LOTHAR SCHÄFER

DIE QUANTENWIRKLICHKEIT UND DIE PHILOSOPHIA PERENNIS

Prof. Lothar Schäfer, geb. 1939 in Düsseldorf; 1962 Diplom-Chemiker, Universität München; 1965 Dr. rer.nat., Universität München; 1965–1967 NATO postdoctoral fellow, Universität Oslo, Norwegen; 1967–1968 Research Associate, Universität von Indiana, Bloomington (IN); 1968–1972 Assistant Prof., 1972–1975 Associate Prof., 1975–1989 Prof. für Physikalische Chemie, Universität Arkansas; seit 1989 Edgar Wertheim Prof. der Physikalischen Chemie, Universität Arkansas; rege Vortragstätigkeit in den USA, Argentinien, Belgien, in der Tschechischen Republik, in Kanada, Frankreich, Deutschland, Italien, Mexiko, Österreich und Portugal.

Forschungsgebiete: Physikalische Chemie, Elektronenbeugung, Angewandte Quantenchemie, Rechenchemie, Untersuchungen zur Philosophie der Quantentheorie.

Veröffentlichungen: In Search of Divine Reality – Science as a Source of Inspiration (1997), dt.: Versteckte Wirklichkeit. Wie uns die Quantenphysik zur Transzendenz führt (Stuttgart: Hirzel, 2004); über 250 Publikationen in referierten Fachzeitschriften und ca. 30 Beiträge in Büchern.

Einleitung

In diesem Aufsatz möchte ich beschreiben, wie die Philosophie der Quantenphysik als Ausdruck der *Philosophia Perennis* verstanden werden kann. Die *Quantenphysik* ist der Teil der Physik, der sich mit den kleinsten Einheiten der Materie beschäftigt, den Molekülen, Atomen und Elementarteilchen. Die Philosophia Perennis ist ein System ewiger Wahrheiten, die so tief und grundlegend sind, dass sie immer wieder mit denselben Botschaften im menschlichen Bewusstsein zum Vorschein kommen: in verschiedenen Zeitaltern, verschiedenen Kulturen, seit tausenden von Jahren und überall in der Welt.

Die spirituellen Lehrer Indiens haben den Begriff des Sanatana Dharma entdeckt, der als "Ewige Philosophie", "Alles durchdringende Wahrheit", oder "Ewiger Pfad" übersetzt werden kann¹; oder als "Ewige Weisheit", "Ewige Leh-

¹ Swami Jnaneshvara Bharati: http://www.swamij.com/sanatana-dharma-what-is.htm

re' und 'Globale Geistliche Tradition'². Der Begriff der Philosophia Perennis wurde im 16. Jahrhundert von Agostino Steuco, einem italienischen Humanisten, in das Europäische Denken eingeführt, und hat in der jüngsten Zeit reges Interesse gefunden.³

ALDOUS HUXLEY⁴ beschreibt Philosophia Perennis als "die Metaphysik, die eine Göttliche Wirklichkeit als wesentlich für die Welt der Dinge, der Leben und der Geister begreift; die Psychologie, die in der Seele etwas findet, das der Göttlichen Wirklichkeit ähnlich, oder sogar identisch ist; die Ethik, die den letztendlichen Sinn des Menschen im Wissen vom immanenten und transzendenten Grund allen Seins sieht". KEN WILBER hat die Philosophia Perennis als die wesentliche Lehre der Religionen aller Zeiten in sieben Thesen zusammengefasst:

"1. Der Geist existiert. 2. Der Geist wird in uns gefunden. 3. Die meisten von uns erkennen den Geist in ihrem Inneren aber nicht, weil wir in einer Welt der Sünde leben, der Abtrennung und Dualität – das heißt, wir leben in einem gefallenen und trügerischen Dasein. 4. Es gibt einen Weg aus dem gefallenen Zustand der Sünde und Illusion, es gibt einen Pfad zu unserer Befreiung. 5. Wenn wir diesem Pfad bis an sein Ende folgen, dann ist das Resultat eine Wiedergeburt und Erleuchtung, eine direkte Erfahrung des Geistes in uns, eine Befreiung im höchsten Grade, welche, 6. das Ende von Sünde und Leid anzeigt, und welche 7. in soziales Handeln einmündet, in Barmherzigkeit und Mitgefühl für alle empfindenden Lebewesen." 5

Das eigenartige Phänomen immer wiederkehrender, identischer Begriffe in verschiedenen Menschen und zu verschiedenen Zeiten kann als ein Zeichen dafür verstanden werden, dass der menschliche Geist von einer transempirischen Wirklichkeit instruiert werden kann, in der wir alle miteinander verbunden sind. Darin liegt der Unterschied zwischen Maschinen und biologischen Systemen, den der deutsche Informatiker Karl Goser so beschrieben hat:

"Maschinen können keine Informationen aus einer transzendenten Welt erfahren." 6

Im Hinduismus gibt es das Gleichnis von den zahllosen mit Wasser gefüllten Töpfen: wenn man sie in die Sonne stellt, dann ist die Sonne in jedem von

² G. FEUERSTEIN/S. KAK/D. FRAWLEY: The Search of the Cradle of Civilization (2001), S. 275, 276

³ H. Smith: Forgotten Truth (1992); A. Huxley: The Perennial Philosophy (1990); F. Visser: Ken Wilber (2003); J. Holman: The Return of the Perennial Philosophy (2008).

⁴ A. Huxley: The Perennial Philosophy, vii.

⁵ F. Visser: Ken Wilber, S. 50.

⁶ K. Goser: Persönliche Mitteilung (Sept. 2005); ders.: Von der Information zur Transzendenz. In: M. Rothgangel/U. Beuttler (Hg.): Glaube und Denken (2007), S. 177–196.

ihnen, obwohl es nur eine Sonne gibt. Da wird man an Hegels These erinnert, dass unser Denken letztendlich das Denken des Weltgeistes ist, der in uns ist und in uns denkt. Johannes Hirschberger über Hegel:

"Das Denken der Menschen, wo es Wahrheit ist und das Sein trifft, (ist) das Denken des Weltgeistes selbst, der die Dinge, indem er sie denkt, erschafft, wo darum Denken, Wahrheit und Sein zusammenfallen."⁷

Und in Hegels Phänomenologie des Geistes finden wir:

"Der Mensch weiß nur von Gott, insofern Gott im Menschen von sich selbst weiß; dieses Wissen ist das Selbstbewusstsein Gottes. Der Geist des Menschen, von Gott zu wissen, ist nur der Geist Gottes selbst."⁸

Wenn es der Weltgeist ist, der in uns denkt, dann können auch die Worte in unserem Mund – wie in Jeremia 1,9 – seine Worte sein.

In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts beschrieb Carl Gustav Jung Argumente für die Existenz eines Bereiches von nicht-empirischen Formen – die *Archetypen* – , die spontan in unserem Bewusstsein erscheinen und auf "unsere Phantasie, unsere Wahrnehmung und unser Denken" Einfluss nehmen können.⁹ Um lebensfähig zu sein und um dem Leben einen Sinn zu geben, müssen wir dauernd in das Reich dieser Formen greifen, das er das *kollektive Unbewusste* nannte, "ein psychisches System, von kollektivem, nicht-persönlichem Charakter" ¹⁰. In jedem Menschen kann man die Archetypen zu jeder Zeit und überall als eine Matrix von Potentialitäten angeborener Vorstellungen, Gedanken und Verhaltensweisen finden. Daraus folgt

"dass es nicht *eine* wesentliche Idee oder Anschauung gibt, die nicht historische Antezedentien besäße. Allen liegen in letzter Linie archetypische Urformen zugrunde, deren Anschaulichkeit in einer Zeit entstanden ist, wo das Bewusstsein noch nicht *dachte*, sondern *wahrnahm*. … Gedanke war wesentlich Offenbarung, nichts Erfundenes, sondern Aufgenötigtes oder durch seine unmittelbare Tatsächlichkeit Überzeugendes."¹¹

Westliche Wissenschaftler haben ihre "Entdeckungen" wohl nie in diesem Sinne verstanden, aber Jungs Prinzipien gelten auch für die Naturwissenschaften: im Grunde entdecken wir nur das in der Natur, was das Feld der Formen zuerst in die Natur und dann in unser Bewusstsein entlassen hat. Angesichts eines

⁷ J. Hirschberger: Geschichte der Philosophie 2 (1981), S. 411.

