung in einer Heilbronner Gaststätte im Juni 1876 über „Auslösung“ nebenbei bemerkt habe: „Auch das Rauchen ist für mich weiter nichts als eine Art Auslösung“.

Mayers Synthese von Parallelismus und Wechselwirkung

Ohne jedes Nachgrübeln über die Art und Weise, wie Körperliches und Seelisches miteinander zusammenhängen, wird also von Mayer einfach der doppelte Tatbestand festgestellt, daß einmal Willensregungen und innere Gefühlszustände über den Nervenweg Muskelaktionen auslösen (heute wird man auch an Drüsenaktionen, an Hormonaktionen denken) und daß zum anderen von außen erfassbare physische Vorgänge (auch chemische Prozesse im Organismus selbst), die auf die Sinne einen „Eindruck“ ausüben, gefühls- und empfindungsmäßig erfaßt werden und so bewußte Zustände, Vorgänge und Tätigkeiten wach-

rufen können. Das Wort „Wechselwirkung“ wird hierbei nicht gebraucht, die *Tatsache einer Wechselwirkung* aber wird festgestellt; und bezüglich der Einordnung solchen psychophysischen Geschehens in die Naturkausalität fällt die erhellende Aussage, daß es sich hier nicht um Erhaltung- und Umsetzungskausalität gemäß Äquivalenzbeziehungen, sondern um Auslösung, Veranlassung, Einleitung, Anstoß (im bildlichen Sinne) handelt: Freimachung, Entladung, Entfesselung, Entspannung und Lenkung vorhandener latenter physischer Kräfte einerseits, Erweckung psychischer Betätigung andererseits.

Überblickt man Mayers Darlegungen im ganzen, so zeigt sich, daß er ganz unbefangen, ohne jede Beachtung der vielen hochgelehrten Aufsätze, die über das leib-seelische Problem dazumal schon vorlagen, den wirklichen Tatbestand so einfach wie möglich beschreibt und ordnet. Dabei ergibt sich gewissermaßen von selbst, daß ein Teil dieses Tatbestandes dem Ausdruck „Parallelismus“, der andere aber dem Begriff der „Auslösung“, und zwar „wechselseitiger Auslösung“, also kausaler „Wechselwirkung“ (in dem ganz bestimmten Sinne einer Auslösung) unterzuordnen ist.

Es muß als ein bedauerliches Faktum, ja geradezu als eine Art wissenschaftsgeschichtlichen Verhängnisses angesehen werden, daß Mayers klare Ausführungen über „Auslösung“ in der Folgezeit so wenig Beachtung gefunden haben; ein großer Teil des späteren Schrifttums — vor allem der polemische Teil, als Streit zwischen den zwei „Richtungen“ (Parallelismus, Wechselwirkung) hätte sich andernfalls wohl erübrigt. Das Schlagwort „geschlossene Naturkausalität“, mechanistisch ausgelegt, hat hier vielfach irreführt.

Mayers Ablehnung der „psychischen Energie“

Ein Umstand ist noch zu beachten: Mayers kritischer Sinn offenbart sich nicht nur in dem, was er über das Leib-Seele-Verhältnis gesagt hat, sondern in gewisser Beziehung auch in dem, was er nicht gesagt hat. Hätte es für ihn nicht nahegelegen, zu den von ihm zuerst erkannten, ineinander umwandelbaren Formen der Kraft: Energie der Lage (Attraktion, von ihm „Fallkraft“ genannt) und

Energie der Bewegung (= potentielle und kinetische Energie), sowie Wärme, Magnetismus und Elektrizität und schließlich den mit letzterer zusammenhängenden chemischen Kräften („chemischen Differenzen“) eine *Seelenkraft*, eine *psychisch-geistige Energie* hinzuzufügen und so eine Lehre vorwegzunehmen, die später von Männern wie G. Helm, K. Lasswitz, J. von Grot, Krainsky, Wm. Mc Dougall („hormische Energie“) und C. G. Jung aufgestellt und weiter verfolgt worden ist? Man gelangt dann zu einer Art psychologischem Energetismus, wie er sich in folgenden Sätzen ausspricht: „Das Psychische besitzt einen *Energiewert*“ (Berger), „die Gesamtsumme der Energie des psychophysischen Universums“, oder „die Summe der physischen und der psychischen Energie ist konstant“ (C. Stumpf).

Mayers klarer kritischer Sinn hat ihn davon abgehalten, eine solche „psychische Energie“ zu lehren und damit eine „Entdeckung zu machen, die sich deutlich als eine Fehlentdeckung erweist. Kennzeichen der von ihm festgestellten Energieformen (und dazu der ihm noch unbekannt gebliebenen inneratomaren latenten Energie der Atomkerne) ist die Möglichkeit, für ihre gegenseitigen Umwandlungen *Maßzahlen* anzugeben und demnach Berechnungen anzustellen. Dazu kommt, daß alle diese Energien Begriffsgestalten sind, die unserer äußeren Erfahrung entnommen werden, während der Begriff einer „seelisch-geistigen Energie“ der eine andere Sphäre bildenden „inneren Erfahrung“ zugehört, d. h. letzthin dem Lebensgefühl entspringt. Lehnt man eine „Lebenskraft“, eine Vitalenergie im Sinne einer aus dem Nichts heraus Arbeit leistenden Wirkkraft ab — und Mayer hat das 1845 mit Entschiedenheit getan¹⁹ — so ist auch für eine seelische Kraft, eine psychische oder psychophysische Energie im Sinne einer arbeitsfähigen Wirkkraft kein Platz. „Der Energiebegriff ist auf psychisches Geschehen nicht anwendbar“ (E. v. Hartmann). „Nicht als ob hier der Energiebegriff nichts zu sagen hätte. Die Vorgänge in unserem Zentralnervensystem vertragen auf alle Fälle eine energetische Behandlung“ (Kleinpeter)²⁰.

Schon sehr früh hat Mayer jede Vermischung des Begriffes einer durch Umsetzung wirkenden Kraft mit einer nur anstoßenden und veranlassenden oder richtenden Kraft

abgelehnt. „Willst du... die Gehirntätigkeit, ‚Ursache‘, das Buch, die erfundene Maschine, ‚Wirkung‘ — ‚Effekt‘ nennen — kein Physiker wird etwas darein reden dürfen. — Ebenso klar ist es aber, daß du nach diesen Begriffen nicht sagen kannst, deine Ursache, die Gehirntätigkeit, *verwandle* sich in deinen Effekt, das Buch. Auch der Funken verwandelt sich nicht in Explosion“²¹. Mit heutigen Worten: Die ursprüngliche, rein psychische *Willensregung* gehört der Anstoßkausalität an; die physische *Willensbetätigung* vollzieht sich in energetischen Umsetzungen der Erhaltungskausalität. Nach E. v. Hartmann wäre es ein „psychologisches Vorurteil“, wollte man „den bewußten Willen“ als bewegende Kraft „in den Zusammenhang einfügen“ (siehe Mayers Ausspruch S. 653).

Der gleiche Name „Kraft“ oder „Energie“, der im gewöhnlichen Sprachgebrauch für beide Grundformen der Kausalität üblich ist (man spricht von Lebensenergie, Seelenenergie, geistiger Energie, Willenskraft, völkischer Energie), führt immer wieder irre. Volle Klarheit und Gültigkeit wird erst dadurch geschaffen, daß man nach Mayer arbeitsfähige und durch Umsetzung Arbeit leistende *Wirkkraft* und nichtenergetische *Auslöse-, Trieb-, Form- und Richtkraft* (nach Art der Katalyse) voneinander streng scheidet. Haben somit „Lebenskraft“ und „Seelenkraft“ als Wirkkräfte ausgespielt, so stehen sie als „Kräfte zweiter Hand“ in der Bezeichnung von Lotze, als „Oberkräfte“ nach E. v. Hartmann und Billroth, „diaphysische Kräfte“, „Dominanten“ nach J. Reinke, „bilanzfreie Impulse“ nach R. Woltereck, um so unerschütterlicher da; auch für den Begriff „Entelechie“, im Sinne des Veranlassens und Richtens verstanden, bietet die Wissenschaft durchaus einen sicheren Platz²². Nach Driesch ist „Entelechie“ keine Energieform, nicht meßbar, eine „unteilbare intensive Mannigfaltigkeit“. „Richtunggebung ist nirgends Energiegesetz verletzt, Transformatoren von Energie sind nicht selbst Energie. Die Welt besteht aus Energien und Dominanten“ (J. Reinke).

Der durch Jahrzehnte sich hinziehende und heute noch nicht abgeschlossene Streit zwischen „Parallelismus“, „Wechselwirkung“ und „Energetismus“, von Stumpf, Busse, Sigwart, Rickert u. a. bis Wm. Mc Dougall, Bumke und Berger

sollte dahin erledigt werden können, daß die Annahme einer besonderen psychischen oder psychophysischen „Energie“ unnötig, ja unberechtigt ist, und daß sowohl „Parallelismus“ wie „Wechselwirkung“ für bestimmte Bezirke des einheitlichen leibseelischen Geschehens heuristisch und methodologisch wertvolle und leistungsfähige Begriffe darstellen; nur muß man sich hüten, sie ins Metaphysische vorzutragen! „Es darf zunächst in Ruhe abgewartet werden. Der dualistische Parallelismus ist wissenschaftlich ebenso zulässig wie das unitäre Prinzip“ (v. Kries). Parallelismus und Wechselwirkungslehre können folglich „in eine höhere Einheit eingehen“ (A. Wenzl).

Die als „Wechselwirkung“ erscheinende Anstoßkausalität des Bewußtseins (Ichbewußtseins) wird verständlich und sinnhaft erst dann, wenn man annimmt, daß sie sich in einem uns unbewußten Geschehen fortsetzt, ja aus diesem entspringt; so wird der Begriff einer Wirksamkeit des *Unbewußten* oder *Unterbewußten*, vielleicht auch des *Überbewußten* logisch notwendig. (Ob man dieses Unbewußte als „psychisch“ bezeichnen soll, ist eine Definitionsfrage). Hier führt ein gerader Weg von Leibniz über C. G. Carus, Mayer und Nietzsche bis zur heutigen Lehre von der „Tiefenpersönlichkeit“. Zu beachten ist immer, daß für heutige kritische Einstellung „Parallelismus“ wie „Wechselwirkung“ keineswegs „erklärende“ Theorien darstellen, sondern nur Hilfsbegriffe, Metaphern, Figmente zur logischen Ordnung eines im Grunde uneinsehbaren Sachverhaltes; andere teilweise wohl noch leistungsfähigere Begriffe wie Rangordnung, Schichtung, Gestaltkreis, Kreisprozeß, leib-seelische Polarität, Zweiseitenverhältnis, physiopsychische Korrelation (Hellpach) u. a. m. gesellen sich dazu.

Eine aufhellende Analogie physikalischer Art zum psychophysischen „Parallelismus“ (als Komplementarismus) gibt A. Sommerfeld: „Wir betrachten die Elektronen im Atom mit einer Wellengleichung, aber wir setzen in diese Gleichung die Coulombsche Anziehung durch den Kern ein, ausgedrückt durch die Koordinaten Kern und Elektron“. Mit Beziehung auf den Dualismus von Korpuskel und Welle heißt es weiter: „Ich denke, diese physikalische Dualität ist ein nützlicher Beitrag zu einer der höchsten

Fragen der allgemeinen Philosophie, dem alten Problem der Beziehung von Stoff und Geist, von Körper und Seele . . . Das beste ist, einen psychophysischen Parallelismus, eine prästabilisierte Harmonie anzunehmen . . . Ist nicht die Welle als Führungsfeld des Elektrons der mathematische Ausdruck für das, was unsere Handlungen bestimmt? Wenn wir den Leib physiologisch behandeln, müssen wir von einem korpuskularen örtlichen Geschehen reden. Dem seelischen Prinzip . . . können wir keine Lokalisation zuweisen, sondern wir müssen es behandeln . . . , als ob es im Leib mehr oder weniger allgegenwärtig sei, ebenso wie die Welle mit der Korpuskel in einer nicht näher angebbaren Weise verknüpft ist“.

Auswirkungen der Mayerschen Anschauungen

In der *Folgezeit* sind es nur wenige Männer gewesen, welche die große Tiefe und die weitreichende Bedeutung des Mayerschen Auslösungsbegriffs für das leib-seelische Problem und damit für die gesamten Geistes- und Kulturwissenschaften erkannt haben. Erstmals ist Mayers Auslösungsbegriff von Eugen Dühring gewürdigt worden, doch beschränkt er sich durchaus — ähnlich wie E. Du Bois-Reymond — auf eine mechanistische Erklärung der Auslösung.

A. Riehl weist auf die große Bedeutung Mayerscher Gedanken für die Kausalzusammenhänge in allem psychophysischen Geschehen mit folgenden Worten hin: „Vielleicht, daß die exakte Erforschung der Kausaleinflüsse und Auslösungen einen Weg eröffnet, auch das rein Tatsächliche, das Historische . . . einem Gesetzesbegriff unterzuordnen, das formale, oder, wie wir im Bereich der Willensvorgänge sagen, das teleologische Moment des Kausalzusammenhanges mit dem „substantiellen“, d. h. dem Satz der Erhaltung der Energie, zu verbinden und so über diesen letzteren hinauszugehen“.

Bei Nietzsche, dessen „Triblehre“ in bisher unbeachtet gebliebener Weise durch Mayers Auslösungs-Aufsatz von 1876 stark beeinflusst worden ist, lesen wir u. a.: „Wirkung: Der Reiz, den einer ausübt, die Anregung, die er gibt, bei der andere ihre Kräfte auslösen (zum Beispiel der Religionsstifter) ist gewöhnlich mit der Wirkung verwechselt worden: man schließt aus großen Kraftauslösungen auf

große Ursachen. Falsch! Es können unbedeutende Reize und Menschen sein: aber die Kraft war angesammelt und der Weg zur Explosion bereit: — Blick auf die Weltgeschichte!“ (Vgl. Mayers Äußerung über Gehirn als Ursache und Buch als Wirkung, S. 661). Ferner: „Es muß eine Auslösung im Gehirn für jeden Zustand geben“. Psychische Verstimmung erscheint Nietzsche als „verhinderte Auslösung“.

Im ganzen genommen sind in Psychologie und Philosophie Mayers Gedanken über die Leib-Seele-Frage, wie sie einerseits vom Energieprinzip, andererseits vom Auslöseprinzip ausgehen, wenig beachtet worden. So ist beispielsweise bei der großen Erörterung über das Leib-Seele-Problem auf dem dritten Internationalen Kongreß für Psychologie in München 1893 von Mayers Geist wenig zu spüren gewesen. Sigwart, als Vertreter des Wechselwirkungsgedankens, hatte hier gesagt: „Die Theorie des psychophysischen Parallelismus ist weder durch den Begriff der Kausalität oder das Prinzip der Erhaltung der Energie gefordert, noch läßt sie sich ihrer Konsequenzen wegen durchführen“. Wie wenig aber „Auslösung“ und „Richtunggebung“ (nach Art des Katalysators) das Energieprinzip verletzen, braucht nicht nochmals betont zu werden.

Versucht man, tiefer zu blicken, so kommt man zu der Auffassung: Der von der mechanischen Weltanschauung vergangener Zeiten ausgehende intellektuelle Optimismus will es nicht wahrhaben, daß es zahlreiche Dinge in der Welt gibt, die man wohl beschreiben, ordnen, auslegen, aber nicht eigentlich „verstehen“ kann. Zu diesen Dingen, als Grundtatsachen, gehören — menschlich gesehen — Materie und Energie, Leben und Seele. Fortschreitende Forschung wird immer tiefer in die Mannigfaltigkeit der Beziehungen zwischen Leib und Seele eindringen; das eigentliche Geheimnis, wieweit und in welcher Weise Inneres und Äußeres, Seelisches und Körperliches einander zugeordnet sind, wird man *naturwissenschaftlich* kaum je erhellen können. „Wie nun Bewegung mit Empfindung und den übrigen Erlebnisarten zusammenhängen mag, das ist eben das große Geheimnis des Lebens einerseits und des mechanischen Weltprozesses andererseits bzw. des Zusammenhanges zwischen den beiden. — Wie es kommt, daß

Leben sich in Bewegung „äußert“ und Bewegung sich zu Erlebnissen „verinnerlicht“, das ist das mechanisch-vitalistische Grundproblem“ (Palagyi). „Die große Schwierigkeit bei psychologischen Reflexionen ist, daß man immer das Innere und Äußere parallel oder vielmehr *verflochten* betrachten muß. Es ist immerfort Systole und Diastole, Einatmen und Ausatmen des lebendigen Wesens“ (Goethe).

Schließlich ist zu beachten, daß die Unterscheidung von Physischem und Psychisch-Geistigem durch unser denkendes und abstrahierendes Bewußtsein vollzogen wird. Die wahre Wirklichkeit, die „nicht ichbezügliche absolute Realität“ (Aloys Müller) ist nur *eine*, und sie ist sicher „innerlicher“, lebendiger Art, so daß durchweg, auch in bezug auf das leib-seelische Problem, gelten wird: Auch da, wo „Ungleichartiges“ in ganzheitlicher Wechselbeziehung sowie in kausaler Wechselwirkung steht, würde ein „vollkommener Intellekt“ doch nur das eine, ganzeinheitliche und dabei unendlich mannigfaltige fließende Weltgeschehen sehen, das von unzähligen Subjekten partiell widerspiegelnd erlebt wird. Der Leib ist „Gesellschaftsbau vieler Seelen“ (Nietzsche), die Ausdrucks- und Erscheinungsweise eines inneren „geistigen Prinzips“ (Mayer); „Darleibung“ (C. G. Carus).

Das Wesentliche an Julius Robert Mayers Anschauungen über das Leib-Seele-Problem, das, was sie als Fortschritt gegenüber der Vergangenheit sowie als Vermächtnis für die Zukunft erscheinen läßt, ist einerseits die Hinausführung des Begriffes „Auslösung“ aus dem Physischen in das Gebiet des Psychophysischen, andererseits der Verzicht auf eine „seelische Wirkkraft“ (psychische Energie), die zu den Energieformen der physischen Natur in einem meß- und berechenbaren Äquivalenzverhältnis stünde.

Im Anschluß an sein Prinzip der Energie-Erhaltung und -Umsetzung und als Ergänzung desselben hat Mayer das Prinzip der Auslösung, Lenkung, Steuerung aufgestellt und damit auch eine kausale Betrachtung seelischer Geschehnisse und geistiger Tätigkeiten ermöglicht, die jeder mechanistischen Deutung verschlossen ist. „Steuerung“ ist einer der Zentralbegriffe nicht nur in der Biologie, sondern

auch in weiten Gebieten der Psychologie und der Geschichte.

Man kann der Meinung sein, daß die Frage der Mayer-schen Dreieit: Materie, Kraft, Seele, und damit auch der Wechselwirkung zwischen Leib und Seele sich wesentlich vereinfacht, wenn man einerseits, im Anschluß an neueste physikalische Erkenntnisse, die Materie zu einem Erzeugnis, einem „Ausdruck“ des allgemeinen Kraft- und Wirkungsfeldes der Natur, also des sogenannten „leeren Raumes“, des Weltäthers, umdenkt und andererseits, in kühner Kopernikanischer Umkehrung, den Seelenbegriff nicht an die Materie, sondern an diesen „leeren Raum“, also an das immaterielle Wirkungsfeld der Natur knüpft. Wenn, in mechanistisch durchaus unverständlicher Weise, sämtliche „elektromagnetischen Wellen“ als durch viele „Oktaven“ hindurchgehende abgestufte Feldzustände im stoff-freien Raume ungestört nebeneinander bestehen können — erst beim Zusammentreffen mit Ruhmasse, mit materiellen chemischen Elementen, beginnt eine Wechselwirkung —, so wird es nicht ungereimt sein, anzunehmen, daß dieses Kraftfeld der Natur auch eine „Innerung“ besitzt, d. h. zugleich das allgemeine Lebens-, Seelen- und Geistesfeld der Natur, schließlich das Sensorium und Aktorium des Ewigen, des Göttlichen ist²³. Alles seelisch-geistige Leben der Natur, das individuell nicht erfahrbare, wie das persönlich bewußte, wie auch schließlich die überindividuelle Führung, stammen dann irgendwie aus dem Kontinuum des lebendigen und hierarchisch geordneten Gesamtwirkfeldes der Natur. — Denn, so sagt Leibniz: „Die ganze Natur ist voller Leben. Daher gibt es nichts Unbewohntes, nichts Unfruchtbares, nichts Totes im Universum“. Dazu Nietzsche: „Alles organische Leben ist als sichtbare Bewegung coordiniert einem geistigen Geschehen. Ein organisches Wesen ist der sichtbare Ausdruck eines Geistes“. „Beachtenswerte Gründe sprechen für die Annahme, daß die gesamte Wirklichkeit (also nicht bloß die Tiere und Pflanzen) von seelischer Beschaffenheit ist“ (E. Becher)²⁴.

Anmerkungen:

1 M. I., S. 376. — 2 M. I., Vorwort, S. IV/V. — 3 Über die Persönlichkeit und das Wirken des bedeutenden elsässischen Physikers Gustav Adolf Hirn (1815 bis 1890) vgl. Keller — Beitr. Gesch. Techn. Ind., 3. Bd., Berlin: VDI-Verlag 1911, S. 20/60; desgl. C. Piel — Köln. Volksztg.

Jg. 1940, Nr. 356. — 4 M. I., S. 356 (aus dem Vortrag bei der Naturforschertagung in Innsbruck 1869). — 5 Auch die Darlegungen von Bumke über „Parallellismus“ und „Wechselwirkung“ gehen von einer unnötig schroffen Definition des Parallelismus aus: „Parallelismus“ verlangt, daß überall und immer jeder physische Vorgang auch eine seelische Seite besitzt“. (Andererseits wird von der „Wechselwirkung“ gesagt, sie setze voraus, daß sowohl das Geistige wie das Körperliche für sich existieren.) Bei Driesch heißt es, daß „das Erleben spezifischer Zeitzeichen mit der Annahme eines psychomechanischen Parallelismus ganz und gar nicht zu vereinen ist“. — 6 „Alle Kausalzusammenhänge, auch die im Bereich des rein Physischen, sind letztlich nicht zu erklären“ (A. Koenig). „Es ist unbegreiflich, wie ein Prozeß als Körpervorgang anfangen und als seelischer Vorgang enden kann und umgekehrt“ (M. Hartmann). Schon Wundt bemerkt, daß die Naturwissenschaft überhaupt „in keinem Falle in der Lage ist, sich das Wirken der Körper aufeinander vollständig begreiflich zu machen“. Nach Lotze ist jede Wechselwirkung nur möglich durch Eingeschlossenheit in das All-Eine, das Ewige, dauernd Tätige. Wenn L. Klages von dem „rätselhaften Prinzip mit dem Namen Kausalität“ sagt, daß von ihm „bis zur Stunde kein Forscher den Sinn unzweideutig anzugeben vermochte“, so muß man dieser Behauptung angesichts Meyers Wirklehre die Berechtigung absprechen. Wie Hickson richtig bemerkt, hat Mayer jenes „Humische Problem“ richtig gelöst. — 7 Eine Verträglichkeit von kausaler Wechselwirkung und ganzheitlichem Parallelismus ist schon in dem Satze von Fechner angedeutet: „Psychische Einflüsse als Ursachen . . . , wobei ich natürlich die psychischen Bestrebungen und Zustände als die innere Seite der physisch-organischen ansehe . . .“ (Hickson hat unberechtigterweise aus der Nichtexistenz „psychischer Energie“ die Verwerflichkeit der Wechselwirkungslehre gefolgert.) Novalis hatte gesagt: „Der Körper dient vermittels der Sinne zu einer Kommunikation der äußeren Gegenstände mit der Seele, und insofern er selbst ein äußerer Gegenstand ist, wirkt er selbst als ein solcher mittels der Sinne auf die Seele. Natürlich wirkt die Seele auf denselben Wege zurück. Die Sinne sind das Medium der Wechselwirkung.“ Ist das Materielle dynamischer, energetischer, schließlich „seelischer“ Herkunft, so wird die Frage kausaler Wechselwirkung im Grunde zu einer Frage der Wechselwirkung verschiedener Schichten des Seelischen der Natur, von dem individuell völlig Unerlebbaren der Außenwelt über das Dunkelempfundene (Dämmer- oder Unterbewußte des Selbst) bis zum Hellbewußten und Klargewollten der Person. (Siehe auch Anm. 22.) — 8 Eine psychistische Auffassung des Gedächtnisses vertreten schon Lotze und J. v. Kries, dann E. Becher (1916) u. a. Bei W. Ostwald hat es geheißen: „Wahrscheinlich wird sich die Gedächtnisfunktion als Ergebnis einer bestimmten Art chemischer Reaktionen erweisen“ (Vgl. E. Herings „Gedächtnis der organischen Materie“, ferner Semon, Bleuler, Roosen u. a.). — 9 M. I., S. 45/128, insbes. S. 87. Ähnlich lautende Aussprüche anderer Forscher: „Psychische Kräfte wirken lenkend auf materielle Hirnprozesse und werden wechselweise durch diese erst ermöglicht“ (J. Reinke). „Der Wille bewegt nicht selbst, er richtet nur die Bewegung. — Ein Motiv wirkt so gesetzlich wie ein Stoß“ (A. Riehl). „Der Wille braucht bloß den Anstoß zur Umwandlung von Kräften zu geben“ (Adolf Meyer-Ableh). Noiré unterscheidet die richtende „Kausalität der Empfindung“ (Anstoß-Kausalität, ohne Äquivalenz) von der schaffenden „Kausalität der Bewegung“ (Umsetzungs- oder Erhaltungskausalität, mit Äquivalenz); ähnlich auch H. Rickert. Der Begriff der Steuerung (mithin auch der Auslösung) findet sich schon in dem alten Begriff einer causa finalis (Edelform der causa occasionalis) neben der causa efficiens vorgebildet. Leibniz kennt „Realisierungsantriebe“, Lotze „strebende Faktoren“. (Vgl. Avenarius' dreigliedrige psychische Reihen: Aufstören. Streben nach Einverleibung oder Überwindung, Befriedigung im neuen Gleichgewicht.) Nach E. Becher schafft die Seele nicht Großhirnprozesse, sondern leitet sie (psychovitalistischer Dynamismus) bis zur „überseelischen Führung“, die schon in der Gruppenseele eines Bienenstockes, eines Termitenbaues in Erscheinung tritt. Driesch bezeichnet die Seele, die Entelechie des Körpers, als „regulativen Bewegungsfaktor“. Gemäß Kulenkampf ist die Großhirnrinde „nur der Zettelkasten, dessen sich die in den vegetativen Zentren wirkende Seele

bedient, ein Zettelkasten, „der nichts, aber auch nichts hervorbringt, der genau so steril ist wie die Zahlen ohne den rechnenden Mathematiker, Ingenieur, Astronomen“. — „Das Hirn ist ja nur eine Maske. Die Wege des Gehirns sind dunkel“ (R. Wähle). — 10 M. I., S. 124. — 11 M. I., S. 102, Fußnote. Angesichts der „katalytischen Kraft“, die im ganzen gesehen, eine reine Wirkung durch bloße Gegenwart (also von scheinbar zauberischer Art) ist, besitzt der Satz von A. Wenzl keine Allgemeingültigkeit: „Auch eine auslösende Kraft würde doch Arbeit leisten“. (Ähnlich vorher schon E. Du Bois-Reymond 1871, Busse 1900, H. Driesch 1904). Von W. Ostwald wird die Katalyse erst in späteren Arbeiten der Auslösung untergeordnet. Siehe hierzu auch A. Mittasch (Philosophisches in der Katalyse, Katalytisches in der Philosophie — Z. phys. Chem., Abt. A, Bd. 189 (1941) S. 44/62). Ferner A. Mittasch: Begriff und Wesen der Katalyse — In: Handbuch der Katalyse, Bd. 1 — Wien: Springer-Verlag 1941, S. 1. Die Frage der Selbstauslösung (von der Auto-katalyse über Selbstregulierung, Selbsthemmung bis zur Selbstbestimmung oder Erstsetzung als Problem der Willensfreiheit) ist von Mayer noch kaum berührt worden. Ein Naturtrieb ist seiner physischen Seite nach eine Ganzheit bestimmter gebündelter potentieller Energien, die nach Auslösung — bis zur Selbstauslösung streben. „Das Bild dient als auslösender Reiz“ (Nietzsche). Siehe hierzu A. Mittasch: Selbstauslösung, Selbstregelung, Selbstbestimmung — Die Tatwelt Bd. 18 (1942) S. 7/15. — 12 M. I., S. 356/57. — 13 Ähnlich heißt es bei Bumke, daß „die motorischen Centren . . . wohl nur das Werkzeug darstellen werden, dessen sich die Seele bedient, wenn sie den Körper eine von ihr gewünschte Bewegung ausführen läßt“. In Claude Bernards Kennzeichnung der „Lebenskraft“ als einer force legislative, nicht executive (anweisende Macht gegenüber vollziehender Leistung), ist diese Auffassung des Lebensprinzips schon angedeutet. Vom Tier sagt Mayer, daß es „keineswegs eine bloße Maschine“ ist; „es steht hoch selbst über den Pflanzen, denn es hat einen Willen“ (M. I., S. 407). „Der Mensch denkt“ (M. I., S. 356). Die von Mayer angegebene verhältnismäßig geringe Fortpflanzungsgeschwindigkeit der „Nervenwelle“ war von Helmholtz um 1850 gemessen worden; vorher hatte man eine weit höhere Geschwindigkeit angenommen. Der Vergleich der Nervenstränge und Telegraphendrähte kehrt wieder in M. I., S. 409, 443. (Als Stromleiterer hat Mayer das galvanische Element im Auge; heute würde man statt „elektrochemische Aktion“ „elektrodynamische Aktion“ sagen.) Diesen Vergleich hat zuerst 1835 H. E. Weber im Anschluß an die ersten gelungenen telegraphischen Versuche seines Bruders W. Weber in Göttingen (1833) gebraucht: „Wenn einst die Erde mit einem Netz von Eisenbahnen und Telegraphenlinien überzogen sein wird, so wird dieses Netz ähnliche Dienste leisten als das Nervensystem im menschlichen Körper, teils die Bewegung, teils die Fortpflanzung der Empfindungen und Ideen blitzschnell vermittelnd“ Sartorius v. Waltershausen: Gauß zum Gedächtnis — Leipzig 1856, S. 63; wiedergegeben in Fr. Zöllner: Wissenschaftl. Abhandlungen II, 1. Teil — 1876, S. 221). (S. auch S. 343 dieser Schrift.) — 14 M. I., S. 440/46. — 15 Über R. Mayers Absicht, eine umfassende Arbeit über Auslösung niederzuschreiben und als Preisschrift in Turin (um den Bressa-Preis der dortigen Akademie) einzureichen, berichtet E. Dühring: Robert Mayer, der Gallei des 19. Jahrhunderts (1. Aufl. 1879) 2. Aufl. — 1904, S. 30. „Auslösung“ kann entweder der Alles-oder-Nichts-Regel folgen (z. B. Explosion oder Versager), oder sie kann bemessen, abgestuft, nach der Art einer Ventilstellung, einer Wirkstoff-Dosierung sein. Sie kann ferner qualitativ indifferent, unspezifisch oder aber (z. B. als „Reizfilterwirkung“) wahrhaft angepaßt, auf Resonanz gestellt, spezifisch sein; im letzteren Falle namentlich spricht man von Regulierung, Steuerung, Führung, Entwicklung (organisch). Dem Mayerschen Auslösungsbegriff steht nahe Helmholtz' „Kopplung“ sowie Fechners „Störung“ (vgl. auch O. Bütschli: Über einige Grundbegriffe — Ann. d. Naturphilos. Bd. 3 (1904) S. 125/202). Das Gegenstück zur positiven Auslösung, Einleitung, Einschaltung, Anfachung, Anstachelung, Veranlassung, Enthemmung, Entbindung, Entladung, Erregung, Hervorrufung, Lenkung, Steuerung, Aktivierung, Induzierung, Stimulierung, Anmierung usw. bildet Bremsung, Fesselung, Drosselung, Hemmung, Abriegelung, Abblendung, Absperrung, Abstopfung, Hinderung, Unterdrückung, Vergiftung, Auslöschung, Suspendierung (von

