

Quantenmechanik kann nur die Wahrscheinlichkeit dafür angeben, wann etwa ein radioaktives Atom strahlt, wo ein Elektron zu finden ist und ob ein bestimmtes Lichtteilchen absorbiert oder reflektiert wird. Dieses bleibende statistische Element hat Einstein gefuchst und ihm den Satz entlockt, dass Gott nicht würfelt (als ob jemand dem Herrn im Himmel vorschreiben könnte, wie er was zu tun habe).

Auch Planck gefiel die Theorie nicht, die er 1900 in die Welt gebracht hatte, aber er versuchte, mit den irrationalen Quantensprüngen zu leben. Die wesentliche Neuerung bestand in der Idee, die Energie von emittiertem (ausgesandtem) Licht nicht mehr als ein kontinuierliches Strömen zu behandeln, sondern die Strahlen in individuelle Energiepakete zu zerlegen, die dem Licht einen partikulären Charakter gaben. Als Planck die Energie eines Lichtquantums proportional zu seiner Frequenz setzte, konnte er das Spektrum der Farben eines schwarzen Körpers perfekt vorhersagen. Aber statt zu triumphieren, wollte Planck den Geist des Diskreten, den er gerufen hatte, möglichst rasch wieder loswerden: Licht war doch eine kontinuierliche Welle, wie eine Gewissheit der Physik lautete, an der niemand zweifelte, am wenigsten Planck selbst. Sein Vertrauen und das der anderen Physiker – auch von Einstein bis zum Jahre 1905 – in das klassische Denken rührte von dem überragenden Erfolg des schottischen Physikers James Clerk Maxwell her, dem es nach 1870 gelungen war, bis dahin getrennt betrachtete elektrische und magnetische Felder in eine dynamische elektromagnetische Welle zu verwandeln. Maxwell stellte seinen Geniestreich in Form von vier Gleichungen vor, die heute auf T-Shirts zu finden sind, wobei ihnen noch die Worte vorangestellt werden: «Es werde Licht!» Tatsächlich, Maxwell hatte zeigen können, wie elektromagnetische Energie zu einer Wellenbewegung werden kann, die als Licht erscheint. Er konnte sogar die dazugehörige Geschwindigkeit ausrechnen, und das Ergebnis stimmte genau mit den Messwerten überein, die Heinrich Hertz am Ende des 19. Jahrhunderts vorlegen konnte. Die Welt der Physik schien in bester Ordnung – bis der lichtelektrische Effekt vermessen wurde und sich querstellte. Einstein löste den gordischen Kno-

ten, indem er sich nicht durch die Idee der Welle ablenken ließ und auf Plancks Vorschlag von diskreten Lichtquanten baute. Das heißt, Einstein unterbreitete den ungeheuerlichen Vorschlag, dem Licht eine doppelte Natur zuzuweisen und ihm zu erlauben, sich sowohl als Welle auszubreiten als auch in Form von Quantenteilchen zu zeigen. Man nennt sie inzwischen «Photonen» was so klingt wie Elektronen und beim ersten Hören den Eindruck macht, hier handele es sich um winzige Kügelchen. Doch Quantenteilchen darf man sich auf keinen Fall als gewöhnliche Partikel vorstellen. Einstein selbst hat von 1905 bis zu seinem Tod fünfzig Jahre später über die Frage gegrübelt, wie man sich die Natur dieser Lichtquanten vorstellen könne, ohne dass er einer Antwort auch nur ein Stückchen näher gekommen wäre. Er beklagte sich am Ende seines Lebens, dass inzwischen «jeder Lump» meine, er wisse, was Licht ist. Er irre sich aber gewaltig, wie der große Mann geschrieben hat, der längst seinen philosophischen Frieden mit der mysteriösen Doppelnatur gemacht und die Überzeugung gewonnen hatte: «Das Schönste, was [Menschen] erleben können, ist das Geheimnisvolle. Es ist das Grundgefühl, das an der Wiege von wahrer Wissenschaft und Kunst steht.» Und Einstein fügte dem Bekenntnis etwas hinzu: «Wer es nicht kennt und sich nicht mehr wundern, nicht mehr staunen kann, der ist sozusagen tot und sein Auge erloschen.» Das innere Licht der Erkenntnis zeigt, dass das äußere Licht der Welt ein Geheimnis ist und bleibt, und genau dies macht seinen Reiz und seine Schönheit aus. Die Wissenschaft verzaubert die Welt, wenn sich die Menschen offen zeigen und sich ihr nicht verschließen.