⁸ Ders., ebd., S. 419.

⁹ C. G. Jung: Die Archetypen und das Kollektive Unbewusste (2006), S. 57.

¹⁰ Ders., ebd., S. 56.

¹¹ Ebd., S. 43.

solchen Systems ewiger Formen, die allen Menschen zugänglich sind, ist das Phänomen einer Philosophia Perennis nicht weiter erstaunlich.

An diesem Punkt mag sich der Leser dennoch fragen, wie denn einer darauf verfallen kann, ein System ewiger Ideen und spiritueller Andeutungen mit einer naturwissenschaftlichen Disziplin zusammenzudenken – der Quantenphysik – , deren Begriffe erst seit dem Ende des 19. Jahrhunderts bekannt sind. Solche Überlegungen und die damit verbundene Akzeptanz des Transzendenten in der physikalischen Wirklichkeit stehen in direktem Gegensatz zu den Dogmen der klassischen Physik, und jeder, der es wagt, öffentlich darüber zu sprechen, mag sich sehr wohl den Zorn seiner Zuhörer zuziehen.¹² Die Antwort ist aber die, dass wesentliche Aspekte der physikalischen Wirklichkeit, die jetzt in den Quantenphänomenen zum Vorschein kommen, schon vor Tausenden von Jahren von den Lehrern der Antike vorausgeahnt, vorweggenommen, postuliert, ja, gewusst wurden. Andererseits drängen sich bei der Betrachtung der Quantenphänomene metaphysische und spirituelle Begriffe auf, welche die Physik in den Themenkreis der Metaphysik versetzen, in einen unerwarteten Zusammenhang mit der Spiritualität und Ethik unserer Geschichte, mit der zeitgenössischen Psychologie, Anthropologie, und allgemein mit den Geisteswissenschaften. In diesem Prozess offenbart sich eine Einheit des Wissens, die man als Spiegelung der Einheit der Wirklichkeit verstehen kann.

Wie unten näher erläutert, haben uns die Quantenphänomene gezeigt, dass die Wirklichkeit anders ist, als sie aussieht: die Grundlage der materiellen Welt ist *nicht-materiell*; die Grundlage der empirischen Phänomene ist *nicht-empirisch*; und die Grundlage der getrennten Dinge und Individuen liegt in einem Bereich der Wirklichkeit, der die Natur einer *unteilbaren Ganzheit* hat, in der alles mit allem verbunden ist. In den Quantenphänomenen erscheint uns die Wirklichkeit in zwei verschiedenen Bereichen: der *Realität* und der *Potenzialität*. Ersterer besteht aus den materiellen Dingen unserer bewussten Erfahrung; Letzterer aus transempirischen und transmateriellen *Formen*, die auch wirklich sind, obwohl sie unsere Erfahrung transzendieren, weil sie die Möglichkeit haben – *Aristotelische Potenz* – sich in der empirischen Welt zu manifestieren und in ihr zu wirken. Weil die Formen wie die Wellenformen in einem Ozean miteinander zusammenhängen, ist die Wirklichkeit eine unauftrennbare Ganzheit – *das Eine*. Damit erweist sich die empirische Welt als eine *Emanation* aus einem Bereich unerfahrbarer und unauftrennbarer Formen. In

¹² L. Schäfer: Die Bedeutung der Quantenwirklichkeit (2010).

diesem Prozess kommen Dualitäten zum Vorschein, die den Eigenschaften der Formen widersprechen, die aber trotzdem in ihnen ihre Wurzel haben müssen. Die scheinbare Trennbarkeit der materiellen Dinge in der manifestierten Welt z.B. steht im Gegensatz zu ihrer Unauftrennbarkeit in der Ganzheit, aus der sie hervorgegangen sind. In der Ganzheit der Formen scheinen auch menschliche Werte, die für unser Wesen unabdingbar sind – wie Liebe und Aggression, der freie Wille und die ethischen Gesetze – ohne Bedeutung zu sein, weil es in einer Totalität die freie Wahl zwischen Dualitäten nicht gibt. Trotzdem müssen diese Werte, wie alle empirischen Erscheinungen, ihre Wurzeln in der Ganzheit haben. Ausdruck einer ungeheuerlichen Dualität ist aber wohl das menschliche Leben selbst: um mit dem kosmischen Prinzip in Berührung zu kommen, aus dem die empirischen Formen des Lebens hervorgehen, müssen wir erst einmal sterben.

In seinem Buch *Forgotten Truth* hat Huston Smith beschrieben, wie die Weltanschauung der modernen Physik in der Kulturgeschichte der Menschheit eine Anomalie ist, weil sie nur die sichtbare Welt als wirklich akzeptiert, während die "menschliche Einmütigkeit" in der Geistesgeschichte die Wahrheit "in den ewigen Tiefen des Universums sah"¹³. Wie es sich im letzten Jahrhundert herausgestellt hat, war aber das Weltverständnis der klassischen Physik "ein Missverständnis", denn: "Die Wissenschaft des 20. Jahrhunderts musste unsichtbare Realitäten postulieren." Eine fatale Folge des klassischen Missverständnisses war es, dass "das Zeitalter der Moderne nicht ernsthaft religiös sein (konnte), weil es sich auf die Wissenschaft verließ, ihm zu sagen, was wirklich existiert. Und das Schweigen der Wissenschaft, was das Unsichtbare betrifft, machte spezifisch religiöse Objekte – Gott, die Seele usw. – verdächtig." Im Gegensatz dazu muss die Wissenschaft nun zugeben,

"dass auch das Unsichtbare wirklich ist … ja sogar dem Sichtbaren vorhergehen und es erschaffen oder irgendwie hervorrufen kann"¹⁴.

Die Quantenphysik hat jetzt das Schweigen gebrochen. Sie sagt klar und deutlich: es gibt einen transempirischen Bereich der Dinge, der wirklich ist.

Für die Bedeutung der Religion in unserem Leben sind die Hinweise auf eine transempirische Wirklichkeit, die aus dem Umfeld der Wissenschaft kommen, von großer Bedeutung. "Würde man gefragt", schreibt WILLIAM JAMES,

"das Leben der Religion im weitesten und allgemeinsten Sinne zu beschreiben, dann würde man wohl sagen, dass es aus dem Glauben besteht, dass es eine un-

¹³ H. Smith: Forgotten Truth (1992), V, VI.

¹⁴ Ders., ebd., VIII.

104 Lothar Schäfer

sichtbare Ordnung gibt, und dass unser höchstes Gut darin liegt, uns dieser Ordnung harmonisch anzupassen." ¹⁵

In den überlieferten Schriften sind solche Lehren die Norm. In 2 Kor 4,18 finden wir z. B.: "Denn das Sichtbare ist vergänglich, das Unsichtbare ist ewig." Es ist erstaunlich, dass das neue Weltbild der Naturwissenschaften im öffentlichen Denken immer noch wenig Beachtung findet und leicht als New Age verschrien wird. Die öffentliche Meinung wird weiterhin von einem mechanistisch-materialistischen Verständnis der Wirklichkeit geprägt, dessen Langlebigkeit wohl darauf zurückzuführen ist, dass die meisten Menschen sofort in Panik erstarren, wenn sie mit Begriffen der Physik oder Chemie konfrontiert werden, und damit jedes Verstehen unmöglich machen. Zahllose Zuhörer meiner Vorlesungen und der Diskussionen meiner Texte haben sich immer wieder darüber beklagt, dass physikalische Begriffe für Laien einfach unverständlich sind. Um hier zu helfen, habe ich für diesen Aufsatz eine vereinfachte und weitergehende, aber präzise Darstellungsweise entwickelt, in der ich einfache Beobachtungen beschreibe, empirische Phänomene, die sichtbare Indizien für die Existenz einer unsichtbaren Wirklichkeit sind. Dabei sollte es den interessierten Leser nicht abschrecken, dass diese Phänomene zuerst in der Physik entdeckt worden sind, weil man sie ohne jede Kenntnis der Physik, einfach nur durch ihre Betrachtung, verstehen kann. Nicht die Quantenphysik muss man verstehen, wie es einige Pioniere dieser Wissenschaft immer wieder behauptet haben, sondern die Phänomene, die von der Quantenphysik entdeckt worden sind. Im Zusammenhang mit unserer Spiritualität oder Gottgläubigkeit haben die Fakten einen besonderen Wert, weil sie nicht, wie die Verkündigungen von Propheten in einer dunklen Sprache ausgedrückte, rücksichtslose Behauptungen sind, die unter Androhung von Strafe geglaubt werden müssen, sondern von jedem untersucht und herausgefordert werden können. Die Verknüpfung der Rationalität mit der Spiritualität gibt den ewigen Lehren eine neue Dimension und führt zu einem erweiterten Blickfeld und zu einem tieferen Verständnis der Wirklichkeit, als es der spirituelle Gesichtspunkt allein oder der wissenschaftliche Gesichtspunkt allein vermitteln können.