Driesch als Wirkungsweise der „Entelechie“ erörtert). Von „Regulierung“ im organismischen Geschehen ist bei Mayer wiederholt die Rede, z. B. M. I., S. 329 ff., 409. (Vgl. auch S. 283, Anm. 4, dieser Schrift.) — 16 Sigwart erwägt, wie weit etwa ein Willensimpuls „bloß als auslösender Vorgang gegenüber einer disponiblen Energie zu beachten sei, analog dem Schließen eines elektrischen Stromes, der eine Mine entzündet“. (Die Katalyse gibt ein noch besseres Modell des Willens, weil der katalysierende Körper aus der energetischen Gesamtbilanz völlig herausfällt.) In dem Satze von Rohrer: „Die Erregungsprozesse im Gehirn sind die letzte faßbare Ursache der Bewußtseinsvorgänge“ wird „Ursache“ sinngemäß als Auslösungs- oder Anstoßursache angesehen werden, nicht als „Umsetzungsursache“ nach einem Äquivalenzprinzip. Selbstverständlich ist hierbei das Wort „Auslösung“ (gleichwie Führung, Steuerung) nur bildlich, metaphorisch zu verstehen, indem es einen Vorgang andeutet, dessen eigentliches Wesen, wie schon von Mayer erkannt, „irrational“, alogisch, d. h. vom Denken nicht vollkommen zu erfassen ist. Dergleichen handelt es sich um eine lediglich bildliche Redeweise, um eine Analogie, um ein „gewissermaßen“, wenn das Willensmotiv als „psychischer Katalysator“ angesprochen wird. — 17 Mayers Freund Griesinger spricht im Tone der Zeit von „psychischer Reflexaktion“ statt von „Auslösung“ oder „Ausdruck“. M. II, S. 215. Nach Nietzsche: „Zeichensprache“ der Affekte. Unter den Begriff der „Auslösung“ würde Mayer sicher auch die Tatsache ordnen, daß durch „Assoziation“ aus dem unbewußten Zustände „Vorstellungen“ ins Bewußtsein treten können. (Im Schläfe sind es nach C. G. Carus Gefühle, die aus der Stimmung unseres Innern und aus den besonderen Verhältnissen des Organismus „auch gewisse Vorstellungen heranziehen“.) Intellektuelle wie motorische „Erinnerungen“ — einschließlich „frei steigende Akte“ — fußen auf irgendwelcher vitalen Auslösung; dergleichen auch Nachahmung, Entwicklung, Erziehung. — 18 M. I., S. 410. — 19 M. I., S. 90/95. — 20 W. Ostwald hatte das Bewußtsein als Eigenschaft der Nervenenergie des Zentralorgans bezeichnet, andererseits aber (1903) zur Festlegung des Begriffes einer „psychischen Energie“ doch für nötig angesehen, „zu beweisen, daß beim Auftreten psychischer Energie eine entsprechende Menge einer anderen Energie (z. B. chemischer) verschwindet, ohne daß sich das Äquivalent derselben in anderer Gestalt nachweisen ließe. Andererseits müßte beim Verschwinden der psychischen Energie deren Äquivalent wieder auftreten (z. B. in Gestalt von Wärme)“. „Das geistige Leben ist ebenso wenig eine bloße Summation von Empfindungen, wie eine in den Energiewechsel eingeschobene spezifische Energieform, die sich zu den physischen Energiewerten in ein irgendwie bestimmtes Äquivalenzverhältnis bringen läßt“ (Wundt 1914). Völlig hypothetisch ist, daß im Zentralnervensystem unerschöpfliche Energievorräte vorhanden wären“ (Rubner). Über die doktrinär-spekulativen Ausartungen einer „energetischen“ Psychologie siehe A. Mittasch (Robert Mayers Kausalbegriff — Berlin: Springer-Verlag 1940, S. 103 ff.). — 21 Brief an Griesinger vom 20. Juli 1884; M. II, S. 225. — 22 Nimmt man das Wort „Seele“ im allgemeinen Sinne als „Lebensprinzip“, den uns unbewußten „Körperwillen“, so trifft es auch Drieschs „Entelechie“, Nietzsches „große Vernunft des Leibes“, Lieks „inneren Schöpfer“. Zur kausalen Erklärung physiologischer Formbildung kommen wir anscheinend mit stofflichen Einflüssen allein nicht aus; es müssen bei Entwicklung und Wachstum außerdem dirigierende „Qualitäten“ schwerbeschreibbarer Art im Spiele sein: Faktoren, Prinzipien als Richtkräfte nichtmaterieller, vielleicht auch nichtenergetischer (entelechieller) Beschaffenheit, also nach Art des Willens“. (Beispiel: Antagonismus von vegetativem und animalem Prinzip, mit „polarer Dominanz“ und „morphogenetischem Gefälle“, kurz „Polarität“, nach Armin Müller, André u. a.) „Entelechie steuert den Ablauf der Lebensfunktionen“ (Rumbler). Die wichtigste biologische Auslösungsfrage lautet: Wo hört das dynamisch-stofflich-katalytische Kommando auf, und wo beginnt das psychische Kommando? Über die „Richtkraft“ siehe die formale Antwort, die A. Mittasch (Katalytische Verursachung im biologischen Geschehen — Berlin: Springer-Verlag 1935, S. 81) auf die Frage von H. Driesch: „Wie wirkt Entelechie auf Natur?“ (besser wohl „in Natur?“) gegeben hat: „Entelechie wirkt katalysatorartig, richtunggebend und lenkend, indem sie in das Substrat eingreift und doch von ihm verschieden bleibt“. Nach W. Ostwald

gilt: „Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Verminderung der freien Energie“. Hieraus folgt, „daß wir im Dissipationsgesetz den Grund aller der Vorgänge erkennen, welche Schopenhauer als Manifestationen des Urwillens darstellt“. „Alle Kraft ist wahrscheinlich Willenskraft“ (A. R. Wallace). „Wille ist durchgeistigter Lebensdrang. — In der Hauptsache ist der Wille identisch mit Lebenskraft“ (O. Spengler). „Es fällt im letzten Grunde der Wille mit unserem Ich zusammen“ (Wundt). „Deshalb ist das Auge so beschaffen, weil der Geist ein solcher ist, nicht umgekehrt“ (Kepler). „Das Licht ist da und die Farben umgeben uns. Allein, trügen wir kein Licht und keine Farben im eigenen Auge, so würden wir außer uns dergleichen nicht wahrnehmen“ (Goethe). „Nur der Geist sieht, hört und fühlt. Die Geisterwelt gehört in das erste Kapitel der Physik“ (Novalis). „Der Geist ist nur innerhalb der Seele und die Seele nur innerhalb der Idée“ (C. G. Carus). Letztlich wird es — gemäß Fechners Tagesansicht — so sein, daß in der Natur immer nur Gestaltungen und Ausgliederungen eines allwaltenden seelisch-geistigen Prinzips miteinander in Verkehr stehen (siehe auch Anm. 7). Metaphysisch kann jede objektive Kraftäußerung in der Spielraumgesetzlichkeit der Natur als irgend ein fremdsubjektives Erlebnis, ein „Willensakt“ im allgemeinsten Sinne angeht werden. (Schopenhauers „Wille in der Natur“; „Der Wille ist die Kraft.“) — 23 Vgl. hierzu Newtons Auffassung des Raumes als „Sensorium der Gottheit“, sowie die Ausführungen von K. Goos über „Raum und Seele“, und F. Buttersack: Diaphysikum = Diapsychikum. „Das Lebende entsteht nicht aus dem Toten“ (V. v. Weizsäcker). Sir Oliver Lodge hatte gesagt: „Ich glaube, daß der wahre Träger von Leben und Geist der Äther ist und keineswegs die Materie“. In dem leeren Raume der Organismen — Atomkerne und Elektronen nehmen ja nur einen verschwindend geringen „Platz“ ein — kann außer „strahlender Energie“ schließlich auch das gesamte seelisch-geistige Eigentum der Lebewesen (Phantasmen und Ideen) untergebracht sein. Beginnt in der Tatsache menschlichen Gedächtnisbesitzes (einschließlich Hypermnésie des Unterbewußtseins) das Feld der Parapsychik, überleitend zu einem Reich der Ideen, in dem Mayers „geistiges Prinzip“ unangefochten und unveränderlich herrscht? Gelangt man so zu kosmischen Ideen als letzten Anstoßursachen des Naturgeschehens? Kann sich seelisch-geistiges Leben der Welt dem Gesichtssinn anders darbieten denn als körperliche Bewegung? „Das Weltall fängt an, mehr einem großen Gedanken als einer Maschine zu gleichen“ (Jeans). „Auf engem Bezirk ballen sich in fast unentwirrbarem Knäuel die das Leben regulierenden Fasernetze zusammen, um alle, auch die abstraktesten Vorgänge, wieder mit dem unmittelbaren körperlichen Leben zu verknüpfen. Aber wer spielt? Wer verwendet? Hier enden wir bei der Grundtatsache des Lebens überhaupt, die wir nicht weiter beschreiben können“ (Kulenkampf). „Steuermann Leben“ (E. Kriek). — 24 Wir geben noch einige Aussprüche, die mehr oder minder in Mayers Sinne einer Auslösung und Steuerung gehalten sind. Nach Rohrer gibt es eine biologische Kontinuität: „Leben — Organismus — Ganglienzellen — Erregungen — Seelenleben. Es wirkt Erregung auf Erregung: Das Primäre ist das Psychische, der Geist des Menschen, der in der Welt der Erfahrung nach seinen eigenen Ursachen sucht; — Das Leib-Seele-Problem ist für das menschliche Denken prinzipiell unlösbar“. — „Es ist erwiesen, daß niemand imstande ist, die behauptete völlige Verschiedenheit von Physischem und Psychischem festzustellen“ (C. Weinschenk). „Warum sollen Geist und Materie nicht in Wechselwirkung treten?“ (Jeans). „Es können die mechanischen Vorgänge außerhalb des Leibes in uns Empfindungen wecken und dadurch jenen vitalen Prozeß hervorrufen, der zur Wahrnehmungsaktion führt. — Die Empfindungen führen vermittels der inversen Phantasmen zu geistigen Akten. — Die Stimmung ist die Lenkerin unserer unwillkürlichen Erinnerungen. — Dieselben Energien, die von außen auf den Lebensprozeß einwirken, können auch von innen denselben beeinflussen und dieselben Arten von Sinnesempfindungen innerlich hervorrufen, wie sie äußerlich angeregt werden. — Empfindung können von innen ebenso angeregt werden wie von außen“ (Palagy). „Ich sehe in den physiologischen Vorgängen . . . in erster Linie psychologisches Geschehen“ (A. Bier). Vgl. Spemanns Hinweis auf die Ähnlichkeit von Entwicklungspro-

zessen als „kommandierte“ Akten mit psychischen Vorgängen: „Immer wieder sind Ausdrücke gebraucht worden, welche keine physikalischen, sondern psychologische Analogien bedeuten“. „Totale Unvergleichbarkeit von Körperlichem und Psychischem ist verschwunden, wenn man sich unmittelbar an die Wirklichkeit hält: eine einheitliche psychophysische Welt“ (H. Rickert). „In Summa, nicht Geist als Ursache des Körpers oder Körper als Ursache des Geistes, sondern Geist-Körper als Ursache des Geist-Körpers“ (Bain). „Der Mensch ist eine Leib-seelische Ganzheit mit der Einheitsbezogenheit aller Lebensfunktionen“ (H. Graewe). „Jede Unterscheidung des Physischen und Psychischen ist sinnlos, wenn wir die „Intelligenz“ und Plastizität, die Kommunikation der Bewegung ansehen. — In allen Vollzügen ist die Unterscheidung des Seelischen vom Leiblichen grundsätzlich unmöglich“ (Gehlen). „Stimmung ist immer körperlich und seelisch zugleich“ (Stiebeck). „Das uns vorliegende Wirkliche ist niemals so beschaffen, daß es in zwei reinlich trennbare Bestandteile auseinanderfiele, in ein rein Psychisches und in ein rein Physisches, sondern es ist in allen seinen Bestandteilen stets beides mit einem Male: psychisch seiner Erlebnisseite, physisch seiner Vorstellungsseite nach. Aber allerdings ist der Anteil dieser beiden Komponenten nicht in allen Bewußtseinserscheinungen der gleiche“ (Reininger). (Im Original noch 3 Seiten Schrifttum).

Julius Robert Mayers Leben und Werk*

Julius Robert Mayer (1814—1878) gehört zu den Großen im Reiche des Geistes, deren Stern mit wachsendem zeitlichem Abstand von ihrem irdischen Dasein immer heller strahlt. Sein Leben war reich an Dissonanzen, die teils durch langdauernde Vorenthaltung allgemeiner Anerkennung und sonstige Ungunst der Verhältnisse, teils aber auch durch eigene innere Veranlagung bedingt waren. Erst gegen den Lebensabend ist ihm die Genugtuung zuteil geworden, daß sein Werk allgemeine Würdigung fand.

I. Entstehungsgeschichte von R. Mayers Energieprinzip

Der äußere Lebensgang des Mannes, der uns 1842 das Prinzip der Erhaltung der Energie, „das Kernstück des physikalischen Weltbildes“ (C. F. von Weizsäcker) geschenkt hat, war fast durchgängig an die Stadt Heilbronn gebunden. Ein Sohn des dortigen Apothekers („Zur Rose“), hat er mit Ausnahme seiner Lehrjahre (Gymnasialbildung in Stift Schönthal, Studium der Medizin vorwiegend in Tübingen) und einer anschließenden Ostindienreise (1840 bis 1841) sein Leben in der Vaterstadt zugebracht, bald als Oberamtswundarzt und später als angesehener Stadtarzt.

Eine Art Symbolik für die weltweite Bedeutung seiner Großtat für die gesamte Wissenschaft kann darin erblickt werden, daß er nicht in der Heimat, sondern auf jener als Schiffsarzt unternommenen Reise, auf der Reede in Surabaya auf Java — wo sich heute ein Denkstein erhebt — im Sommer 1840 seine Idee von der „Unzerstörbarkeit der Kraft“, *der Erhaltung der Energiemenge bei allen Naturvorgängen*, gefaßt hat. Daheim hat er dann seine Ergebnisse zuerst in mißglückter, bald aber (1842) in kurzer klarer Form niedergeschrieben¹.

Es ist wiederholt bemerkt worden, daß Mayers Auffassung der großen Idee aus irrationalen Quellen hervorgegangen ist: „wo ich mich in manchen Stunden gleichsam inspiriert fühlte, wie ich mir zuvor oder später nie etwas Ähnliches erinnern kann“, heißt es rückschauend in einem Briefe an seinen Freund Wilhelm Griesinger vom 14. Juni 1844. Immerhin lassen sich eine Anzahl Tatsachen an-

geben, die zusammengenommen eine notwendige Bedingung für die empfangene Eingebung gebildet haben mögen:

In erster Linie ist zu nennen eine frühe Beschäftigung mit Chemie, wie sie die Atmosphäre des väterlichen Hauses mit sich brachte, und die ihn bald zu der Kenntnis des Prinzips der *Erhaltung der Masse* bei allen chemischen Umsetzungen führte; wiederholt hat er später die Unzerstörbarkeit der Energie und die Erhaltung der Masse in Analogie gesetzt. Schon als bastelnder Knabe hat er sich ferner von der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile überzeugt, die auf eine Unerschaffbarkeit mechanischer Arbeit aus Nichts hinweist. Sein Physiologie-Professor in Tübingen Autenrieth hat auf die verschiedene Farbe von Arterien- und Venenblut, sowie auf die Zusammenhänge der Blutfarbe mit dem (nach damaliger Meinung in den Adern sich vollziehenden) Verbrennungsprozeß von Blutbestandteilen gemäß Lavoisiers Oxydationstheorie hingewiesen.

Bei seinem kurzen Studien-Aufenthalt in Paris 1839, vor der Ostindien-Reise, werden ihm u. a. die Namen Dulong und Gay Lussac begegnet sein, deren Arbeiten über die Wärmeverhältnisse von Gasen zwar kaum bei Mayers Konzeption seiner Idee eine Rolle gespielt haben, um so wichtiger aber für die nachfolgende Auffindung eines als Beweis geeigneten Durchrechnungsbeispiels geworden sind². Weiter ist seine schon aus der Gymnasialzeit von Schulfreunden bezeugte Lust an der gedanklichen Verknüpfung entlegener Dinge zu nennen; hierzu schließlich vielleicht noch sein ausgezeichnetes Gedächtnis für Stellen aus alten Schriftstellern, die er in den Gymnasialjahren kennen und lieben gelernt hatte — und unter denen sich wohl auch Demokrit, Epicur und Lucretius mit ihrer Betonung der Unmöglichkeit wirklicher Neuerschaffbarkeit befanden. „Nichts entsteht aus Nichts“ (selbst wenn die Götter es wollten) ist das erste Axiom in Lucretius' Darstellung von Epicurs Lehre, und auch die Behauptung „Nichts wird zu Nichts“ findet sich dort ausgesprochen, eine Behauptung, die in Mayers späterhin nicht nur schriftlich niedergelegtem, sondern auch seinen Freunden gegenüber bis zum Überdruß gepredigtem Satze: „Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum“ wiederkehrt.

* Universitas 2 (1947) 167—173; 305—312.

Doch in all diesem liegt nichts *Zwingendes*, selbst wenn man noch das auf Leibniz u. a. zurückgehende und Mayer von seinen physikalischen Studien her wohl einigermaßen bekannte *Prinzip der Mechanik bezüglich der Erhaltung der lebendigen Kraft* ($\frac{1}{2} m v^2$) bzw. der Summe von lebendiger und toter Kraft (ein Sonderfall potentieller Energie, wie man heute sagen wird) hinzunimmt.

Allerdings sind die Gedankengänge, die Robert Mayer von der Beobachtung, daß im heißen Tropenklima das Venenblut dem Arterienblut an Helligkeit nahesteht, zu der Überzeugung führten, daß die in Tropenhitze geringere Tätigkeit der Körpergewebe die Oxydation von Blutbestandteilen herabsetzt und so die hellere Farbe bewirke, einigermaßen fragwürdiger Natur. Um so bewundernswerter ist die intuitive Schlußfolgerung, die sich zunächst in Robert Mayers recht spekulativen Sätzen von 1842 ausspricht: „Kräfte sind Ursachen: mithin findet auf dieselben volle Anwendung der Grundsatz: *causa aequat effectum*. — In einer Kette von Ursachen und Wirkungen kann, wie aus der Natur einer Gleichung erhellt, nie ein Glied oder ein Teil eines Gliedes zu Null werden. Diese erste Eigenschaft aller Ursachen nennen wir ihre *Unzerstörlichkeit*. — Ursachen sind (quantitativ) *unzerstörliche* und (qualitativ) *wandelbare* Objekte³. (Das Wort „umwandeln“ soll nach Mayer nur eine Größenbeziehung andeuten, ohne auf das Wesen des Vorganges einzugehen).

Wissenschaftliche Bedeutung erhalten diese durchaus „naturphilosophischen“ Darlegungen jedoch erst durch die von Robert Mayer ganz am Schlusse kurz angefügte Berechnung dessen, was man später das *mechanische Wärmeäquivalent* genannt hat. „Die Temperaturänderung von 1 g Wasser um 1 Grad Celsius ist äquivalent der mechanischen Arbeit zur Höhenänderung von 1 g um 427 m auf der Erde“ (neuere Formulierung von Walter Gerlach mit Einfügung der schon von Mayer 1845 berichtigten ungenauen Zahl 365 von 1842); 1 Calorie = 427 Meterkilogramm.

An einem grundlegenden Beispiel, der *Umwandlung mechanischer Arbeit in Wärme*, hat so R. Mayer als Erster den Beweis für die Gültigkeit des Prinzipes der Erhaltung der Energie im geschlossenen System geliefert, und es

schmälerst sein Verdienst nicht, daß von anderen Forschern noch analoge Umwandlungsverhältnisse beispielsweise für chemische und elektrische Energie festgestellt wurden. Was Robert Mayers erstmaliger Berechnung ihren geradezu genialen Anstrich gibt, ist der Umstand, daß hier Mayer (nicht auf der Ostindienreise, sondern nach seiner Rückkehr in mühsamen physikalischen Studien, bei denen ihm sein Schulfreund, der Physiker Carl Baur behilflich war) *selbständig die einzige Möglichkeit aufspürte*, die dazumal ohne Vornahme eigener Versuche eine *Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalentes* erlaubte: aus dem Verhältnis der spezifischen Wärmen bei konstantem Druck und konstantem Volumen, nach Dulong, unter Berücksichtigung der Feststellung von Gay Lussac, daß eine Ausdehnung von Gasen ohne Arbeitleistung keine wesentliche Temperaturerniedrigung mit sich führt.

In seiner großen Arbeit von 1845 gab Robert Mayer eine ausführlichere Darstellung seiner Lehre, mit *Anwendung auf alle bekannten Energieformen, und zugleich auch unter Berücksichtigung der Verhältnisse im organischen Leben*, für welches das gleiche Prinzip gelte⁴ (exakt später nachgewiesen von Rubner und von Atwater).

Seinem Erhaltungsprinzip erteilt R. Mayer hier folgende Fassung: „*Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft*⁵. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft“. Einige weitere Sätze aus dieser Abhandlung: „*Die Wärme ist eine Kraft*; sie läßt sich in mechanischen Effekt verwandeln. — Ein Kilogrammgewicht, welches 425 m hoch herabfällt, muß durch Stoß oder Reibung eine Wärmeeinheit (Calorie) entbinden“. Im Elektrophor ist mechanischer Effekt in Elektrizität verwandelt worden. — *Bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen bleibt die gegebene Kraft eine konstante Größe*“. Hauptformen der Kräfte sind: „Fallkraft“ (Gravitation), „Bewegung“ (kinetische Energie), „Wärme, Magnetismus, Elektrizität, Chemische Kräfte“. „An diese Aufstellung von fünf Hauptformen der „physikalischen Kraft“ reiht sich die Aufgabe, die Metamorphosen dieser Formen durch fünf- und zwanzig Experimente zu beweisen.“ „Auch während der Lebensprozesse geht nur eine *Umwandlung*, so wie der

Materie, so der Kraft, niemals aber eine *Erschaffung* der einen oder anderen vor sich“.

Im Jahre 1848 erschien die Arbeit „Beiträge zur Dynamik des Himmels“, worin das neue Prinzip auf astronomische Fragen angewendet wird. Vor allem handelt es sich um Ursprung und Wirkung der *Sonnenwärme*. „Wodurch wird einer endlichen Erschöpfung, einem Zustand des Gleichgewichts vorgebeugt, damit nicht Nacht und Todeskälte die Räume des Planetensystems erfüllt?“ Nach R. Mayers (heute überwundener) Auffassung wird dies erreicht durch die lebendige Kraft ständig hineinstürzender asteroidischer Massen. „Das Strahlen der Sonne ist der letzte Grund von fast allen lebendigen Kraftäußerungen und Bewegungen auf der Erdoberfläche“. Schließlich werden behandelt Ebbe und Flut als Folge „einerseits der Anziehung, welche Mond und Sonne auf die beweglichen Teile der Erdoberfläche ausüben, andererseits aber der Achsendrehung der Erde“.

Eine letzte zusammenfassende Darstellung gab R. Mayer 1851 in den „Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme“. „Zahlen sind die gesuchten Fundamente einer exakten Naturforschung“. „Wärme und Bewegung verwandeln sich ineinander“. „Kraft ist Alles, was eine Bewegung hervorbringt oder hervorzubringen strebt, abändert oder abzuändern strebt“. „Kräfte sind wandelbare, unzerstörliche und — zum Unterschiede von den Materien — imponderable Objekte“.

Welche *Aufnahme* haben Mayers Schriften gefunden? Robert Mayer trägt selber eine gewisse Mitschuld daran, daß vor allem seine ersten zwei Schriften von der Fachwelt so wenig beachtet, ja vielfach abgelehnt worden sind. Anstatt seine Resultate Schritt für Schritt zu entwickeln — ähnlich wie eine solche Entwicklung in seinem Briefwechsel mit Carl Baur und Wilhelm Griesinger (Mediziner, später hervorragender Psychiater) hervorleuchtet, gibt er in der grundlegenden Schrift von 1842 eine aphoristisch-dogmatische Darstellung, die mitunter sogar an die Ausdrucksweise der von Mayer selber mißachteten Naturphilosophie von Hegel und Schelling erinnert.

Die Folgen sind für Robert Mayer selbst von äußerst ungünstiger Art gewesen. Bei seiner hochgradigen seelischen Reizbarkeit, die mit einem vererbten psychischen

Leiden zusammenhängt (nach Gaupp 1933 „ein in cyclischen Schüben zu Tage tretendes manisch-depressives Irresein“), ist er durch seinen Mißerfolg — schließlich vor allem durch eine unverantwortlich abfällige, ja direkt gehässige Äußerung eines Dr. Otto Seyffer in der „Augsburger Allgemeinen Zeitung“ 1849 sowie durch die von der Zeitung verweigerte Annahme einer Entgegnung in derartige Erregung versetzt worden, daß er, nach seinen eigenen Worten, „in der Frühe des 28. Mai 1850, bei dem damals herrschenden heißen Frühlingswetter in steigende Aufregung geratend, nach schlaflos durchwachter Nacht in einem Anfälle plötzlich ausgebrochenen Deliriums noch unangekleidet zwei Stockwerke (9 Meter) hoch vor den Augen meiner kurz vorher erwachten Frau, welche sich der Sache nicht versehen konnte, durch das Fenster auf die Straße sprang“.

Nach einem anschließenden, äußerst schmerzhaften Krankenlager von vielen Wochen suchte und fand R. Mayer Heilung in Wildbad, wohin er sich auch sonst oft begeben hat. Ein Zustand erneuter „Gehirnreizung“ oder „Gehirnentzündung“ (nach Mayers eigener Bezeichnung) führte 1851 und 1852 zu einem Aufenthalt in den Heilanstalten Göppingen und Winnenthal, und die Erinnerung an diese schweren Zeiten hat einen Schatten auf sein ganzes weiteres Leben geworfen, selbst auf die späteren Jahre allgemeiner Anerkennung und vielfacher Ehrung⁶.

II. Wie sich Mayers Energieprinzip durchgesetzt hat

Es erscheint müßig zu fragen, wie sich Robert Mayers geistige Produktion (neben dem Arztberuf) weiterhin gestaltet haben würde, wenn er von vornherein das erwartete Echo in der Fachwelt gefunden hätte. Tatsächlich ist nach einem kleineren Aufsätze von 1851 (Über die Herzkraft) eine zehnjährige Pause eingetreten. Erst 1862 wurde das Stillschweigen mit einem Aufsatz „Über das Fieber“ gebrochen; jedoch auch dann zunächst noch ohne Fortsetzung.

Mittlerweile hatte sich allgemein eine Wendung zum Besseren vollzogen. Was Mayers eigene Prioritätsbeanspruchungen gegenüber anderen Forschern auf dem gleichen Gebiete (Joule, Holtzmann, Helmholtz u. a.) nicht vermocht hatten, brachten einsichtsvolle Forscher in verschiedenen

Ländern durch ihre rühmende Hervorhebung von Mayers Tat zuwege, so Justus Liebig und Schönbein 1858; ferner Baumgartner, Friedrich Mohr, Moleschott, Hirn, Reusch, Verdet in Paris u. a. m., vor allem aber John Tyndall in England, der sich 1862 mit Wärme für Robert Mayer einsetzte und damit die entscheidende Wandlung herbeiführte. Beachtenswert ist dabei, daß erst durch Clausius' energetische Neufassung des Carnot-Prinzips (1850) Mayers Energiegesetz „freie Bahn“ (nach Walter Gerlach) gewinnen konnte.

Schon 1858 hatte Mayer es über sich gewonnen, die Naturforschertagung in Karlsruhe zu besuchen, wo er mit Liebig, Helmholtz, Clausius, Holtzmann und anderen Berühmtheiten zusammentraf. Der Chemieprofessor Christian Friedrich Schönbein in Basel vermittelte 1858 eine erste Ehrung, die Ernennung zum korrespondierenden Mitglied der Naturforschenden Gesellschaft Basel. 1859 wurde R. Mayer zum Dr. hon. causa der philosophischen Fakultät in Tübingen, sowie zum korrespondierenden Mitglied der Kgl. Bayrischen Akademie der Wissenschaften ernannt, mit der Begründung (durch Jolly): „Herr Dr. J. R. Mayer hat neue, bisher nicht betretene, äußerst fruchtbare Wege eingeschlagen und eine Reform angebahnt, die sich schon jetzt als äußerst erfolgreich für die Wissenschaft zeigt.“ Weitere Ehrungen kamen in rascher Folge.

Auch späterhin besuchte Mayer wiederholt wissenschaftliche Tagungen. Im Jahre 1869 wurde er eingeladen, einen Vortrag vor der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Innsbruck zu halten. Originell wie immer wählte er als Thema: „Über notwendige Konsequenzen und Inkonsequenzen der Wärmemechanik“. Nochmals zeigte sich, insbesondere infolge Mayers starken Abrückens vom weltanschaulichen Materialismus jener Tage, gewisser Widerspruch. Mayer berichtet am 20. November 1869 an seine älteste („philosophische“) Tochter Elise: die Schlußworte seines Innsbrucker Vortrages (ein Bekenntnis zur christlichen Lehre) hätten bewirkt, „daß ich in verschiedenen Zeitungen heftig geschmäht worden bin“.

Dennoch waren es, im ganzen genommen, glückliche Jahre, die R. Mayer nunmehr verleben konnte. Er hielt in der Folgezeit mehrere Vorträge in heimatlichen Kreisen:

„Über Erdbeben“ (1870), „Über die Bedeutung unveränderlicher Größen“ (1870), „Über die Ernährung“ (1871), „Über veränderliche Größen“ (1873), „Die Torricellische Leere“ (1875). Sind diese Arbeiten ohne größere Bedeutung, so zeugen sie doch von wiedergewonnener Schaffenslust.

Im Jahre 1867 konnte R. Mayer seine bisherigen Schriften in einem Sammelband „Mechanik der Wärme“ herausgeben; 1874 erschien eine erweiterte Auflage⁷.

III. Robert Mayers letzte Schrift: „Über Auslösung“

Eine große Überraschung muß dem Fernerstehenden eine letzte Schrift von Robert Mayer „Über Auslösung“ (im Staatsanzeiger für Württemberg 1876) bereiten, in welcher wie zunächst scheint, Robert Mayer sich von einer ganz neuen Seite zeigt. Welch große Bedeutung diesem aphoristisch kurz gehaltenen Aufsätze vom Autor selber beigegeben wurde, geht daraus hervor, daß er den Gegenstand in erweiterter Form behandeln und mit der fertigen Arbeit sich um die Erteilung des vielbegehrten Bressa-Preises in Turin (1200 Franken) bewerben wollte.

Wiederholt — jedoch nicht allgemein — hat dieser Aufsatz Anerkennung gefunden, so von Arthur von Oettingen, Wilhelm Ostwald, Ernst von Lippmann, Aloys Riehl, Heinrich Rickert. Friedrich Nietzsche aber schreibt an Peter Gast aus Genua am 16. April 1881 nach Durchsicht der ihm zugesandten „Mechanik der Wärme“: „Über Auslösung ist für mich das Wesentlichste und Nützlichste in Mayers Buche“!

Es ist außerordentlich zu bedauern, daß Robert Mayer durch seinen zu frühen Tod (1878) verhindert worden ist, seinen u. a. Eugen Dühring und dem Medizinhistoriker Heinrich Rohlf's mitgeteilten Plan einer umfassenden Auslösungs-Niederschrift auszuführen. Der programmatische kurze Aufsatz von 1876 aber beginnt erst in unseren Tagen in seiner universellen Bedeutung hinreichend gewürdigt zu werden.

Als Robert Mayer 1878 an Lungenentzündung starb, hatte sich sein Werk völlig durchgesetzt. Er selbst ist sich bei aller persönlicher Bescheidenheit über die wissenschaftliche Bedeutung seiner Leistung von Anfang an im klaren gewesen: „Kommen wird der Tag, das ist ganz ge-

wiß, daß diese Wahrheiten zum Gemeingut der Wissenschaft werden“ (1844).

Von Jakob Weyrauch wird sein Werk dahin zusammengefaßt: „Wir sehen das Hauptverdienst Robert Mayers darin, daß er das vor ihm allein in der reinen Mechanik als gültig erkannte Gesetz der Gleichheit von Ursache und Wirkung als *Arbeitsäquivalenten* mit kühnem Wurf auf die ganze belebte und unbelebte Natur ausdehnte. Es war das ein Wurf, ähnlich demjenigen, welchen Newton tat, als er die Galileischen Fallgesetze auf die Beziehungen der Weltkörper übertrug und damit zum Entdecker der allgemeinen Gravitation wurde“.

Die leidigen Prioritätsstreitigkeiten und Verkennungen, welche Mayers Leben vielfach verdüsterten, haben heute nur noch historische Bedeutung. Joules glänzende experimentelle Arbeiten zur Belegung der auch von ihm selbständig erkannten neuen Wahrheiten behalten neben Mayers universeller Schau ebenso ihren Wert wie Helmholtzens Versuch (1847), das Prinzip der Erhaltung der Energie als letzte Konsequenz seiner von Mayer abweichenden Auffassung darzutun, daß sich alle physikalischen Vorgänge (selbst elektrische und optische) als *Bewegungserscheinungen von Masseteilchen* hinreichend beschreiben lassen müssen*.

Bei Robert Mayers Bestattung am 22. März 1878 sprach u. a. Dr. Betz vom Freien Deutschen Hochstift Frankfurt a. M. die rühmenden Worte:

„Uns bist Du ein leuchtender Stern.

Ein leuchtender Führer wirst Du den Kommenden sein.“

IV. Auswirkungen und Charakteristik von Robert Mayers Gesamtleistung

Es gibt sehr verschiedene spätere Formulierungen des Energieprinzips, welches, von Liebig 1858 „die größte Entdeckung dieses Jahrhunderts“ genannt, von Clausius als Überraschung empfunden, fortan das *Grundgesetz der exakten Naturwissenschaft* bildet und bis heute (nach Walter Gerlach) „bei allen Versuchen, bei allen Theorien, bei allen Überlegungen weit über den Rahmen der Physik

* Nachbemerkung: Eine treffende Darstellung bietet Rüchardt in *Naturwissenschaften* 1947, S. 321—325.

hinaus die Rolle der obersten Polizeibehörde spielen darf“, da es noch durch keinerlei Beobachtungen im abgeschlossenen System widerlegt worden ist, bis zu Plancks „Wirkungsquanten“, Heisenbergs „Unbestimmtheitsrelation“ und der heutigen „Energie-Impuls-Vektorlehre“. Auf gewisse offenbleibende Fragen wie im Falle der Neutrino-Hypothese und der Herkunft der Höhenstrahlung ist hier nicht einzugehen⁸.

„Positiver Arbeitswert kann weder aus Nichts entstehen, noch in Nichts vergehen“ (Max Planck). „Das Arbeitsäquivalent einer Zustandsänderung hängt nur vom Anfangs- und Endzustand ab, aber nicht von der Art, wie der eine in den anderen übergeführt wird“ (C. F. von Weizsäcker; eine Art grandiose Erweiterung des Heß'schen Wärmesatzes von 1840).

Im Robert Mayer-Jubiläumsjahr (1942) — das unter günstigeren Umständen in internationalen Zusammenkünften gefeiert worden wäre — ist in Berlin ein Sammelband erschienen, der, vom Verein Deutscher Ingenieure herausgegeben, eine umfassende Würdigung der Verdienste Robert Mayers im Hinblick auf den heutigen Stand der Wissenschaft gibt. Schon eine flüchtige Durchsicht läßt erkennen, daß keine einzige naturwissenschaftliche Disziplin ohne Robert Mayers Prinzip auskommen kann. Das gilt in erster Linie für die *Physik* (Bearbeiter Walter Gerlach und C. F. von Weizsäcker), sodann aber auch für *Chemie* (Erich Pietsch und Alwin Mittasch), *Astronomie* (Kienle), *Meteorologie und Geophysik* (A. Schmauß), *Ingenieurwissenschaften* (W. Meißner), *Physiologie* (H. Rein). Ein besonderer Abschnitt behandelt die geschichtliche Entwicklung des Kraftbegriffes bis zum Aufkommen der Energetik (H. Schimank), ein weiterer die Beziehungen des Erhaltungsgesetzes zur Philosophie (Max Hartmann), und schließlich kommen auch Robert Mayers Anschauungen über das Leib-Seele-Verhältnis zur Geltung (A. Mittasch).

Auf all dies näher einzugehen, würde zu weit führen. Statt dessen seien einige wichtige Punkte hervorgehoben, welche die starken Entfaltungsmöglichkeiten und Entfaltungstatsachen von Robert Mayers Lehre betreffen. Vorausgeschickt sei, daß Robert Mayer dem bald nach seiner Aufstellung des „ersten Hauptsatzes der Thermodynamik“

von anderer Seite (Clausius, William Thomson) entwickelten *zweiten Hauptsatz* von der Zunahme der Entropie oder der Zerstreuung und Entwertung der Energie im natürlichen nichtumkehrbaren Verlauf des Naturprozesses nur wenig Beachtung schenkt, die daraus gezogene Folgerung eines in ferner Zukunft drohenden „Welttodes“ durch Ausgleichung der Energie-Intensitäten sogar deutlich ablehnt (z. B. in seinem Innsbrucker Vortrag 1869). Der Grundgedanke eines nur beschränkten Wirkungsgrades oder Arbeitswertes der Wärme, in Maschinen wie in Organismen, ist indessen Mayer wohlbekannt gewesen.