Die Dualität des Lichts wird philosophisch unter dem Begriff «Komplementarität» diskutiert, wie ihn Niels Bohr in die Physik eingeführt hat. Bohr neigte der Ansicht zu, dass es zu jeder Beschreibung der Natur eine zweite gibt, die der ersten zwar widerspricht, die aber gleichberechtigt mit ihr ist. Er sprach von komplementären Beschreibungen des Wissens, die beide richtig und nötig sind und durch ihre Spannung dafür sorgen, dass die Wahrheit ihr Geheimnis behält. In diesem Sinne hat Einstein gefunden, dass Licht eine komplementäre Beschreibung seiner

Natur erfordert, wobei anzumerken ist, dass diese Dualität mehr dem Geist der Romantik und weniger dem Denken der Aufklärung entspricht, auch wenn viele diesen Zusammenhang gerne übersehen.

Das Auftreten der «Romantik» mag überraschen, wenn es um Physik geht. Es ist aber relevant, und ein Grund findet sich in Einsteins Lichtdeutung, die ihn deshalb erschütterte, weil sich dabei völlig unerwartete Grenzen der Aufklärung in seiner Wissenschaft zeigten. Die Vertreter dieser Denkrichtung hatten sich im 18. Jahrhundert davon überzeugt gezeigt, dass diejenigen, die erst vernünftige Fragen über die Welt stellen – Was ist Licht? – und darauf vernünftige Antworten finden – Licht ist eine elektromagnetische Welle –, mit diesen Angaben über das Wissen verfügen, auf das es Menschen ankommt. In der Aufklärung war nicht vorgesehen, dass dabei Widersprüche auftreten, was Einstein aber 1905 erlebte. Diese Möglichkeit vorgesehen hatten die Vertreter der Romantik, die nach der Aufklärung kamen und in der Natur ein «Gesetz der Polarität» wirken sahen. Zum Tag gehört die Nacht, zum Mann die Frau, zum Teil das Ganze, zum Einatmen das Ausatmen, zum Bewussten das Unbewusste, dem Innen steht ein Außen gegenüber, Denken wird ergänzt durch Träumen, und vielen Menschen werden weitere Polaritäten einfallen, zu denen heute analog-digital und kontinuierlich-diskret gehören.

Einstein konnte die romantische Polarität konkret als Dualität des Lichts erfahren, wobei ihn fassungslos machte, dass es eine wissenschaftliche Frage war – die nach der Natur des Lichts –, die ohne eindeutige Antwort blieb. Sollte sie sich nicht in einem Experiment klären lassen? Wie sich herausstellte, ging genau dies nicht, denn wer Licht vermessen wollte, musste zuvor ein Opfer bringen und eine Wahl im Hinblick auf das treffen, was es zu erkunden galt – die Wellenlänge des Lichts oder den Weg, den es etwa durch einen Kristall genommen hat. Beides zusammen konnte nicht in einem Versuchsaufbau allein bestimmt werden, und getrennt vorgenommene Messungen ließen die Komplementarität (Polarität, Dualität) des Lichts und seiner Energie nur noch deutlicher hervortreten.

Erzählungen vom wissenschaftlichen Wissen sollten der Romantik auch deshalb Platz zugestehen, weil zum einen das Aufspüren von unsichtbarem Licht in der so bezeichneten Kulturoperche gelungen ist, weil damals zum Zweiten der Gedanke akzeptiert wurde, dass sichtbare Abläufe – wie das Fallen von Gegenständen – durch unsichtbare Kräfte – denen des Gravitationsfeldes der Erde – zu erklären sind, und weil schließlich in den romantisch orientierten Jahrzehnten die neben den Kräften lange unbemerkt gebliebene Energie endlich zu den Ehren kam, die sie verdient und inzwischen genießt. Physiker wie Isaac Newton haben um 1700 noch lieber von Kräften und Aktionen gesprochen, die man mehr oder weniger direkt beobachten kann, und erst um 1800 herum tauchte die Energie in der Physik auf, die dann im Verlauf des 19. Jahrhunderts zu einem wichtigen Faktor der sozialen Geschichte und sogar zum Leitmotiv der ganzen Epoche wurde. Er löste dabei «Die Verwandlung der Welt» aus, wie Historiker ausgearbeitet haben. Ohne Energie kann niemand mehr verstehen, wie die Gegenwart geworden ist und *alles seine Zeit* bekommen hat, wie es im Buch Kohelet in der Bibel heißt.