Wegen der Reichhaltigkeit des Themas mussten wir diesen Aufsatz in zwei Teile teilen. Im ersten Teil werden die empirischen Grundlagen beschrieben, die es möglich machen, die Ontologie der Quantentheorie als Manifestation der Philosophia Perennis zu verstehen. Im zweiten Teil wenden wir uns dann direkt den Themen der Philosophia Perennis zu.

¹⁵ W. James: Varieties of Religious Experience (2007), S. 60.

Teil 1: Empirische Phänomene, die uns zeigen, dass die Wirklichkeit in ihrem Grund anders ist, als sie aussieht

1.1. Die Beugung von Masseteilchen an einem Doppelspalt

Einer der fundamentalen Begriffe, den man bei der Betrachtung der physikalischen Wirklichkeit verstehen muss, ist der Begriff der Aristotelischen Potentialität. Wie der Name andeutet, handelt es sich primär um einen philosophischen und nicht um einen physikalischen Begriff. Aristoteles glaubte, dass es drei Modalitäten des Seins gibt: Wirklichsein, Nichtsein und Möglichsein. Die Potentialität wird manchmal als ein Zustand des Seins zwischen Wirklichsein und Nichtsein definiert, aber diese Definition ist ungenau, weil die Entitäten der physikalischen Potentialität auch wirklich sind, nur nicht empirisch. Der Gegensatz ist also nicht zwischen Wirklichsein und Nichtwirklichsein, sondern zwischen Empirischsein und Nichtempirischsein. Im Zusammenhang mit dem Verständnis der physikalischen Wirklichkeit besagt dieser Begriff, dass es einen Bereich der Wirklichkeit gibt, der versteckt ist und unsere Erfahrung transzendiert und dessen konstituierende Elemente keine materiellen Dinge, Energien oder Kräfte sind, sondern nicht-empirische und nicht-materielle Formen. Diese Formen sind wirklich, weil sie die Möglichkeit haben - Aristotelische Potentialität - sich in der empirischen Welt zu manifestieren und in ihr zu wirken. Dieses Konzept der Philosophia Perennis ist von Werner Heisenberg in die Physik übertragen worden 16, weil sich mikrophysikalische Objekte in der Tat in Netzwerken von Potentialitäten entwickeln können, in denen sie nicht zum Bereich der empirischen Realität gehören. In dieser Beschreibung habe ich sprachlich zwischen der Wirklichkeit (dem allgemeinen Begriff aller existierenden Entitäten) und der Realität (dem Bereich der manifestierten und materiellen Dinge, von lat. res) unterschieden. Um zu verstehen, was Heisenberg meinte, als er von den Potentialitätszuständen der Quantenobjekte sprach, betrachten wir am besten zunächst einmal die typischen Eigenschaften von Masseteilchen und vergleichen sie mit denen von Wellen.

Jeder hat schon mit Bällen und Kugeln aller Arten zu tun gehabt (mit Tennisbällen, Billardkugeln, Kegeln usw.) und jeder hat deshalb eine gute Vorstellung von den Eigenschaften solcher Masseteilchen. Masseteilchen sind feste, kompakte, lokalisierte Dinge, füllen einen Teil des Raumes undurchdringbar

¹⁶ W. Heisenberg: Physik und Philosophie (2000), S. 61.

aus und prallen deshalb voneinander ab, wie Billardkugeln oder Kegel, wenn sie miteinander zusammenstoßen. Wie uns die experimentellen Beobachtungen der modernen Chemie und Physik zeigen, sind alle materiellen Dinge aus kleineren, elementaren Masseteilchen zusammengesetzt, und zwar aus Molekülen, Atomen und noch elementareren Teilchen, wie Protonen, Neutronen und Elektronen.

Genauso wie mit Kugeln und Bällen als Masseteilchen hat jeder Leser sicher auch direkte Erfahrungen mit *Wellen* gemacht, z.B. mit Wasserwellen. Wenn wir die Eigenschaften von Wellen mit denen von Kugeln vergleichen, dann sind charakteristische Unterschiede offensichtlich: Wellen sind im Raum ausgedehnte Erscheinungen. Typische Eigenschaften sind die *Wellenlänge*, welche die Ausdehnung im Raum anzeigt, und die *Frequenz*, die beschreibt, wie oft sich das Auf und Ab einer Wellenbewegung in einem bestimmten Zeitraum wiederholt.

Wenn zwei Wellen im Raum zusammenstoßen, dann prallen sie nicht wie Kugeln voneinander ab, sondern ihre Amplituden (die Höhen der Wellenberge) überlagern sich: man sagt, dass die Wellen *interferieren*. In der Interferenz können Wellenberge auf Wellenberge treffen, und die beiden Wellen addieren sich, schaukeln sich zu einer größeren Welle auf (Abb. 1). Wenn, andererseits, Berge auf Täler treffen, dann löschen sich die Wellen aus.

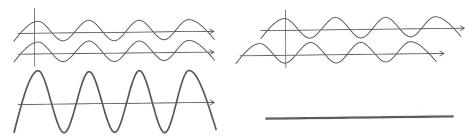


Abb. 1: Welleninterferenz. Wenn sich zwei Wellen derselben Art im Raum begegnen, dann überlagern sie sich: sie interferieren mit einander. Wenn dabei Wellenberge auf Wellenberge treffen, ist die Interferenz konstruktiv (linkes Bild) und die Wellen verstärken sich. Wenn sich Wellenberge mit Wellentälern addieren, ist die Interferenz destruktiv (rechtes Bild), und die Wellen löschen sich aus.

Eine zweite charakteristische Eigenschaft von Wellen ist die *Wellenbeugung*. Wenn Wellen in ihrer Bewegung durch den Raum auf ein Hindernis stoßen, das ihren Weg blockiert, dann biegen (beugen) sie um dessen Ecke: sie werden *gebeugt* (Abb. 2). Ein solches Phänomen kann man z.B. an einem Spalt beobachten: wenn Wellen einen Spalt durchlaufen, dann werden sie an den dessen Kanten gebeugt. Deshalb breiten sich hinter einem mit Licht bestrahlten Spalt Lichtwellen in allen Richtungen gleichmäßig aus (Abb. 3).

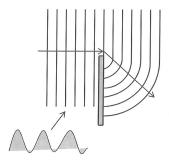


Abb. 2: Wellenbeugung (Diffraktion). Wenn Wellen in ihrer Bahn auf ein Hindernis stoßen (hier ein Wellenzug, der sich nach rechts bewegt), werden sie an dessen Kante gebeugt; das heißt sie biegen um die Ecke.

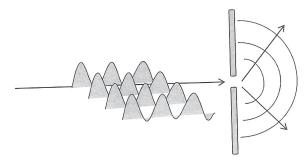


Abb. 3: Die Beugung von Wellen an einem Spalt. Wellen, die einen Spalt durchlaufen, werden an dessen Kanten in alle Richtungen abgelenkt.

Dieses Verhalten führt an einem *Doppelspalt* zum Erscheinen von *Interferenzen* oder *Beugungsmustern* (Abb. 4). Ein Doppelspalt ist einfach eine Wand mit zwei nahe zusammenliegenden Spalten. Wenn ein Doppelspalt mit Licht bestrahlt wird, dann überlagern sich die Wellen, die aus dem einem Spalt kommen, mit den Wellen, die aus dem anderen kommen: die Wellen interferieren miteinander. Auf einem Detektor erscheint ein Streifenmuster (Abb. 5): in den hellen Streifen des Musters haben sich die Wellen, die aus den beiden Spalten kommen, verstärkt; in den dunklen Streifen haben sie einander ausgelöscht.