Überwindung des Dualismus „Materie und Energie“

Man findet bei R. Mayer Äußerungen, die erkennen lassen, daß er bereits die damals noch problematische Frage in Erwägung gezogen hat, ob wohl „Energie“ und „Materie“ für immer getrennte Begriffe bleiben werden. In seiner Abhandlung von 1845 sagte er, daß „zwischen den zwei Abteilungen Ursachen in der Natur: Materien und Kräften (Energien) *erfahrungsgemäß* (vom Verf. unterstrichen) keine Übergänge statffinden“. Ferner kommen gewisse Ausführungen über die Sonnenwärme in Betracht. Auf dem Boden der Undulationstheorie stehend, postuliert R. Mayer dennoch eine *Unveränderlichkeit der Sonnenmasse* trotz des vermuteten Hineinstürzens gewaltiger neuer Massen, da „die dauernde Ausstrahlung ein Grund zu einer fortwährenden Massenverminderung“ sei. „Das Strahlen der Sonne ist die einer centripetalen Bewegung äquivalente centrifugale Aktion“. Das klingt nach Kienle „fast wie eine Vorahnung des Äquivalenzgesetzes für Masse und Energie“. Nimmt man noch hinzu die überraschende Bemerkung zu der S. 676 verzeichneten herkömmlichen Kraft-Definition: man könne, ohne etwas Wesentliches zu ändern, die letzten elf Worte unbedenklich streichen, so leuchtet ein Pandynamismus: „Kraft ist alles“ — hervor, der, an Leibniz und Boscovich erinnernd, den philosophischen Boden für die Erkenntnis unseres Jahrhunderts bildet, daß der Energiebegriff in seiner äußersten Entwicklung den Materiebegriff in sich aufnimmt, indem die Masse selber eine Energieform ist: zusammengeballte und verfestigte, höchst konzentrierte Nullpunktsenergie, deren Entfesse-

lung oder „Auslösung“ mit herkömmlichen Mitteln nicht zu erreichen ist. Es gibt demnach eine „Trägheit“ der Energie und eine höchste Äquivalenzbeziehung zwischen Materie und Energie gemäß $E = mc^2$ (Einstein). Hieraus folgen Erscheinungen einer zumindest partiellen Zerstrahlungsmöglichkeit der Materie (man denke an die „Massendefekte“ der chemischen Elemente und an die Atombombe von 1945!) sowie einer Neubildung von Elektron-Positron-Pärchen aus scharfer Höhenstrahlung usw. So hat der Grundgedanke der gegenseitigen Umwandelbarkeit der verschiedenen Energieformen im Naturgeschehen „seine letzte Abrundung gefunden durch die Einbeziehung der Masse als einer speziellen Energieform in diesen Prozeß“ (C. F. von Weizsäcker). „Das Erhaltungsgesetz für die Energie hat das für die Masse in sich aufgenommen. Unverändert durchdringt das Gesetz von der Erhaltung der Energie unser physikalisches Denken“ (Max von Laue).

Robert Mayers Auslösungsprinzip als Ergänzung seiner Kraftlehre

Wenn zum Schlusse seines Lebens — aber in früheren Arbeiten schon vorbereitet — Robert Mayer dem Auslösungs-begriff hohe Bedeutung zuerteilt — in Weiterverfolgung gewisser Anfänge bei Lotze, Emil Du Bois-Reymond u. a.⁹, so ist das eine Konsequenz seiner energetischen Lehre, folgend aus der *Frage nach dem zureichenden Grunde dafür, daß überhaupt Energieumwandlungen stattfinden*. Ist ja doch sein Energieprinzip ein bloßes Rahmengesetz, das unzählige Möglichkeiten des Geschehens freigibt.

„Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft ‚die Auslösung‘ nennt“, so beginnt jene kurze und hochbedeutsame Abhandlung von 1876, die — in dieser Beziehung dem Entropieprinzip vergleichbar — ein ausgesprochen *historisches Moment in die Energielehre bringt, das aus der Naturwissenschaft bis in Psychologie, Kulturwissenschaft und Menschengeschichte hineinreicht!* Denn welches sind nach R. Mayer die wichtigsten Formen der Auslösung oder Veranlassung? Es sind neben mechanischer und allgemein

physikalischer (z. B. elektrischer Auslösung durch einen zündenden Funken oder Einschaltung eines Stromes), die chemische Katalyse (Berzelius 1835), die physiologische Reizwirkung nach Haller und Johannes Müller und die psychophysische Willenswirkung, nebst allen Wechselwirkungsbeziehungen zwischen Leib und Seele, die schon gemäß Lotze unter „occasionalistischem“ Gesichtspunkt zu betrachten sind.

Es ist unmöglich, hier auf den Überreichtum an sinnvollen Fragestellungen und wertvollen Aufschlüssen einzugehen, welche eine systematische Verfolgung von Robert Mayers „Auslösung“ mit sich bringt. Gibt es doch auch abgestufte und angepaßte Auslösung, also u. a. Steuerung, Befehlgebung und Regulierung bis zur Selbstbestimmung. Es sei nur kurz erwähnt, daß der alte Streit um *Mechanismus und Vitalismus*, über Lebenskraft usw. hinfällig wird, wenn man Robert Mayers Begriffsbildung folgt und zugleich nach Schopenhauer in der Natur einen geheimen „Willen“ am Werke sieht, der sich zur Erreichung seiner Ziele ebenso physikalischer und chemischer Gesetzmäßigkeit bedienen muß, wie der menschliche Wille — auch der künstlerische Genius — bei der Ausführung seiner Planungen, und wenn man sich darüber klar wird, daß dieser Wille ebensowenig wie Berzelius' „katalytische Kraft“ eine „Kraft“ oder „Energie“ im Sinne arbeitleistender Wirkkraft ist, sondern eine energetisch belanglose, weil nur Arbeit veranlassende Auslöse- und Richtkraft. In den Ausdrücken „katalytische Kraft, Lebenskraft, Willenskraft“ sowie „seelisch-geistige Energie“, „biologische Gestaltungsenergie“ usw. hat eben das Wort Kraft bzw. Energie eine total andere Bedeutung als in den Ausdrücken mechanische oder elektrische Kraft, chemische Energie usw.

Robert Mayers energetischer Kausalbegriff gegen den mechanistischen Kausalbegriff; Primat des Energiebegriffes

Robert Mayers *energetischer Kausalbegriff* — bester philosophischer Überlieferung folgend — unterscheidet sich wesentlich von dem mechanistischen Kausalbegriff (Determinismus in engerem Sinne, gemäß Laplace). Verlangt man dort die Möglichkeit einer *Voraussagung* künftiger Bewegungskonstellation eines Teilchensystems aus der ge-

genwärtigen¹⁰, so besteht nach Mayer das Verhältnis von Ursache und Wirkung in *quantitativer Energieumsetzung*: „Die Ursache erschöpft sich in der Wirkung“. — *Diese Wirkung wird hervorgebracht durch Arbeit leisten einschließlich Arbeit leisten lassen. Das Humesche Problem ist gelöst; und es ist sinnlos, hie und da von „Akausalität“ (statt Amechanität) zu reden. Alle Kausalbegriffe, seien sie von allgemeiner oder von beschränkter Geltung, unterstehen dem einen unerschütterlichen Kausalprinzip als einer Vernunftforderung gemäß dem Satze vom zureichenden Grunde. „Der Energiesatz schlägt gleichsam eine Brücke zwischen den Begriffen der „Kausalität und der Substanz“ (C. F. von Weizsäcker). „Ursache und Wirkung durch den Substanzbegriff zur Einheit verbunden — dies ist Robert Mayers Kausalbegriff“ (A. Riehl). Nach E. Haas ergibt sich Mayers Prinzip als „Konvergenzpunkt aus Konstanzidee, Einheitsidee und Kausalitätsidee“. Dem Arbeitsanteil jeder Realursache (Totalursache) aber schließt sich ein Auslösungsanteil an.*

Die *Überlegenheit des energetischen Kausalbegriffes* hängt auf das engste zusammen mit dem *Vorrang des Energiebegriffes gegenüber dem Begriff der Massenbewegung*¹¹. Es charakterisiert Mayers Vorsicht in Hypothesenbildung, wenn er von einer Zurückführung aller Energieumwandlungen auf eine Mechanik von Massenteilchen absieht. Ist er hierbei teilweise wohl allzu zurückhaltend gewesen (Zurückweisung der Behauptung, daß Wärme Bewegung ist¹², *Skepsis* hinsichtlich der Realität der Atome) so hat er doch den großen Vorteil gewonnen, ganz unbefangen an alle Naturerscheinungen herantreten zu können. Man wird ihn nicht für den „Pan-Energetismus“ haftbar machen, der sich später im Anschluß an seine Lehre (sowie teilweise an Ernst Mach) entwickelt hat. Hier ist weniger beim Hauptvertreter Wilhelm Ostwald (durch lange Jahre, bis zu seiner „Bekehrung“ durch den vor allem von Perrin gelieferten experimentellen Nachweis atomarer Einheiten, als bei einigen Extremisten (insbesondere in Ostwalds *Annalen der Naturphilosophie*) nicht nur ein unfruchtbarer *Dogmatismus der Energie* zu Tage getreten, sondern man hat auch den tatsächlich ungemein ertragreichen Gebrauch mechanischer Bilder, Symbole, Schemata, Figmente für

mechanistisch (d. h. gemäß den Lehren der klassischen und statistischen Mechanik) nicht adäquat zu beschreibende — z. B. schon elektrodynamische und chemische — Vorgänge abgelehnt, gemäß Ostwalds (früherer) Vorschrift: „Du sollst Dir kein Bildnis oder Gleichnis machen!“

Ein Blick in die heutige Feldphysik, Quantenphysik und Atomkernphysik läßt deutlich den Vorrang von Robert Mayers Energiebegriff erkennen, dem mechanistische Begriffe durchweg untertan sind. Der durchgehende Komplementarismus Welle-Korpuskel (nach de Broglie u. a.) sowie auch Heisenbergs Unbestimmtheitsrelation erheben sich auf energetischem, nicht auf mechanistischem Begriffsboden!

V. Robert Mayers Persönlichkeit und seine Stellung zum „geistigen Prinzip“

So auffallend dürftig — im Vergleich mit anderen Großen des Geistes — die Überlieferung hinsichtlich Robert Mayers Alltagsleben und Treiben ist, so läßt sich doch, unter Berücksichtigung seines Briefwechsels und verschiedener Äußerungen von Freundesseite¹³ ein hinreichend klares Bild seiner sympathischen Persönlichkeit gewinnen. Wir sehen da ein von Natur heiter-empfindliches Gemüt. Familiensinn und Lust zu Geselligkeit, ausgeprägt schwäbischer Witz und Humor, intellektuelle und moralische Zuverlässigkeit und Tapferkeit, eine auch im Beruf bewährte Menschenfreundlichkeit und Herzensgüte, Aufgeschlossenheit für die Schätze klassischer Dichtung, dazu eine in allen Schicksalsschlägen bewährte Religiosität, die von ausgesprochen christlicher Art, doch auch die Überzeugung Andersgläubiger (z. B. im Falle Moleschott) achtete.

Es ist lehrreich zu beobachten, wie Robert Mayer, der so oft und gern die *Kurzschluß-Naturphilosophie* aus dem Eingange des 19. Jahrhunderts ablehnt, selber ein philosophischer Kopf hohen Ranges ist, dem nur die Schulung etwa an Kant fehlt, um im Stile herkömmlicher Philosophie zu sprechen¹⁴. Aphoristische Äußerungen auch hohen philosophischen Wertes — immer auf der Grundlage exakter Wissenschaft — finden sich reichlich, vielfach in die Form einer *Ablehnung des Materialismus* gekleidet und

auf Gott und Welt, Menschenleben und Ewigkeit sich beziehend.

Eine Auswahl von Aussprüchen aus Robert Mayers Munde möge das Bild seiner Persönlichkeit hinsichtlich Denken, Fühlen und Wollen vervollständigen.

Hochschätzung des mathematischen Symbols in der Wissenschaft. Es ist „die Mathematik, welche in den physikalischen Wissenschaften ein souveränes Szepter führt“ (1873). „Wahrlich ich sage euch, eine einzige Zahl hat mehr wahren und bleibenden Wert als eine kostbare Bibliothek von Hypothesen“ (1844). — „Größenbestimmungen, Zahlen allein sind es, die uns den Ariadnefaden in die Hand geben“ (1851). „Die angewandte Mathematik . . . ist der Anfang und das Ende für den Sternkundigen, den Techniker, den Seemann, sie ist die feste Achse aller Naturforschung“ (1845).

Jedoch: „Das Gebiet der Mathematik hat, wie jedes andere Reich auch, seine natürlichen Grenzen. Die unendliche Menge von Auslösungsvorgängen entzieht sich jeder Berechnung, denn Qualitäten lassen sich nicht wie Quantitäten numerisch bestimmen“ (1876). Demgemäß: „In der Physik ist die Zahl alles, in der Physiologie ist sie wenig, in der Metaphysik ist sie nichts“ (1869).

Die lebende Welt. „Im Leben wird die Notwendigkeit durch die Freiheit gemildert, die Freiheit durch die Notwendigkeit beschränkt. — Gesetze im physikalischen Sinne, Naturgesetze, die sich durch ausnahmslose Notwendigkeit charakterisieren, gibt es in der lebenden Welt nicht, denn Gesetze mit Ausnahmen pflegt man Regeln zu nennen. — So wurden auch, wie ich schon vor etwa dreißig Jahren gesagt habe, für die Lebenserscheinungen noch keine Formeln gefunden, denn: der Buchstabe tötet, der Geist allein gibt Leben“ (1873). Die lebende Welt ist „ein Reich der Zweckmäßigkeit und Schönheit, ein Reich des Fortschrittes und der Freiheit. — Nicht nur *erhalten* wird die lebende Welt, sie wächst, und sie verschönert sich (1869). — „Und es mögen die Lebenserscheinungen einer wundervollen Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen; nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie, in der Harmonie nur liegt das Leben“ (1845).

Gehirn und Geist. „Wohl steht es fest, daß die geistigen Verrichtungen des Individuums mit materieller Cerebralaktion (Gehirntätigkeit) auf das innigste verknüpft sind. Ein grober Irrtum aber ist es, wenn man diese beiden parallel laufenden Tätigkeiten identifizieren will. — Das Gehirn ist nur das Werkzeug, es ist nicht der Geist selbst“. Demgemäß stimmt R. Mayer dem elsässischen Physiker Gustav Adolf Hirn zu, wenn dieser, „meiner Ansicht nach so schön als wahr, dreierlei Kategorien von Existenzen statuiert: 1. die Materie, 2. die Kraft und 3. die Seele oder das geistige Prinzip. — Der Geist aber, der nicht mehr dem Bereiche des sinnlich Wahrnehmbaren angehört, ist kein Untersuchungsobjekt für den Physiker und Anatomen. — Was subjektiv richtig gedacht ist, ist auch objektiv wahr. Ohne diese von Gott zwischen der subjektiven und objektiven Welt prästabilierte ewige Harmonie wäre all unser Denken unfruchtbar“ (1869). „Wir haben einen Geist zum Denken, eine Seele zum Fühlen und einen Leib zum Handeln und — Behandeln“ (1868).

Religiöse Duldsamkeit. In einem Dankbriefe an Professor Jakob Moleschott, der Mayers Ernennung zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Turin durchgesetzt hatte, schreibt Mayer am 13. Dezember 1867: „Ihnen vor allem gebührt das große und bleibende Verdienst, den Satz siegreich verteidigt zu haben, daß wissenschaftliche Gegenstände und Forschungen nicht mit religiösen Dogmen oder gar kirchlichen Fragen vermischt werden dürfen, und wenn wir vielleicht . . . auf dem supranaturalen Gebiete nicht in allen Punkten harmonieren, so wundere ich mich darüber um so weniger, als ich in dieser Hinsicht, trotz der 53 Jahre, die ich nun auf dem Rücken habe, mit mir selbst nicht einmal ganz ins Reine kommen konnte . . . Immerhin werden wir uns selbst das Zeugnis geben können, und die Geschichte wird uns dasselbe nicht versagen, daß wir als redliche Arbeiter der Wahrheit nachgestrebt und dieselbe nach Kräften gefördert haben. Jeden aber, der zu denken wagt, auf den Scheiterhaufen führen zu wollen, dürfte zu unserem Glücke schon aus ökonomischen Gründen nicht rätlich erscheinen“.

Dazu weiter: „Immerhin ist es aber leichter, den Aberglauben mit Gründen zu bekämpfen, als denselben in

der eigenen Brust auszurotten, und schwierig ist es oft, den Wahn zu bekämpfen, ohne den Glauben zu verlieren“ (1866).

Naturerkenntnis und Glaube. „Die echte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntnis und überläßt es willig dem Poeten und Naturphilosophen, die Auflösung ewiger Rätsel mit Hilfe der Phantasie zu versuchen“ (1845).

„Hüte man sich, daß man über dem Streben nach Unerreichtbarem nicht Erreichbares verliert! — Die Wahrheit ist ja an und für sich ewig, und das Ewige läßt sich nicht definieren und auch nicht beweisen“ (1873). „Wir wissen auch, daß die Natur in ihrer einfachen Wahrheit größer und herrlicher ist als jedes Gebild von Menschenhand und als alle Illusionen des erschaffenen Geistes“ (1845). „Die ewige Vernunft möchte ich mir aber nicht getrauen, mit kritischem Maßstabe ausmessen zu wollen“ (1870). „Der Urgrund der Dinge ist ein dem Menschenverstand ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit . . .“ (1851). „Wenn aber oberflächliche Köpfe, die sich gerne als die Helden des Tages gerieren, außer der materiellen, sinnlich wahrnehmbaren Welt überhaupt nichts Weiteres und Höheres anerkennen wollen, so kann solch lächerliche Anmaßung einzelner der wahren Wissenschaft nicht zur Last gelegt werden, noch viel weniger kann sie derselben zu Nutz und Ehre gereichen“ (1870). „Ein Kampf ums Dasein findet allerdings statt. Aber nicht der Hunger ist es, es ist nicht der Krieg, nicht der Haß ist es, was die Welt erhält — es ist die Liebe“ (1871). „Gott aber hat bekanntlich an der Menschheit einen langsamen Schüler“ (1871).

Schluß

Von der Allgemeinheit wenig beachtet und nur in einzelnen wissenschaftlichen Vereinigungen bescheiden gefeiert, ist Robert Mayers Jubiläumsjahr verstrichen; bestimmte Pläne weitreichender Art wurden durch die Kriegsverhältnisse zuschanden. Sollte es nicht jetzt an der Zeit sein, Versäumtes, ja schon längst Versäumtes nachzuholen? Sollte man nicht daran gehen, eine *internationale Robert Mayer-Gesellschaft* zu gründen und in Heilbronn ein *Robert Mayer-Archiv* zu errichten, in welchem der Mitwelt und der Nachwelt dauernd vor

Augen geführt wird, wer Robert Mayer war, und was er für die gesamte Naturwissenschaft und Technik bedeutet!

Robert Mayers Geburts- und Wohnhaus in Heilbronn liegt in Trümmern. Erhalten geblieben aber sind wertvolle Nachlaßstücke verschiedener Art (Mobilier, Bilder, Manuskripte usw.), die an mannigfachen Stellen, auch bei Robert Mayers Nachkommen, des Ordens und Verwertens harren.

Nach Perioden katastrophaler Völkererzweigung hat bisher regelmäßig die Wissenschaft in vorderster Linie gestanden, wenn es galt, durch Haß und Irrwahn zerrissene Bande mit anderen Nationen neu zu knüpfen. Könnte und sollte nicht gegenwärtig der Name Robert Mayer ein hohes Symbol für eine Neugestaltung internationaler wissenschaftlicher Solidarität bilden können?

Anmerkungen:

1 „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ in Liebigs Annalen der Chemie und Pharmazie 1842. Darauf 1845: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel. Diese Schrift mit dem seltsamen Titel erschien ebenso wie die folgenden von 1848 und 1851 in einem unbedeutenden Heilbronner Verlag. — 2 Es handelt sich wesentlich um Dulong's Versuche über die spezifische Wärme von Gasen, sowie um Gay Lussacs Nachweis einer (nach späteren Feststellungen nicht äußerst strenggültigen) Unabhängigkeit dieser spezifischen Wärme von der Gasdichte. — 3 Es ist klar, daß derartiger Stil auf den Physiker jener Zeit, der eben die Spekulationen der romantischen Naturphilosophie in nüchterner Kleinarbeit überwunden zu haben sich rühmte, kaum werbend und überzeugend wirken konnte. — 4 Daß selbst bei den leitenden und auslösenden Vorgängen des Nervensystems ein aus chemischen Quellen stammender Energieaufwand nötig ist, hat in unserem Jahrhundert A. V. Hill in feinsten Versuchen festgestellt. Nach W. Rein ist der Energiesatz „die Basis der gesamten messenden und damit allein aussichtsreichen physiologischen Forschung“ (bis zur Ernährungslehre und Arbeitsphysiologie). — 5 „Kraft“ identisch mit heutiger „Energie“ („Effekt“=„Arbeit“). Der alte Streit um das wahre Kraftmaß, in welchem Mayer sich auf die Seite von Leibniz stellt, ist bekanntlich dadurch erledigt worden, daß man der durch Masse mal Beschleunigung definierten Kraft ihren Namen beließ, der Leibniz'schen „Kraft“ (in Wahrheit Arbeit und Arbeitsfähigkeit) aber den Namen Energie gab. — 6 In seiner Schrift „Über Auslösung“ 1876 betont R. Mayer, „wie verkehrt es ist, wenn man in unverantwortlichem Schlendrian bei psychischen Leiden und geistigen Störungen . . . die so nötigen Auslösungen auf brutale Weise mit Zwangsjacken, Zwangsstühlen und Zwangsbetten unterdrückt“. — 7 Eine dritte, vervollständigte kritische Ausgabe gab 1893 Jakob Weyrauch, mit Hinzufügung eines zweiten Bandes „Kleinere Schriften und Briefe“. — 8 Bei C. F. von Weizsäcker (1942) heißt es weiter: „Mayers Prinzip hat die in vieler Beziehung revolutionäre Entwicklung der theoretischen Physik im 20. Jahrhundert zwar nicht unbeeinflusst, aber unerschüttert mitgemacht. — In der Quantenmechanik ist der Energiesatz zwar nicht falsch, aber er wird in gewissen Fällen gleichsam suspendiert. Relativitätstheorie und Quantentheorie haben den Begriff der Energie wesentlich vertieft und damit die Bedeutung des Energiegesetzes erweitert“. (Nunmehr besteht auch die Möglichkeit einer absoluten Bestimmung der Energie!) — 9 Siehe hierzu den Aufsatz S. 546. — 10 „Ist der Zustand

eines abgeschlossenen Systems in einem Zeitpunkt vollständig bestimmt, so ist damit grundsätzlich auch sein Zustand in jedem anderen Zeitpunkt bestimmt“. (Formulierung C. F. von Weizsäcker). — 11 Vergl. hierzu A. Mittasch, Der Kraftbegriff bei Leibniz, Robert Mayer, Friedrich Nietzsche, im R.-Mayer-Gedächtnisheft des Proteus 1942. — 12 Mayers „Mechanik der Wärme“ hat mit der eigentlichen „mechanischen Wärmetheorie“ (Krönig, Clausius, Rankine) nichts zu tun; lehnt er doch — ähnlich wie später Ernst Mach — jede Frage nach der „Natur der Wärme“ ab, insofern mit gewisser Inkonsequenz, als er für das der Wärme „benachbarte“ Licht die Berechtigung der Undulationstheorie, gegenüber der Emanationstheorie ausdrücklich anerkennt! „Wie die Bewegung in Wärme übergehe, darüber Aufschluß zu erlangen, wäre von dem menschlichen Geiste zu viel verlangt“ (1842). — 13 Von Robert Mayers Freunden aus früherer und späterer Zeit seien außer Baur und Griesinger noch genannt der spätere Universitätskanzler Gustav Rümelin, Karl Gerok, der Prälat Lang, der Chemiker Schönbein. Gefehlt hat ihm in seinen späteren Jahren in der Heilbronner Atmosphäre ein Mann hohen geistigen Ranges, an dessen Umgang sich sein Geist hätte immer von neuem entzünden können; Unterredungen z. B. mit dem Philosophen Eugen Dühring und dem Medizinhistoriker Heinrich Rohlf's sind vereinzelte Episoden geblieben. — 14 Dennoch gibt es in Mayers Werken Stellen, die in ihrer kritischen Art unmittelbar an Kant erinnern; z. B. folgender Ausspruch: „Was Wärme, was Elektrizität u. s. w. dem inneren Wesen nach sei, weiß ich nicht, so wenig als ich das Innere Wesen einer Materie oder eines Dinges überhaupt kenne; das weiß ich aber, daß ich den Zusammenhang der Erscheinungen viel klarer sehe, als man bisher gesehen hat, und daß ich über das, was eine Kraft ist, helle und gute Begriffe geben kann.“

Friedrich Nietzsches Verhältnis zu Robert Mayer*

„In solchen herrlichen schlichten und fröhlichen Büchern wie dem Robert Mayers gibt es eine *Harmonie der Sphären* zu hören: eine Musik, die nur für den wissenschaftlichen Menschen bereitet ist...“
F. N.

(„Über Auslösung ist für mich das Wesentlichste und Nützlichste in Mayers Buche.“)

So lesen wir auf einer Postkarte Friedrich Nietzsches an Heinrich Köselitz (Peter Gast) aus Genua, den 16. April 1881¹; und diese Äußerung zeigt den Beginn einer fruchtbaren Beeinflussung Nietzsches durch Mayersches Gedankengut an, die zu verfolgen reizvoll erscheint.

I. Nietzsches Bekanntwerden mit Robert Mayers Werk

Wenn von R. Mayers Buch schlechthin geredet ist, so ist der Schriftenband „Mechanik der Wärme“ gemeint, dessen erste Auflage R. Mayer (1814—1878) bei Cotta, Stuttgart, im Jahre 1867 erscheinen ließ; die zweite folgte 1874². In diesem Buche sind seine bis dahin erschienenen Einzelabhandlungen zusammengefaßt, von der grundlegenden Schrift des Jahres 1842: „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ bis zu „Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme“ (1851) in der 1. Auflage bzw. bis zu „Über veränderliche Größen“ (1873) in der 2. Auflage. Der erst im Jahre 1876 erschienene Aufsatz „Über Auslösung“ (Staatsanzeiger für Württemberg, 22. März 1876), der natürlich in jenen Auflagen nicht enthalten sein konnte, muß also dem in Nietzsches Hände gelangten Exemplar „Mechanik der Wärme“ irgendwie beigegeben gewesen sein³.

Robert Mayers grundlegende Leistung ist allgemein bekannt: die erste Berechnung des *mechanischen Wärmeäquivalentes* und die darauf sich gründende erstmalige Aufstellung des allgemeinen Gesetzes von der *Unzerstörlichkeit der Kraft* („Erhaltung der Kraft“ nach Helmholtz, heute Erhaltung der Energie genannt). R. Mayer unterscheidet folgende Grundformen der Energie: Fallkraft (Gravitationsenergie), Bewegung (kinetische Energie),

* Bl. f. Deutsche Philos. 16 (1942) 139—161.

Wärme, Magnetismus und Elektrizität, chemische Kraft (Affinität), die sich nach festen Zahlenverhältnissen ineinander umwandeln können. (Von der inneratomaren Energie, d. h. von den ungeheuren Energiemengen, die im Atom „aufgestapelt“ sind, konnte R. Mayer noch keine Kenntnis haben.) „Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort wie hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft!“

Weniger bekannt ist R. Mayers hieran geknüpfte *erkenntnistheoretische Einstellung*, die darin besteht, daß er im Anschluß an Leibnizens Prinzip „*causa aequat effectum*“ in den nach festen Zahlenverhältnissen vor sich gehenden Umwandlungen der Energie (sowie den analogen stöchiometrischen Stoffumsetzungen) den Kern *des naturwissenschaftlichen Kausalbegriffes* erblickt: „Kräfte sind Ursachen“ (M. I. 23); es herrscht das „Naturgesetz der Erschöpfung der Ursache durch die Wirkung“ (M. I. 275). Die Wirkung ist eine Arbeitleistung der Kraft. Es handelt sich also hier um eine *Äquivalenz* (oder Proportionalität) von Ursache und Wirkung, wie sie z. B. beim Spalten eines Holzklotzes offenbar wird: adäquate Verursachung durch *Wirkkräfte*, energetische Kräfte.

Noch weniger in das wissenschaftliche Allgemeinbewußtsein eingedrungen ist die Kenntnis davon, daß R. Mayer der *Erhaltungs- oder Gleichbleibungskausalität* (*Äquivalenz von Ursache und Wirkung*) als Ergänzung die *Auslösungskausalität* hinzugesellt hat. Es handelt sich darum, daß, um mit Mayers eigenen Worten von 1876 zu reden, „sehr viele Naturprozesse nur dann vor sich gehen, wenn sie durch einen Anstoß eingeleitet werden“, oder mit heutigen Worten, daß potentielle Energien vielfach erst dann zur Betätigung und Entfaltung kommen, wenn gewisse Hemmungen oder Verhaltungen durch ein bestimmtes Agens aufgehoben werden. Diese Realisierung (Übergang in kinetische oder sonstige aktuelle Energie) geschieht regelmäßig nach dem Grundsatz: „Kleine Ursachen, große Wirkungen“ — wobei hier das Wort „Ursache“ in dem Sinne von Auslösung, Anlaß, Veranlassung, Anregung, Entfaltung, Anstiftung, Steuerung, Regelung, Befehlgebrauch gebraucht wird⁴.

Von Reizung, Anregung, (A. v. Hallers Irritabilität und Sensibilität), auch von Lenkung und Regulierung hat R. Mayer schon in früheren physiologischen Schriften gesprochen, vor allem in „Organische Bewegung“ 1845, sowie in der Schrift „Über das Fieber“ 1862. „Die Innervation, die Irritabilität und der chemische Prozeß sind die drei Faktoren der Muskeltätigkeit“ (M. I. 123). „Das physiologische Dogma von einem Verbrauch der *Reizbarkeit* durch die Aktion beruht, in seiner Allgemeinheit aufgefaßt, auf einem Irrtum“ (M. I. 128). „Die *Regulierung* des chemischen Prozesses, d. h. die Akkommodation der Wärmezeugung an die sich nach den äußeren Verhältnissen richtenden Bedürfnisse des Organismus ist nun im Fieber wesentlich gestört“ (M. I. 330). Das gleiche gilt von „der damit aufs engste verknüpften Kohlensäureproduktion“ (M. I. 332).

In seiner Abhandlung von 1876 (M. I. 440—446) führt R. Mayer als wichtigste Beispiele der Auslösungskausalität an: die Entzündung eines Streichholzes „durch ein bißchen Reibungswärme“, die Betätigung einer Schußwaffe durch einen „leichten Druck mit dem Finger“; ferner das ganze große Gebiet der *Katalyse*, da ein Stoff durch eine bloße Gegenwart an sich mögliche Reaktionen einleitet und vermittelt. „Die Auslösungen spielen nicht nur in der organischen Natur [— — —], sondern auch in der lebenden Welt, und namentlich also in der Physiologie und Psychologie, eine große und wichtige Rolle. Alle Gärungsprozesse beruhen auf Auslösung.“ Ferner sind alle *Reizwirkungen* des Organismus — von äußeren oder inneren Reizungen ausgehend — der Auslösungskausalität unterzuordnen. Vor allem ist die Betätigung des *Willens* gegenüber Bewegungsnerven und Muskeln eine, freilich auf „eine völlig rätselhafte und unbegreifliche Weise“ vor sich gehende „*Auslösung*“. Auch Gefühle und Affekte wirken auslösend, indem sie sich in körperlichen Haltungen und Handlungen entladen.

Der *Auslösung bestimmter organischer Bewegungen durch Gefühle und Affekte* (Ausdrucksbewegungen emotionaler Zustände) widmet R. Mayer besondere Aufmerksamkeit. „So ist der Zorn ein aktiver Seelenschmerz, der die Auslösungstendenz, und zwar vor allem die der Zunge,

gewaltig steigert und sich dadurch Luft macht“, oft in Handlungen unzweckmäßiger und zerstörender Art. Wenn aber „der Ungeduldige z. B. seinen Zorn an einem Scheite Brennholz ausläßt, das er zersägt und zerspaltet, so begeht er, während er sich Luft macht, auch noch eine äußerlich zweckmäßige Handlung.“ — Physiologische Auslösungen „in höchster Potenz“ sind die sexuellen Verrichtungen. Es gibt auch „pathologische Auslösungen“, der Krankheits-erregung durch ein als „Ferment“ wirkendes „Kontagium“ (z. B. „das entsetzliche Leichengift“) vergleichbar: verbrecherische Handlungen bis zu den Untaten nach Art des Herostratos.

Für den Organismus, insonderheit den menschlichen, gilt nach R. Mayer, „daß der *jeweilige Zustand des Auslösungsapparates für das Allgemeingefühl* oder für das *allgemeine Befinden maßgebend ist*“. „Richtige physiologische Auslösungen“ werden „angenehm empfunden“, „und es beruhen auf dieser Tatsache eine Menge von Vergnügungen, z. B. Spazierengehen, Singen, Tanzen, Schwimmen, Schlittschuhlaufen u. dgl. m. Spirituosen befördern leiblich und geistig die Auslösung, der Wein erfreut des Menschen Herz, wogegen Narcotica die Auslösung depressieren . . .“ Das Bewirken von Auslösungen ist „eine unerschöpfliche Quelle erlaubter Freuden und harmloser Vergnügungen. — Ist der Auslösungsapparat gestört, so tritt Leiden an die Stelle der Freude“. Störung der Wärmeregulation z. B. ist „ein wesentliches Symptom aller fieberhaften Krankheiten“. Auslösungen, Entladungen psychischer Zustände stehen in hohem Maße unter einem natürlichen Zwange. Es ist darum verkehrt, „wenn man in unverantwortlichem Schlandrian bei psychischen Leiden und geistigen Störungen die so nötigen Auslösungen auf brutale Weise mit Zwangsjacken, Zwangsstühlen und mit Zwangsbetten unterdrückt“ (eine Anspielung auf seine eigenen Erlebnisse in den Heilanstalten Göppingen und Winnenthal 1853—54!).