Zur Erinnerung: Das Wort «Energie» geht auf Aristoteles zurück, der die Wirklichkeit als etwas ansah, das immer wieder (kriert) werden muss. Zunächst existiert alles in Form einer Möglichkeit oder «dem Vermögen nach», wie es bei dem Philosophen heißt. Aristoteles gab der Wirkkraft, mit deren Hilfe eine «res potentia» (eine Sache in der Mitte zwischen Möglichkeit und Sein) umgewandelt und zur erlebten Realität werden konnte, den Namen «energeia», der heute als «Energie» fortlebt und Menschen nach erneuerbaren Quellen für das notwendige Lebenselixier suchen lässt. Man kann die Energie auch als den *unbewegten Beweger* identifizieren, den Aristoteles an den Beginn allen Geschehens stellt, und mit dem die Unzerstörbarkeit der Wirkgröße erfasst werden soll. Mit der heute bekannten Wandlungsfähigkeit der Energie würde man eher von einem «bewegten Beweger» sprechen, wie er noch einmal auftreten wird.

Mit diesen Vorgaben lässt sich erkennen, worin das Besondere der sich im Laufe der 1920er Jahre herausbildenden Quan-

tenmechanik mit den komplementären Eigenschaften seiner Objekte besteht. Sie können *beide* als «der Möglichkeit nach seiend» angesehen werden, während *eine* Erscheinungsform stets «der Aktualität nach nicht seiend» ist. Die Quantenmechanik versucht zum ersten Mal, eine Theorie des Werdens zu sein (zu werden), in der es nur Bewegung und Wandel gibt, zu denen der Mensch beiträgt. Dies passt philosophisch zum Gedanken der Romantik, in der es nur schöpferisches Tun und also Bewegung gibt, und dies zeigt sich mathematisch dadurch, dass in den Gleichungen der Quantenmechanik keine Zahlen (Messwerte) mehr auftreten, dafür aber Operatoren, die den Eingriffen von Beobachtern Rechnung tragen. Ihre Messanordnungen bestimmen, wie sich die Quantenwelt zeigt, die (wortwörtlich) unbestimmt bleibt, solange niemand nach ihr schaut. Die Natur des Lichts bleibt unbestimmt, bis jemand seine Wellenlänge oder die Orte seiner Photonen wissen will, und sie erst dadurch bestimmt. Darin zeigt sich die berühmte Eigenschaft der Unbestimmtheit von Objekten auf der Bühne der Atome, die Werner Heisenberg 1927 erfasst hat und die jenem seiner Gedanken eine schärfere Form gibt, der besagt, dass die Bahn eines Elektrons in einem Atom erst dadurch zustande kommt, dass Menschen sie beschreiben.

Auf diese Weise kommt im Innersten der Welt der Mensch bei sich selbst an, wie die Romantiker vermutet haben und wie Heisenberg erfahren durfte. Er konnte 1925 eine erste Quantentheorie vorlegen, nachdem er die Hoffnung aufgegeben hatte, Atome durch Modelle beschreiben zu können. Er bemühte sich stattdessen, eine Theorie zu entwerfen, die sich an dem Licht orientierte, das Atome aussenden. Heisenberg versuchte, dem Wandel Rechnung zu tragen, dem sie dabei unterliegen, während die Energie konstant blieb. Es war sein Festhalten am Energiesatz, das den Zugang zu den Atomen ermöglichte, was einen näheren Blick auf das dazugehörige Gesetz rechtfertigt.

Zu den Standardansichten der Wissenschaftsphilosophie gehört der Vorschlag des Philosophen Karl Popper, dass alles empirische Erkunden nur hypothetisches Wissen liefert, denn die Logik der Forschung besteht darin, erst eine Hypothese aufzu-