Aus diesen Überlegungen ist ersichtlich, dass ein Strom von Kugeln, der einen Doppelspalt durchläuft, niemals Interferenzen erzeugt. Jede Kugel fliegt für sich alleine durch einen der Spalte, schlägt am Detektor auf und hinterlässt seinen Abdruck unabhängig von den anderen. In den Aufschlägen von Kugeln bilden sich zwei Häufchen, die nach einiger Zeit einfach zusammenwachsen (siehe Abb. 6). Kugeln an einem Doppelspalt löschen sich niemals gegenseitig aus.

108 Lothar Schäfer

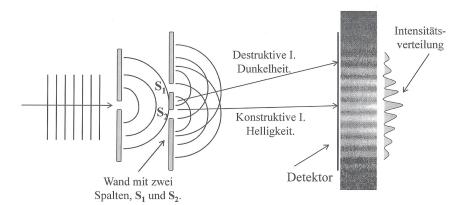


Abb. 4: Beugungsmuster an einem Doppelspalt. Die Abbildung zeigt eine mit Lichtwellen bestrahlte Wand mit zwei Spalten, S_1 und S_2 . Wegen der Wellenbeugung kommt es an einem Doppelspalt zu Interferenzen: Wellen aus S_1 überlagern sich mit Wellen aus S_2 . In einigen Richtungen ist die Interferenz destruktiv (Destruktive I.), die Wellen löschen sich aus, und die entsprechende Zone am Detektor ist dunkel. In anderen Richtungen verstärken sich die Wellen, die Interferenz ist konstruktiv (Konstruktive I.) und die entsprechende Zone am Detektor ist hell. An einem Detektor hinter einem mit Licht bestrahlten Doppelspalt erscheint auf diese Weise ein Beugungsmuster, ein Streifenmuster aus dunklen und hellen Streifen.

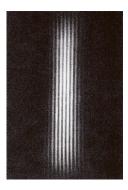


Abb. 5: Mit monochromatischem Licht an einem Doppelspalt erzeugtes Beugungsmuster. Die Abbildung hier und der entsprechende Teil in Abb. 4 stammen, mit freundlicher Genehmigung, von Wolfgang Rueckner und Paul Titcomb, "A lecture demonstration of single photon interference," Am. J. Phys. 64, 184–188 (Feb. 1996).

Nun kommen wir zum Kern der Sache: wenn man nicht normale Kugeln durch einen Doppelspalt schießt, sondern mikrophysikalische Masseteilchen, wie Elektronen oder Moleküle, dann geschieht etwas Unerwartetes. Einerseits haben mikrophysikalische Teilchen dieselben Eigenschaften wie ihre massiveren Artgenossen: das heißt, wenn sie auch winzig sind, so wird doch jedes von ihnen immer wie eine Kugel beobachtet; das heißt, als lokalisierte und individuelle Masse. Immer wenn wir z.B. eine Beobachtung von einem Elektron machen, dann erscheint es als eine winzige isolierte Erscheinung;

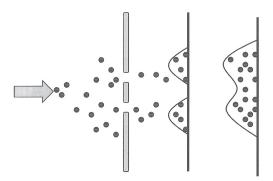


Abb. 6: Das Verhalten von Kugeln an einem Doppelspalt. Wenn Masseteilchen (Kugeln) zwei Spalte durchlaufen, dann interferieren sie nicht, sondern bilden zwei Haufen. Wenn die Haufen größer werden, wachsen sie einfach zu einem Haufen zusammen.

z.B. als ein Punkt auf einer Photoplatte, oder als winziger Blitz auf einem Fernsehschirm. Die Erscheinungsformen von Elektronen sind immer die von lokalisierten Objekten. Wenn sie einen Doppelspalt durchlaufen, dann sehen wir, wie ein Elektron nach dem anderen an einem Detektor ankommt und einen winzigen Fleck hinterlässt, wie man es von isolierten Kugeln erwartet (Abb. 7).

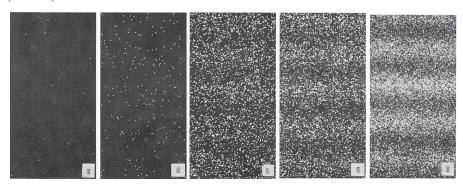


Abb. 7: Elektronenbeugung am Doppelspalt. Zeitaufgelöste Aufnahmen eines Elektronenbeugungsexperiments. In diesen Abbildungen zeigt jeder Punkt den Aufschlag eines einzelnen Elektrons an. Obwohl die Reihenfolge der Aufschläge unvorhersagbar und anscheinend nur vom Zufall bestimmt ist, kommt in der Anhäufung vieler Aufschläge eine versteckte Ordnung zum Vorschein: ein Beugungsmuster (Mit freundlicher Genehmigung von A. Tonomura, J. Endo, T. Matsuda, T. Kawasaki und H. Exawa, "Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern," Am. J. Phys. 57, 117 (Feb. 1989).

Elektronen können im Vakuum – z.B. in einem Elektronenmikroskop oder Elektronenbeugungsinstrument, wie es in der Strukturchemie benutzt wird ¹⁷ – aus einem glühenden Filament (einem gebogenen Drahtstück) in den freien

¹⁷ Siehe z. B. L. Schäfer: Electron Diffraction (1976).

Raum entlassen werden. In einem solchen Instrument kann man in Doppelspaltexperimenten den Elektronenstrom so präzise einstellen, dass immer nur ein einziges Elektron im Apparat ist, das unbelästigt von anderen die Spalten durchläuft. Erst wenn ein gegebenes Elektron am Detektor beobachtet worden ist, wird das nächste auf seinen Weg geschickt.

In diesen Experimenten erscheinen die Elektronen zunächst einmal wie normale Kugeln. Merkwürdigerweise kann man diese Kugeln aber nicht, wie Pistolenkugeln, auf einen bestimmten Platz am Detektor zielen, sondern jedes Elektron hat eine gewisse Freiheit der Wahl, wo es sich an einem Detektor zeigen wird. Wenn man nach rechts zielt, fliegt es vielleicht nach links; wenn man nach oben zielt, fliegt es vielleicht nach unten. Das Verhalten eines einzelnen Elektrons unterliegt der Quantenunbestimmbarkeit: das heißt, einzelne Quantenereignisse sind völlig unvorhersagbar und werden anscheinend durch nichts als den reinen Zufall gelenkt. Dabei ist es wichtig, sich darüber im Klaren zu sein, dass das Verhalten eines einzelnen Elektrons nicht deshalb unvorhersagbar nicht, weil unsere Informationen über seinen Zustand unvollständig sind, sondern weil es da keine Wirkursachen gibt, die man wissen könnte. Ein Elektron nach dem andern kommt auf diese Weise, ziellos, eigensinnig und für sich alleine zufallsbedingt, am Detektor an und hinterlässt einen kleinen Punkt. Wegen der Zufallsbestimmtheit ist die Reihenfolge der Aufschläge völlig unvorhersagbar. Wenn ein Elektron z.B. gerade auf der rechten Seite eines Detektors aufgeschlagen ist, dann erscheint das nächste vielleicht in der Mitte oder links oder wieder rechts. Es gibt einfach nichts, das es möglich macht, das Verhalten einzelner Elektronen oder das Ergebnis einzelner Quantenereignisse genau vorherzusagen.

An dieser Stelle ist die genaue Wortwahl sehr wichtig. Wenn wir sagen, dass das Verhalten eines einzelnen Elektrons nicht vorhersagbar und nur vom Zufall bestimmt ist, dann bedeutet dies nicht, dass die Reihenfolge der Aufschläge willkürlich ist: in der Anhäufung vieler einzelner Aufschläge am Detektor kommt nämlich eine versteckte Ordnung zum Vorschein: ein Beugungsmuster, wie in den Interferenzen von Wellen am Doppelspalt (Abb. 7 und 8). Obwohl jedes Elektron den Doppelspalt allein durchläuft und am Detektor für sich allein ankommt, hängen die einzelnen Aufschläge dennoch in einer versteckten Ordnung miteinander zusammen! Wir bezeichnen dieses Phänomen als Elektronenbeugung oder, allgemeiner, als die Beugung von Masseteilchen an einem Doppelspalt.

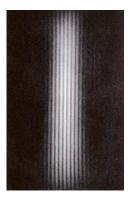


Abb. 8: *Elektronenbeugung*. Die Abbildung zeigt ein Beugungsdiagramm wie es in einem mit Elektronen ausgeführten Doppelspaltexperiment beobachtet wird. Solche Beugungsdiagramme zeigen, dass Elektronen genauso Interferenzen hervorrufen können wie Lichtwellen (siehe Abb. 5) (Mit freundlicher Genehmigung von A. Tonomura, J. Endo, T. Matsuda, T. Kawasaki, and H. Exawa, "Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern," *Am. J. Phys.* 57, 117 (Feb. 1989).