Für den lenkend auslösenden Willen gebraucht R. Mayer gern das Bild des Steuerers: „Dem Willen des Steuerers und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfbootes. Der geistige Einfluß aber, ohne welchen das Schiff sich nicht in Bewegung setzen oder am nächsten

Riff zerschellen würde, er lenkt, aber er bewegt nicht; zur Fortbewegung bedarf es einer physischen Kraft, der Steinkohlen, und ohne diese bleibt das Schiff, auch beim stärksten Willen seiner Lenker, tot“ (M. I. 87).

Die bewegende, arbeitleistende, energetisch wirksame Kraft wird also von R. Mayer deutlich geschieden von der nur *veranlassenden und führenden, in Gleichwertigkeitszahlen nicht ausdrückbaren Trieb- und Richtkraft* (Johannes Reinkes „diaphysische Kräfte“ oder „Dominanten“, Richard Wolterecks „bilanzfreie Impulse“); hervorragende Beispiele letzterer „Kräfte zweiter Hand“ (nach Lotze) oder Oberkräfte nach E. v. Hartmann und Billroth, sind uns noch heute die katalytische Kraft, die Lebenskraft (= entelechiale Führung des Organismus), die Willens-, Seelen- und Geisteskraft.

Als eine endgültige Verarbeitung der Eindrücke, welche Nietzsche von R. Mayers Auslösungs-Aufsatz gewonnen hat, erscheinen Äußerungen in „Fröhliche Wissenschaft“, 2. Aufl. 1887, Buch V, § 960 (W. V. 310): „Zwei Arten Ursachen, die man verwechselt. — Das erscheint mir als einer meiner wesentlichen Schritte und Fortschritte: ich lernte die Ursache des Handelns unterscheiden von der Ursache des So- und So-Handelns, des In dieser Richtung-, Auf dieses Ziel hin-Handelns. Die erste Art Ursache ist ein Quantum von aufgestauter Kraft, welches darauf wartet, irgendwie wozu verbraucht zu werden; die zweite ist dagegen etwas, an dieser Kraft gemessen, ganz Unbedeutendes, ein kleiner Zufall zumeist, gemäß dem jenes Quantum sich nun auf eine endbestimmende Weise ‚auslöst‘; das Streichholz im Verhältnis zur Pulvertonne“, [— —] „treibende Kraft gegen dirigierende Kraft, man hat dabei den Steuermann und den Dampf verwechselt“. —

Sieht man genauer zu, so bemerkt man, daß Nietzsches Verhältnis zu Robert Mayer durchaus nicht durchgängig ein Verhältnis voller begeisterter Zustimmung gewesen ist, sondern ähnliche Wandlungen erfahren hat wie seine anfängliche Wertschätzung von Fr. A. Lange und Friedrich Zöllner. Es bietet einen besonderen Reiz, der wechselnden Einstellung zu folgen und eine Beantwortung der Frage zu versuchen, wie sich Nietzsches endgültige innere Beziehung zu Robert Mayers Lehre gestaltet hat.

II. Nietzsches Beziehungen zu Robert Mayers Kausallehre: „Kraft“ und „Auslösung“

Vorauszuschicken ist, daß Nietzsche trotz seiner einseitigen philosophischen Vorbildung doch schon von seiner Leipziger Studienzeit her — und durch seine zunehmend philosophisch gerichteten Interessen genötigt — sich mehr und mehr mit *Naturphilosophie* und demgemäß auch mit *Naturwissenschaft* beschäftigt hat. Fr. Albert Langes, Eugen Dührings, Eduard von Hartmanns Schriften waren ihm ähnlich vertraut wie Schopenhauers Werke; über die Hauptleistungen von Männern wie Johannes Müller, Helmholtz und Darwin wußte er Bescheid. Er war also durchaus in der Lage, auch Werke wie R. Mayers „Mechanik der Wärme“ in ihren Hauptgedanken zu erfassen; anders wäre ja eine freudige Zustimmung wie die vom April 1881 und die „zusammenfassende Wiedergabe“ in der „Fröhlichen Wissenschaft“ unmöglich gewesen.

Schon früh hatte der Begriff der *Kraft*, die Frage der an die Substanz gebundenen *Kausalität*, Nietzsche stark beschäftigt; Kant, Schopenhauer, Dühring, Helmholtz, Friedrich Zöllner und andere Männer hatten in dieser Richtung immer wieder anregend gewirkt⁵. Insbesondere hatten die Gedanken von Roger Josef Boscovich, dem Philosophen von Ragusa (1711—1787), Einfluß gewonnen, wonach die *Atome* nicht als winzige Körperchen, sondern als immaterielle Kraftpunkte anzusehen seien (ähnlich Sennerts „Gestaltatomen“)⁶. „Boscovich — die dynamische Welt-Betrachtung“, so heißt es kurz und bündig (W. XIII. 86).

Wie sehr R. Mayers *Auslöse*begriff Nietzsche ansprechen, gewissermaßen auf ihn „auslösend“ wirken mußte, zeigt eine Äußerung aus den Jahren 1875—1879: „Große Wirkungen falsch abgeleitet. — Große Wirkungen auf große Ursachen zurückzuführen, ist ein sehr gewöhnlicher Fehlschluß. Erstens können es kleine Ursachen sein, welche aber eine lange Zeit wirken. Dann kann ein Objekt, auf welches gewirkt wird, wie ein vergrößernder Spiegel sein“ (W. XI. 111). (Es fehlt nur noch: Drittens kann die kleine Ursache auslösend wirken wie der Funke im Pulverfaß!)

Welch großen Eindruck Mayers Ausführungen über Kraft, Kausalität, Auslösung auf Nietzsche gemacht haben,

offenbart sich darin, daß Nietzsche in den Jahren 1881 bis 1883 mehrfach auch auf R. Mayers *Persönlichkeit* zurückkommt. „Selbst in der Wissenschaft der einfachsten Vorgänge ist Phantasie nötig (zum Beispiel Mayer)“, heißt es in einer Nachlaß-Notiz aus dem Jahre 1881 (W. XII. 9). Ferner: „Wenn ein Forscher zu ungemeynen Resultaten kommt (wie Mayer), so ist dies noch *kein* Beweis für ungemeyne Kraft: *zufällig* wurde ein Talent an dem Punkte tätig, wo die Entdeckung vorbereitet war. Hätte ein Zufall Mayer'n zum Philologen gemacht, er hätte mit dem gleichen Scharfsinn Namhaftes geleistet, aber nichts, deswegen er zum Genie ausposaunt würde“ (W. XII. 17). (Wie hätten sich die Dinge wohl gestaltet, wenn Nietzsche „zufällig“ zum Naturforscher gemacht worden wäre?)

Sachliche Bezugnahme auf Robert Mayer findet sich in einer weiteren Äußerung: „Der chemische Prozeß ist stets größer als der Nutzeffekt (Mayer). Durch gute Dampfmaschinen wird ungefäh^r $\frac{1}{20}$, durch Geschütze $\frac{1}{10}$, durch Säugetiere $\frac{1}{5}$ der Verbrennungswärme in mechanischen Effekt umgesetzt. Zur Verschwendung der Natur!“ (W. XII. 73).

Lebhafte Überraschung bereitet es, wenn man nun in einem Schreiben Nietzsches an seinen naturwissenschaftlichen Berater Peter Gastⁿ aus Genua, den 20. März 1882, auf folgende Äußerung stößt: „Ich las in Robert Mayer. Freund, das ist ein großer Spezialist — und nicht mehr. Ich bin erstaunt, wie roh und naiv er in allen allgemeinen Aufstellungen ist. Er meint immer, wunder wie logisch zu sein, wenn er bloß eigensinnig ist. Wenn irgend etwas gut widerlegt ist, so ist es das Vorurteil vom ‚Stoffe‘, — und zwar nicht durch einen Idealisten, sondern durch einen Mathematiker, durch Boscovich. Er und Kopernikus sind die beiden größten Gegner des Augenscheins. Seit ihm *gibt es keinen Stoff mehr*, es sei denn als populäre Erleichterung. Er hat die atomistische Theorie zu Ende gedacht. *Schwere* ist ganz gewiß keine ‚Eigenschaft der Materie‘, einfach weil es keine Materie gibt. Schwerkraft ist ebenso wie die vis inertiae gewiß eine Erscheinungsform der Kraft, einfach weil es nichts Anderes gibt als Kraft! Nun (soll heißen nur? D. Verf.) ist das *logische* Verhältnis dieser Erscheinungsformen zu anderen, z. B. zur Wärme,

noch ganz undurchsichtig. — *Gesetzt* aber, man glaubt mit Mayer noch an die Materie und an erfüllte Atome, so darf man nicht decretiren: ‚es giebt nur *Eine Kraft!*‘ Die kinetische Theorie *muß* den Atomen mindestens außer der Bewegungsenergie noch die beiden Kräfte der Cohäsion und der Schwere zuerkennen. Dies thun auch *alle* materialistischen Physiker und Chemiker! und die besten Anhänger Mayers selber. *Niemand* hat die Schwerkraft aufgegeben! — Zuletzt hat auch Mayer noch eine *zweite* Kraft im Hintergrunde, das primum mobile, den lieben Gott. — neben der Bewegung selber. Er hat ihn auch *ganz* nöthig!“

In diesen temperamentvollen Worten glaubt Nietzsche vor allem eine grobe Unstimmigkeit bei R. Mayer aufgedeckt zu haben: Wenn man den Stoff, die Materie als seiend und wirkend anerkenne, dann dürfe man nicht sagen, daß es nur „eine Kraft“ gebe. Ist dieser Vorwurf berechtigt?

Nietzsche hat zunächst offenbar die Stelle in Mayers „Organische Bewegung“, 1845, im Auge, wo es heißt: „Es *gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft*. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft!“ (M. I. 48). Wird diese Stelle ohne Voreingenommenheit durchdacht, so kann *kein* Widerspruch anerkannt werden: Wenn es nur *eine* Kraft gibt, so ist damit keineswegs gesagt, daß es *nur* Kraft gebe. Man könnte also den Vorwurf gegen R. Mayer, unlogisch zu sein, mit besserem Rechte Nietzsche selber zurückgeben. Wie stellt sich der Sachverhalt bei genauer Durchprüfung von R. Mayers gesamten Ausführungen dar?

Ganz gewiß hat R. Mayer seinerzeit im Innern auch die Frage erwogen, ob der Dualismus „Materie“ und „Kraft“ — deren Analogie ihm den Weg zu einer großen Entdeckung gewiesen hatte! — ein endgültiger sei, oder ob nach dem Vorgange dynamisch gerichteter Philosophen wie Leibniz, Kant und Boscovich die Materie sich schließlich in „Kraft“ auflösen lasse.

Als verantwortungsbewußter wissenschaftlicher Forscher hat sich R. Mayer zunächst damit begnügt, zu sagen: „Zwei Abteilungen von Ursachen finden sich in der Natur vor, zwischen denen *erfahrungsgemäß* (vom Verf.

gesperrt) keine Übergänge stattfinden“ (1842; M. I. 24). Demgemäß: „Kraft und Materie sind unzerstörliche Objekte“ (1851; M. I. 262). Bei aller Ablehnung eines weltanschaulichen Materialismus (M. I. 376) erkennt Mayer doch die methodische Berechtigung des Materie-Begriffes an: „Die Materie existiert“ [— — —]. Übrigens finden sich auch bei Nietzsche ganz ähnlich lautende Sätze; z. B. (W. IX. 171; um 1875): „Daß alle Erscheinung materiell ist, ist klar, deshalb hat die Naturwissenschaft ein völlig berechtigtes Ziel. Denn Materie sein heißt Erscheinung sein.“ Ferner (W. X. 198; um 1875) sogar: „Die Formen des Intellektes sind aus der Materie entstanden, sehr allmählich“!

An einer Stelle hat auch R. Mayer die sonst gegenüber einer völligen Auflösung des Materiebegriffes geübte Zurückhaltung aufgegeben. In der Definition: „Kraft ist: Alles, was eine Bewegung hervorbringt oder hervorzu bringen strebt, abändert oder abzuändern strebt“, können unbedenklich „die letzten elf Wörter gestrichen werden, ohne daß dadurch der Sinn ein anderer wird!“ (1851; M. I. 251). Was aber bleibt dann übrig? „Kraft ist: Alles.“ Man wird gut tun, wenn man diese einmalige enthusiastische Äußerung R. Mayers nicht als Verstoß gegen gebotene wissenschaftliche Behutsamkeit, sondern als einen mit kritischer Besonnenheit durchaus zu vereinbarenden Ausdruck innerster Überzeugung, ja als Vorahnung künftiger Erkenntnisse über eine Zurückführung des Massebegriffs auf „Energie“ ansieht. Eine solche Überzeugung oder Vorahnung aber trifft mit Nietzsches tiefer philosophischer Überzeugung durchaus zusammen⁹.

Was ferner den Atomismus, die „erfüllten Atome“ der Materie betrifft, so ist Nietzsche unmittelbar im Unrecht. Robert Mayer hat seine — damals für einen kritischen Physiker sicherlich naheliegende — Zurückhaltung gegenüber der atomistischen Lehre nie aufgegeben. „Wir müßten auch, um über diesen Gegenstand ins Reine kommen zu können, zuvor eine genaue Kenntnis von dem innersten Wesen der Materie besitzen. Allein dazu fehlt noch viel; denn es ist uns insbesondere unbekannt, ob es Atome gibt!“ [— — —]. „Dem Menschen [— — —] sind auch in seiner wissenschaftlichen Erkenntnis sowohl in der Richtung nach

dem unendlich Großen als dem unendlich Kleinen hin natürliche Schranken gezogen. Die Atomfrage aber führt uns wie mir scheint über diese Schranke hinaus und halte ich sie deswegen für unpraktisch“ (1851; M. I. 267). Als Denkbehelf, als „Hypothese“ nach Mayers Ausdruck wird jedoch der Atombegriff durchaus zugelassen (s. M. I. 267. 122. 40). Ganz ähnlich hatte sich Goethe über die Atomistik ausgesprochen: „Ist nicht ganz in Naturbetrachtungen zu entbehren. Aber sie ist hinderlich, wenn man ihr durchaus treu bleiben will.“

Ein, wie es scheint, unüberwindlicher Abgrund zwischen Mayers und Nietzsches Denken tut sich allerdings am Schluß des Briefes (s. S. 699) auf, in bezug auf die religiöse Einstellung. Für R. Mayer gilt: „Der Urgrund der Dinge ist ein dem Menschenverstand ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit“ (1851; M. I. 262). Auch er sagt im ganzen „ja“ zum Leben — trotz der vielen Bitternisse, die ihm Schicksal und menschliche Unzulänglichkeit in so vielen Beziehungen bereitet hatten —¹⁰, jedoch er sagt ja in gläubigem Vertrauen auf göttliche Führung, Nietzsche dagegen in trotzig heroischer Grundhaltung. „*Amor fati*: das ist meine innerste Natur“ (W. VIII. 206).

Daß Nietzsche sich gerade gegen den Musiker Peter Gast wiederholt über R. Mayer aussprach, ist leicht verständlich, da, wie schon bemerkt, Nietzsches Bekanntwerden mit R. Mayer auf Gasts Vermittlung zurückgeht. Eine besondere Beleuchtung empfängt Gasts naturwissenschaftliches Beratertum durch einen Brief an eine befreundete Annaberger Dame (Clara Cruwell) vom 29. November 1913. Es heißt hier rückschauend: „Nietzsches Bildung ist von Haus aus eine Philologenbildung. Es fehlt ihm eine fundamentale Kenntnis der Naturwissenschaften, so sehr er sich später auch Einzelkenntnisse darin erwarb. Nun liegen zwar Nietzsches ungeheure Verdienste ganz auf dem Gebiet der Moral, der Psychologie, des Menschlichen, und nicht auf dem Gebiet der Physik, Chemie, Mechanik, Astronomie, Physiologie, Geologie usw. usw. Aber eine tiefere Kenntnis auf diesem Gebiete bewirkt auch eine Änderung im Menschen- und Weltbild des bloßen Psychologen [— — —]. Das Tollste für mich ist, daß Nietzsche gegen Robert Mayer, mit dessen Wärmetheorie ich ihn erst bekannt gemacht

habe, den Ragusaner Boscovich ins Feld führt, einen bloß mathematisch denkenden Astronomen, der infolge seiner irrigen Vorstellung vom Wesen der Kraft an den Punkt gelangt, die Existenz der Materie zu leugnen: es gebe nur Kraft. Boscovich kommt von seinen atomistischen Spekulationen auf diesen Unsinn: und da Methode darin lag, so gefiel es Nietzsche um so mehr, als diesem die instinktgewordenen Physiker-Einsichten zur Kontrolle abgingen [—]. Das Größte an Nietzsche bleibt seine heroische Moral“ (Podach, Gestalten um Nietzsche 1932, S. 120)¹¹.

Dieser Brief ist sehr lehrreich. Er zeigt, daß in Gast, dessen stete und opfervolle Hilfsbereitschaft Nietzsche gegenüber, in persönlicher, künstlerischer und wissenschaftlicher Beziehung allen Lobes wert ist, doch auch das Gefühl einer gewissen Überlegenheit des naturwissenschaftlich vielbelesenen Musikers gegenüber dem im Einzelnen mitunter schlechter bewanderten, in der gedanklichen Bewältigung jedoch weit treffsichereren Philosophen Nietzsche vorhanden war.

Nietzsches abfällige Äußerung über Mayers Dualismus von „Kraft“ und „Stoff“ (nach Schopenhauer besser „Materie“!) berührt keineswegs seine Wertschätzung des *Auslösungsgedankens*, die in seinen Schriften noch wiederholt Ausdruck gefunden hat, mehrfach mit Anklängen an R. Mayers Auslösungs-Aufsatz. Aus den Jahren 1881—1886 finden sich im Nachlaß (Baeumlers „Unschuld des Werdens“) noch folgende Äußerungen: „Es gibt für uns nicht Ursache und Wirkung, sondern nur Folgen (Auslösungen)“¹². „Es gibt im Moleküle Explosionen und Veränderungen der Bahn aller Atome und plötzliche Auslösungen von Kraft“ (W. XII. 72). Unter der Überschrift „Trieb, Wille“ lesen wir: „Im kleinsten Organismus bildet sich fortwährend Kraft und muß sich dann auslösen: entweder von sich aus, wenn die *Fülle* da ist, oder es kommt ein Reiz von außen. *Wohin* die Kraft sich wendet? Sicher nach dem *Gewohnten*: also *wohin die Reize leiten*, dahin wird auch die *spontane* Auslösung sich bewegen. Die häufigeren Reize erziehen auch die Richtung der spontanen Auslösung“ (W. XII. 143).

Kann man in diesen Äußerungen über die Macht der Gewohnheit, der Übung im Gebiet der Auslösung, der Reizwirkung eine Art Andeutung des „organischen Gedäch-

nisses“ (Ewald Hering, 1870: Das Gedächtnis als allgemeine Funktion der organischen Materie) erblicken, so finden sich anderwärts Sätze, die unmittelbar an R. Mayers „Auslösung durch Gefühle“ erinnern. „Viele unserer Triebe finden ihre Auslösung in einer mechanischen starken Tätigkeit, die zweckmäßig gewählt *sein kann*: ohne dies gibt es verderbliche und schädliche Auslösungen. Haß, Zorn, Geschlechtstrieb usw. könnten an die *Maschine gestellt werden* und nützlich arbeiten lernen, zum Beispiel Holz hacken oder Briefe tragen oder den Pflug führen. Man muß seine Triebe ausarbeiten“ (W. XII. 149).

Auf R. Mayers „Auslösung“ in ihren verschiedenen Formen weisen weiterhin folgende Aussprüche Nietzsches aus den Jahren 1881—1886 hin:

„Es muß eine Auslösung im Gehirn für jeden Zustand geben“ (W. XI. 284). „Es scheint, daß viele Verbrechen aus derselben Kraft stammen, aus der die pessimistische Denkweise stammt: sie sind die Entladung dieser Kraft in Handlungen“ (W. XI. 261; vgl. M. I. 446). „Lange Zeit können wir die neuen Erkenntnisse nur als Reize verwenden [—], um die spontanen Kräfte zu entladen“ (W. XII. 74). „Das Bild dient als auslösender Reiz“ (W. XII. 151). „Verstimmung als *verhinderte* Auslösung“ (W. XII. 92). „Aller Mißmut ist auszulösen: Handarbeit in der Nähe! Oder der Lauf, Sprung, Ritt. Man könnte als Denker noch sehr gut Pferde zureiten. Oder kommandieren“ (W. XII. 144; vgl. M. I. 445). „Damit ein Reiz wirklich auslösend wirkt, muß er stärker sein als der Gegenreiz, der auch immer da ist“ (W. XII. 152). „Wir messen alles *nach der Explosion*, die einen *Reiz* in uns hervorruft, als groß, klein usw.“ (W. XII. 192).

Ferner lesen wir: „Wirkung: Der Reiz, den einer ausübt, die Anregung, die er gibt, bei der andere ihre Kräfte auslösen (zum Beispiel der Religionsstifter) ist gewöhnlich mit der *Wirkung* verwechselt worden: man schließt aus großen Kraft-Auslösungen auf große Ursachen. Falsch! Es können unbedeutende Reize und Menschen sein: aber die Kraft war angesammelt und der Weg zur Explosion bereit: — Blick auf die Weltgeschichte!“ (W. XII. 192). Diese Sätze stehen in vollkommenem Einklang mit der Äußerung von R. Mayer: „Willst Du [—] die Gehirntätigkeit ‚Ursache‘, das

Buch, die erfundene Maschine ‚Wirkung‘, ‚Effekt‘ nennen — kein Physiker wird etwas darein reden dürfen. Nicht aber kann man sagen: diese ‚Ursache‘, die Gehirntätigkeit, *verwandle* sich in den Effekt, das Buch. Auch der Funken verwandelt sich nicht in Explosion . . .“ (An Griesinger, den 20. Juli 1844; M. II. 225).

Und noch weiter, unter Verfolgung des Auslösebegriffes auf das psychologische, kulturelle und historische Gebiet: „Es muß auch in unserem bewußten Geiste vor allem einen *ausschließenden, wegscheuchenden Trieb* geben, einen auslesenden Trieb, welcher nur gewisse *Facta* sich vorführen läßt“ (W. XIV. 46). „Ein Bild, innerlich auftauchend, wirkt schon als Bewegung der Glieder eine gewisse Willensaushängung“ (W. XVI. 239). „Glück wäre das Gleichgewicht der auslösenden Tätigkeiten aller Triebe“ (W. XIII. 257). „Große Männer sind wie große Zeiten Explosiv-Stoffe, in denen eine ungeheure Kraft aufgehäuft ist [— — —]. Ist die Spannung in der Masse zu groß geworden, so genügt der zufällige Reiz, das ‚Genie‘, die ‚Tat‘, das große Schicksal in die Welt zu rufen“ (W. XIII. 155). „Jede Lehre ist überflüssig, für die nicht schon alles bereit liegt an angehäuften Kräften, an Explosiv-Stoffen“ (W. XVI. 363). (S. auch W. VII. 155: „In Rußland [— — —] wartet der Wille [— — —] in bedrohlicher Weise darauf, ausgelöst zu werden“; ferner W. XVI. 239 über den „explosiven Zustand“ des Künstlers). „Erwägt man, wie explosionsbedürftig die Kraft junger Männer daliegt [— — —], mit Gründen gewinnt man diese Pulverfässer nicht!“ (V. 75).

Erhaltungskausalität und Antriebskausalität werden von Nietzsche zusammengefaßt in dem Ausspruch: „In unserer Wissenschaft, wo der Begriff Ursache und Wirkung reduziert ist auf das Gleichungs-Verhältnis, mit dem Ehrgeiz zu beweisen, daß auf jeder Seite dasselbe Quantum von Kraft ist, fehlt die treibende Kraft: wir betrachten nur Resultate, wir setzen sie gleich in Hinsicht auf Inhalt und Kraft [— — —]“ (W. XVI. 152).

In Nietzsches Aufzeichnungen für das geplante Hauptwerk „Wille zur Macht“ liest man ferner (W. XVI. 364): „Ob aus der aufgestauten Kraft ‚spontan‘, oder bloß *reaktiv* angeregt, angereizt?“ Hier wird die Frage einer *vollkommenen Selbstausslösung*, d. h. die Frage einer abso-

luten „Willensfreiheit“ als der Fähigkeit entwickelten menschlichen Willens zu letzter „Selbstbestimmung“, zu wirklicher „Eigensetzung“ aufgeworfen, die Nietzsche weiterhin stark beschäftigt hat. Bei Erwägungen über die Freiheit des Willens heißt es: „Alle physiologischen Vorgänge sind darin gleich, daß sie Kraftauslösungen sind, welche, wenn sie in das *sensorium commune* gelangen, eine gewisse Erhöhung und Verstärkung mit sich führen: diese, gemessen an drückenden, lastenden Zuständen des Zwanges, werden als Gefühl der ‚Freiheit‘ ausgedeutet“ (W. XIII. 263). „Daß du dir selber befiehlst, das heißt Freiheit des Willens“ (W. XIII. 137).

III. Verbindung von Schopenhauers und Robert Mayers Gedankengut in Nietzsches Trieblehre: „Wille zur Macht“

Es hat sich gezeigt, daß Nietzsches zeitweilige Minderung der Wertschätzung Robert Mayers sich lediglich auf dessen Stellung zum *Begriff* der Materie sowie auf das Gebiet metaphysischer Teleologie bezieht; der *Erhaltungsgedanke* sowie auch der *Auslösungsgedanke* bleiben unangetastet. Zugleich wird auch der Grund dafür erkennbar, daß Nietzsche Mayers Buch „Mechanik der Wärme“, 1881, mit einer Begeisterung begrüßt hat, wie wir dies ähnlich nur in wenigen anderen Fällen, vor allem bei seinem ersten Bekanntwerden mit Schopenhauer in den Leipziger Studienjahren beobachten. Von vornherein war der an griechischer Philosophie geschulte und durch Schopenhauer endgültig zu eigenem Philosophieren erweckte Denker Nietzsche für den aller simplen Mechanistik entgegengesetzten *dynamischen Grundcharakter von Mayers Werk* empfänglich; und seine Zustimmung mußte sich in lebhafter Weise Ausdruck oder „Auslösung“ schaffen.

Da vor allem der *Auslösungsgedanke* geschätzt und hochgehalten wird, so kann man fragen, welche Momente in Mayers so kurzem und doch inhaltlich überreichem Aufsatz es Nietzsche besonders angetan haben. Als Auslösung hatte Mayer allgemein die Erscheinung bezeichnet, daß ein Naturprozeß derart „durch einen Anstoß eingeleitet“ wird, daß „die Ursache der Wirkung gegenüber eine verschwindend kleine Größe zu nennen ist“. Mit heutigen Worten: Ein System mit vorhandenen, aber irgendwie

gehemmten freien Energien wird durch einen — äußeren oder inneren — enthemmenden Anlaß zur Betätigung der ihm innewohnenden Arbeitsfähigkeit gebracht: Übergang von potentieller in kinetische Energie. Dem Auslösungsbegriff hatte R. Mayer untergeordnet, wie wir sahen: 1. die Katalyse¹³, 2. die physiologische Anreizung und Regulierung, 3. die auslösende Tätigkeit des bewußten Willens. 4. die entsprechenden Auslösungserscheinungen bei „unwillkürlichen und halbwillkürlichen Bewegungen“, also im Gebiet unbewußter, entelechial geführter physiologischer Vorgänge, 5. die Auslösung körperlicher Handlungen durch Gefühle und Affekte (symptomatische Ausdrucksbewegungen¹⁴).

Liest man R. Mayers Ausführungen über „Auslösung“ aufmerksam Wort für Wort, so kann man sich eine Vorstellung bilden, wie sehr Nietzsche durch jene Betrachtungen gefesselt sein mußte, die von Anfang bis Ende aus der vollen lebenden Wirklichkeit schöpfen, ohne auch nur ein einziges Mal in naturferne Dialektik zu verfallen. *Physisches und Psychisches, Körperliches und Seelisch-Geistiges werden von R. Mayer in einen logischen Rahmen gefügt, einem einheitlichen Kausalbegriff untergeordnet.*

Wenn sich Nietzsches Zustimmung zu R. Mayer sogleich in der eingangs angeführten Karte an Peter Gast Luft machen mußte, so sind es offensichtlich in erster Linie die naturhaften *leib-seelischen Zusammenhänge*, die ihm R. Mayers Auslösungsgedanke aufhellt¹¹. Demgemäß klingt Nietzsches Ausdrucksweise manchmal ganz unmittelbar an Mayer an, so z. B. bei „den verderblichen und schädlichen Auslösungen“ der Affekte, denen in nützliche Arbeit gespannte Zornauslösungen gegenübergestellt werden; „Holz sägen oder spalten“ tritt in diesem Zusammenhang bei Mayer wie bei Nietzsche (S. 695) auf!

Es steht durchaus im Einklang mit R. Mayers Gedanken, wenn Nietzsche den Auslösungsgedanken vor allem in das *psychophysische Gebiet des „Triebs“* sowie in das *seelisch-geistige Gebiet der menschlichen Willensbetätigung* vorträgt¹⁵. Im Physischen wie im Psychophysischen: durchweg handelt es sich bei der „Auslösung“ um die Enthemmung und Steuerung, Realisierung und Aktivierung ge-

stauter potentieller Energien, latenter Kräfte, die im rein Physischen an den Satz von der Vermehrung der Entropie gebunden ist, im Gebiet des menschlichen Handelns jedoch außerdem dem *Wertprinzip* folgt¹⁶.

Wenn es bei R. Mayer über das Reich der Organismen ganz allgemein heißt: „Nicht nur *erhalten* wird die lebende Welt, sie wächst und sie verschönert sich“ (1869; M. I. 355), und wenn er anschließend davon redet, daß in „Gottes lebender Schöpfung“ der Satz „*nihil fit ad nihilum*“ nicht mehr „durch den sterilen Satz ‚*ex nihilo nil fit*‘ beschränkt ist“ (M. I. 356), so kann man hier eine deutliche Berührung mit *Nietzsches Lehre vom „Willen zur Macht“* erblicken. Sowohl der dem Individuum gefühlsmäßig innewohnende Trieb wie auch der wertende und wählende Wille streben darnach, durch „auslösende“ und veranlassende Tätigkeit *größere Macht und Fülle* zu erlangen (Goethes „Steigerung“; ähnlich G. Th. Fechner: „Der Lebensbaum der Welt will wachsen und sich entwickeln“). Im Reiche des Lebenden gilt: „Nicht gleichbleiben, sondern Maximal-Ökonomie des Verbrauchs: so daß das Stärker-werden-wollen von jedem Kraftzentrum aus die einzige Realität ist, — nicht Selbstbewahrung, sondern Aneignen-, Herr-werden-, Mehr-werden-, Stärker-werden-wollen“ (W. XVI. 154).

Alles in allem genommen, mußte R. Mayers Kraftlehre und Auslösungslehre — mit den oben berührten Einschränkungen — nicht nur Nietzsches Zustimmung finden, sondern auch auf sein eigenes Denken befruchtend wirken. Wenn in dieser Hinsicht das Anhängsel in Mayers Buche „Über Auslösung“ das „Nützlichste“ für ihn war, so folgt, daß doch auch die „Mechanik der Wärme“ selbst „nützlich“ gewesen ist. R. Mayers Kraftlehre trifft in Nietzsches Geist zusammen mit Schopenhauers Willenslehre, welcher er schon seit langem anhing. Robert Mayers freudiger Ausruf: „Kraft ist: Alles!“ verbindet sich mit Schopenhauers Satz: „Der Wille ist die Kraft“¹⁷! „Zur Dynamis noch eine innere Qualität“ (W. XVI. 103).

Wenn O. Spengler („Untergang des Abendlandes“) von Galilei und Newton sagt, daß ihr dynamisches Weltbild mit dem späteren dynamischen Seelenbild („der Wille als

Schwerpunkt und Beziehungszentrum“) zusammenstimmt, so wird das noch mehr für Leibniz und R. Mayer einerseits, Schopenhauer und Nietzsche andererseits gelten.

Es mußte genügen, die *Berührung* von Nietzsches „Willen zur Macht“ mit R. Mayers Auslösungs- und Steigerungsgedanken zu kennzeichnen. Wollte man bis ins einzelne feststellen, wie sich R. Mayers Ideen in Nietzsches Philosophie ausgewirkt haben, so dürfte das eine Betrachtung seiner gesamten Naturphilosophie erfordern, deren Ausbildung wesentlich in die Jahre 1881—1888 (also nach dem Bekanntwerden mit R. Mayer) fällt.

IV. Gipfelung der Begegnung mit Robert Mayer in Nietzsches Lehre von der ewigen Wiederkehr des Gleichen, als einer Übersteigerung von Robert Mayers Erhaltungsgedanken

Wenn von einem Einfluß Mayerscher Gedanken auf Nietzsche geredet wird, so kann dies kaum in der Weise gemeint sein, daß ohne Bekanntwerden mit Mayer Nietzsche den oder jenen Gedanken überhaupt nicht gefaßt hätte. Was aber behauptet werden darf, ist, daß vermöge vorhandener *Resonanz* bestimmte Töne in Nietzsches Gedankensymphonie zu stärkerem Erklingen gebracht, oder, mit einem anderen Bilde, Gedankenkeime und -sprößlinge zu rascherem und reicherem Wachstum gelangt sind. Hierzu kommt, daß Nietzsche in Mayers Ausführungen mehrfach eine vollkommene *wissenschaftliche Bestätigung seiner eigenen auf rein philosophischem Wege gewonnenen Einsichten* gefunden oder zu finden geglaubt hat.

Das gilt in höchstem Maße für Nietzsches Idee von der *ewigen Wiederkehr* aller Dinge, eine Vorstellung, die ihm zwar schon von seinem Studium der griechischen Philosophie her (Heraklit, die Stoiker u. a. m.) nahegelegen¹⁸ und die er schon vor dem Vertrautwerden mit R. Mayers Werk weitergebildet hatte; eine wesentliche *Verstärkung und Vertiefung* aber hat diese Idee unzweifelhaft durch Mayers Satz von der Unzerstörbarkeit der Kraft, der Erhaltung der Energie der Welt — als kosmischer Arbeit und Arbeitsfähigkeit — erfahren.

In dem bedeutsamen Vortrag „Fatum und Geschichte“ 1862 hatte der achtzehnjährige Nietzsche von der „großen Uhr, die wir Geschichte nennen“, gesagt: „Von Stunde zu Stunde rückt der Zeiger weiter, um nach Zwölfen seinen

Gang von neuem anzufangen, eine neue Weltperiode bricht an“ (H. Kr. 2. 54). In Aufzeichnungen aus den Jahren 1872 bis 1876 heißt es weiter: „In der unendlichen Zeit und dem unendlichen Raum gibt es keine Ziele: was da ist, ist ewig da, in irgendwelcher Form“ (W. X. 210).