1.2. Die Auflösung von Masseteilchen in Transmateriellen Formen

Das Phänomen der Elektronenbeugung führt zu einer Reihe von Rätseln. Die Streifenmuster in Elektronenbeugungsdiagrammen sind nur durch die Interferenzen von Wellen erklärbar, die aus beiden Spalten gleichzeitig gekommen sind. Elektronen sind aber keine Wellen, sondern unteilbare lokalisierte Teilchen, die Milliardenmilliarden mal kleiner sind als das System der Spalten, durch die sie geschossen werden. Wie kann es dann möglich sein, dass sie Beugungsmuster erzeugen?

Die Antwort ist so einfach, wie sie unerwartet ist: Wenn man Elektronen alleine lässt, dann werden sie zu Wellen. Dieser Schluss gilt nicht nur für Elektronen, sondern allgemein für alle mikrophysikalischen Materieteilchen: die Elementarteichen, Atome und Moleküle sind keine haltbaren, unveränderlich harten und permanenten Korpuskeln, sondern sie lösen sich spontan in Wellenfeldern auf, wenn sie allein gelassen werden. Wenn man mit diesen Feldern wechselwirkt, dann ziehen sie sich abrupt auf einen Punkt zusammen, der als Masseteilchen erscheint (Abb. 9). Das heißt, die lokalisierte Materie erscheint



Abb. 9: Isolierte mikrophysikalische Masseteilchen lösen sich spontan in ausgedehnten Wellenfeldern auf. In Wechselwirkungen mit ihrer Umgebung ziehen sich diese Felder abrupt auf einen Punkt zusammen, der als Masseteilchen erscheint.

aus einem ausgedehnten Wellenfeld, das selber nicht die Eigenschaften von Materie hat. Wenn diese Wellenfelder einen Doppelspalt durchlaufen, dann kommen Interferenzen zum Vorschein, die mit den Interferenzen klassischer Wellen (wie Lichtwellen oder Wasserwellen) identisch sind (Abb. 10).

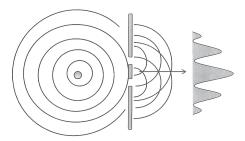


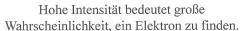
Abb. 10: Wenn das mit einem Masseteilchen verbundene Wellenfeld einen Doppelspalt durchläuft, dann können, wie bei klassischen Wellen, Beugungsmuster entstehen.

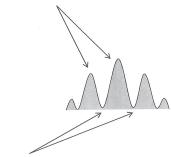
Diese Erklärung der Beugungsphänome von Masseteilchen führt zu der Frage, was das denn für Wellen sind, in die sich die Quantenteilchen spontan verwandeln, wenn sie allein sind? Wir finden die Antwort in der *statistischen Natur* der Beugungsmuster.

Es ist oben schon angedeutet worden, dass die Koordinaten, an denen ein bestimmtes Elektron am Detektor erscheint, unvorhersagbar sind. Ein solches Verhalten ist für alle Quantenprozesse typisch: das Ergebnis eines einzelnen Ereignisses ist im Wesentlichen – *intrinsisch* – unvorhersagbar. Im Gegensatz dazu kann die statistische Verteilung vieler identischer Ereignisse mit großer Genauigkeit, praktisch deterministisch, vorhergesagt werden. In der Elektronenbeugung bedeutet dies, dass die *Intensitätsverteilung* in einer großen Zahl von Aufschlägen am Detektor mit großer Genauigkeit vorhersagbar ist. Für ein einzelnes Elektron bestimmt die Intensitätsverteilung des Beugungsdiagramms die Wahrscheinlichkeit dafür, wo es aufschlagen wird. An den Stellen, an denen die Intensitäten groß sind (in den hellen Streifen), werden viele Elektronen beobachtet; das heißt, die Wahrscheinlichkeit, ein Elektron zu finden, ist an diesen Stellen groß. An den Stellen, an denen die Intensitäten gering sind (in den dunklen Streifen), ist die Wahrscheinlichkeit, ein Elektron zu finden, gering. Diese Überlegungen zeigen: Interferenzmuster sind Wahrscheinlichkeitsmuster. Wir verdanken MAX BORN die Einsicht, dass die Wellen, die solche Muster erzeugen und in die sich die Materieteilchen auflösen, wenn sie ungestört sind, Wahrscheinlichkeitswellen sind (siehe Abb. 11).

Wahrscheinlichkeiten sind dimensionslose Zahlen, Zahlenverhältnisse. Deren Verteilung im Raum wird durch Wellenfunktionen bestimmt, die man mit

Hilfe der sogenannten *Schrödingergleichung* berechnen kann. Diese Wellen haben nicht die physikalischen Dimensionen von Masse oder Energie, sondern sind einfach nur Zahlen. Die Elektronen in Atomen und Molekülen sind solche Zahlen oder Wahrscheinlichkeitswellen, die leer sind, weder Masse noch Energie transportieren, sondern nur *Informationen* über numerische Verhältnisse. Und dennoch: die ganze sichtbare Ordnung der Wirklichkeit wird von der Interferenz dieser Wellen bestimmt. Die Interferenzen der Wellenfunktionen von Atomen bestimmen z. B., welche Moleküle sich bilden können. Die Interferenzen der Wellenfunktionen von Molekülen bestimmen die intermolekularen Wechselwirkungen. Letztere sind für die Eigenschaften aller Materialien und für die chemischen Prozesse wichtig, die in biologischen Systemen die Grundlage des Lebens bilden.





Geringe Intensität bedeutet geringe Wahrscheinlichkeit, ein Elektron zu finden.

Abb. 11: Zum Verständnis der Intensitätsverteilung eines Beugungsmusters als Wahrscheinlichkeitsmuster.

Wir schließen: Die empirische Wirklichkeit ist eine Emanation aus einem Informationsfeld. Wenn sich Masseteilchen in Wahrscheinlichkeitswellen auflösen, dann hören sie auf, Masseteilchen zu sein. Stattdessen verwandeln sie sich in mathematische Formen, in Zahlengebilde, die den Bereich der Materie transzendieren: sie werden transmateriell. Die Grundlage der Wirklichkeit ist ein Bereich von transmateriellen Formen oder Mustern.

Wenn mikrophysikalische Masseteilchen dauernd spontan in Wellen zerfließen, wieso gibt es dann überhaupt die konstanten Dinge des Alltags? Es gibt diese Dinge, weil die Quantenteilchen nur dann in Wellen zerfließen, wenn sie allein sind; das heißt, wenn es nichts in ihrer Umgebung gibt, mit dem sie auf eine Weise wechselwirken können, die sie im Raum aktualisiert. Die

vielen Atome und Moleküle in makroskopischen Objekten beobachten sich sozusagen gegenseitig, stehen in andauernder Wechselwirkung miteinander, und fixieren sich damit gegenseitig in der empirischen Welt. *Der empirische Zustand der Wirklichkeit ist ein kooperativer Effekt*.

1.3. Wahrscheinlichkeitswellen als Potentialitäten

Wenn ein Masseteilchen in ein Wellenfeld zerfließt, dann ist es interessant, sich einmal zu überlegen, wo es dann ist? Das heißt, welchen Platz im Raum nimmt es ein, wenn es eine Welle ist? Die Antwort kann wie folgt gegeben werden.

Weil die Wellen im Raum ausgebreitet sind, hat ein Elektron in seinem Wellenzustand keinen bestimmten Platz im Raum: es *ist* nirgendwo. Es besitzt eine bestimmte Ortskoordinate nur, wenn es ein sichtbares Teilchen ist. Im Wellenzustand hat die Ortskoordinate keinen *tatsächlichen* Wert, sondern nur viele *mögliche* (potentielle) Werte. Damit ist das magische Wort gefallen: die Wellenzustände in denen mikrophysikalische Masseteilchen zerfließen, wenn sie allein gelassen werden, sind *Potentialitätszustände*. Weil dies das normale Verhalten der Materie ist, können wir schließen, dass die erfahrbare Wirklichkeit aus einem Bereich der Potentialität hervorgeht. Die Wirklichkeit erscheint uns damit in zwei verschiedenen Bereichen: der *Realität* der lokalisierten materiellen Dinge und der *Potentialität* der im Raum ausgedehnten transmateriellen Formen. Diese Formen sind wirklich, weil sie sich in der empirischen Welt manifestieren und in ihr wirken *können*.