Es kann kein Zufall sein, daß von 1881 ab, dem Jahr des Bekanntwerdens mit R. Mayers Werk, der Gedanke der ewigen Wiederkehr in immer schärferer Formulierung auftaucht, von dem Aphorismus 981 der „Fröhlichen Wissenschaft“ (W. V. 265) mit dem Satze: „Die ewige Sanduhr des Daseins wird immer wieder umgedreht“ bis zu den letzten Aufzeichnungen für das geplante Hauptwerk: „Der Wille zur Macht“.

Regelmäßig wird nun der Wiederkehrtsgedanke mit dem Begriff der *Kraft* verknüpft. Wir führen einige Sätze aus dem Abschnitt „Die ewige Wiederkehr“ (W. XII. 51 bis 63) an:

„Ehemals dachte man, zur unendlichen Tätigkeit in der Zeit gehöre eine *unendliche* Kraft, die durch keinen Verbrauch erschöpft werde. Jetzt denkt man die Kraft stets gleich, und sie braucht nicht mehr *unendlich* groß zu werden. Sie ist ewig tätig, aber sie kann nicht mehr unendliche Fülle schaffen, sie muß sich wiederholen: das ist mein Schluß“ (W. XII. 52). Voraus geht der große Aphorismus: „Das *Maß der Allkraft ist bestimmt*, nichts Unendliches“: hüten wir uns vor solchen Ausschweifungen des Begriffs! [— — —] Alles ist unzählige Male dagewesen, insofern die Gesamtlage aller Kräfte immer wiederkehrt.“ Und wiederum: „*Unendlich* neue Veränderungen und Lagen einer *bestimmten* Kraft ist ein Widerspruch“ [— — —]. Aus einem System *bestimmter* Kräfte, also aus einer *meßbar sicheren* Kraft kann sich keine *Unzähligkeit* der Zustände ergeben. Nur bei der falschen Annahme eines unendlichen Raumes (s. noch oben W. X. 210!), in welchem sich die Kraft gleichsam verflüchtigt, ist der letzte Zustand *ein unproduktiver, toter*¹⁹. Dazu weiter: „*Ein unendlicher Prozeß* kann gar nicht anders gedacht werden als *periodisch*“ (W. XII. 370); sowie „Nötig noch: die Leugnung des leeren Raumes; den Raum bestimmt und begrenzt zu denken; ebenso die Welt als ewig sich wiederholend“ (W. XIII. 86).

In dem „Willen zur Macht“, Abschnitt „Die ewige Wiederkunft“, ist deutlich ausgesprochen, daß Robert Mayers Lehre der Unzerstörlichkeit der Kraft mit alten philosophischen Lehren der Wiederkehr in Einklang stehe: „Die beiden extremsten Denkweisen — die mechanische und die platonische — kommen überein in der ewigen Wiederkunft; beide als Ideale“ (W. XVI. 396)²⁰. Und noch schärfer: „Der Satz vom Bestehen der Energie fordert die ewige Wiederkehr“ (W. XVI. 398).

In immer neuen Formulierungen wird der Gedanke abgewandelt, daß bei einer größtmäßig bestimmten und sich erhaltenden Kraftmenge der Welt gar keine andere Denkmöglichkeit sei, als die ewige Wiederkehr jeder möglichen Konstellation der Kräfte. „Wir verbieten uns den Begriff einer unendlichen Kraft als mit dem Begriff der „Kraft“ unverträglich²¹. „Also — fehlt der Welt auch das Vermögen zur ewigen Neuheit“ (W. XVI. 397). „Wenn die Welt als bestimmte Größe von Kraft und als bestimmte Zahl von Kraftzentren gedacht werden darf — und jede andere Vorstellung bleibt unbestimmt und folglich unbrauchbar —, so folgt daraus, daß sie eine berechenbare Zahl von Kombinationen, im großen Würfelspiel ihres Daseins, durchzumachen hat“ (W. XVI. 400). In W. XV. 182 ff. über „Die ewige Wiederkehr“ heißt es: „Europäische Form des Buddhismus: Energie des Wissens und der Kraft zwingt zu einem solchen Glauben. Es ist die wissenschaftlichste aller möglichen Hypothesen. Wir leugnen Schluß-Ziele: hätte das Dasein eins, so müßte es erreicht sein.“

So mündet Nietzsches Philosophie aus in dem Hymnus: „Und wißt ihr auch, was mir die Welt ist? Soll ich sie euch in meinem Spiegel zeigen? Diese Welt: ein Ungeheuer von Kraft, ohne Anfang, ohne Ende, eine feste, eherner Größe von Kraft, welche nicht größer, nicht kleiner wird, die sich nicht verbraucht, sondern nur verwandelt, als Ganzes unveränderlich groß, ein Haushalt ohne Ausgaben und Einbußen, aber ebenso ohne Zuwachs, ohne Einnahmen, vom ‚Nichts‘ umschlossen als von seiner Grenze [— — —], als Kraft überall, als Spiel von Kräften und Kraftquellen zugleich eins und vieles [— — —], ein Meer in sich selber stürmender und flutender Kräfte, ewig sich wandelnd, ewig zurücklaufend“ [— — —] (W. XVI. 401).

Es braucht heutzutage nicht ausführlich dargelegt zu werden, daß Nietzsches Lehre von der ewigen Wiederkunft des Gleichen nicht Physik, sondern *Metaphysik* reinsten Wassers, spekulative Grenzüberschreitung ist, d. h. daß sie in keiner Weise aus unserem Wissen über die Erhaltung und Umwandlung der Energie logisch zwingend folgt²². Gegenwärtig, da wir über inneratomare Energien und ihre kosmische Bedeutung, über Elementenzerfall, über mögliche Umwandlung von „Masse“ in „Energie“ und umgekehrt, über Höhenstrahlung u. dgl. allerhand wissen, erscheint das Weltgeschehen noch weit verwickelter und rätselvoller als vor 60 Jahren, und man wird mit Aussagen über das Weltall vorsichtiger sein als dazumal. In Nietzsches Ausführungen über die beschränkte Zahl möglicher Kraftkonstellationen steckt immer noch etwas vom *alten philosophischen Mechanismus und Atomismus* (wenn auch in Form der Atomlehre von Boscovich: Atome als Kraftzentren, Leibnizens Monaden vergleichbar); eine gewisse *Individualität*, eine Beständigkeit einzelner, das Ganze zusammensetzender Kraftpunkte oder „Quanten“, „Punktionen“²³ wird vorausgesetzt, die eine *Identifizierungsmöglichkeit* in beliebigen Zeitpunkten grundsätzlich in sich schließt. Absolute Beständigkeit irgendeines physischen Elementargebildes kann heute wissenschaftlich nicht mehr vertreten werden, und damit werden auch alle Spekulationen über die Zahl der Elementargebilde (Elektronen, Protonen, Wirkungsquanten) und ihre jeweilige „Konstellation“ in der Welt hinfällig. Es bleibt bei dem Heraklitischen: „Alles fließt“²⁴.

„In Wirklichkeit ist, was wir ein Ding nennen, nur ein relativ stabiles Prozeßstadium. Dasselbe gilt für Weltkörper, für kosmische Systeme, für Atome. Sie sind nicht etwas neben dem Prozeß, oder auch ‚in‘ ihm, sondern sind selbst wesentlich Prozeß. Nur sieht sie der Mensch anders, im Gegensatz zum Prozeß, weil seine Anschauungskategorien der Enge des praktischen Lebens angemessen sind“ (Nicolai Hartmann, „Das Problem des geistigen Seins“).

Von den zwei denkbaren Möglichkeiten kosmischen Gesamtseins: ein nie endendes Gleichgewicht von Werden und Vergehen, oder bestimmte große Weltperioden mit einsinnigem Entwicklungsverlauf (Zunahme der Entropie), je-

weilige Ansatzpunkte neuen Geschehens (Schöpfungsakte als „Neuaufziehen“) voraussetzend, kann heute noch keine als wissenschaftlich erwiesen gelten²⁵. Selbst wenn es eine *Wiederkehr des Naturgeschehens* in immer neuen Weltperioden gibt, so braucht diese doch immer noch nicht eine *Wiederkehr des individuell gleichen Geschehens* zu sein. So arm wird die Welt nicht sein, daß sie sich auch nur in einem einzigen zeitlichen Querschnitt des Seins je wiederholen müßte! —

* * *

Überblickt man Nietzsches Naturphilosophie im Verhältnis zu Robert Mayer im ganzen, so wird man zu dem Schlusse kommen, daß es sich vielleicht nicht um eine Begegnung allerersten Grades, d. h. um eine Einwirkung von allerhöchster Stärke handelt — wie gegenüber Schopenhauer und Richard Wagner. Es ist wohl nicht so, daß Nietzsche durch das Kennenlernen der Schriften R. Mayers vollkommen neue Entwicklungsimpulse erhalten hätte, die sein *gesamtes* ferneres Wirken entscheidend bestimmt hätten. Wohl aber ist und bleibt es *eine hochbedeutsame Begegnung hohen Grades* mit einem fremden Genius: eine Begegnung, die reiche Erträge gezeitigt hat²⁶.

Auf alle Fälle steht fest: Nietzsches Kausalauffassung, d. h. seine Auffassung vom Wirken in der Natur, hat durch R. Mayers Auslösungsbegriff maßgebliche Klärung erfahren, und die Vorstellung einer „ewigen Wiederkunft“ als Gipfelung seines Evangeliums von dem „Willen zur Macht“ hat durch R. Mayers Erhaltungsbegriff die vermeintliche wissenschaftliche Grundlage erhalten²⁷. Dazu kommt: R. Mayers Auslösungsbegriff ermöglicht Nietzsche eine Vereinigung energetischer und voluntaristischer, physischer und psychischer Naturauffassung. So wird die logische Brücke von der Naturwissenschaft zur Geisteswissenschaft geschlagen, für die der auslösende und dabei auch planende und wertende *Wille* im Mittelpunkt steht. Robert Mayers Kraft- und Auslösungsbegriff mit Schopenhauers „Wille in der Natur“ zu einer Einheit verschmolzen: das ergibt Nietzsches „Wille zur Macht“! Mayers Unzerstörlichkeit der Kraft aber ins Höchste übersteigert: das ergibt Nietzsches Gedanken einer „ewigen Wiederkunft des Gleichen“. Schopenhauer hätte durch eine solche Schlußfolge-

rung ewiger Wiederkehr in unheilbaren Zwiespalt mit seiner Welt- und Lebensverneinung gebracht werden müssen; für Nietzsche bedeutete die ewige „Wiederkunft des Gleichen“, wie es scheint, Erfüllung und Krönung seiner heroischen Welt- und Lebensbejahung! —

Wir haben uns darauf beschränkt, die Begegnung von Fr. Nietzsche mit R. Mayer insoweit darzustellen, als ein *Einfluß* von dessen Denken unverkennbar ist. Wie weit sonst Übereinstimmung oder Gegensätzlichkeit des philosophischen Denkens vorhanden ist, blieb unerörtert. Es mag genügen, abschließend einige Sätze anzuführen, die in beiden den Drang erkennen lassen, vom Schein zur Wirklichkeit, vom Vordergrund zum Hintergrund durchzudringen. Nach R. Mayer ist es „unsere Aufgabe, die Erscheinungen kennenzulernen, bevor wir nach Erklärungen suchen oder nach höheren Ursachen fragen mögen“ (M. I. 236). „Was subjektiv richtig gedacht ist, ist auch objektiv wahr“ (M. I. 357). Dazu jedoch: „Die Wahrheit ist ja an und für sich ewig, und das Ewige läßt sich nicht definieren und nicht beweisen“ (1873; M. I. 418).

Bei Nietzsche wiederum lesen wir: „Meine Philosophie — den Menschen aus dem *Schein* herauszuziehen auf jede Gefahr hin!“ (W. XII. 18). „Herrliche Entdeckung: es ist nicht alles unberechenbar, unbestimmt! Es gibt Gesetze, die über das Maß des Individuums hinaus wahr bleiben!“ (W. XII. 47). „Wir dichten da nicht: wir rechnen. Aber damit wir rechnen können, hatten wir zuerst gedichtet!“ (W. XII. 242). „Ob die Wahrheit euch oder uns nützt und schadet — was geht's mich an! Laßt uns Menschen schaffen, denen die Wahrheit nützt!“ (W. XII. 245).

Anmerkungen:

1 Friedrich Nietzsches Briefe an Peter Gast, Insel-Verlag, 3. Aufl. 1923. S. 59. Gesammelte Briefe (Insel-Verlag), Bd. IV. S. 63. Nietzsches Werke werden zitiert nach der Leipziger Gesamtausgabe (Großoktavausgabe), mit W. bezeichnet; außerdem wurde die neue Historisch-kritische Ausgabe, soweit erschienen, benutzt; bezeichnet mit H. Kr. bzw. H. Kr. Br. (= Briefbände). Hauptsächlich kommen W. XII. u. W. XIII. (Nachlaß aus den achtziger Jahren) und W. XVI. (Wille zur Macht) in Frage. Schopenhauer wird zitiert nach der Ausgabe Deussen (D). — 2 Jacob Weyrauch hat 1893 die abschließende 3. Auflage der „Mechanik der Wärme“ herausgegeben, dazu als zweiten Band „Kleinere Schriften und Briefe“; von uns als M. I. und M. II. zitiert (bei Cotta, Stuttgart, ebenso wie die erste und zweite Auflage). M. I. schließt mit der letzten Veröffentlichung Mayers, dem von Nietzsche gerühmten Aufsatz „Über Auslösung“ ab. Siehe hierzu auch A. Mittasch, Robert Mayer; Erstes und Letztes. Berlin 1943. — 3 Hierüber ließ sich mit dankenswerter Bei-

weiter in einem an Leibniz anklingenden Satze über die Harmonie des Weltganzen ihren Ausdruck: „Und es mögen die Lebenserschreibungen einer wundervollen Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen, nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie, in der Harmonie nur liegt das Leben“ (1845; M. I. 128). — 11 Dazu weitere Äußerungen von Gast (in Notizbuch-Aufzeichnungen und Briefen): „Hätte Nietzsche das Weltbild in der Jugend als Naturwissenschaftler, namentlich als Chemiker und Physiker, angeschaut, so hätte er sich viele Schmerzen erspart. Als ich für Mayer ihn interessierte, kam das zu Tage; er zog das vor, wobei man wieder Hokuspokus treiben kann.“ Man wird solche Aussprüche nicht auf die Goldwaage legen; hat doch der gleiche Peter Gast am 21. Februar 1884 an Nietzsche geschrieben: „Ihr rastlos bewegter Geist gibt auch meinem Verstand Bewegung, wenigstens die, Ihnen nachzukommen“ (Briefe, Bd. II, S. 2). — 12 Vgl. Mayer 1876: „Man könnte freilich bei der Auslösung statt Ursache und Wirkung auch „Anstoß“ oder „Veranlassung“ und Erfolg sagen; ich habe mich jedoch von jeher dem herrschenden Sprachgebrauch gern accomodiert. Zu beachten ist, daß hier gegenüber dem Satze *causa aequat effectum* die Ausdrücke Ursache und Wirkung in total anderem Sinne gebraucht sind“ (M. I. 441). — 13 Die Bedeutung der Katalyse für alles stoffliche Geschehen zu erfassen, wurde Nietzsche durch seine geringe chemische Vorbildung verhindert; das Wort „Katalyse“ (oder Kontaktprozeß) kommt bei Nietzsche ebensowenig wie bei Schopenhauer vor. — 14 Die später von W. Ostwald „bemessene Auslösung“ genannte Erscheinung, sich zeigend z. B. bei bestimmter Einstellung eines Regulierventils, einer Schleuse, bei „Verstärkung“, hat R. Mayer nicht beachtet; sonst wäre sein Ausspruch über das Fehlen jeglicher quantitativen Beziehung zwischen Ursache und Wirkung bei Auslösungserscheinungen sicher gemäßigter ausgefallen. Schon bei der Katalyse können sehr bestimmte quantitative Beziehungen, und zwar zwischen der Konzentration oder der Oberfläche eines Katalysators und der Umsetzungsgeschwindigkeit, bestehen (allerdings nicht zwischen Menge des Katalysators und erreichbarer Größe des Umsatzes, einem Verhältnis, das im Idealfall unendlich groß werden kann). Nicht dem Namen nach, wohl aber sachlich findet man bei Nietzsche eine Beachtung der an den Auslösungsgedanken anschließenden „Ganzheitskräfte“ als der Fähigkeit von Ganzheiten, auf erhaltenen Anstoß hin gemäß bestimmten eigenen disponiblen latenten Energien spezifisch zu reagieren und damit „Macht“ zu gewinnen. Siehe hierzu A. Mittasch, Was ist Ganzheitskausalität?, Acta Biotheoretica, 1938, 73). — 15 Neben Nietzsche ist Alois Riehl der erste Philosoph gewesen, der mit Nachdruck auf die Bedeutung von Mayers „Auslösungsbeziehung“ hingewiesen hat (Riehl, Robert Mayers Entdeckung und Beweis des Energieprinzips, Sigwart-Festschrift „Philosophische Abhandlungen“ 1900, 61). „Vielleicht, daß die exakte Erforschung der Kontaktinflüsse und Auslösungen einen Weg eröffnet, auch das rein Tatsächliche, das Historische, in der Zusammenordnung und dem Verlauf der Dinge einem Gesetzesbegriff unterzuordnen.“ Ferner schließen hier Johannes Reinkens „Dominanten“ als nichtenergetische Richtkräfte an. Siehe hierzu auch W. Ostwalds Ausführungen über den Willen (Anm. 17); ferner A. Mittasch, Was hat Robert Mayers Kausaltheorie dem Juristen zu bieten? Archiv f. Rechts- und Sozial-Philosophie 33, 1 (1940). Über den „Willen zur Macht“ als „ursprünglichem Quellgrund alles schöpferischen Lebens“ siehe H. Heimsoeth, Macht und Geist in Nietzsches Geschichtsphilosophie; Kölner Universitätsreden 1938, Nr. 35. — 16 Vgl. W. Ostwalds „energetischen Imperativ“ (1912): „Vergeude keine Energie! Verwerte sie!“, auch „Philosophie der Werte“, 1913. — 17 Siehe hierzu A. Mittasch, Schopenhauer und die Chemie, 1939, S. 70. Ferner: Robert Mayers Begriff der Naturkausalität, mit Beziehung auf Arthur Schopenhauers Kausaltheorie; Naturwiss. 1940, 193. Das Verhältnis von Schopenhauers Philosophie zur Energetik wird in folgenden Sätzen W. Ostwalds (Scientia 1911, 364) offenbar: „Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein, und alles Geschehen besteht in einer Verminderung der freien Energie“ (richtiger: das uns bekannte irdische Geschehen —). „Im Dissipationsgesetz erkennen wir den Grund aller der Vorgänge, welche Schopen-

hauer als Manifestationen des Urwillens darstellt“ (Dissipation = Zerstreuung, Entwertung der Energie gemäß dem II. Hauptsatz der Energetik nach R. Clausius und W. Thomson). Ob R. Mayer je den Namen „Nietzsche“ gehört hat (etwa von Eugen Dühring), läßt sich nicht feststellen; es ist aber unwahrscheinlich; auch Schopenhauers Name erscheint nicht in seinen Schriften. — 18 Über die Idee der ewigen Wiederkehr des Gleichen in einem großen kosmischen Kreislauf (Apokatastasis) siehe Elsler, Philosoph. Wörterbuch. Sie wird vertreten u. a. von Bahnsen, Horneffer, angefochten von A. Riehl, Mongré. — Siehe auch O. Riemann, Die Lehre von der Apokatastasis, 1889; L. Zehnder, Der ewige Kreislauf des Weltalls, 1914. — 19 Ähnlich wie Robert Mayer lehnt auch Friedrich Nietzsche den Gedanken eines drohenden Wärmetodes der Erde und eines schließlichen Weltentodes, der voreilig aus dem Prinzip des Wachstums der Entropie gezogen worden war, aus allgemeinen Erwägungen heraus ab. Das Motiv aber ist ein anderes. R. Mayer erscheint eine solche Anschauungsweise mit der Idee eines allmächtigen und weisen Schöpfers unverträglich; Nietzsche aber postuliert eine naturnotwendig sich vollziehende „ewige Wiederkehr der Dinge“. Bekannt geworden war Nietzsche der Gegenstand aus Büchern von O. Caspari: „Die Thomsonsche Hypothese von der endlichen Temperatúrausgleichung im Weltall“, 1874, und „Der Zusammenhang der Dinge“, 1881. Peter Gast schreibt, Bezug nehmend auf das an Nietzsche gesandte Buch von Gustav Heinrich Widemann „Erkennen und Sein“, 1885, u. a.: „Und wäre wirklich ein Gleichgewicht der Kraft, ein Stillstand, Ruhe, Zeitlosigkeit, möglich, so brauchen wir ein *primum movens*. Unzerstörbarkeit der Kraft heißt mir Ewigkeit der Kraft, ewige Unmöglichkeit eines Gleichgewichts, aus welchem Gleichgewicht nicht wieder herauszukommen wäre“ (Briefe Bd. 2, 33, 7. Juli 1885). Nietzsche antwortet darauf am 23. Juli 1885 von Sils Maria: „Was Sie mir andeuten über ‚Gleichgewichtslagen‘ und ‚Unzerstörbarkeit der Kraft‘, gehört auch zu meinen Glaubens-Artikeln.“ Daß in Nietzsche kritische Gegenströmungen gegen die Übersteigerung des Erhaltungsgedankens nicht gefehlt haben, zeigt der Satz: „Erhaltungsgesetze für Dauer-Prozesse setzen perspektivische Illusion voraus“ (W. XIII, 88). — 20 Robert Mayer hat es durch die Titelgebung „Mechanik der Wärme“ (statt „Kausalik“ der Wärme) selber mitverschuldet, daß seine Lehre so oft als mechanisch (statt „dynamisch“, „energetisch“) bezeichnet und er selber als Vertreter eines „Systems des Mechanismus“ hingestellt wird. Bei Nietzsche findet sich sachgemäß der Ausdruck „Kausalismus“ (z. B. XIII, 60). Siehe hierzu A. Mittasch, Kausalismus und Dynamismus, nicht Mechanismus! Forsch. u. Fortschr. 1938, 127. — 21 Die Unmöglichkeit eines Dinges aus dem Wesen seines Begriffes folgern: ist das nicht ausgesprochen scholastischer Brauch, wie er von Nietzsche sonst auf das heftigste bekämpft worden ist (und wie er durch Kants Kritizismus ein für allemal erledigt worden war)? — 22 Das gleiche gilt, wenn L. Schleich in dem Prinzip der Erhaltung der Energie einen wissenschaftlichen Beweis für die Fortdauer menschlicher Seele nach dem Tode sieht! „Das Gesetz von der Erhaltung der Kraft ist ein Beweis der Unsterblichkeit, es ist ein religiöses Gefühl in naturwissenschaftlicher Fassung“ (Nachlaß, S. 17). — 23 Nietzsche selber redet von „Quanten“. Der Mechanismus ist nur eine Zeichensprache für die innere Tatsachenwelt kämpfender und überwindender Willensquanten (W. XIII, 154). Jedes Atom ist „ein Quantum“, „Wille zur Macht“ (W. XVI, 111). Eliminiert man unwesentliche Zutaten, „so bleiben keine Dinge übrig, sondern dynamische Quanten, in einem Spannungsverhältnis zu allen andern dynamischen Quanten“ (W. XVI, 112). Eine philosophische Vorahnung der wissenschaftlichen Energie- und Wirkungsquantenlehre von Max Planck? — 24 Siehe hierzu das neueste physikalische Schrifttum, wie Pascual Jordan, Physik des 20. Jahrhunderts; ferner M. Planck, Werner Heisenberg, Schrödingers, M. v. Laue, L. de Broglie, F. v. Weizsäcker. — 25 Siehe hierzu H. Weyl („Zeit, Raum, Materie“) heißt es: „Es ist nicht ausgeschlossen, daß eine Weltlinie [— —], insbesondere die Weltlinie meines Leibes, in die Nähe eines Weltpunktes zurückkehrt, den sie schon einmal passierte.“ Dazu Bavink: „Die Lehre von der ewigen Wiederkehr ist nach neuerer Theorie nicht wahrscheinlicher als nach der älteren

Auffassung" (Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften, 6. Aufl. 1940, S. 288). — 26 Vier große Begegnungen haben bis in die Hintergründe auf Nietzsches Leben und Denken maßgeblich eingewirkt: Ritschl (anschließend Jakob Burckhardt), Wert des klassischen Altertums; Schopenhauer, Der Wille in der Welt; Richard Wagner, Eine neue künstlerische Kultur; Robert Mayer, Unvergängliche Wirkkraft in der Natur samt besonderen Auslösungs-, Trieb- und Richtkräften. Der nachhaltige Einfluß von Robert Mayers Schriften auf Nietzsche ist bisher noch wenig beachtet worden. Bei Richard Meyer, Nietzsche, 1913, S. 383, heißt es: „Robert Mayer, dessen Gesetz von der Erhaltung der Kraft ihm besonders wichtig sein mußte, ist ihm dabei auch menschlich interessant geworden, vermutlich durch Dürrings Buch von 1878" (daß Nietzsche dieses Gast wohlbekannte Buch in den Händen gehabt hat, ist nicht beglaubigt). „Er hat sich von der Zuverlässigkeit, ja Notwendigkeit jenes Gedankens wirklich überzeugt. Aber — er hat sich überzeugen wollen. Er hat ihn von jetzt ab mit religiöser Scheu respektiert.“ Von Andler, der an einer einzigen Stelle (Bd. 4, S. 403) Nietzsches Verhältnis zu Robert Mayer berührt, wird vermutet, die ablehnende Äußerung (S. 698) rühre daher, daß Nietzsche in R. Mayers Kraftumwandlung einen Widerspruch mit seiner eigenen Lehre von der ewigen Wiederkehr des Gleichen erblickt habe. Wie auf S. 709 bemerkt, hat Nietzsche in dem Prinzip der Energieerhaltung im Gegenteil eine Bestätigung seines Wiederkehrsgedankens zu finden gemeint. — 27 „Unsterblich ist der Augenblick, wo ich die Wiederkehr zeugte. Um dieses Augenblickes willen ertrage ich die Wiederkehr" (W. XII, 371). Siehe hierzu O. Ewald, Nietzsches Lehre in ihren Grundbegriffen, 1903. Eine gründliche Darstellung: „Nietzsches Beweise für seine Lehre von der ewigen Wiederkehr" gibt Oskar Becker, Blätter für Deutsche Philos. 9 (1935—36), 368. Wir haben es hier mit jenen „Beweisen" nur insoweit zu tun, als R. Mayers Gesetz der Erhaltung der Energie herangezogen wird. Daß auf diesem Wege die ewige Wiederkehr nicht bewiesen werden kann, steht heute fest angesichts der eine Unwandelbarkeit in sich schließenden Äquivalenz von Masse und Energie, sowie des Mangels jeden Wissens darüber, ob „Erhaltung" und „Ausgleichung" nicht nur für unseren beschränkten Beobachtungskreis, sondern auch für das Ganze der Welt, zeitlich und räumlich gilt. Jedoch auch die anderen „Beweise" sind nicht zwingend, sobald man sie nicht an klassischer Mechanik, sondern an heutiger Atomphysik und Feldphysik mißt. Wenn gleich so manches für eine Art rhythmischen Weltprozesses spricht, eine Wiederkehr des Gleichen in einer neuen Weltperiode braucht das keinesfalls zu bedeuten. Solange die Rätsel der Höhenstrahlung, der kosmischen Spiralnebel u. a. m. noch ungelöst sind, wird man gut tun, allen Spekulationen über den gesamten Weltenlauf nicht viel mehr als dichterischen Wert zuzubilligen.

Friedrich Nietzsches Beschäftigung mit der Naturwissenschaft und der Naturphilosophie seines Jahrhunderts*

Zum Gedenken an Nietzsches Geburtstag am 15. 10. 44

Erst in neuerer Zeit hat man begonnen, auf Nietzsches Verhältnis zu den Naturwissenschaften und auf seine naturphilosophische Tätigkeit das Augenmerk zu richten. Daß derartige Bemühungen ertragbringend sein müssen, läßt schon eine Äußerung in Nietzsches „Ecce homo" über die Jahre seiner Baseler Professur vermuten: „Die Realitäten fehlten geradezu innerhalb meines Wissens und die ‚Idealitäten' taugten den Teufel was! — Ein brennender Durst ergriff mich; von da an habe ich in der Tat nichts mehr getrieben als Physiologie, Medizin und Naturwissenschaften (...)“ (XV, 77). Im folgenden soll eine kurze Übersicht darüber gegeben werden, inwieweit und in welcher Weise sich Nietzsche mit dem Stande der Naturwissenschaft und der Naturphilosophie seiner Zeit befaßt hat.

Nietzsches naturwissenschaftliche Ausbildung auf dem Gymnasium zu Schulpforta 1858—1864 ist dürftig gewesen¹. Der Unterricht in den beschreibenden Naturwissenschaften beschränkte sich auf botanische Exkursionen (in allen Klassen). Physik wurde in der Unter- und Oberprima mit je zwei Stunden wöchentlich betrieben. Von Chemie ist nicht die Rede. Reicher war der Unterricht in Mathematik, die aber für den jungen Nietzsche ein Stein des Anstoßes war. Von naturwissenschaftlicher Lektüre ist nur bekannt: Burmester, Naturgeschichte; wahrscheinlich A. v. Humboldt, Kosmos. Gewisse naturwissenschaftliche Anregungen wurden sicher auch aus gelesenen Werken von Goethe, Lichtenberg, Novalis, Emerson u. a. gewonnen.

In Niederschriften aus jener Zeit zeigt sich bereits ein Interesse für den *Entwicklungsgedanken*, sowie die Überzeugung von einer *kausalen Bestimmtheit alles natürlichen Geschehens*. Im einzelnen spricht der junge Nietzsche von Neigungen zur Botanik, Geologie, Himmelskunde.

In den Jahren seines Leipziger Philologie-Studiums (1865 bis 1868) macht sich bei Nietzsche mehr und mehr eine *Beachtung der Naturwissenschaft* geltend². Anregungen

* Forsch. u. Fortschr. 20 (1944) 226—228

hierzu sind ihm vor allem aus seiner Beschäftigung mit den alten griechischen Naturphilosophen und mit Schopenhauers Werken gekommen, ferner auch aus naturphilosophischen Büchern von Eduard von Hartmann, Friedrich Albert Lange und Eugen Dühring.

Aufschlußreich ist eine Aufzeichnung Nietzsches aus dem Jahre 1868 über „zu lesende Bücher“. Wir finden da u. a. Helmholtz, Über die Erhaltung der Kraft (1847), Über die Wechselwirkung der Naturkräfte (1854). Physiologische Schriften werden genannt von den Autoren Bichat, Johannes Müller, Schleiden, Virchow, C. G. Carus, Treviranus, Lotze (Medizinische Psychologie), Wundt (Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele). Dazu gesellen sich naturphilosophische Werke von Schelling, Oken, Schopenhauer (Über den Willen in der Natur), J. Fr. Fries (Mathem. Naturphilosophie), Moleschott, Schleiden (Über den Materialismus in der neueren Naturwissenschaft, 1863). Ferner ist vermerkt: „Geschichte der Medizin, der Mathematik, der Astronomie einzusehen, insgl. die der Chemie“.

Aus der letzten Leipziger Zeit existiert eine halb scherzhafte, halb ernsthafte Äußerung gegenüber seinem Freunde Erwin Rohde: „Noch vorige Woche wollte ich Dir schreiben und vorschlagen, gemeinsam Chemie zu studieren und die Philologie dorthin zu werfen, wohin sie gehört, zum Urväter-Hausrat. Jetzt lockt der Teufel ‚Schicksal‘ mit einer philologischen Professur“.

Aus den Jahren von Nietzsches Baseler Professur (1869 bis 1878) wissen wir, daß er von der dortigen Universitätsbibliothek wiederholt auch *naturwissenschaftliche* Bücher entliehen hat; wir nennen Pouillet, Physik; Kopp, Geschichte der Chemie; Ladenburg, Entwicklung der Chemie; Friedrich Mohr, Allgemeine Theorie der Bewegung und Kraft; Friedrich Zöllner, Natur der Kometen; Funke, Lehrbuch der Physiologie; Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen. Außerdem: Boscovich, Philosophia naturalis 1763. (Das letztgenannte Werk steht für die Ausbildung von Nietzsches Dynamismus in vorderster Linie.) 1873 schreibt Nietzsche an seinen Freund Carl v. Gersdorff: „Auch war ich genötigt, die sonderbarsten Studien zu treiben, selbst die Mathematik trat in die Nähe, ohne Furcht einzuflößen, dann Mechanik, chemische Atomenlehre usw.“.

Von naturwissenschaftlichen Plänen um 1875 berichtet auch Nietzsches Schwöster, Frau Elisabeth Förster-Nietzsche.

In Basel hat Nietzsche einigen Umgang mit dem Chemieprofessor Julius Piccard und dem Botaniker Klebs gehabt, vielleicht auch mit dem Mediziner Wilhelm His. Besondere Bedeutung hat der Verkehr mit dem Paläontologen und Darwin-Gegner L. Rüttimeyer gewonnen; Nietzsche hat sich daraufhin lebhaft mit entwicklungsgeschichtlichen Schriften von K. E. v. Baer, C. v. Naegeli (Entstehung und Begriff der naturhistorischen Art), Ernst Haeckel (Natürliche Schöpfungsgeschichte) und Oskar Schmidt (Deszendenzlehre und Darwinismus) beschäftigt.

In seinem unsteten *Wanderleben* nach dem Aufgeben der Baseler Professur hat Nietzsche mannigfache naturwissenschaftliche Studien getrieben³. In größeren Städten, wie Venedig, Nizza und Turin, benutzte er zu diesem Zwecke Bibliotheken und öffentliche Lesesäle; auf diese Weise soll er z. B. Schriften von Ernst Mach 1884 in einem öffentlichen Züricher Lesesaal kennengelernt haben⁴. Wiederholt hat er sich aus Deutschland Bücher schicken lassen. Eine Bücherkiste befand sich regelmäßig in seinem Reisegepäck. Vor allem hat ihm sein treuer Jünger Peter Gast (Heinr. Köselitz aus Annaberg), der selber starke naturwissenschaftliche Neigungen hatte, mehrfach Bücher gesandt (z. B. Mayers Mechanik der Wärme) oder ihn auf solche aufmerksam gemacht. Auch von seinem Baseler Freunde Franz Overbeck hat sich Nietzsches Bücher erbeten, z. B. O. Caspari, Die Thomsonsche Hypothese von der Temperaturlausgleichung im Weltall; A. Fick, Ursache und Wirkung; J. G. Vogt, Die Kraft; ferner Bücher von Foissac (Meteorologie), Otto Liebmann, A. Spir; nach einer Gesamtausgabe der Reden von E. Du Bois-Reymond wird gefragt⁵.