Ein Potentialitätszustand wird ganz allgemein dadurch definiert, dass die physikalischen Eigenschaften eines Systems – wie z. B. die Energie, oder das Impulsmoment und die Raumkoordinaten – in einem solchen Zustand keinen *tatsächlichen* Wert, sonder viele *mögliche* Werte ¹⁸ haben. Ohne einen tatsächlichen Platz im Raum ist ein Masseteilchen aber nicht Teil der empirischen Welt. Wenn es in den Bereich der Potentialität übergeht, dann verlässt es die empirische Welt: es wird *transempirisch*. Das empirische Teilchen tritt aus dem Potentialitätszustand hervor, wenn dieser mit Objekten in seiner Umgebung wechselwirkt. Wie es scheint, gilt diese Regel ganz allgemein: *Die sichtbare Welt ist eine Realisierung – eine Emanation – aus einem Bereich von transmateriellen und transempirischen Potentialitäten*. Die Natur der Formen im Bereich der Potentialität ist uns unbekannt; die Quantenphysik postuliert, dass es sich um Wellenformen handelt.

¹⁸ C. N. VILLARS: Observables (1984); ders.: Microphysical objects (1987).

Der nicht-empirische Charakter eines Potenzialitätszustands folgt in direkter Weise daraus, dass ein solcher Zustand in einer Beobachtungswechselwirkung notwendigerweise zerstört wird. Wenn wir mit der Potentialitätswelle eines Masseteilchens wechselwirken und das Teilchen erscheint als empirisches Objekt an einer bestimmten Ortskoordinate, dann wird in dieser Beobachtung der Zustand der Potentialität notwendigerweise beendet. "Während eines Beobachtungsaktes", schreibt Werner Heisenberg 19 findet "der Übergang vom Möglichen zum Faktischen statt".

In Einstein-Podolsky-Rosen Experimenten, die hier nicht näher beschrieben werden können, hat man Hinweise dafür gefunden, dass die Potentialitätswellen an der Grundlage der Wirklichkeit miteinander zusammenhängen, wie Wasserwellen in einem Ozean. Auch wenn sie dekohärent, d.h. im empirischen Raum isoliert sind, können die sichtbaren Dinge der Welt noch mit dem Potentialitätsbereich verbunden (oder verschränkt) sein. Daraus hat sich die Vorstellung entwickelt, dass die Wirklichkeit eine unteilbare Ganzheit ist – das Eine – , in der alles mit allem zusammenhängt.

Damit sind wir an einem wichtigen Ziel angelangt: Die Grundlage der empirischen Welt ist eine transempirische, transmaterielle Ganzheit. Die Wirklichkeit erscheint uns nun in zwei verschiedenen Bereichen: in der empirischen Realität und der transempirischen Potentialität. Die empirische Welt ist eine Emanation aus einem Bereich von Formen.

Dass sich mikrophysikalische Objekte wie Teilchen oder Wellen verhalten können, wird oft als Welle-Teilchen-Dualismus bezeichnet. In diesem Zusammenhang muss auf ein Missverständnis hingewiesen werden, das vor allem in älteren Beschreibungen häufig gefunden wird. Der Dualismus wird da so erklärt, dass die Erscheinungsform von mikrophysikalischen Objekten als Wellen oder Teilchen von der Form der Messung abhängt, für die sich der Beobachter entscheidet. Wenn man einen Apparat benutzt, der für Wellen empfindlich ist, dann werden Wellen beobachtet. Mit einem Apparat, der auf Teilchen anspricht, beobachtet man Teilchen. Mit anderen Worten, die Modalitäten der Beobachtung und die Wahl des Beobachters bestimmen die Modalitäten der Wirklichkeit. Diese Interpretation ist nicht korrekt, weil mikrophysikalische Objekte – ganz gleich, wie sie beobachtet werden – immer als Teilchen erscheinen. Nichtbeobachtet, erzeugen sie Wellenphänomene. Daraus folgt, dass auch der Begriff der Komplementarität irreführend ist, der in diesem Zusammenhang oft benutzt wird. Damit ist gemeint, dass man für eine umfassen-

¹⁹ W. Heisenberg: Physik und Philosophie, S. 80.

de Beschreibung der Wirklichkeit widersprüchliche (komplementäre) Begriffe benötigt. Mikrophysikalische Objekte haben aber keine widersprüchlichen Eigenschaften, sondern sie haben die Möglichkeit, in unterschiedlichen Zuständen zu existieren, von denen einer allerdings transempirisch ist. In gewisser Hinsicht ist auch der Begriff des *Dualismus* im Zusammenhang mit den Welle-Teilchenphänomenen irreführend. Die vollständige Beschreibung der Wirklichkeit braucht nicht widersprüchliche Begriffe, sondern die vollständige Kenntnis aller Zustände der Wirklichkeit, einschließlich der transempirischen. Man muss deshalb auch den verallgemeinernden Schluss zurückweisen, dass es in allen Bereichen menschlicher Belange einander komplementäre (sich ausschließende und gegensätzliche) Wahrheiten gibt, die alle für eine Beschreibung der Wirklichkeit benötigt werden. Das wird oft so verstanden, dass es keine allein richtige Beschreibung der Wirklichkeit gibt, weil es auf den Blickwinkel ankommt. Wenn der Blickwinkel aber alle Ebenen der Wirklichkeit umfasst, dann vermeidet er die konträren Dualitäten, die für begrenzte Blickwinkel typisch sind. Widersprüchliche Dualitäten der Wirklichkeit sind kein Zeichen für widersprüchliche Eigenschaften, sondern nur Zeichen für die Existenz verschiedener Zustandsbereiche.

1.4. Die Bedeutung der virtuellen Zustände

In diesem Abschnitt werden *virtuelle* Zustände beschrieben, das heißt, die leeren Zustände von Molekülen, die ebenfalls einen transempirischen Bereich der Wirklichkeit bilden. Es wird gezeigt, wie solche Zustände empirische Phänomene beeinflussen können, obwohl sie selbst transempirische Entitäten sind. Wem dieser Abschnitt zu physikalisch ist, der kann ihn überspringen und ohne Schaden sofort mit den Themen der Philosophia Perennis im zweiten Teil dieses Aufsatzes weitermachen.

Moleküle existieren in Energiezuständen, die durch die Wechselwirkung der elektronischen Zustände ihrer Atome entstehen und deshalb *elektronische Zustände* heißen. Man kann sich solche Zustände wie Energielöcher vorstellen oder wie Täler in einem Gebirge. Wenn sich ein Molekül in einem solchen Loch befindet, dann sind seine Atome aneinandergebunden, weil ihnen die Energie fehlt, die sie brauchen, um in den freien Raum zurückzuklettern. Im einfachsten Fall eines zweiatomigen Moleküls hat die elektronische Energie die graphische Form einer abgeflachten Parabel (Abb. 12).

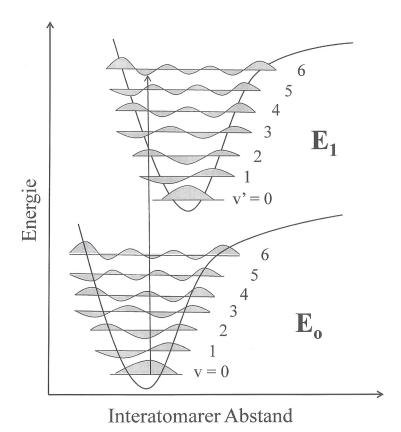


Abb. 12: Die Energiekurven zweier elektronischer Zustände eines zweiatomigen Moleküls. Die beiden abgeflachten Parabeln zeigen die Abhängigkeit der Energie des Moleküls vom interatomaren Abstand für den elektronischen Grundzustand (E_0) und einen im Energiefeld des Moleküls höherliegenden, angeregten elektronischen Zustand (E_1). Die Schwingungsenergien des Moleküls sind gequantelt und werden von den Quantenzahlen v (in E_0) und v' (in E_1) bestimmt. Die Quantenzahlen bestimmen konstante Energieniveaus, die eine Stufenleiter von Schwingungsenergien bilden, welche jedem elektronischen Energieloch überlagert sind. Der Pfeil zeigt mögliche Übergänge vom Grundzustand v = 0 in höhere Zustände in E_1 an. Die wellenförmigen Linien auf den Stufen der Schwingungszustände zeigen die Formen der Wellenfunktionen eines Zustands.

Jedes Molekül besitzt eine praktisch unendliche Zahl von elektronischen Zuständen, die sich durch ihre Höhenlagen im Energiefeld des Moleküls unterscheiden. Der am tiefsten liegende Zustand heißt *Grundzustand*. Höhergelegene Zustände heißen *angeregte Zustände*.

Auf der Talsohle eines elektronischen Zustands liegen die Atome eines Moleküls nicht einfach bewegungslos herum, sondern sie schwingen wie Pendel hin und her. Mit dieser Bewegung ist eine Energie verbunden, die gequantelt ist. Das bedeutet, dass die Schwingungsenergie eines Moleküls von einer Quantenzahl abhängt, die gewöhnlich mit v (für Vibration) symbolisiert wird. Deren erlaubte Werte sind die ganzen Zahlen, also: v = 0, 1, 2, 3, ... usw. Jede Schwingungsquantenzahl definiert ein festgelegtes (gequanteltes) Energieniveau, sodass die Gesamtheit aller Quantenzahlen eine Stufenleiter von erlaubten Schwingungsenergien bildet. Jedem elektronischen Zustand ist eine solche Stufenleiter überlagert, wie in der Abb. 12 gezeigt.

Es gehört zu den Gesetzen der Quantentheorie, dass die physikalischen Eigenschaften von Quantenzuständen durch *Zustandsvektoren* oder *Wellenfunktionen* bestimmt werden. Für die Schwingungszustände eines Moleküls sind die Wellenfunktionen einfache sinusförmige Kurven. Wie in Abb. 12 gezeigt, sind sie für jeden Schwingungszustand verschieden.

Damit kann man verstehen, was mit der Aussage gemeint ist, dass ,Moleküle in Quantenzuständen existieren'. Diese Aussage bedeutet, dass jedes Molekül in einem elektronischen Zustand eine Stufe auf seiner Schwingungsstufenleiter besetzen muss. Aus dieser Beschreibung ist auch ersichtlich, dass Moleküle sich nur verändern können, indem sie ihren Zustand ändern. Sie können nichts anderes tun als aus einem Zustand, den sie besetzen, in einen anderen zu springen, der unbesetzt oder leer, ist. Ein System kann sich nur verändern, wenn es leere Zustände hat; ohne leere Zustände ist es in sich selbst erstarrt. Damit sind wir auf eine Variation des Parmenidischen Prinzips gestoßen, demzufolge eine Bewegung im Raum nur möglich ist, wenn es einen leeren Raum gibt, in dem sich ein Gegenstand bewegen kann. Weil Parmenides glaubte, dass es keinen leeren Raum gibt, behauptete er auch, dass sich nichts bewegen kann, sodass jede Erfahrung einer Bewegung nur Illusion ist. Wenn man mit Raum nicht den dreidimensionalen Raum unserer täglichen Erfahrung meint, sondern den Zustandsraum der Quantenobjekte, dann ist das Parmenidische Prinzip im Grunde korrekt.

Die leeren Zustände eines Moleküls sind eigenartige Entitäten: sie sind im Molekül enthalten, aber nicht sichtbar: weil sie ja leer sind, gibt es da nichts zu sehen. Quantenchemiker nennen die leeren Zustände *virtuell*. Sie sind Teil der Wirklichkeit, aber nicht der empirischen Wirklichkeit. Virtuelle Zustände sind mathematische Formen, Informationsmuster, aber sie sind mehr als nur Ideen oder Formeln von mathematischen Formen, weil sie ein genau bestimmter Teil der logischen Struktur eines Systems sind und die *Möglichkeit* haben – aristotelische *Potentia* –, ihre Logik in der empirischen Welt zu manifestieren; nämlich dann, wenn ein System in sie hineinspringt und sie besetzt. Weil die Wellenfunktionen eines Systems auf diese Weise dessen zukünftige

empirische Möglichkeiten enthalten, hat C. N. VILLARS²⁰ vorgeschlagen, sie *Potentialitätswellen* zu nennen, um den älteren Terminus der *Wahrscheinlichkeitswellen* zu ersetzen.

In Abb. 12 werden die Schwingungsstufenleitern eines Moleküls für seinen elektronischen Grundzustand und einen angeregten Zustand gezeigt. Mit dieser Darstellung kann der Begriff der Virtualität auf einfache Weise erläutert werden. Wenn ein Molekül seinen Grundzustand besetzt – in Abb. 12 den Zustand v = 0 in E_0 – , dann existieren die höhergelegenen Zustände auch – zum Beispiel die Zustände in E_1 mit v' = 0, 1, 2, ... usw. – , aber sie existieren nicht als empirische Entitäten, weil sie ja leer sind. Trotzdem sind für jeden virtuellen Zustand dessen gequantelte Energie und die Form der Wellenfunktion schon festgelegt, bevor er vom Molekül besetzt wird. Die Ordnung der virtuellen Zustände ist eine versteckte Ordnung. Weil sie unsere Erfahrung transzendiert, habe ich sie *transempirisch* genannt. Die Frage ist, ob diese Ordnung tatsächlich wirklich ist.

In einer empirischen Wissenschaft ist der Begriff einer transempirischen Wirklichkeit eine Peinlichkeit, für manche sogar ein Sakrileg. Weil sie unsichtbar sind, haben viele Physiker, unter ihnen Pioniere wie Niels Bohr und Albert Einstein, immer wieder versucht, die virtuellen Zustände als epistemologische, nicht ontologische, Entitäten darzustellen. Damit wären sie reine Begriffe, die wir zur Naturbeschreibung benötigen, ansonsten aber wären sie nichts. In früheren Aufsätzen²¹ habe ich Argumente beschrieben, die zeigen, dass virtuelle Zustände als wirklich existierende Zustände betrachtet werden müssen, weil sie mit ihrer Logik empirische Prozesse beeinflussen können, bevor sie manifestierte Zustände sind. An dieser Stelle kann dieser Diskussion mit der Beschreibung der Erscheinungsformen von *molekularen Spektren* ein weiteres Argument hinzugefügt werden.

Zunächst zum Begriff eines Spektrums: Wenn ein Molekül mit Licht bestrahlt wird, dann kann es aus dem Strahlenfeld die Energiequanten absorbieren, die es braucht, um von einem Quantenzustand in einen anderen zu springen; z.B. vom Grundzustand in einen angeregten Zustand. Lichtenergie ist der Wellenlänge des Lichts proportional. Weil einem Molekül nur Übergänge

²⁰ C. N. VILLARS: Observables (1984); ders.: Microphysical objects (1987).

²¹ L. Schäfer: In Search of Divine Reality (1997); ders.: Versteckte Wirklichkeit – Wie uns die Quantenphysik zur Transzendenz führt (2004); ders.: Die Quantenwirklichkeit (2006); ders.: Quantum Reality (2006); ders.: Em Busca de la Realidad Divina (2007); ders.: Nicht-Empirische Wirklichkeit (2007); ders.: Versteckte Wirklichkeit: Quantentheorie und Transzendenz (2007); ders.: Nonempirical Reality (2008); ders.: Quantum Reality (2009); ders.: Paraklase der Weltsicht (2009); ders.: Die Bedeutung der Quantenwirklichkeit (2010).

zwischen fixierten Quantenzuständen möglich sind, kann es aus einem Strahlenfeld nur ganz bestimmte Wellenlängen absorbieren, nämlich solche, deren Energien genau den Energiedifferenzen zweier Quantenzustände entsprechen. Die Gesamtheit aller absorbierten Wellenlängen eines Moleküls wird sein *Absorptionsspektrum* genannt, und die *Molekularspektroskopie* ist jener Bereich der Chemie, der sich mit der Messung solcher Spektren befasst.