Nietzsches Plan, in „neuen Studentenjahren“ in Paris, Wien oder München jahrelang Naturwissenschaft zu pflegen, ist nicht zur Ausführung gelangt. Im Herbst 1882 weilte er in Leipzig, und sein Freund Rohde schreibt zutreffend in einem Brief an Overbeck: „Vermutlich wird er nun dort allerlei Naturwissenschaft treiben“. Auch einen Studienaufenthalt in Stuttgart hat Nietzsche ins Auge gefaßt.

Gelegenheit zu *persönlicher Fühlungnahme* mit Naturforschern hat Nietzsche wiederholt wahrgenommen: Im Winter 1883—84 in Nizza ist er mehrfach mit J. Paneth, einem Schüler des Physiologen Ernst v. Brücke, zusammen gewesen. In Venedig hat er zeitweise Umgang mit dem Arzt Alfred Kurz, Bruder von Isolde Kurz, gehabt⁶. Im Sommer 1885 wurde von Florenz aus der greise Astronom Leberecht Tempel, Entdecker des Orion-Nebels, besucht. Außerdem hat der jahrelange Umgang mit dem auch naturwissenschaftlich bewanderten Psychologen Paul Rée sichtlich Einfluß ausgeübt. Unbefriedigender Gesundheitszustand hat zu vielfachem Verkehr mit Ärzten geführt.

Einen starken Eindruck von Nietzsches Bemühung um weitreichende Naturkenntnis erhält man aus dem *Verzeichnis* derjenigen naturwissenschaftlichen und naturphilosophischen Bücher, die sich in Nietzsches hinterlassener *Bibliothek* befinden. Wir geben hier eine Zusammenstellung der wichtigsten⁷.

Mathematik, Physik, Astronomie

Otto Caspari, Die Thomsonsche Hypothese von der endlichen Temperaturausgleichung. Stuttgart 1874. — H. Dor, Das Stereoskop und das stereoskopische Sehen. Basel 1871. — Eugen Düring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873. — W. R. Grove, Die Verwandtschaft der Naturkräfte. Deutsch, Braunschweig 1871. — Adolph Hirsch, Die Sternschnuppen (Vortrag). Basel 1873. — Eugen Lommel, Das Wesen des Lichts. Leipzig 1874. — E. Mach und P. Salcher, Photographische Fixierung der durch Projektile in der Luft eingeleiteten Vorgänge (Sonderdruck mit eigenhändiger Widmung von E. Mach). — Robert Mayer, Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845. — Richard Proctor, Unser Standpunkt im Weltall. (Deutsch von W. Schur.) Heilbronn 1877. — Friedrich Reidt, Die Elemente der Mathematik. 4 Bde. Berlin 1868. — Paul Reis, Lehrbuch der Physik. Leipzig 1872. — Otto Schmitz-Dumont, Die Einheit der Naturkräfte. Berlin 1881. — Balfoure Stewart, Die Erhaltung der Energie. Leipzig 1875. — Friedrich Zöllner, Über die Natur der Kometen. (Siehe auch Philosophie.)

Chemie

Josiah P. Cooke, Die Chemie der Gegenwart. Leipzig 1875. — Johnston, Chemie des täglichen Lebens (bearbeitet von Dornblüth). Stuttgart 1881. — H. E. Roscoe, Chemie (deutsche Ausgabe von F. Rose). 2. Aufl. Straßburg 1878. — John Tyndall, Das Wasser in seinen Formen. Leipzig 1873. — Hermann Vogel, Die chemischen Wirkungen des Lichts und die Photographie in

ihrer Anwendung auf Kunst, Wissenschaft und Industrie. Leipzig 1874.

Mineralogie, Geologie, Meteorologie, Botanik, Zoologie

P. J. v. Beneden, Die Schmarotzer des Tierreiches. Leipzig 1876. — Karl Fuchs, Vulkane und Erdbeben. Leipzig 1875. — A. Geikie, Geologie (deutsch). Straßburg 1877. — Albrecht Müller, Das Wachsen der Steine (Vortrag). Basel 1874. — Pettigrew u. J. Bell, Die Ortsbewegung der Tiere. Leipzig 1875. — L. Rütimeyer, Die Veränderung der Tierwelt in der Schweiz seit Anwesenheit des Menschen. Basel 1875. — Friedr. Schoedler, Das Buch der Natur. 20. Aufl., 2 Bde. Braunschweig 1875. — S. Schwendener, Aus der Geschichte der Kulturpflanzen (zwei Vorträge) Basel 1872. — Karl Semper, Die natürlichen Existenzbedingungen der Tiere. 2 Bde. Leipzig 1881.

Biologie, Psychologie, Anthropologie

Alexander Bain, Geist und Körper. Leipzig 1874. — Eugen Dreher, Der Darwinismus und seine Konsequenzen in wissenschaftlicher und sozialer Beziehung. Halle 1882. — E. Du Mont, Der Fortschritt im Lichte der Lehren Schopenhauers und Darwins. Leipzig 1876. — M. Foster, Lehrbuch der Physiologie (deutsch). Heidelberg 1881. — Francis Galton, Inquiries into human faculty and its development. London 1883. — Eduard v. Hartmann, Das Unbewußte vom Standpunkt der Physiologie und Deszendenztheorie. Berlin 1872. — Wilhelm His, Unsere Körperform und das physiologische Problem ihrer Entstehung. Leipzig 1874. — Harald Höffding, Psychologie (deutsch). Leipzig 1887. — Ph. Letourneau, Physiologie des passions. Paris 1868. — Ernst Mach, Beiträge zur Analyse der Empfindungen. Jena 1886. — Paul Mantegazza, Die Physiologie der Liebe (deutsch). Jena 1877. — Ders., Die Physiologie des Genusses (deutsch). Leipzig 1881. — C. v. Nägeli, Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre. Leipzig 1884. — Paul Ree, Psychologische Beobachtungen. Berlin 1875. — Charles Richet, L'homme et l'intelligence. Fragments de physiologie et de psychologie. Paris 1884. — W. H. Rolph, Biologische Probleme. zugleich als Versuch zur Entwicklung einer rationalen Ethik. 2. Aufl. Leipzig 1884. — Wilhelm Roux, Der Kampf der Teile im Organismus. Leipzig 1881. — Oskar Schmidt, Deszendenzlehre und Darwinismus. Leipzig 1873. — Georg Heinrich Schneider, Der tierische Wille. Leipzig 1880. — Ders., Der menschliche Wille vom Standpunkte der neueren Entwicklungstheorie. Berlin 1882.

Medizin und Gesundheitslehre

Carl Ernst Bock, Das Buch vom gesunden und kranken Menschen. 8. Aufl. Leipzig 1870. — Ludwig Cornaro, Die Kunst, ein hohes und gesundes Alter zu erreichen. Berlin o. J. — E. Hornemann, Beiträge zur praktischen Gesundheitspflege (deutsch) Braunschweig 1881. — Friedrich Kinkelin, Über Ernährung (Vortrag). Basel 1872. — C. F. Kunze, Kompendium

der praktischen Medizin. 7. Aufl. Stuttgart 1881. — Hermann v. Liebig, Die Ernährungsgesetze Liebigs. Kempten 1878. — César Mattei, Electro-homoeopathie. Nizza 1879. — C. A. Meinert, Wie ernährt man sich gut und billig? Mainz o. J. — D. G. M. Schreiber, Ärztliche Zimmerymnastik. 15. Aufl. Leipzig 1877. — Schüssler, Eine abgekürzte Therapie, gegründet auf Histologie und Cellular-Pathologie. 7. Aufl. Oldenburg 1881. — Eduard Smith, Die Nahrungsmittel. 2 Bde. Leipzig 1874. — Josef Wiel. Diätetisches Kochbuch. 2. Aufl. Freiburg 1873. — Ders., Tisch für Magenkranke. Karlsbad 1875.

Philosophie, insbesondere Naturphilosophie

Julius Bahnsen, Der Widerspruch im Wissen und Wesen der Welt. Leipzig 1882. — Gustav Bunge, Vitalismus und Mechanismus (Vortrag). Leipzig 1886. — Otto Caspari, Der Zusammenhang der Dinge. Breslau 1881. — Emil Du Bois-Reymond, Über die Grenzen des Naturerkennens. 6. Aufl. Die sieben Welträtsel. 2. Aufl. Leipzig 1884. — Ralph Waldo Emerson, Essays (deutsch). 1858. — Friedrich Albert Lange, Geschichte des Materialismus und Kritik seiner Bedeutung. Iserlohn und Leipzig 1887. — Georg Christoph Lichtenberg, Vermischte Schriften. 8 Bde. Göttingen 1867. — Otto Liebmann, Kant und die Epigonen. Stuttgart 1866. — Ders., Zur Analysis der Wirklichkeit. 2. Auflage. Straßburg 1880. — Ders., Gedanken und Tatsachen. Heft 1. Straßburg 1882. — O. Schmitz-Dumont, Die mathematischen Elemente der Erkenntnistheorie. Berlin 1878. — A. Spir, Denken und Wirklichkeit. 2. Aufl. 2 Bde. Leipzig 1877. — Philipp Spiller, Die Urkraft des Weltalls nach ihrem Wesen und Wirken auf allen Naturgebieten. Berlin 1876. — I. G. Vogt, Die Kraft. Eine real-monetistische Weltanschauung. — Bd. I: Die Kontraktionsenergie. Leipzig 1878. — Paul Heinrich Widmann, Erkennen und Sein. Karlsruhe und Leipzig 1885. — Friedrich Zöllner, Über die Natur der Kometen, Beiträge zur Geschichte und Theorie der Erkenntnis. 2. Aufl. Leipzig 1872.

Was Nietzsche mit dem Studium so zahlreicher naturwissenschaftlicher und naturphilosophischer Schriften beabsichtigt hat, läßt sich schon aus Aufzeichnungen seiner Jugend erschließen. Der Fünfzehnjährige sagt: „Mich hat ein ungemeiner Drang nach Erkenntnis, nach universeller Bildung ergriffen, Humboldt hat diese Richtung in mir angeregt“. Im April 1863 schreibt er an die Mutter: „Vielleicht könnte ich noch jedes Fach studieren“. Als Kandidat der Philologie will Nietzsche in Leipzig eine Dissertation über den „Begriff des Organischen seit Kant“ schreiben. In einem Briefe an Staatsrat Wilhelm Vischer-Bilfinger (Basel) 1870 heißt es: „Meine Hauptteilnahme war immer auf Seiten der philosophischen Fragen“.

Daß im letzten Jahrzehnt Nietzsches Beschäftigung mit Naturwissenschaft, insbesondere mit deren biologischen und anthropologischen Zweigen, in hohem Maße in den Dienst selbstgewollter Aufgabe trat, durch Aufstellung neuer Werttafeln („Gütertafeln“) „Arzt der Kultur“ zu werden (s. X. 225, VII. 339), liegt auf der Hand. Der Trieb nach universellem Wissen führt aber dazu, daß jene Beschäftigung zu einem guten Teil auch *Selbstzweck* geworden und geblieben ist. „Die Wissenschaft lieben, ohne an ihren Nutzen zu denken“ (XII. 11). „Hoch die Physik! (V. 254). „Die Physik ergibt sich als eine Wohltat für das Gemüt“ (XVI. 93). „Mit der Kraft seines geistigen Blicks und Einblicks wächst die Ferne und gleichsam der Raum um den Menschen: seine Welt wird tiefer, immer neue Sterne, immer neue Rätsel und Bilder kommen ihm in Sicht“ (VII. 50).

Als Motto späterer philosophischer Interessen kann ein Ausspruch des Achtzehnjährigen gelten: „Geschichte und Naturwissenschaft, die wundervollen Vermächtnisse unserer ganzen Vergangenheit, die Verkünderinnen der Zukunft, sie allein sind die sicheren Grundlagen, auf denen wir den Turm unserer Spekulation bauen können“.

Ist auf Nietzsches Studium der Geschichte vor allem seine wohlbekannte und viel erörterte *Kulturphilosophie* gegründet, so auf das Studium der Naturwissenschaft seine unvollendete *Naturphilosophie*, die einen wesentlichen Bestandteil des Hauptwerkes „Wille zur Macht“ bilden sollte. Nietzsches naturwissenschaftliche und naturphilosophische Bestrebungen genauer zu verfolgen, erscheint als eine wesentliche Aufgabe derzeitiger und künftiger Nietzsche-Forschung⁸.

Anmerkungen:

¹ Die Angaben fußen hauptsächlich auf Mitteilungen, die ich dem Nietzsche-Archiv Weimar (Max Oehler) verdanke. Nietzsches Abgangszeugnis 1864 zeigt in Physik die Note 2 b (befriedigend), in Mathematik 3 (nicht mehr befriedigend). — ² Aus dem Jahre des Studiums in Bonn ist nichts über Naturwissenschaft überliefert. Reiche Aufschlüsse über die Leipziger Jahre bietet die im Erscheinen begriffene Historisch-kritische Gesamtausgabe von Nietzsches Werken und Briefen. Von naturwissenschaftlichen und philosophischen Persönlichkeiten des damaligen Leipzig seien genannt die Physiker W. Hankel und Friedrich Zöllner, die Chemiker O. L. Erdmann und H. Kolbe, der Mineralog K. F. Naumann, die Anatomen E. H. Weber und J. V. Carus (Vergleichende Anatomie und Entwicklungsgeschichte), der Physiolog C. Ludwig, die Philosophen Drobisch, Fehner, Ch. H. Weiße. — ³ Nietzsches damals

schon umfangreiche Bibliothek ist im wesentlichen nach der Heimat (Naumburg) zurückgeführt worden. — 4 Über das Verhältnis zu Ernst Mach siehe Hans Kleinpeter, Der Phänomenalismus. Leipzig 1913 (sowie kleinere Aufsätze). — 5 Siehe hierzu den Briefwechsel mit Peter Gast, sowie mit Franz Overbeck. Auf naturwissenschaftliche Studien wird sich auch folgende briefliche Äußerung beziehen: „Wenn Du mich inmitten meiner Bücher hocken sähest! Und was für Bücher! Eigentlich habe ich erst in den letzten zehn Jahren mir Kenntnisse verschafft, von der Philologie her lernte ich im Grunde nur Methoden“ (an Franz Overbeck Juli 1885 aus Sils Maria). Im September 1881 hatte Nietzsche an Overbeck geschrieben: „Im Vertrauen gesagt: das Wenige, was ich mit den Augen arbeiten kann, gehört jetzt fast ausschließlich physiologischen und medizinischen Studien (ich bin so schlecht unterrichtet — und muß so vieles wirklich wissen!)“. — 6 Mitteilung von dessen Schwester in „Florentiner Erinnerungen“. — 7 Benutzt wurde in erster Linie die Schrift „Nietzsches Bibliothek“, 14. Jahrgangsausgabe der Gesellschaft der Freunde des Nietzsche-Archivs Weimar. Auf einem daselbst neuerdings aufgefundenen Notizzettel sind noch folgende Bücher vermerkt: Gustav Theodor Fechner, Die physikalische und philosophische Atomlehre. Kurt Laßwitz, Atomistik und Kritizismus. Ernst Mach, Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. C. Neumann, Über die Prinzipien der Galilei-Newton'schen Theorie. — 8 Wir nennen in dieser Hinsicht: Kurt Engelke, Die metaphysischen Grundlagen in Nietzsches Werk (1942); Erich Heintel, Nietzsches System in seinen Grundbegriffen (1939); Friedrich Würzbach, Das Vermächtnis Friedrich Nietzsches (1940); Franz Strunz, Friedrich Nietzsche und seine Stellung zur Geschichte der Naturforschung (Forsch. u. Fortschr. 1941, S. 96); Wilhelm Grunke, Nietzsches Beziehungen zur Biologie und Medizin (Med. Klinik 1932, Nr. 16); Alexander Tille, Von Darwin bis Nietzsche (1895). Dissertationen: Ludwig Haas, Der Darwinismus bei Nietzsche. Gießen 1932. — K. Wetter, Nietzsches wissenschaftliche Weltanschauung. Wien 1935.

Friedrich Nietzsche und Ralph Waldo Emerson*

Es verdient Beachtung, daß unter denjenigen Denkern, welche von Friedrich Nietzsche zeitlebens hochgeschätzt worden sind, der amerikanische Philosoph Ralph Waldo Emerson (1803—1882) mit in vorderster Reihe steht. Wer war Emerson? Ein durch Jahrzehnte auch in Deutschland vielgelesener Autor, ein „Platoniker und geistiger Sohn des deutschen Idealismus“ (Karl Roos in „Nietzsche und das Labyrinth“), in seiner Stellung zur Natur gewissermaßen ein amerikanischer Gustav Theodor Fechner¹.

Rudolf Eisler sagt in seinem Philosophen-Lexikon:

„Emerson vertritt den transzendentalen Idealismus im Sinne einer *spiritualistisch* gefärbten Weltanschauung, nach welcher der Geist das Wesen der Dinge, das Körperliche, die Natur nur Erscheinung ist. Geist ist der Mittelpunkt der Natur, der sich in uns offenbart. In allem offenbart sich Gott. Das Universum ist voll Leben; alle Dinge haben einen moralischen Zweck! Die ‚Überseele‘ umfaßt raum- und zeitlos alles; die Welt ist ‚das ewig währende Wunderwerk der Seele‘. Die Seele schaut beständig voraus, eine Welt vor sich erschaffend und Welten hinter sich lassend.“

In Heinrich Schmidts „Philosophischem Wörterbuch“ heißt es über Emerson: „Amerikanischer Denker, der den Geist des deutschen Idealismus als Transzendentalismus in Amerika einführte. Sein Denken läßt drei Hauptlinien erkennen: 1. Immanenzgedanken vom Göttlichen in der Natur und in der Seele; 2. die zentrale metaphysische Bedeutung der Seele als Urquell der Werte und Wahrheiten; 3. die Allbeseelung oder die Auffassung der Natur als eines Geistig-Absoluten: die Natur ist alles, und alles ist Natur, auch die Seele. Sein philos. Hauptwerk: Nature, 1836, deutsch 1873.“

Was läßt sich nun in Kürze über Nietzsches Verhältnis zu Emerson sagen?²

Sehr früh, schon als Schüler des Gymnasiums in Schulpforta, hat Nietzsche Schriften von Emerson kennen gelernt. Der Achtzehnjährige hält in der freien Schülervereinigung „Germania“ einen noch heute lesenswerten

* Bisher unveröffentlicht.

Vortrag über „Fatum und Geschichte“, worin der Name Emerson zum ersten Male auftaucht. Es heißt daselbst:

„Wir sind beeinflusst worden, ohne die Kraft zu einer Gegenwirkung in uns zu tragen, ohne selbst zu erkennen, daß wir beeinflusst sind. Frage geistreiche Mediziner, sagt Emerson, *wieviel* Temperament nicht entscheidet, und *was* es überhaupt nicht entscheidet.“²

Emersons bilderreiche und gemütsinnige Naturschilderungen haben bei dem jungen Nietzsche (der sich gleichzeitig für Jean Paul, Hölderlin, Novalis, Stifter, Schopenhauer und Goethe begeisterte) großen Beifall gefunden. In einem Briefe an seinen Freund Carl v. Gersdorff vom 7. April 1866 aus Naumburg heißt es:

„Lieber Freund, gelegentlich kommen Stunden jener ruhigen Betrachtung, wo man in Freude und Trauer gemischt über seinem Leben steht, ähnlich jenen schönen Sommertagen, die sich breit und behaglich über die Hügel hinlagern, wie Emerson sie so vortrefflich beschreibt: dann wird die Natur vollkommen, wie er sagt, und wir: dann sind wir frei vom Banne des immer wachenden Willens, dann sind wir reines, anschauendes, interesseloses Auge.“³

So starke Wandlungen Nietzsche im Laufe seiner Entwicklung durchgemacht hat: die *Verehrung für Emerson ist ihm dauernd geblieben*. Auch auf seine Reisen hat Nietzsche zuweilen ein Emerson-Buch mitgenommen. In einem Nietzsche-Brief heißt es: „Der treffliche Emerson, welchen ich mit in Bergün hatte, ist mir samt meiner vollen Reisetasche gestohlen worden.“

Wiederholt wird Emerson *zitiert* und gewürdigt, und zwar sowohl hinsichtlich seiner Naturbeseelung und -verherrlichung, wie auch hinsichtlich seiner Stellung zu Kulturfragen. Bemerkenswert ist auch Nietzsches Bewunderung des *Emerson-Stiles*, wie sie u. a. in der „Fröhlichen Wissenschaft (1882) sich ausspricht. Zu den — von Goethe abgesehen — „vier sehr seltsamen und wahrhaft dichterischen Menschen, welche an die Meisterschaft der Prosa gereicht haben, für die sonst dies Jahrhundert nicht gemacht ist“, zählt Nietzsche neben Giacomo Leopardi, Prosper Mérimée, Walter Savage Landor auch Ralph Waldo Emerson (V. 124).

Aufschlußreich ist ein Blick in die Emerson-Bücher, die in Nietzsches *hinterlassener Bibliothek* vorhanden sind, und in denen es hie und da von Unterstreichungen und Randbemerkungen förmlich wimmelt⁴.

Wir führen zunächst einige von Nietzsche *unterstrichene Stellen* an: „Durch sein Handeln lehre der Mensch und nicht anders. — Sei eine Gabe und ein Segen. — Laßt uns die Weltklugheit verlernen. — Wenn es erforderlich ist, finde ich das Stillsitzen so gut wie das Handeln. — Die reiche Seele liegt in der Sonne und schläft und ist Natur. — Denken ist Handeln. — Unsere Häuser hallen von Gelächter wider und von persönlichem und kritischem Geschwätz; aber es hilft wenig.“

Auch einige *Randbemerkungen* seien als Beispiele wiedergegeben. So lesen wir an einer Stelle die Nietzsche-Worte: „Meine Art krank *und* gesund zu sein, ist ein gutes Stück meines Charakters und rechtfertigt sich dadurch.“⁵

Zuweilen macht sich auch *Kritik* geltend, so bei dem Abschnitt: „Es ist *ein* Geist, der alle Menschen beseelt. Jeder Mensch steht diesem Geiste offen und Allen, die desselben Geistes sind. Der, welcher einmal das Recht der Vernunft empfangen hat, ist ein Bevorrechteter im Reiche des Gedankens. Was Plato gedacht hat, kann auch er denken, was ein Heiliger gefühlt hat, kann auch er fühlen; was zu irgend einer Zeit irgend einem Menschen begegnet ist, das kann er verstehen. Wer Zutritt hat zu diesem *allumfassenden Geiste*, ist ein Theil alles dessen, was ist oder gethan werden kann, denn dieser ist das einzig unumschränkt wirkende Wesen“.

Hier ist am Rande bemerkt: „*Nein!* Aber es ist ein Ideal!“

Zu einem anderen Abschnitt mit den unterstrichenen Sätzen: „Der ganze Lauf der Dinge geht darauf hinaus, uns glauben zu lehren. Wir brauchen nur zu gehorchen.“ — wird geurteilt: „Ist alles falsch“.

Wir verzeichnen nun einige *Aussprüche* über Emersons Wirken, die in Nietzsches Schriften einschließlich Nachlaß enthalten sind:

Im Zusammenhang mit der Betonung der ganzen „*Ehrfurcht*“, die wir bisher in die Natur gelegt haben, und die

wir nun auch „empfinden lernen müssen bei der Betrachtung des *Leibes*“, sagt Nietzsche: „Was der Wald, das Gebirge uns zu sagen hätte — und die fernen Himmelskörper, die uns in die Einsamkeit rufen‘ (Emerson), — diese Entzückungen sind heilsam, sie machen uns nüchtern.“ (XIII. 165). Und weiter: „Für den Weisen verwandelt sich die Natur in ein ungeheures Versprechen‘ (Emerson). Nun, du selbst bist Natur und versprichst mit ihr das Ungeheure und hütetest dich wohl, dein eigenes Geheimnis vorschnell auszukundschaften“ (XIII. 167). Vorausgeht der Satz: „Das wäre der höchste Glanz auf dem *Tode*, daß er uns *weiter führt* in die andere Welt, und daß wir *Lust* haben an allem Werdenden und darum auch an unserm Vergehen!“

Auf Emersons *Kulturphilosophie* beziehen sich Sätze, die in „Schopenhauer als Erzieher“ (1874) (Unzeitgemäße Betrachtungen, letzter Teil) enthalten sind (I. 492): „Ein Amerikaner mag uns sagen, was ein großer Denker, der auf diese Erde kommt, als neues Centrum ungeheurer Kräfte zu bedeuten hat. ‚Seht euch vor‘, sagt Emerson, wenn der große Gott einen Denker auf unsern Planeten kommen läßt. Alles ist dann in Gefahr. Es ist, wie wenn in einer großen Stadt eine Feuersbrunst ausgebrochen ist, wo keiner weiß, was eigentlich noch sicher ist und wo es enden wird. Da ist nichts in der Wissenschaft, was nicht morgen eine Umdrehung erfahren haben möchte, da gilt kein literarisches Ansehen mehr, noch die sogenannten ewigen Berühmtheiten; alle Dinge, die dem Menschen zu dieser Stunde theuer und werth sind, sind dies nur auf Rechnung der Ideen, die an ihrem geistigen Horizonte aufgestiegen sind und welche die gegenwärtige Ordnung der Dinge ebenso verursachen, wie ein Baum seine Äpfel trägt. *Ein neuer Grad der Cultur würde augenblicklich das ganze System menschlicher Bestrebungen einer Umwälzung unterwerfen.*“

Auf ein eben gelesenes Emerson-Buch mag sich Nietzsches Äußerung im Nachlaß beziehen: „*Emerson*. Ich habe mich nie in einem Buche so zu Hause und in meinem Hause gefühlt als — ich darf es nicht loben, es steht mir zu nahe‘ (XII. 179). Anschließend heißt es: „Der gedankenreichste Autor dieses Jahrhunderts ist bisher ein Ame-

rikaner gewesen (leider durch deutsche Philosophie verdunkelt — Milchglas)“.

Eine Art Gesamtwürdigung Emersons findet sich in „Götzen-Dämmerung“ (1888) und zwar in „Streifzüge eines Unzeitgemäßen“, einer kritischen Würdigung verschiedener Autoren wie Renan, Sainte Beuve, G. Eliot, George Sand, Carlyle, Darwin, Schopenhauer u. a. Hier heißt es (VIII. 127): *Emerson*. — Viel aufgeklärter, schweifender, vielfacher, raffinierter als Carlyle, vor allem glücklicher... Ein solcher, der sich instinktiv bloß von Ambrosia nährt, der das Unverdauliche in den Dingen zurückläßt. Gegen Carlyle gehalten ein Mann des Geschmacks. — Carlyle, der ihn sehr liebte, sagte trotzdem von ihm: ‚er gibt *uns* nicht genug zu beißen‘: was mit Recht gesagt sein mag, aber nicht zuungunsten Emersons. — Emerson hat jene gütige und geistreiche Heiterkeit, welche allen Ernst entmutigt; er weiß es schlechterdings nicht, wie alt er schon ist und wie jung er noch sein wird, — er könnte von sich mit einem Worte Lope de Vegas sagen: ‚yo me sucedo a mi mismo‘. Sein Geist findet immer Gründe, zufrieden und selbst dankbar zu sein; und bisweilen streift er die heitere Transzendenz jenes Biedermanns, der von einem verliebten Stelldichein tamquam re bene gesta zurückkam. ‚Ut desint vires, sprach er dankbar, tamen est laudanda voluptas.‘ —“

Bei derartiger Emerson-Verehrung erscheint es wie selbstverständlich, daß auch in Nietzsches Briefwechsel Emerson eine Rolle spielt. Am 2. Juli 1862 teilt Peter Gast aus Venedig mit: „Emerson, von dem Sie das Motto ‚zu Scherz, List und Rache‘ haben⁶, ist vor einigen Wochen gestorben.“ Es ist also sicher in Nietzsches Gedankenaustausch mit seinem Schüler Peter Gast vielfach von Emerson die Rede gewesen⁷.

Auch gegenüber seinem Baseler Freunde Professor Overbeck und dessen Frau scheint Nietzsche eifrig für Emerson geworben zu haben. Es wird auf eine Beeinflussung durch Nietzsche hinweisen, wenn Frau Overbeck um 1880 den Plan einer Übersetzung von Emerson-Schriften gefaßt hatte. Im Hinblick hierauf schreibt Nietzsche im Dezember 1883 aus Nizza an Overbeck: „Sage Deiner lieben Frau, daß ich Emerson wie eine *Bruder-Seele*

empfinde (aber sein Geist ist schlecht gebildet)“. Und weiter am 7. April 1884 aus Nizza: „Wie geht es Emerson und Deiner verehrten Frau?“

Bei Nietzsches Neigung, selbst gegenüber verehrten Persönlichkeiten die „Kehrseite der Dinge“ ins Auge zu fassen, kann es nicht wundernehmen, wenn er hie und da auch die Kritik sprechen läßt.

Schon Emersons — oben gerühmter — Stil muß sich Tadel gefallen lassen: „Durch Carlyle hat sich Emerson, der reichste Amerikaner, zu jener geschmacklosen Verschwendung verführen lassen, welche Gedanken und Bilder händevoll zum Fenster hinauswirft.“

In einem späteren Briefe an Overbeck geht Nietzsche genauer auf das ein, was er an Emerson vermißt. Am 22. Dezember 1884 schreibt er aus Nizza: „Ich lasse mir einen größeren Aufsatz Emersons, der einige Klarheit über seine eigene Entwicklung gibt, ins Deutsche übersetzen (schriftlich); beliebt es, so steht er Dir und Deiner lieben Frau zu Gebote. Ich weiß nicht, wie viel ich darum gäbe, wenn ich nachträglich bewirken könnte, daß eine solche herrliche große Natur, reich an Seele und Geist, eine strenge Zucht, eine wirklich wissenschaftliche Kultur durchmachte“. So wie es steht, ist uns in Emerson ein Philosoph verloren gegangen.“

Faßt man Nietzsches vertrautes Verhältnis zu der im wesentlichen gefühlsbestimmten Persönlichkeit Emersons ins Auge, so tut sich — ähnlich wie in Nietzsches Verehrung von Blaise Pascal — eine scheinbare Unstimmigkeit auf. Wie kann der Autor des Schlagwortes „Wille zur Macht“ mit Männern in Resonanz stehen, die durchaus auf hohe seelisch-geistige Werte eingestellt sind, denen jede Gewalttätigkeit ein Greuel ist? Die Lösung ist leicht gegeben: Nietzsche ist eine komplizierte, eine „polyphone“ Natur, mit leicht täuschendem Vordergrund und schwer erkennbarem Hintergrund, und sein Wortsymbol „Wille zur Macht“ muß durchaus mit anderen Nietzsche-Ideen wie „Rangordnung“, „Zucht“, „Redlichkeit“ zusammen genommen werden, wenn man Entstellungen und Verzerrungen des wahren Nietzsche-Bildes vermeiden will. „Wille zur Macht“ (der in der Natur waltet!) bedeutet für Nietzsche keineswegs Wille zu roher Gewaltanwen-

dung, zu Brutalität; die Liebe zur Macht erscheint ihm sogar als „Dämon der Menschen“ (I. V. 235). Wie anders könnte Nietzsche Männer wie Hippolyt Taine, Georg Brandes und weiterhin zahlreiche sonstige beste europäische Denker in seinen Bann gezogen haben!⁹

Man kann wohl behaupten, daß Nietzsches zerklüftete problematische Natur den Umgang mit Menschen von harmonischer idealer Geistesart wie Emerson besonders wohl-tuend empfinden mußte, da im Grunde seiner Seele das gleiche Verlangen nach Harmonie vorhanden war; seine feste Freundschaft mit Malwida von Meysenbug, Heinrich von Stein und in gewisser Weise auch mit Overbeck legen weiterhin Zeugnis hierfür ab. (Mit einem Manne dagegen wie Paul Rée konnte Nietzsche unmöglich auf die Dauer befreundet sein.)

Es ist ein Irrtum, wenn Richard M. Meyer von Emerson (neben Carlyle und Ruskin) behauptet: „Nietzsche hat sie nicht gemocht“. Meyer korrigiert sich jedoch selber, indem er an einer weiteren Stelle sagt, daß in den späteren Jahren „jetzt auch der feine Amerikaner Emerson einer Lieblingsstellung sich erfreut.“ Sodann wird eine Frage aufgeworfen: „Nietzsche sieht sich nach Bundesgenossen um auf den geistigen Thronen Europas [richtiger: der Erde]. Kann Emerson als ein Modell des Übermenschen dienen?“ (Eine Gleichsetzung von Emersons „oversoul“ und Nietzsches „Übermensch“ lehnt Meyer ab).

In einer Charakteristik, die Camille Mauclair von Nietzsche entwirft, (Übersetzung in „Zeitgeist“ 5. August 1901), wird begründet, warum Nietzsche in Frankreich starken Anklang gefunden habe. Es heißt da u. a.: „Er war wirklich der Mann, auf den man gewartet hat. Er ist der Philosoph der lateinischen Rassen. (...) Ein für die Franzosen charakteristischer Zug Nietzsches war es, daß er sich über Emerson lobend ausgesprochen hat; er ist so ziemlich der einzige, den er nicht angreift. Emerson hat in Frankreich leidenschaftliche Bewunderer und übt einen bedeutenden moralischen Einfluß aus“¹⁰.

Zum Schlusse seien noch einige Nietzsche-Aussprüche wiedergegeben, die Emerson-Geist atmen: „Die Seele, das Ich als Urtatsache gesetzt, und überall hineingelegt, wo es ein Werden gibt. — Die Natur muß nach Analogie der

Menschen vorgestellt werden, als abirrend, versuchend, gut und böse — als kämpfend und sich überwindend“. Es gibt eine „Höhe der Freude, wo der Mensch sich selber und sich ganz und gar als eine vergöttlichte Form und Selbst-Rechtfertigung der Natur fühlt. — Und wozu ist alle Natur geschaffen, wenn nicht dazu, daß ich Zeichen habe, mit denen ich zu Seelen reden kann!“

„Jeder Naturvorgang ist im Grunde unbegreiflich. — Wir verehren, wo wir nicht begreifen. — Unbescheidenheit des Menschen — wo er den Sinn nicht sieht, ihn zu leugnen. — Was ist es, das den Dingen Sinn, Wert, Bedeutung verlieh? Das schaffende Ding, welches begehrte und aus Begehren schuf. Es schuf Lust und Weh.“ — Ich erkannte die *aktive Kraft*, das Schaffende inmitten des Zufälligen. — Die Ehrfurcht vor Gott ist die Ehrfurcht vor dem Zusammenhang aller Dinge und Überzeugung von höheren Wesen als der Mensch ist. — Religion, wesentlich eine Lehre der *Rangordnung*, sogar Versuch einer *kosmischen Rang- und Machtordnung*, — Gott als Kulminations-Moment: das Dasein eine ewige Vergottung und Entgottung. — Nur *Dein* Auge, ungeheuer blickt mich's an, Unendlichkeit! — Die Reinsten sollen der Erde Herren sein“.