Aus der obigen Beschreibung und aus Abb. 12 ist ersichtlich, dass Übergänge zwischen elektronischen Zuständen immer auch Übergänge zwischen Schwingungszuständen sind. Wenn sich ein Molekül z.B. im Grundzustand befindet, v = 0 in E₀, dann kann es nach v' = 0, oder v' = 1 usw. in E₁ übergehen. Solche Zustandsänderungen werden oft *Quantensprünge* genannt. Es liegt auf der Hand, dass Quantensprünge nur dann erfolgen können, wenn in einem Molekül leere Zustände existieren, in die es hineinspringen kann. Was da existiert, ist aber keine materielle Struktur, sondern eine mathematische Ordnung. Diese Ordnung ist wirklich, weil sie die empirischen Möglichkeiten eines Moleküls bestimmt. In der Molekularspektroskopie, zum Beispiel, bestimmen die Wellenfunktionen der leeren Zustände die beobachteten Erscheinungsformen der Spektren, die für jedes Molekül wie ein Fingerabdruck verschieden sind.

In diesem Zusammenhang ist der Begriff der Übergangswahrscheinlichkeit von Bedeutung. Er bezeichnet die Tatsache, dass die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen eines Moleküls, die möglich sind, nicht alle gleich wahrscheinlich sind, selbst wenn die nötigen Energien in genügendem Maße zur Verfügung stehen. Ganz unabhängig von der Energie sind manche Übergänge für ein Molekül sozusagen leichter zu aktualisieren als andere. Das führt dazu, dass jeder Übergang mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit realisiert wird, die man quantentheoretisch genau berechnen kann. Wie sich herausstellt, hängen die Übergangswahrscheinlichkeiten von den Wellenfunktionen der beteiligten Zustände ab, einschließlich der virtuellen Zustände. Unterschiede in Übergangswahrscheinlichkeiten bedeuten, dass manche Wellenlängen häufiger absorbiert werden als andere. Im Absorptionsspektrum des Moleküls erscheinen häufig absorbierte Wellenlängen mit größerer Intensität. Wie im oben beschriebenen Beugungsexperiment am Doppelspalt haben die Intensitäten von Spektren die Bedeutung der Wahrscheinlichkeit und sind ein Maß für die relative Häufigkeit von Absorptionen. Im hypothetischen Spektrum von Abb. 13 ist der Übergang 0−3 zum Beispiel sehr wahrscheinlich, während der Übergang 0-4 praktisch nicht vorkommt.

Damit sind wir am kritischen Punkt unserer Überlegungen angelangt: Die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen Quantenzuständen, das heißt, beobachtete Absorptionsintensitäten, hängen von den Wellenfunktionen der virtuellen Zustände ab. Bevor ein Übergang tatsächlich erfolgt, erprobt ein Molekül sozusagen die Tauglichkeit eines virtuellen Zustands als Ziel eines Quantensprungs. Dabei verlässt es die empirische Welt, betritt den virtuellen Zustandsraum, und es hängt von den Eigenschaften eines virtuellen Zustands ab, ob der Quantensprung erfolgt oder nicht. Die virtuellen Wellenformen entscheiden also, ob ein bestimmter Übergang mehr oder weniger wahrscheinlich oder vielleicht sogar völlig verboten ist. In vielen Bereichen der Spektroskopie gibt es den Begriff der verbotenen Übergänge. In solchen Fällen hat ein virtueller Zustand Eigenschaften, die seine Aktualisierung aus einem anderen Zustand des Moleküls durch Lichtabsorption unmöglich machen. Die entsprechende Absorptionsintensität ist gleich null, wie im hypothetischen Sprung von v = 0 nach v' = 4 in Abb. 13. Daraus ist ersichtlich, dass virtuelle Zustände empirische Phänome kontrollieren können, ohne sich zu manifestieren. Weil sie in der Wirklichkeit wirken können, sie sind wirklich.

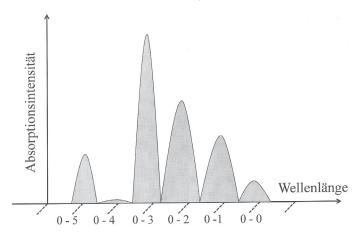


Abb. 13: Die typische Intensitätsverteilung eines molekularen Absorptionsspektrums. Die Abbildung zeigt hypothetische Absorptionsintensitäten eines Moleküls für Übergänge von v = 0 nach v' = 0, 1, 2, 3, 4 und 5 (siehe Abb. 12).

An dieser Stelle kann man mit einem Gedankenexperiment die wesentliche Natur der Quantenprozesse beschreiben. Nehmen wir einmal an, dass wir in einem Spektrometer beobachten können, wie sich einzelne Moleküle in einem Strahlenfeld verhalten. In diesem Experiment wird ein Molekül nach dem andern, für sich allein, in den Apparat entlassen, mit Licht bestrahlt, und die Wellenlänge seiner Absorption wird registriert. In diesem Prozess ist es völlig

unvorhersagbar, welches Lichtquant ein einzelnes Molekül absorbieren wird. Vielleicht absorbiert es im hypothetischen Spektrum der Abb. 13 die Energie für den Übergang zwischen v=0 und v'=3, vielleicht aber auch für v=0 und v'=1. Wie immer bei Quantenprozessen, ist das Ergebnis eines einzelnen Vorgangs unbestimmbar, weil er vom Zufall abhängt. Das Resultat vieler Ereignisse aber, das Intensitätsmuster, kann mit großer Genauigkeit vorhergesagt werden.

Dass besetzte Zustände im Gegensatz zu leeren Zuständen direkt beobachtbar sind, ist experimentell beweisbar. Vor ungefähr 25 Jahren hat ein Team von Wissenschaftlern in meinem Arbeitskreis das erste Instrument für stroboskopische Elektronenbeugung entwickelt.²² Mit der stroboskopischen Elektronenbeugung kann man zeitaufgelöst die Strukturveränderungen beobachten, die in laserangeregten Molekülen vor sich gehen.²³ Geiser und Weber haben gezeigt²⁴, dass man mit dieser Methode die Quadrate der Wellenfunktionen von Schwingungszuständen experimentell abbilden kann. Ewbank, Schäfer und Ischenko haben gezeigt 25, dass die Fouriertransformation der gepulsten Elektronenbeugungsintensitäten die Bewegung eines molekularen Wellenpakets auf seiner Potentialfläche abbilden kann. Mit einer völlig anderen Methode, die ultra-kurze Laserimpulse benutzt, haben Itatani et al. 26 Molekülorbitale abgebildet. Die Wellenfunktionen von Atomen und Molekülen sind also nicht nur epistemologische Entitäten, wie man einmal dachte, sondern sie können durchaus experimentell abgebildet werden, aber nur dann, wenn der entsprechende Zustand besetzt ist.

Damit sind wir am Ende des ersten Teils unseres Aufsatzes zur Quantenwirklichkeit und der Philosophia Perennis angekommen. Im zweiten Teil werden wir zeigen, wie die unerwarteten Aspekte dieser Wirklichkeit, also ihre Ganzheitlichkeit und der nicht-empirische, nicht-materielle und numinose Charakter ihrer Grundlage, sich mit Lehrinhalten decken, die schon seit Jahrtausenden von den großen Philosophen und Lehrern der Menschheit vertreten worden sind. Wir können die sich jetzt offenbarende, unerwartete Kongruenz des wissenschaftlichen und geistlichen Denkens mit großer Freude, ja mit Begeisterung zur Kenntnis nehmen, weil sie Spannungen auflösen kann, die in

²² J. D. EWBANK et al.: Improvements in real-time data acquisition (1986); J. D. Ewband et al.: Instrumentation for Gas Electron Diffraction (1992).

²³ A. Ischenko et al.: Structural and Vibrational Kinetics (1994).

²⁴ J. D. Geiser/P. M. Weber: Pump-probe diffraction (1998).

²⁵ J. D. EWBANK et al.: Structural Kinetics (1994).

²⁶ J. Itatani et al.: Tomographic imaging (2004).

unserer Geschichte häufig zu Gewalttätigkeiten und großem Leid geführt haben. Die Manifestation der Philosophia Perennis in den Quantenphänomenen führt zu einem neuen Verständnis des Menschen und kann Grundlage für ein integrales Denken sein, das zu einem wirklich, nicht nur behauptet, aufgeklärten Wirklichkeitsverständnis führt und das uns die Chance einer harmonischen globalen Neuordnung bietet, die im Einklang mit der Ordnung der Wirklichkeit ist.

Prof. Dr. Lothar Schäfer, Department of Chemistry and Biochemistry, University of Arkansas, Fayetteville, AR 72701 USA schafer@uark.edu

(Fortsetzung folgt in GW 3)