Eine Art *Seelengemeinschaft* ist es, die Emerson und Nietzsche verbindet, den *anderen* Nietzsche, den es heute neu zu entdecken gilt, und der von sich gesagt hat: „Wenn ich von Plato, Pascal, Spinoza und Goethe rede, so weiß ich, daß ihr Blut in dem meinen rollt“. Was Nietzsche von einem *Buche Emerson's* gesagt hat, wird von seiner Stellung zu Emersons *Werk schlechthin* gelten. Emerson ist einer der Autoren, denen Nietzsche von Anfang bis Ende Treue gehalten hat: eine Treue, gegründet auf Gleichheit des Natur- und Kulturgefühls¹¹. So mutet das Verhältnis Nietzsche zu Emerson — ähnlich wie seine andauernde Verehrung für Adalbert Stifter — geradezu als ein Idyll an, eingefügt in die Tragödie der Nietzsche-Existenz.

Anmerkungen:

1 Siehe Edwin Redslob: „Die Welt vor hundert Jahren“. Menschen und Kultur der Zeitenwende um 1840. Verlag von Philipp Reclam jun., Leipzig. Hier liest man S. 374: „Ralph Waldo Emerson, Durchstrahl von Zuversicht, des Erfolges sicher, schreitet der Amerikaner Emerson dahin: . . . der gelistete Repräsentant des neu sich formenden Amerikanertums . . .“. Wichtige Sätze: „Ein jegliches Ding in der Natur enthält alle Kraft der Natur. Wissen und Tugend sind der Hauptbesitz der Menschen. Die Umstände sind ohne Bedeutung, der Mann ist alles. Das Leben des Menschen ist ein Fortschreiten und kein Ruhepunkt.“ — 2 Durchgesehen wurden Nietzsches Gesamte Werke, zitiert nach der Leipziger Groß- und Kleinklav-Ausgabe, auch die bisher erschienenen Bände der Historisch-kritischen Ausgabe; ferner Nietzsches Briefwechsel. Nicht eingesehen werden konnten die Ausführungen von Karl Federn über das Verhältnis Emerson-Nietzsche in der Einleitung zu einer Herausgabe von Emersons Essays (Halle 1895). Desgleichen Ernst Wieck, Carlyles „Helden“ und Emersons „Repräsentanten“ mit Hinweis auf Nietzsches „Übermensch“ Königsberg 1903. Eduard Baumgarten, Emerson-Nietzsche (Vortrag in Göttingen 1938), Internation. Ztschr. für Erziehung Bd. 8, S. 1—16 (1939). Eine gute Würdigung gibt Paul Sakman, Ralph Waldo Emersons Geisteswelt. Stuttgart 1927. Im Jahre 1836 war Emersons „Nature“ erschienen, von 1841 an seine imgelesenen Essays (1849 über die Repräsentanten des Menschenschlechts); Übertragungen ins Deutsche, wie sie Nietzsche vorgelesen haben, wurden wiederholt gegeben. In Nietzsches Nachlaß wurden gefunden Essays 1858 (in der deutschen Übersetzung von Fabricius), Neue Essays 1878, die Führung des Lebens 1862, Über Goethe und Shakespeare 1867; sämtlich mit vielen Lesespuren. Siehe auch Julius Simon, Emerson in Deutschland 1851—1932, Berlin 1937.* — 3 Schopenhauer, dessen Geist aus den letzten Zeilen spricht, hatte über Nietzsche im Winter zuvor Macht gewonnen. Im gleichen Briefe lesen wir: „Drei Dinge sind meine Erholungen: mein Schopenhauer, Schumannsche Musik, endlich einsame Spaziergänge“. — 4 Ein Einblick in diese Bücher ist mir nicht möglich gewesen; die folgenden Beispiele stammen aus der Veröffentlichung des Nietzsche-Archivs „Nietzsches Bibliothek“ 1942. Hier werden am Schlusse einige Seiten der Essays von 1858 samt Anstreichungen und Randbemerkungen (1881) in Faksimile-Produktion wiedergegeben. — 5 Man wird hier an Nietzsches anderen Ausspruch erinnert: „Eine Gesundheit an sich gibt es nicht. (. . .) Es kommt auf Dein Ziel, Dein Herz und Deine Antriebe, Deine Irrtümer und Phantasien Deiner Seele an, um zu bestimmen, was selbst für Deinen Leib Gesundheit zu bedeuten habe. Somit gibt es unzählige Gesundheit des Leibes.“ — 6 1. Auflage der „Fröhlichen Wissenschaft“, mit dem Vorspiel „Scherz, List und Rache“. Als Motto ist der Emerson-Spruch gegeben: „Dem Dichter und Weisen sind alle Dinge befreundet und geweiht, alle Erlebnisse nützlich, alle Tage heilig, alle Menschen göttlich.“ — 7 In einem Briefe von Gast an Overbeck aus Zürich, 5. Nov. 1884, heißt es u. a.: „Zu Mittag speise ich mit — drei Studentinnen! Zwei Medizinerinnen und eine Philosophin! Fr. W., Fr. B. und Miß C.; diese letztere will in zehn Monaten den Doctor machen, zu welchem Zweck sie eine Schrift über Emerson verfaßt hat.“ — 8 Die wissenschaftliche Grundlegung, die Nietzsche hier an Emerson vermißt, hat er seinem eigenen Werke durch eingehendes Studium der Geschichte und der Naturwissenschaft zu geben gesucht. Mit Nietzsches bisher nur wenig beachteter Naturphilosophie, die für sein geplantes und nicht ausgeführtes Hauptwerk die feste Grundlage bilden sollte, hat sich der Verfasser in einigen größtenteils unveröffentlichten Arbeiten beschäftigt. — 9 Wie wäre es auch sonst möglich gewesen, um einen Blick auf politisches Gebiet zu werfen, daß er im Juni 1888 (in einem Briefe an Peter Gast) sein tiefes Bedauern über den Tod des Kaisers Friedrich ausgedrückt hat: „Zuletzt war er ein kleines Schimmerlicht von freiem Gedanken, die letzte Hoffnung für Deutschland.“ — Davon die weitere Äußerung: „Der Wille zur Macht — ein Buch zum

* Siehe auch Josef Hanslmeier, Emerson der Individualist. — Neue Zeitung 28. April 1947.

Denken, nichts weiter (...). Ich wünschte es französisch geschrieben zu haben, damit es nicht als Bestärkung irgendwelcher reichsdeutscher Aspirationen erscheint". Siehe hierzu auch die Schrift von Ernst Schwarz „Vorbei“ (Heidelberg 1945). — 10 Ausführlicher bei C. A. Bernoulli, Overbeck und Nietzsche. — 11 Es wird nicht sehr überraschen, wenn Paul Sakman in seinem Buche über Emerson die Beziehungen von einem Punkte noch weiter ausspinn. Von Emersons „Kraft- und Machtphilosophie“, einer „eigenartigen Verschmelzung von Naturalismus und Romantik“, sagt er (S. 222): „Damit weist Emerson tonangebend auf Nietzsche hinaus, ja (in Wealth) schon über Nietzsche hinüber auf Bernard Shaw, der uns die Erfüllung phantastischen Übermenschtums im Industriekapital des kapitalistischen Zeitalters zur Anschauung bringt.“ Neuere Utopien hinsichtlich der Zukunft des Menschengeschlechtes — bis zu derjenigen von H. G. Wells — schließen (und zwar mit Recht) enger an Emersons idealistisch gefaßte „oversoul“ als an Nietzsches naturalistisch verstandenen „Übermenschen“ an.

Nietzsche-Aussprüche über Leben und Natur, Welt und Gott*

Eine Vielheit von Kräften, verbunden durch einen gemeinsamen Ernährungsvorgang, heißen wir „Leben“. — Das ganze der organischen Welt ist die Aneinanderfädelung von Wesen mit erdichteten kleinen Welten um sich: indem sie ihre Kraft, ihre Begierden, ihre Gewohnheiten in den Erfahrungen außer sich heraussetzen, als ihre *Außenwelt*. Die Fähigkeit zum Schaffen (Gestalten, Erfinden, Erdichten) ist ihre Grundfähigkeit. — Ein Wesen mit der Gewohnheit zu einer Art von Regel im Traume — das ist ein lebendiges Wesen. — *Das Organische ist eine Vorrichtung, an welcher sich das Bewußtsein entwickeln kann, weil es selber zu seiner Erhaltung dieselben Vorbedingungen nötig hat.* — Der einfachste Organismus ist der vollkommenste, alle komplizierteren sind fehlerhafte, und unzählige der höheren Art gehen zu Grunde.

Alle physiologischen Vorgänge sind darin gleich, daß sie Kraftauslösungen sind. — *Trieb, Wille*. Im kleinsten Organismus bildet sich fortwährend Kraft und muß sich dann auslösen: entweder von sich aus, wenn die *Fülle* da ist, oder es kommt ein Reiz von außen. *Wohin* die Kraft sich wendet? Sicher nach dem *Gewohnten*: also *wohin die Reize leiten*, dahin wird auch die *spontane* Auslösung sich bewegen. — Damit ein Reiz wirklich auslösend wirkt, muß er stärker sein als der Gegenreiz, der immer auch da ist. — Wir messen *alles nach der Explosion*, die ein Reiz in uns hervorruft, als groß, klein usw. — Es ist etwas Aktives daran, daß wir einen Reiz überhaupt annehmen, und daß wir ihn als solchen Reiz annehmen. — Schon die Sinneswahrnehmungen sind Handlungen; damit etwas wahrgenommen werden kann, muß eine *aktive Kraft* bereits *fungieren*, welche den Reiz annimmt, wirken *läßt* und als *solchen Reiz sich anpaßt* und *modifiziert*.

Das Wesentliche am Lebensprozeß ist die ungeheure gestaltende Gewalt, welche die „äußeren Umstände“ *ausnützt, ausbeutet*. — Ich erkannte die aktive Kraft, das Schöpferische inmitten des Zufälligen. — Das Schöpferische in jedem organischen Wesen, was ist das? Es gehört zum

* Bisher unveröffentlicht.

Begriff des Lebendigen, daß es wachsen muß, daß es seine Macht erweitern und folglich fremde Kräfte in sich hineinnehmen muß. — „Leben“ wäre zu definieren als eine dauernde Form von *Prozessen der Kraftfeststellungen*, wo die verschiedenen Kämpfenden ihrerseits ungleich wachsen. — Die Physiologen sollten sich besinnen, den „*Selbsterhaltungstrieb*“ als kardinalen Trieb eines organischen Wesens anzusetzen. — Vor allem will etwas Lebendiges seine Kraft *auslassen*. — Leben selbst ist Wille zur Macht —: die Selbsterhaltung ist nur eine der indirekten und häufigsten *Folgen davon*. — Vorstellung des *Lebens* (...), das nicht ein Sich-erhalten-wollen, sondern ein Wachsen-wollen ist. — Der Wille zur *Akkumulation von Kraft* ist spezifisch für das Phänomen des Lebens, für Ernährung, Zeugung, Vererbung (...).

Das Leben als die uns bekannteste Form des Seins ist spezifisch ein Wille zur Akkumulation von Kraft —: alle Prozesse des Lebens haben hier ihren Hebel: nichts will sich erhalten, alles soll summiert und akkumuliert werden. Das Leben als ein Einzelfall (Hypothese von da aus auf den Gesamtcharakter des Daseins —) strebt nach einem Maximal-Gefühl von Macht: ist essentiell ein Streben nach Mehr von Macht. — Leben selbst ist *wesentlich* Aneignung, Verletzung, Überwältigung des Fremden und Schwächeren. Unterdrückung, Härte, Aufzwingung eigener Formen, Einverleibung und mindestens, mildestens Ausbeutung. — Wo ich Lebendiges fand, da fand ich Wille zur Macht. — Jedes Lebendige greift so weit um sich mit seiner Kraft, als es kann; und unterwirft sich das Schwächere: so hat es seinen Genuß an sich. —

Der Charakter des unbedingten Willens zur Macht ist im ganzen Reiche des Lebens vorhanden. — „Der Kampf ums Dasein“ — das bedeutet einen Ausnahmezustand: Die Regel ist vielmehr der Kampf um *Macht*, um „Mehr“ und „Besser“ und „Schneller“ und „Öfter“.

Ich setze *Gedächtnis und eine Art Geist* bei allem Organischen voraus. — Hier ist die Voraussetzung gemacht, daß der ganze Organismus denkt, daß alle organischen Gebilde Teil haben am Denken, Fühlen, Wollen — folglich das Gehirn nur ein enormer Centralisationsapparat ist. — Den-

ken, Fühlen, Wollen in allem Lebendigen. — Das kleinste organische Geschöpf muß Bewußtsein und Willen haben. — Das Nervensystem und das Gehirn ist ein Leitungssystem und ein Centralisationsapparat zahlloser Individualgeister von verschiedenem Range. Das *Ich-Geistige* selber ist mit der Zelle schon gegeben. *Vor der Zelle gibt es keine Ich-Geistigkeit*.

Alles organische Leben ist als *sichtbare Bewegung koordiniert* einem *geistigen Geschehen*. Ein organisches Wesen ist der sichtbare Ausdruck eines Geistes. — Unser Intellekt kann durchaus nicht die Mannigfaltigkeit eines klugen Zusammenspiels fassen, geschweige hervorbringen, das z. B. der Verdauungsprozeß ist. Es ist das Zusammenspiel *sehr vieler Intellekte!* Überall, wo ich Leben finde, finde ich schon dies Zusammenspiel! Und auch ein Herrschen ist in den vielen Intellekten da. — Sobald wir aber uns die organischen Handlungen mit Hilfe *unseres Intellektes* ausgeführt denken, werden sie uns ganz unverständlich. Vielmehr müssen wir den Intellekt selber als eine letzte Konsequenz jenes Organischen denken. — Alles Lebendige ist ein Gehorchendes. Am Leitfaden des Leibes lernen wir, daß unser Leben durch ein Zusammenspiel ungleichartiger Intelligenzen und also nur durch ein beständiges tausendfältiges Gehorchen und Befehlen — moralisch geredet: durch die unausgesetzte Übung vieler Tugenden — möglich ist.

Es ist möglich, daß das *physiologische* Zentrum auch das psychische Zentrum ist. — In den höchsten Funktionen des Geistes finde ich eine sublimen Art der organischen Funktionen. — Die Logik unseres bewußten Denkens ist nur eine *grobe und erleichterte Form jenes Denkens, welches unser Organismus, ja die einzelnen Organe desselben nötig hatten*. Ein Zugleichdenken z. B. ist nötig, von dem wir kaum eine Ahnung haben.

Das *Unorganische* als die individualitätslose Geistigkeit. Alles Organische unterscheidet sich vom Anorganischen dadurch, daß es *Erfahrungen aufammelt*: und niemals sich selber gleich ist, in seinen Prozessen (...). Das mächtige organische Prinzip imponiert mir so, gerade in der Leichtigkeit, mit der es anorganische Stoffe sich einverleibt. Ich weiß nicht, wie diese Zweckmäßigkeit einfach durch

Steigerung zu erklären ist. Eher würde ich glauben, es gebe ewig organische Wesen.

Wir haben keine *Ahnung* bisher von den inneren Bewegungsgesetzen der organischen Wesen. — Es fehlt ganz der Maschinen-Charakter in allem Lebendigen (Selbstregulierung). — Mit der organischen Welt ist eine perspektivische Sphäre gegeben.

Bisher sind beide Erklärungen des organischen Lebens *nicht* gelungen: weder die von der Mechanik, *noch die von dem Geiste*. Ich betone *Letzteres*. Die Regierung des Organismus geschieht in einer Weise, für welche *sowohl* die mechanische Welt *als die geistige Welt* nur *symbolisch* zur Erklärung herangezogen werden kann.

Dieser sagt: alle Welt ist Gedanke, Wille, Krieg, Liebe, Haß; meine Brüder, ich sage euch: alles dies einzeln ist falsch, alles dies zusammen ist *wahr*. — Das müßte etwas sein, nicht Subjekt, nicht Objekt, nicht Kraft, nicht Stoff, nicht Geist, nicht Seele (. . .) Es muß den großen Familienzug haben, an dem sich alles als mit ihm *verwandt* wiedererkennt — — —.

Man muß das *künstlerische* Grundphänomen verstehen, welches „Leben“ heißt, — den *bauenden Geist*, der unter den ungünstigsten Umständen baut: auf die langsamste Weise — — —.

Hüten wir uns zu sagen, daß Tod dem Leben entgegengesetzt sei. Das Lebende ist nur eine Art des Toten, und eine sehr seltene Art. Das „Sein“ — wir haben keine andere Vorstellung davon als „leben“. Wie kann also etwas Totes „sein“?

Ich lechze nach Leben! Leben! Leben!

Die Natur muß nach Analogie des Menschen vorgestellt werden, als abirrend, versuchend, gut und böse — als kämpfend und sich überwindend. —

Die unbedingte Notwendigkeit alles Geschehens enthält nichts von einem Zwange. Der steht hoch in der Erkenntnis, der dies gründlich eingesehen und empfunden hat. Aus seinem Glauben ergibt sich kein Verzeihen und Entschuldigen; — Ich streiche einen Satz durch, der mir mißbraten ist, so gut ich die Notwendigkeit einsehe, vermöge deren er mir mißbrät: denn der Lärm eines Karrens störte mich.

Mit der organischen Welt ist eine perspektivische Sphäre gegeben. — Wo es keinen Irrtum gibt, das Reich steht höher: das Unorganische als die individualitätslose Geistigkeit. — Die „tote“ Welt: ewig bewegt und ohne Irrtum, Kraft gegen Kraft! Und in der empfindenden Welt alles falsch, dünkelhaft! Es ist ein *Fest*, aus dieser Welt in die „tote Welt“ überzugehen. — Vom Leben erlöst zu sein und wieder tote Natur werden, kann als *Fest* empfunden werden — vom Sterbenwollenden. Die Natur lieben! Das Tote wieder verehren! Es ist nicht der Gegensatz, sondern der Mutterschoß, die Regel, welche mehr Sinn hat als die Ausnahme: denn Unvernunft und Schmerz sind bloß bei der sogenannten zweckmäßigen Welt, im Lebendigen. —

Das wäre der höchste Glanz auf dem *Tode*, daß er uns *weiterführt* in die andere Welt und daß wir *Lust* haben an allem *Werdenden* und darum auch an unserem *Vergehen*! „Für den Weisen verwandelt sich die Natur in ein ungeheures Versprechen“ (Emerson). Nun, du selber bist Natur und versprichst mit ihr das Ungeheure und hütest dich wohl, dein eigenes Geheimnis auszukundschaften!

Die „Seele“, das „Ich“ als Urtatsache gesetzt, und überall hineingelegt, wo es ein *Werden* gibt. — Die Natur ist nichts so Harmloses, daß man sich ihr ohne Schaudern übergeben könnte. — Darin, daß die Welt ein göttliches Spiel sei und jenseits von Gut und Böse, — habe ich die Vedanta-Philosophie und Heraklit zum Vorgänger.

Wie? Wollen wir uns wirklich dergestalt das Dasein zu einer Rechenknechts-Übung und Stubenhockerei für Mathematiker herabwürdigen lassen? Man soll es vor allem nicht seines *vieldeutigen* Charakters entkleiden wollen: das erfordert der *gute* Geschmack, meine Herren, der Geschmack der Ehrfurcht vor allem, was über euren Horizont geht! — Was wäre wohl an einer Musik begriffen, wenn alles, was an ihr berechenbar ist und in Formeln „abgekürzt“ werden kann, berechnet wäre? — Wohl ist es möglich, daß das *Schema* von allem erkannt werde.

Wir verehren, wo wir nicht begreifen. — Unbescheidenheit des Menschen — wo er den Sinn nicht sieht, ihn zu *leugnen*.

Und wißt ihr auch, was mir „die Welt“ ist? Soll ich sie euch in meinem Spiegel zeigen? Die Welt: ein Ungeheuer

von Kraft, ohne Anfang, ohne Ende, eine feste, eherner Größe von Kraft, welche nicht größer, nicht kleiner wird, die sich nicht verbraucht, sondern nur verwandelt, als Ganzes unveränderlich groß, ein Haushalt ohne Ausgaben und Einbußen, aber ebenso ohne Zuwachs, ohne Einnahmen, vom „Nichts“ umschlossen als von seiner Grenze, nichts Verschwimmendes, Verschwendetes, nichts Unendlich-Ausgedehntes, sondern als bestimmte Kraft einem bestimmten Raum eingelegt, und nicht einem Raume, der irgendwo „leer“ wäre, vielmehr als *Kraft* überall, als Spiel von Kräften und Kraftwellen zugleich eins und vieles, hier sich häufend und zugleich dort sich mindernd, ein Meer in sich selber stürmender und flutender Kräfte, ewig sich wandelnd, ewig zurücklaufend mit ungeheuren Jahren der Wiederkehr mit einer Ebbe und Flut seiner Gestaltungen, aus den einfachsten in die vielfältigsten hinaustreibend, aus dem Stillsten, Starrsten, Kältesten hinaus in das Glühendste, Wildeste, Sich-selber-Widersprechendste, und dann wieder aus der Fülle heimkehrend zum Einfachen, aus dem Spiel der Widersprüche zurück bis zur Lust des Einklanges, sich selber bejahend noch in dieser Gleichheit seiner Bahnen und Jahre, sich selber segnend als das, was ewig wiederkommen muß, als ein Werden, das kein Sattwerden, keinen Überdruß, keine Müdigkeit kennt: — diese meine *dionysische Welt* des Ewig-sich-selber-Schaffens, des Ewig-sich-selber-Zerstörens, diese Geheimnis-Welt der doppelten Wollüste, dies mein „Jenseits von Gut und Böse“, ohne Ziel, wenn nicht im Glück des Kreises ein Ziel liegt, ohne Willen, wenn nicht ein Ring zu sichselber guten Willen hat, — wollt ihr einen *Namen* für diese Welt? Eine *Lösung* für alle ihre Rätsel? Ein *Licht* auch für euch, ihr Verborgenen, Stärksten, Unerschrockensten, Mitternächlichsten. — *Diese Welt ist der Wille zur Macht und nichts außerdem!* Und auch ihr selber seid dieser Wille zur Macht — und nichts außerdem!

„Gott“ als Kulminations-Moment: das Dasein eine ewige Vergottung und Entgottung. — Religion — wesentlich eine Frage der *Rangordnung*, sogar Versuch einer *kosmischen* Rang- und Machtordnung. — Die *Widerlegung* Gottes: — eigentlich ist nur der *moralische* Gott widerlegt. — Nur *Dein* Auge, ungeheuer blickt mich's an, Unendlichkeit! —

Inwiefern auch wir noch fromm sind. Formel der *höchsten* Bejahung (...) das Jasagen zur Realität. — Übrigens bin ich von einer fatalistischen Gottergebenheit — ich nenne es *amor fati* — daß ich einem Löwen in den Rachen laufen würde (an Overbeck 1882). (Siehe auch S. 733—734).

Ironie gegen die, welche das Christentum durch die moderne Naturwissenschaft überwunden glauben. Die christlichen Werturteile sind damit absolut nicht überwunden. „Christus am Kreuz“ ist das erhabenste Symbol immer noch. — Die Fortdauer der christlichen Ideale gehört zu den wünschenswertesten Dingen, die es gibt (nur ihre Tyrannei soll aufhören). — Alles Christliche durch ein Überchristliches überwinden und nicht nur von sich abtun! —

Schlußwort

Von Döbereiner und Berzelius bis zur Beschäftigung mit Robert Mayer, Schopenhauer, Nietzsche: ein weiter Weg, dem aber der Wegweiser schon in meinen Leipziger Jahren gegeben wurde, als gleichzeitig die zwei Namen Wilhelm Ostwald und Wilhelm Wundt über meinem Studium als Sterne leuchteten.

Wenn ich die Hoffnung hege, daß die im vorliegenden Buche zusammengestellten Aufsätze aus drei Jahrzehnten für die Zukunft einige Bedeutung behalten können, so sind es folgende Erwägungen, welche mir jene Zuversicht geben:

Erstens: Die Bändigung des atmosphärischen Stickstoffs, und zwar in Form der katalytischen Ammoniaksynthese, die ich als erster Mitarbeiter von Carl Bosch mitbegründen konnte, wird ihre praktische Bedeutung behalten, solange Felder und Gärten mit künstlichem Stickstoffdünger versorgt werden müssen.

Zweitens: Meine katalytischen Arbeiten sind eingegliedert in eine bedeutsame Epoche, da eine Beschäftigung mit Katalyse für den Chemiker, den Techniker und den Physiologen von einer Sache gelegentlicher Beachtung zu einer Grundforderung für sein Tun geworden ist.

Drittens: Der so lange als geheimnisvoll zauberisch anmutende katalytische Gedanke hat durch seine Entzauberung in dem Zeitalter wissenschaftlicher Reaktionskinetik seine besondere Anziehungskraft nicht verloren, an kultureller Bedeutung hat er sogar noch dadurch gewonnen, daß durch seine Einfügung in Robert Mayers Auslösungsbegriff wertvolle Ausblicke möglich werden auf die kausalen Zusammenhänge, die für alle unsere Erlebnisse und unsere Betätigungen bestehen.

Von der hiermit gegebenen Möglichkeit einer Verfolgung von Berzelius' „Katalyse“ bis in naturphilosophische und wissenschaftsgeschichtliche Gedankengänge nach Kräften

Gebrauch zu machen, bin ich bemüht gewesen, und hierüber eine Art zusammenfassenden Rechenschaftsbericht abzulegen, wurde mir durch ein dankenswertes Entgegenkommen des Ebner-Verlages ermöglicht.

Möge sie bewahrheiten, was mir 1943 der verdienstvolle Cusanus-Forscher Ernst Hoffmann geschrieben hat: „Wen Sie einmal für den katalytischen Gedanken gewonnen haben, der kommt nicht wieder davon los“!

Abgeschlossen September 1947.

A. M.

Autobibliographie

Vorbemerkung

Die Anordnung der Schriften ist chronologisch mit einer Unterteilung in

I. Aufsätze in Zeitschriften, Jahrbüchern u. dgl.

II. Referate fremder Arbeiten

III. Bücher

Anhang: Besprechungen von Mittasch-Schriften.

In Fällen von Gemeinschaftsarbeit sind die betreffenden Mitarbeiter angeführt. Die ersten Aufsätze (1—6) stammen aus Studien- und Assistentenjahren, Nr. 7 aus der Zeit der Tätigkeit in dem Central-Laboratorium der A.-G. für Bergbau, Blei- und Zinkfabrikation in Stolberg (Rheinland). Es schließen sich an: Arbeiten aus der Chemiker-Tätigkeit in der Badischen Anilin- und Sodafabrik (später I. G. Farbenindustrie A.-G.), Ludwigs-hafen a. Rh. Vom Jahre 1934 an folgen Schriften, die im Ruhestande verfaßt wurden.

Sachlich gruppieren sich die Abhandlungen und Bücher in folgende Abteilungen:

1. Experimentelle Berichte über chemische, insbesondere katalytische Arbeiten, vor allem hinsichtlich der Ammoniakkatalyse;
2. Abhandlungen zur Geschichte und Theorie der Katalyse im allgemeinen;
3. Naturphilosophische Arbeiten;
4. Schriften sonstiger Art (Gelegenheitsschriften, Aufsätze religiösen Inhaltes u. a. m.).

Ungedruckte Niederschriften, welche im Archiv der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik, Werk Oppau, niedergelegt waren, vermögen einigermaßen die Lücke zwischen 1905 und 1925 auszufüllen. (Es handelt sich vor allem um Arbeiten über Stickstoffbindung und Verwertung der Produkte als Düngemittel, sowie über verschiedene Katalysen. Hierzu kommen eine Anzahl Patentschriften.)

1. Aufsätze in Zeitschriften, Jahrbüchern u. dgl.

1. Über die chemische Dynamik des Nickelkohlenoxyds. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktor-Würde. Wilh. Engelmann, Leipzig, 1902. Wörtlich abgedruckt in Zeitschr. Phys. Ch. 40, 1—88 (1902).
2. Notiz über die Giftwirkung von Nickelkohlenoxyd. Arch. Experiment. Pathol. Pharmak. 49, 367—368 (1903).
3. Einige Beobachtungen über Lösungsvermögen und elektrische Leitfähigkeit von flüssigem Nickelkohlenoxyd. Zeitschr. Phys. Ch. 46, 37—42 (1903).
4. Notiz über eine mögliche Darstellungsweise einfacher organischer Schwefelverbindungen. Journ. prakt. Chem. 68, 103 bis 104 (1903).
5. Über die Genauigkeit der Acetatmethode bei der Trennung von Eisen und Mangan. Zeitschr. Analyt. Ch. 42, 492—509 (1903).

6. Ein Apparat zur Aufzeichnung mit Gasentwicklung verbundener chemischer Vorgänge und seine Anwendbarkeit für das Studium der allmählichen Zersetzung von Nitrozellulose. *Zeitschr. f. Angew. Ch.* **16**, 929—939 (1903).
 7. H. Nissenson und A. Mittasch: Volumetrische Bestimmung von Arsen und Antimon in Nickelspeise. *Chem. Ztg.* **28**, 184—185 (1904).
 8. Bemerkung zu der Arbeit von C. L. Jungius: „Theoretische Betrachtung über Reaktionen, welche in zwei oder mehreren aufeinanderfolgenden Phasen verlaufen“. *Zeitschr. Phys. Ch.* **50**, 613 (1905).
 9. Der gegenwärtige Stand der Industrie des synthetischen Ammoniaks. Vortrag auf der Tagung „Technik und Schule“ der Staatl. Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Düsseldorf, 7. März 1925. *Naturwiss. Monatshefte*, **22**, (Neue Folge V), 205—224 (1925).
 10. Zur Geschichte der Methanolsynthese (Veröff. unter dem Namen der I. G. Farbenindustrie). *Chem. Ztg.* **1925**, 463. sowie *Angew. Chemie* **40**, 166 (1927).
 11. Mittasch, A. und Kuss, E. Vorsicht beim Arbeiten mit Kältebädern! *Chem. Ztg.* **50**, 125 (1926).
 12. Mittasch, A., Kuss, E. und Schlueter, H. Dichten und Dampfdrucke von wässrigen Ammoniaklösungen und von flüssigem Stickstoffdioxid für das Temperaturgebiet 0 Grad bis 60 Grad. *Ztschr. anorg. allgem. Chemie* **159**, 1—36 (1926).
 13. Bemerkungen zur Katalyse. Vortrag, gehalten vor der Deutschen Chemischen Gesellschaft am 21. Oktober 1925. *Chem. Ber.* **59**, 13—36 (1926).
 14. Eröffnungsansprache (als Vorsitzender) bei der 32. Hauptversammlung der Bunsen-Gesellschaft in Dresden am 27. Mai 1927. *Zeitschr. Elektroch.* **33**, 313 (1927).
 15. Ansprache beim Besuch des Liebig-Museums in Gießen am 8. Juli 1928 anlässlich der Liebig-Wöhler-Feier. *Zeitschr. für angewandte Chemie* **41**, 931 (1928).
 16. Eröffnungsansprache bei der 33. Hauptversammlung der Bunsen-Gesellschaft in München am 18. Mai 1928. *Zeitschr. Elektroch.* **34**, 421 (1928).
 17. Über Eisencarbonyl und Carbonyleisen. Vorgetragen auf der 1. Allgemeinen Sitzung der 41. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Chemiker am 31. Mai 1928 zu Dresden. *Zeitschr. f. Angew. Chemie* **41**, 827—833 (1928). Auto-Referat in *Forsch. u. Fortschr.* **4**, 206 (1928).
 18. Über Misch- und Volldünger. Vorgetragen in der Fachgruppe für Landwirtschaftschemie auf der 41. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Chemiker am 1. Juni 1928 in Dresden. *Zeitschr. f. Angew. Chemie* **41**, 902—916 (1928)*
 19. Mittasch, A. und Kuss, E. Über die Ammoniaksynthese mit Katalysatoren, die aus komplexen Cyaniden des Eisens entstehen. *Z. Elektrochem.* **34**, 159—170 (1928).
 20. Mittasch, A., Kuss, E. und Emert, O. Über die thermische Zersetzung von komplexen Eisencyaniden mit Rücksicht auf die katalytische Ammoniaksynthese. *Ztschr. anorg. allgem. Chemie* **170**, 193—212 (1928).
 21. Mittasch, A., Kuss, E. und Emert, O. Zur Ammoniakzerersetzung an Eisen. Ein Beitrag zur Kenntnis der Ammoniak-katalyse mit Eisen. *Z. Elektrochem.* **34**, 829—840 (1928).
 22. Mittasch, Alwin und Frankenburger, Walter. Über die Reaktionsfähigkeit von dampfförmigem Eisen gegenüber molekularem Stickstoff. Ein Beitrag zur Frage der Stickstoffbindung an Eisen. *Z. Phys. Chem., Abt. A, (Haber-Band)*, **139**, 386—396 (1928).
 23. Mittasch, Alwin und Frankenburger, Walter. Zur geschichtlichen Entwicklung und zur Theorie der Ammoniak-katalyse. *Z. Elektrochem.* **35**, 920—927 (1929).
- Übersetzung: The Historical Development and Theory of Ammonia Synthesis. *Journ. of Chemical Education*, **6**, 2097 bis 2103 (1929).
24. Aktivator, Promotor oder Verstärker? Zur Nomenklatur katalytischer Erscheinungen. *Zeitschr. Elektroch.* **35**, 96 (1929).
 25. Ansprache an den Reichsrat bei der Besichtigung des Werkes Oppau der I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft am 28. September 1929. Als Manuskript gedruckt in der I. G. Werkdruckerei Lu (1928)*.
 26. Einiges über Mehrstoffkatalysatoren. Vortrag auf der Tagung der Deutschen Bunsengesellschaft Heidelberg am 29. Mai 1930. *Zeitschr. Elektroch.* **36**, 569—580 (1930).
 27. Carl Bosch. (Aus Anlaß der Verleihung des Nobel-Preises an Carl Bosch). *Chem. Ztg.* **55**, 953—955 (1931).
 28. Mittasch, A. und Keunecke, E. Über binäre Molybdän-Mischkatalysatoren bei der Ammoniaksynthese. *Z. phys. Ch. Bodenstein-Festband*, **1931**, S. 574—582.
 29. Mittasch, A. und Keunecke, E. Über die Aktivierung von Eisen durch Aluminiumoxyd bei der Ammoniak-Katalyse. *Z. f. Elektrochem.* **38**, 666—669 (1932).
 30. The Award of the Nobel Prize in Chemistry to Dr. Carl Bosch and Dr. Friedrich Bergius. *The Scientific Monthly* **34**, 278—283 (1932).
 31. Die Bedeutung des Stickstoffs für Tier und Pflanze. *Wissen und Fortschritt* **1933**, 117—120. (Unter dem Namen des Mitarbeiters H. Weitzel veröffentlicht).

* Auch als besondere Schrift erschienen. Verlag Chemie Berlin 1928. 47 Seiten.

* Sachlich betrifft diese Ansprache hauptsächlich die Bedeutung des neuen Verfahrens der B. A. S. F. zur synthetischen Herstellung von Ammoniak. Siehe auch Nr. 9 und 93.

32. Über die Entwicklung der Theorie der Katalyse im neunzehnten Jahrhundert. Nach einem am 16. Juli 1933 im Naturhistorisch-Medizinischen Verein in Heidelberg gehaltenen Vortrag. *Naturwissenschaften* 21, 729—732 und 745—749 (1933).
33. Über die katalytische „Duftlampe“ von J. W. Döbereiner. *Chem. Ztg.* 57, 2—3 (1933).
34. Chemie und Landwirtschaft. *Chem. Ztg.* 58, 13 (1934).
35. Der akademische Schollenberater eine Utopie? (Zur Frage eines Landwirt-Chemikers für die landwirtschaftlichen Gemeinden). *Angew. Ch.* 47, Nr. 35. Beilage „Beruf und Stand“. S. 78—82 (1934).
36. Fritz Haber zum Gedächtnis. *Werkzeitung der I. G. Farbenindustrie A.-G. Werk Badische Anilin- und Sodafabrik. Ludwigshafen a. Rh.*, 22, 18—19 (Februar 1934).
37. Die Katalyse in der angewandten Chemie. I. Allgemeines vom Werden und Wachsen der technischen Katalyse. *Chem. Ztg.* 58, 305—308 (1934).
38. Berzelius und die Katalyse. Zum Gedächtnis der Aufstellung des Katalyse-Begriffes 1835. In „Chemische Novitäten“, Bibliographie der neuerschienenen internationalen Literatur der reinen und angewandten Chemie und der chemischen Technologie. Gustav Fock. Heft 4/5, 169—191 (Okt. 1935).
Übersetzung: in *Svensk. Kem. Tidskrift*, XLVII, 83 ff (1935).
39. Über katalytische Verursachung im physiologischen Geschehen. (Auch ein Berzelius-Gedenken). *Naturwissenschaften* 23, 361—369 und 377—383 (1935).
40. Über Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie. Vortrag auf der 94. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Dresden, 23. September 1936. *Naturwissenschaften* 24, 770—777 und 785—790 (1936). Auch in *Verhandlungsberichten dieser Versammlung. Autoreferate in: Chem. Ztg.* 60, 822 (1936). *Angew. Ch.* 49, 748 (1936).
41. Katalyse und Biologie. *Forsch. und Fortschritte. Nachrichtenbl. d. deutschen Wissenschaft und Technik.* 12, 34 bis 36 (1936).
In Übersetzung: *Catalysis and Biology. Research and Progress. Quarterly Review of German Science* Vol. II, No. 2, 101—105 (Terramare Office, Berlin), April 1936.
42. Über Autokatalyse in Chemie und Biologie. *Chem. Ztg.* 60, 793—194 (1936).
43. Katalyse und Lebenskraft. Ein Beitrag zu „Chemie und Biologie“. *Die Umschau* 40, 733—737 (1936).
44. Über Ganzheit in der Chemie. *Angew. Ch.* 49, 417—424 (1936).

* Auch als besondere Schrift herausgegeben. Akadem. Verlagsgesellschaft Leipzig, 23 Seiten.

45. Über Fiktionen in der Chemie. *Angew. Chem.* 50, 423—434 (1937).
46. En Hyllning Till Berzelius' Minne. Katalysens begrepp har enorm vikt. (Mit kurzer biograph. Notiz über A. M.) *Svenska Dagbladet*, 27. Jan. 1937. Auch in *Olösta Gator Aktuella Problem*, herausgegeben von Svenska Dagbladet (Ergebnisse einer naturwissenschaftlichen Rundfrage). Stockholm 1937. S. 183—186.
47. Über Kausalitäts-Rangordnung, Forschungen und Fortschritte, 14, 16—17 (1938).
In Übersetzung: *The Gradation of Causality in Nature. Research and Progress* Vol. IV, Nr. 5, 237—242 (1938).
48. Was ist Ganzheitskausalität? *Acta Biotheoretica, Series A.* Vol. IV, Pars I, S. 73—84; Leiden, E. J. Brill, 1938.
49. Zur Geschichte der Schönbeinschen Reaktion $N_2 + 2 H_2O \rightarrow NH_4NO_2$. *Chemiker-Zeitung* 62, 168—169 (1938).
50. Kausalismus und Dynamismus, nicht Mechanismus! Forschungen und Fortschritte, 14, 127—128 (1938).
51. Bemerkungen über Anstoß- und Erhaltungskausalität in der Natur. *Naturwissenschaften* 26, 177—183 (1938).
52. Katalyse und Determinismus. *Ergebnisse der Enzymforschung*, 7, 377—417 (1938). Siehe auch Nr. 91.
53. Auslösungskausalität: ein vergessenes Kapitel Robert Mayer? *Die Umschau*, 43, 1114—1116 (1939).
54. Schopenhauer und die Chemie. Vortrag vor der Heidelberger Akademie der Wissenschaften am 7. Dezember 1938. *26 Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. für 1939.* Seite 81—168*
55. Arthur Schopenhauers Stellung zur Chemie seiner Zeit. *Forschungen und Fortschritte* 15, 167—170 (1939).
56. Carl Bosch zum Gedächtnis. *Ztschr. f. Elektroch.* 46 (1940) 333—335.
57. Robert Mayers Begriff der Naturkausalität, mit Beziehung auf Arthur Schopenhauers Kausallehre. *Die Naturwissenschaften* 28, 193—196 (1940).
58. Robert Mayer und die Katalyse. *Chem. Ztg.* 64 38—40 (1940).
59. Robert Mayers Lehre über das Wirken in der Natur. *Forschungen und Fortschritte* 16, 178—180 (1940).
60. Julius Robert Mayers Stellung zur Chemie. *Angew. Chemie* 53, 113—118 (1940).*
61. Was hat Robert Mayers Kausallehre dem Juristen zu bieten? *Archiv für Rechts- und Sozial-Philosophie*, 33, 236—249 (1940). (Mit einem Nachwort von Karl Engisch).
62. Einhundert Jahre Energetik. *Kraftstoff* 16, 267—271 (1940).

* Auch als besondere Schrift erschienen. Verlag Winter Heidelberg 1940.

* Mit Anhang versehen als besondere Schrift. Verlag Chemie Berlin 1940.

63. Philosophisches in der Katalyse. Katalytisches in der Philosophie. Zeitschrift für physikalische Chemie (A) 189, 44 bis 62 (1941) (Bodenstein-Festschrift).
64. Gedanken über das Wirken in der Natur. Vortrag im Botanischen Kolloquium der Universität Heidelberg am 1. 12. 1938. 28. Jahrb. d. Schop.-Ges. f. 1941, 70—133.
65. Über Begriff und Wesen der Katalyse. Handbuch der Katalyse, herausgegeben von G.-M. Schwab, 1. Band S. 1—51. Julius Springer, Wien 1941.
66. Selbstauslösung, Selbstregelung, Selbstbestimmung. Die Tatwelt 18, 7—15 (1942).
67. Der Kraft-Begriff bei Leibniz, Robert Mayer, Nietzsche. Proteus, Band 3, Teil 3, S. 69—76 (1942) Rheinische Gesellschaft für Geschichte der Naturwissenschaft, Medizin und Technik (Jul. Rob. Mayer-Heft).
68. Bedeutsame Aussprüche von Julius Robert Mayer. Kölnische Zeitung Nr. 351, 13. Juli 1942.
69. Friedrich Nietzsches Verhältnis zu Robert Mayer. Blätter für Deutsche Philosophie 16, 139—161 (1942).
70. Über Robert Mayers Beziehungen zu Chemikern. Chem. Ztg. 66, 4—6 (1942).
71. Was vermag Robert Mayers Wirklehre dem Biologen zu bieten? I. Das Kausalproblem in der Biologie. Der Nervenarzt 15, 1—12 (1942). (Anschließend Armin Müller II. Das Kausalproblem in der Neurologie. S. 13—19).
72. Die Persönlichkeit Robert Mayers. Zum Hundertjährigen Jubiläum des Satzes von der Erhaltung der Energie. Deutsche Allgemeine Zeitung Nr. 498—499 v. 18. Okt. 1942.
73. Wesentliches und Abseitiges zur Geschichte der „katalytischen Kraft“. Die Chemie (Angew. Chemie, Neue Folge) 55, 375/376 (1942).
74. I. J. R. Mayers Begriff der Auslösung in seiner Bedeutung für die Chemie.
75. II. J. R. Mayers Anschauungen über das Leib-Seele-Verhältnis. Beides in Robert Mayer und das Energie-Prinzip 1842—1942. Gedenkschrift zur 100. Wiederkehr der Entdeckung des Energie-Prinzips. S. 281—294, 329—357. VDI-Verlag, Berlin 1942.
76. Aus der Entwicklungsgeschichte der Carbonylmetalle. Kolloid-Zeitschrift 104, 139—141 (1943).
77. Über die Reichweite des Auslösungsbegriffes. Blätter für Deutsche Philosophie 17, 298—323 (1943).
78. Naturforschergedanken über Unsterblichkeit. 31. Jahrbuch der Schopenhauer-Gesellschaft, S. 48—79 (1944).*

* Auch als besondere Schrift erschienen. Verlag Winter Heidelberg 1944. 2. erweit. Aufl. 1947.

79. Friedrich Nietzsches Beschäftigung mit der Naturwissenschaft und der Naturphilosophie seines Jahrhunderts. Zum Gedenken an Nietzsches hundertjährigen Geburtstag am 15. Okt. 1944. Forschungen und Fortschritte 20, 226—228 (1944).
80. Julius Robert Mayers Leben und Werk. Universitas 2 (1947) 167—173; 305—312.
81. Die Bedeutung der Biokatalyse. Universitas 2 (1947) Oktoberheft.
82. Letzte Worte über Ursache und Kraft. 32. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. 1947, S. 91.

II. Referate

83. J. P. Arend, Die wirkliche Mechanik des Geschehens im Lebenden und im Toten. Zürich und Leipzig 1941. Angew. Chemie 54, 504 (1941).
84. B. Bavink, Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften. 6. Aufl. Leipzig 1940. Angew. Chemie 54, 204 (1941).
85. Wilhelm Troll, Gestalt und Urbild. Gesammelte Aufsätze zu Grundfragen der organischen Morphologie. Leipzig 1941. Ztschr. f. physik. Ch. (A) 190, 61—62 (1941).
86. Carl Christoph Beringer, Das Werden des erdgeschichtlichen Weltbildes. Stuttgart 1939. Die Tatwelt. 18, 170 (1941).
87. Karl Jaspers, Nietzsche und das Christentum. Hameln 1946. Universitas 2, 985 (1947).

III. Bücher*

88. Alwin Mittasch und Erich Theis. Von Davy und Döbereiner bis Deacon. Ein halbes Jahrhundert Grenzflächenkatalyse. Verlag Chemie Berlin 1932. 279 Seiten.
89. Über katalytische Verursachung im biologischen Geschehen. Julius Springer Berlin 1935 (Erweiterung von Nr. 39). X. 126 Seiten.
90. Über Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie. Julius Springer, Berlin 1936. VIII. 65 Seiten (Erweiterung von Nr. 40).
91. Katalyse und Determinismus. Ein Beitrag zur Philosophie der Chemie. Mit 10 Abbildungen. (Die ersten drei Kapitel in „Ergebnisse der Enzymforschung“, Band VII.; s. Nr. 53). Julius Springer Berlin 1938. IX. 203 Seiten.
92. Kurze Geschichte der Katalyse in Praxis und Theorie. Julius Springer Berlin 1939. VIII. 139 Seiten.
93. Julius Robert Mayers Kausalbegriff. Seine geschichtliche Stellung, Auswirkung und Bedeutung. Ausweitung eines Vortrages vor der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Dezember 1939. Julius Springer, Berlin 1940. VII. 297 Seiten.

* Als besondere Schrift erschienen auch Nr. 18, 38, 55, 61, 81.

94. Der Stickstoff als Lebensfrage. Ein Überblick. Deutsches Museum, Abhandlungen u. Berichte. 13. Jahrg., Heft 1, 1941. V.D.I.-Verlag Berlin. IV. 34 Seiten.
95. Kraft - Leben - Geist. Eine Lese aus Robert Mayers Schriften. Festausgabe zur Erinnerung an die Hundertjahrfeier zur Entdeckung des Energiegesetzes durch Julius Robert Mayer. Herausgeber im Namen der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinisch Deutschen Akademie der Naturforscher und mit Geleitwort versehen von Emil Abderhalden, Präsident der Deutschen Akademie der Naturforscher. Halle (Saale) 1942. VII. 51 Seiten.
96. J. R. Mayer. Erstes und Letztes (Kraft ist alles). Keiper Berlin 1942. 160 Seiten.
97. Friedrich Nietzsches Stellung zur Chemie. Verlag Chemie Berlin 1944. 41 Seiten.
98. Lebensproblem und Katalyse. Ebner-Verlag Ulm 1947.
99. Von der Chemie zur Philosophie. Ebner-Verlag Ulm 1948.

ANHANG

Besprechungen bestimmter Schriften von Mittasch sowie zusammenfassende Darstellungen hierüber. Von den mir bekannt gewordenen Besprechungen werden die ausführlicheren angeführt.

- Zu Nr. 1 (Dissertation).** Lobende Erwähnung durch James Dewar: „admirable and exhaustive“; in Proc. Roy. Soc. 71, 427 (1903). Siehe auch Außenwinkler in Österr. Chem. Ztg. 1902, S. 290.
- Zu Nr. 18 (Misch- und Volldünger); zu Nr. 38 (Berzelius und die Katalyse).** Für beide Schriften aus der Berufszeit sind die seinerzeit eingegangenen Besprechungen nicht mehr greifbar.

Zu Nr. 87 (Von Davy und Döbereiner bis Deacon).

- Angew. Chemie 1932, 622. E. Pietsch.
- Allgem. Automobilzeitung 1932, Nr. 27. Wa. Ostwald.
- Chemiker-Zeitung 56, 396 (1932). P. Walden. Beilage „Chem.-Techn. Übersicht“ 1932, 157. M. Speter.
- Chem. Apparatur 20, 40 (1933). G. Bugge.
- Die Chem. Fabrik 1932, 417. W. Biltz.
- Feuerungstechnik 20, 94 (1932). Wa. Ostwald.
- Mitteil. z. Gesch. d. Medizin u. d. Naturwissenschaft 31, 272 (1933) Zaunick.
- Die Naturwissenschaften 20, 828 (1932). Cassel.
- Nitrocellulose 1932, Heft 7.
- Scientia 1933, Aprilheft.
- Techn. Blätter 1936, Heft 34.
- Ztschr. f. physik. Ch. (A) 167, Heft 5/6 (1932) Bodenstein.
- Ztschr. f. Elektroch. 1933, Heft 1. G. Bredig.
- Ztschr. f. phys. und chem. Unterricht 1932, Heft 5, Winderlich.
- Ztschr. f. analyt. Ch. 89, Heft 5/6.
- Ztschr. Ver. D. Ingen. 76. 1304 (1932) G. M. Schwab.

- Chem. Weekblad 1933, 572. Jorissen.
- Technik-Industrie und Schweiz. Chem.-Ztg. 1932, 120.
- Svensk Kemisk Tidskrift 44, 150 (1932).
- Lychnos 1939, 509. G. Hägg.
- Giornale di Chimica Industr. ed applicata 1933, 419. M. Strada.
- Anales de la Sociedad Española de Física y Química, 1932. Nr. 294. E. Moles.
- Russische Ztschr. f. Chem. Industrie 1933, 83.
- Eine japan. chemische Zeitschrift.
- Archeion 14, 320 (1932) Mieli.
- Chimie et Industrie 28, Heft 3 (1932).
- Current Science 1933, 294.
- Chemistry and Industry 1933, Nr. 18. Maxted.
- Journ. Americ. Chem. Soc. 52, 3016 (1932) Lamb.
- The Journ. Phys. Chemistry 36, 2685 (1932) Rideal.
- Nature 1933, 4. Februar.
- Transact. Faraday Soc. 1933, Novemberheft.

Zu Nr. 88 (Katalytische Verursachung).

- Angew. Chemie 49, Heft 11 (1936). H. Rudy.
- Biolog. Centralblatt 1937, Heft 1/2. A. Kühn.
- Berichte über gesamte Biologie (A) 37, Heft 4/5. Bünning.
- Berichte über gesamte Biologie (B) 93, Heft 3/4. Süllmann.
- Chem. Ztg. 1937, Heft 1. Eichholtz.
- Centralbl. gesamte innere Medizin 84, Heft 11. Stöhr.
- Centralbl. allgem. Pathol. 65, Heft 2 (1936) Lauche.
- Deutsch. Archiv klin. Medizin 176, Heft 6. K. Thomas.
- Deutsche Allgem. Ztg. 5. Juli 1936. A. Kölsch.
- Hippokrates 1937, Heft 3. Kulenkampf.
- Hippokrates 1939, Heft 41. Achelis.
- Klin. Wochenschrift 1936, Heft 1/2. Butenandt.
- Köln. Ztg. 22. März 1936, Max Bense.
- Kolloid-Zeitschr. 80, Heft 3 (1936). Wolfgang Ostwald.
- Naturwissenschaften 1936, Heft 39. Lohmann.
- Natur und Kultur 1937, Heft 11.
- Der Naturforscher 1936, 93. Winderlich.
- Umschau 1936, Heft 22. Finkler.
- Unsere Welt 1935, Heft 10; 1936, Heft 4. Bavink.
- Ztschr. f. physik. Chemie (A) 177, Heft 3. Bodenstein.
- Ztschr. f. Elektroch. 1936, Heft 12. R. Fricke.
- Schweizer Medizin-Wochenschrift 1936, Heft 35. Edlbacher.
- Neue Züricher Ztg. 20. Jan. 1938. Kölsch.
- Chem. Weekblad 1936, 297 Kluyver.
- Rivista di Biologia 23. (1937) Polimanti.
- Revue Générale des Sciences pures et appliqués 1937, Nr. 13.
- L'Année Biologique 1936, Heft 5.
- Biological Abstracts Mai 1936.
- Journ. Physic. Chemistry Mai 1936. P. Haas.
- American Journal of Science 24. Juni 1936. Cce.
- Journ. Amer. Chem. Soc. 7. Juli 1936. Edsall.
- The American Chem. Soc. Juli 1936.

Zu Nr. 89 (Katalyse und Katalysatoren)

- Angew. Chemie 1937, Heft 28. A. Butenandt.
Ber. gesamte Biologie Abt. A 41., Heft 5/6. Bünning.
Biolog. Centralblatt 1937, Heft 5/6. K. Pirschle.
Berichte über die gesamte Medizin 97, Heft 7/8. Lendle.
Chem. Ztg. 1937. 180. Erbring.
Deutsch. Archiv f. klin. Medizin 180, Heft 2. Amandus Hahn.
Das Goetheanum 1937, Heft 31. G. Wachsmuth.
Aus der Heimat 50, 197 (1937).
Hippokrates 1937, Heft 10. Ernst Meyer.
Kongreßzentralbl. f. die ges. innere Medizin 89, Heft 1. R. Stöhr.
Koln. Ztg. 21. Febr. 1937. Metternich.
Klin. Wochenschrift 1937, Heft 16. Schütte.
Die Naturwissensch. 1937, Heft 32. G. M. Schwab.
Natur und Kultur 1937, Heft 2. J. E. Hofmann.
Die Umschau 1937, Heft 12. Loeser.
Zentralbl. f. allgem. Pathologie 72, Heft 4 (1939), Loeschcke.
Ztschr. f. Elektroch. 1937, Heft 6. R. Fricke.
Österr. Chem. Ztg. 1937, Nr. 1. Storfer.
Schweizer. medicin. Wochenschrift 1937, Heft 18. Edlbacher.
Chem. Weekblad. 1937, 131 A. J. Kluyver.
Revue Générale des Sciences pures et appliqués 1937, Heft 13.
L. Zivy.
Journal de Physiologie et de Pathologie générale 35. Heft 2
(1937). Fromageot.
Amer. Journ. of Science 9. März 1937. Coe.
The Quarterly Review of Biology 1937, Nr. 2.

Zu Nr. 90 (Katalyse und Determinismus)

- Archeion 1938. 145/146. E. von Lippmann.
Arzteblatt f. Berlin und Kurmark 1939, Heft 11. Hans Hartmann.
Angew. Chemie 51. 860 (1938). E. Pietsch.
Berichte über die gesamte Biologie Abt. A. 46. Heft 5/6. E. Bünning.
Bl. für Deutsche Philosophie 13, Heft 3. Ungerer.
D. Allgem. Ztg. 16. März 1938, Nr. 123/124. H. v. Schelling.
Deutsch. Archiv f. klin. Medizin 183, Heft 3. K. Felix.
Deutsche Ztschr. für die ges. gerichtliche Medizin 29, Heft 6.
Robert Müller.
26. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. 1939. Karl Wagner.
Kolloid-Zeitschrift 83, Heft 1. R. E. Liesegang.
Klin. Wochenschrift 1938, Heft 24. W. Heubner.
Naturwissenschaften 1939, Heft 28. W. Burkamp.
Natur und Kultur 1938, Heft 9.
Philosophisches Jahrbuch 52, Heft 2 (1939), E. Hartmann.
Scholastik 14, Heft 1 (1939). Junk.
Unsere Welt 30, Heft 5. B. Bavink.
Ztschr. für ges. Naturwiss. 1938, Heft 7. E. May.
Ztschr. für Elektroch. 1939, Heft 1. R. Fricke.
Ztschr. für physikal. Ch. 182 (A), Heft 3. Hans Driesch.
Österr. Chem. Ztg. 1938, Heft 21. A. Skrabal.
Schweizer. medicin. Wochenschrift 1938, Heft 48. S. Edlbacher.
Der Bund, Bern. 23. Mai 1938.

- Rivista di Filosofia 1939, Heft 4.
The Journal of Physical Chemistry 1938, S. 340.
Isis 29. 398. (1938). E. Färber.
Philosophical Review, Juli 1939. L. M. Hammond.
Philosophical Survey Juli 1938. S. 340.
The Quarterly Review of Biology 1938, Heft 3.
Philosophy Juli 1938. Heinemann.
Journ. of the American Chem. Society 8. Okt. 1938. L. J. Henderson.

Zu Nr. 91 (Kurze Geschichte der Katalyse)

- Archeion 22. 110 (1940). E. v. Lippmann.
Biolog. Centralbl. 1940, Heft 3/4. G. Hesse.
Botan. Centralbl. 33, Heft 5/6 (1939). Baertich.
Chem. Ztg. 1939, Heft 71. Fr. Krczil.
D. Archiv f. klin. Medizin 186, Heft 5/6. K. Felix.
Kolloid-Ztschr. 88, Heft 3. Liesegang.
Klin. Wochenschrift 1934, Heft 39. Lehnartz.
Mitteil. zur Gesch. der Medizin und der Naturwiss. 39, Heft 3/4
(1940). Zaunick.
Die Naturwissenschaften 1940, Heft 18. E. Pietsch.
Natur und Kultur 1939, Heft 11.
Aus der Natur 1940, Heft 10/11. R. Winderlich.
Die Umschau 1940, Heft 1. Jander.
Unsere Welt 1939, Heft 11/12. Bavink.
Ztschr. f. phys. und chem. Unterricht 1941, Heft 1. Manliers.
Ztschr. f. analyt. Chemie 118, Heft 3/4.
Ztschr. f. physik. Chemie (A) 185, Heft 2 (1939). Bodenstein.
Ztschr. f. Elektroch. 1940, Heft 6. R. Fricke.
Österr. Chem. Ztg. 42, Heft 21/22 (1933). H. Schmid.
Technik-Industrie und Schweizer Chem. Ztg. 1939, Heft 21/22.
Chemisch Weekblad 1940. 651. W. P. Jorissen.
Tidskrift för elementär matematik, fysik och kemi. Juni 1942.
Nordefeldt.
Svensk Kemisk Tidskrift 1939 Nr. 11.
Revue Internat. des Industries Agricoles 1942. 296.
The Quarterly Review of Biology März 1940.

Zu Nr. 55 und 91 (Schopenhauer und die Chemie)

- Ztschr. f. physik. Chemie 185, Heft 2. Bodenstein.
Ztschr. f. Elektroch. 1939, Heft 11. R. Fricke.
Züricher Zeitung 1939, S. 11.

Zu Nr. 62 (Robert Mayer und die Chemie)

- Physikal. Ztschr. 1941, Heft 7/8. L. Schiller.
Ztschr. f. Elektroch. 1941, Heft 4. R. Fricke.
Österr. Chem. Ztg. 1941, Heft 13/14. Schintlmeister.
Chem. Weekblad 39. 62 (1942). de Nie.

Zu Nr. 96 (Robert Mayer, Erstes und Letztes)

- Europäischer Wissenschaftsdienst 1943, Heft 5. S. 32. W. Dicken-
schein.
Deutsche Bergwerkszeitung 4. April 1943. Wa. Ostwald.
Deutsche Allgemeine Ztg. 7. Juni 1943. Willy Möbus.

Zu Nr. 94 (Der Stickstoff als Lebensfrage)

- Chem. Ztg. 1941, Heft 99/100.
Die Chemie 1942, Heft 17/18. Bugge.
Der Diplolandwirt 1942, Heft 10. Kraemer.
Der Düngermarkt 1941, Heft 12.
Deutsche Technik Januar 1942.
Internat. Agrarrundschau 1942, Januarheft.
Kraftstoff Dezember 1941. Wa. Ostwald.
Mitteil. zur Gesch. d. Medizin. der Naturwiss. und der Technik 1941/42, Heft 1/2. Zaunick.
Mitteil. für die Landwirtschaft 1942, Heft 3. Selke.
Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Pflanzenzucht 18, Heft 5. Klapp.
Ztschr. f. Elektroch. 1942, Heft 8. R. Fricke.

Nr. 92 (Robert Mayers Kausalbegriff)

- Angew. Chemie 1941, Heft 39/40. H. Schimank.
Blätter f. Deutsche Philos. 16, Heft 4 (194). Fr. Sauer.
Centralbl. f. Mathematik 23, Heft 9. C. F. v. Weizsäcker.
Chemiker-Ztg. 1940, Nr. 83/84. P. Walden.
Frankf. Ztg., 23. März 1941, Nr. 151. S. 6 Hedwig Conrad-Martius (Kausalität).
Geistige Arbeit 1940, Heft 23. Schaerffenberg.
28. Jahrb. d. Schopenhauer-Ges. S. 301 (1941). K. Wagner.
Kraftstoff 16, 366 (1940). H. G. Grimm.
Klin. Wochenschrift 1940, Heft 45. Mayer.
Kölnische Volkszeitung 23. Mai 1941. Carl Piel (Wandlung des Begriffes der Ursache).
Köln. Zeitung 30. Okt. 1940. C. Sasse.
Natur und Kultur 1940, Heft 10/11. C. Sasse. 1941, Heft 1. Süssenguth.
Naturwissenschaften 1941, S. 47. O. Schartau.
Physik. Ztschr. 1941, Heft 1. P. Jordan.
Philosoph. Jahrb. 1941, Heft 4.
Das Reich 1941, Nr. 19. H. Schüller (Grenzen der Kausalität).
Ztschr. f. Elektroch. 1941, Heft 5. R. Fricke.
Ztschr. f. techn. Physik 1941, Heft 12.
Österr. Chem. Ztg. 1942, Heft 5/6. L. Ebert.
Neue Züricher Ztg. 29. Dez. 1940. Eugen Hess.
Scientia Nov. 1940.
Nederlandsch Tijdschrift voor Natuurkunde 8, Heft 10. J. D. von der Waals jr.
Chem. Weekblad 38. 745 (1941). Kramers.
Rivista di Filosofia 1942, Heft 1.
Physis 1947. (Selbstanzeige.) Erscheint nächstens.
Zu den in den Jahrbüchern der Schopenhauer-Ges. veröffentlichten Arbeiten s. auch Baron Cay von Brockdorff. Ztschr. f. philos. Forsch. 1, 417 ff. (1947).

Zusammenfassendes:

- R. Rein, Katalyse und Katalysatoren, nach Vorträgen von Dr. Mittasch. Naturwiss. Monatshefte 28. 193. 208. (1931).

- E. Berl. Scientific and Technical Achievements 14, 528 (1937). (S. 529 über Mittasch: „the great specialist in the field of catalysis“).
Hermann Schüller, Stoff und Leben. Zur Philosophie der Katalyse. (Mit besonderer Berücksichtigung von Mittaschs Arbeiten). Die Chemische Industrie 1942, 4—7.
Willy Möbus, Dr. Alwin Mittasch, der Altmeister der Katalyse. Deutsche Allgemeine Zeitung, Auslandsausgabe. Beilage zu Nr. 366/367, den 2. August 1942*.)
H. Schüller: Der große Verstand des Leibes. (Zu Mittaschs Katalyse-Arbeiten). Das Reich 25. Juli 1943.

Manuskripte aus den letzten Jahren

1. Friedrich Nietzsche als Naturphilosoph (ca. 500 Seiten).
2. Friedrich Nietzsches Verhältnis zu den Naturwissenschaften; Vortrag vor der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (75 Seiten).
3. Wilhelm Ostwalds Auslösungslehre (163 Seiten).
4. Goethe, Döbereiner und die Katalyse (84 Seiten).
5. Friedrich Nietzsches naturphilosophischer Briefwechsel mit Peter Gast (44 Seiten).
6. Über Kausalität in der Chemie (20 Seiten).

* Vergl. auch die Aufsätze über A. Mittasch, welche anlässlich seines 60. und 70. Geburtstages in Fachzeitschriften erschienen sind; ferner Degener, Wer ist's?, sowie Reichshandbuch der Deutschen Gesellschaft Bd. II. S. 1256 (1931).

Inhalts-Übersicht

Vorwort des Herausgebers	5
Vorwort des Verfassers	8

Erster Teil:

DER KATALYTISCHE GEDANKE

Mein katalytischer Lebensweg	13
Bemerkungen zur Katalyse	18
Zur geschichtlichen Entwicklung und zur Theorie der Ammoniakkatalyse	49
Einiges über Mehrstoffkatalysatoren	67
Aktivator, Promotor oder Verstärker	92
Über die Entwicklung der Theorie der Katalyse im neunzehnten Jahrhundert	94
Über die katalytische „Duftlampe“ von J. W. Döbereiner	113
Die Katalyse in der angewandten Chemie	119
Berzelius und die Katalyse	133
Über katalytische Verursachung im physiologischen Geschehen	162
Katalyse und Biologie	196
Über Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie	202
Über Autokatalyse in Chemie und Biologie	235
Katalyse und Lebenskraft	241
Robert Mayer und die Katalyse	253
Philosophisches in der Katalyse, Katalytisches in der Philosophie	260
Wesentliches und Abseitiges zur Geschichte der katalytischen Kraft	279
Katalytische Kraft, Lebenskraft, Willenskraft	285
Die Bedeutung der Biokatalyse	293

Zweiter Teil:

ÜBER DAS WIRKEN IN DER NATUR

Über Ganzheit in der Chemie	301
Über Fiktionen in der Chemie	311
Bemerkungen über Anstoß- und Erhaltungs- kausalität in der Natur	345
Über Kausalitäts-Rangordnung	363
Was ist Ganzheitskausalität?	368
Kausalismus und Dynamismus, nicht Mechanismus	379
Auslösungskausalität: ein vergessenes Kapitel Robert Mayer?	386
Gedanken über das Wirken in der Natur	394
Selbstausslösung, Selbstregelung, Selbstbestimmung	453
J. R. Mayers Begriff der Auslösung in seiner Bedeu- tung für die Chemie	464
Über die Reichweite des Auslösungsbegriffes	478
Letzte Worte über Ursache und Kraft	503

Dritter Teil:

GESCHICHTLICHES ZU SCHOPENHAUER,
ROBERT MAYER, NIETZSCHE

Wie ich Robert Mayer erlebte	533
Robert Mayers Lehre über das Wirken in der Natur	539
Zur Vorgeschichte von Robert Mayers Auslösungs- begriff	546
Robert Mayers Begriff der Naturkausalität, mit Beziehung auf Arthur Schopenhauers Kausallehre	556
Arthur Schopenhauers Stellung zur Chemie seiner Zeit	565
Über Robert Mayers Beziehungen zu Chemikern	573
Die Persönlichkeit Robert Mayers	583

Was ist uns gegenwärtig Robert Mayer?	589
Was hat Robert Mayers Kausallehre dem Juristen zu bieten?	596
Was vermag Robert Mayers Wirklehre dem Biologen zu bieten?	612
Der Kraftbegriff bei Leibniz, Robert Mayer, Nietzsche	633
Robert Mayers Anschauungen über das Leib-Seele- Verhältnis	643
Julius Robert Mayers Leben und Werk	672
Friedrich Nietzsches Verhältnis zu Robert Mayer	692
Friedrich Nietzsches Beschäftigung mit der Natur- wissenschaft und der Naturphilosophie seines Jahrhunderts	719
Friedrich Nietzsche und Ralph Waldo Emerson	727
Nietzsche-Aussprüche über Leben und Natur, Welt und Gott	737
Schlußwort	745
Autobibliographie	747

Dr. phil. ALWIN MITTASCH, Dr. Ing. e. h.,
Dr. d. Landwirtschaft e. h., geboren am 27. De-
zember 1869 in Großdehsa in Sachsen, von
1904 bis 1933 Chemiker in der Badischen Anilin-
und Soda-Fabrik Ludwigshafen a. Rhein, lebt
seit 1934 in Heidelberg im Ruhestand.

HERMANN SCHÜLLER, wissenschaftlicher
Schriftsteller, geboren am 6. Mai 1893 in Sund-
hausen (Elsaß).