

Physik und Theologie – gestern und heute

Herausgegeben von Barbara Hallensleben

Aschendorff Verlag, Münster 2017

Dieter Hattrup

PHYSIK UND THEOLOGIE – GESTERN UND HEUTE

1. Persönliches

Der Titel unterstellt, Physik und Theologie stünden in einer Beziehung, in der Vergangenheit wie in der Gegenwart. Aber stimmt das wirklich? Ein katholischer Theologe wie Karl Rahner verneint das: „Theologie und Naturwissenschaft können grundsätzlich nicht in einen Widerspruch untereinander geraten, weil beide sich *von vornherein* in ihrem Gegenstandsbereich und ihrer Methode unterscheiden“.¹ Der reformierte Theologe Karl Barth redete übrigens ganz ähnlich, ebenso der lutherische Theologe Rudolf Bultmann. Hier ein indirekter Beleg: „Christlicher Glaube bezog sich für [Bultmann] nur auf die Existenz ... Die Natur hingegen warf er der Naturwissenschaft zum Fraß hin“.²

Ich nehme an, diese Theologen waren gebrannte Kinder, sie fühlten die Kränkungen in ihrer Seele, die bis heute mit den Namen von Galilei und Darwin verbunden sind. Eine neuerliche Schmach wollten sie deshalb von vornherein ausschließen und sprachen sich für die strikte Trennung der Parteien aus. Denn obwohl sie im 20. Jahrhundert lebten, haben sie den Wandel in der Physik dieses Jahrhunderts nicht mitbekommen, der ihnen viel von ihrer Angst hätte nehmen können.

Merkwürdig – wie anders sprechen zur gleichen Zeit die Physiker, die mitten in diesem Wandel standen und ihn sogar bewirkt haben, über dieselbe Beziehung. Etwa um 1970 sagt Heisenberg, der mit seinen Unbestimmtheitsrelationen die Quantentheorie vollendet hat: „Sie wissen ja, dass durch die Atomphysik und durch das, was man in ihr gelernt hat, sehr allgemeine Probleme anders aussehen als früher, etwa das Verhältnis von Naturwissenschaft zur Religion, allgemeiner zur Weltanschauung. Das sieht jetzt anders aus, seit wir wissen, dass selbst in der Atomphysik die Beziehung zwischen Subjekt und Objekt nicht mehr so einfach aussieht wie in der klassischen Physik“.³

Die gleiche Aussage macht Einstein, jedoch im Modus der Abwehr. Er will nicht sehen, was er zu sehen bekommt, und er sieht es doch: „Ich kann mir keinen persönlichen Gott denken, der die Handlungen der einzelnen Geschöpfe direkt beeinflusste oder über seine Kreaturen direkt zu Gericht säße. Ich kann es nicht, trotzdem die mechanistische Kausalität von der modernen Wissenschaft bis zu einem gewissen Grade in Zweifel gestellt wird“.⁴

1 Karl Rahner, Schriften zur Theologie, Band XV, Einsiedeln 1982, 26.

2 Carl Friedrich von Weizsäcker, Wahrnehmung der Neuzeit, München 1983, 374.

3 <https://www.youtube.com/watch?v=MbV4wjYtYc> (gegen Ende des Beitrags: ab 1:21:26).

4 Albert Einstein, Briefe, Zürich 1981, 63.

Dieses Zitat übrigens hat mich zum Theologen gemacht. Als ich vor etwa 50 Jahren anfang, über die Wirklichkeit nachzudenken, in die ich durch die Geburt geworfen bin, boten sich mir zwei Möglichkeiten an, die Welt zu deuten: entweder Gott oder die Natur, obwohl kein Mensch ganz genau wusste, was das eine und was das andere ist. In der Wissenschaft gab es ein beständiges Agieren für die Natur und gegen Gott. Ausdruck dieses allgemeinen Lebensgefühls war zum Beispiel das Drei-Stadien-Wort von Auguste Comte, der 1842 gesagt hat: Erst kommt das Stadium der kindlichen Religion, dann die jugendliche Metaphysik, schließlich die erwachsene positive Wissenschaft, welche die beiden ersten Stadien verschwinden lässt.⁵

Das habe ich als Schüler gehört, und es hat mich nachdenklich gemacht. Ja, es könnte wahr sein, Comte könnte recht haben, die Erfolge der Wissenschaft sind wirklich enorm. Ich bin zwar ein religiöser Mensch, ein *homo naturaliter religiosus*, denn da ich mich nicht selbst erschaffen habe, sollte ich diejenige Wirklichkeit anerkennen, die mich in der Hand hat und die nicht ich in der Hand habe. Aber natürlich, das könnte ein falsches Gefühl sein, die Wissenschaft verspricht ja seit ihren Anfängen, der Mensch könne die Natur, also vielleicht alle Wirklichkeit, in die Hand bekommen. Schon 1637 hat Descartes das den Menschen zugesichert, die er als zukünftige Herren und Meister der Natur anredet, „comme maîtres et possesseurs de la nature“.⁶

Als Jugendlicher war ich also in einen Konflikt gestellt, deshalb musste ich, wenn überhaupt Theologie, dann erst Naturwissenschaften studieren, um zu sehen, ob Descartes und Comte recht hatten oder nicht. Und siehe da, bei der Rede Einsteins über den Gegensatz von persönlichem Gott und mechanistischer Kausalität hatte ich zum ersten Mal das Gefühl, die beiden selbstsicheren Franzosen könnten ihr Haus auf Sand gebaut haben. Ich fühlte die gleiche Frage wie Einstein in mir: Ist die letzte Wirklichkeit eine Person oder ist sie ein sachhaftes Gesetz? Und auch in der Methode stimmte ich mit Einstein überein: Die Naturwissenschaft hat in dieser Frage ernsthaft mitzureden. Wenn die Wissenschaft sagt, in der Natur sei Freiheit nicht zu denken, dann müsste ich wohl den personalen Gott aufgeben. Eben dieses war im 19. Jahrhundert Darwin geschehen, der 150 Jahre vor mir geboren ist. Er hatte als Theologe angefangen, aber weil er in den „fixed laws“ der Mechanik, wie er sie nannte und die er auch auf seine Evolutionslehre anwandte, keinen Ausweg fand, endete er als Agnostiker: „Everything in nature is the result of fixed laws“.⁷

Nur in einem dritten Punkt unterschied ich mich von Einstein. Dieser fürchtete sich vor dem Ende der mechanistischen Kausalität, während ich eher Freude darüber empfand. Denn es ist doch wohl so: Wer einigermaßen frei ist in der Berufswahl, der macht seine Berufung zum Beruf. Man setzt sein ganzes Leben in der Welt nur für das ein, was man für das Ganze der Welt hält. Bei Einstein ist das deutlich zu sehen. Um 1950 schreibt er dem Dichter Hermann Broch: „Ich bin fasziniert von Ihrem Vergil und wehre mich beständig gegen ihn. Es zeigt mir das Buch deutlich, vor was ich geflohen bin, als ich mich mit Haut und Haar der Wissenschaft verschrieb: Flucht vom Ich und vom Wir in das Es“.⁸

Dieses Es ist der Gott Spinozas, zu dem sich Einstein oftmals bekannt hat, aber dieser Gott ist keine Person, sondern eher ein kosmisches Naturgesetz. Dieser Gott konnte deshalb nicht mehr mein Gott sein, die Natur konnte ich wegen der Quantentheorie nicht mehr für das Ganze halten. Die Natur ist nicht alle Wirklichkeit. Also konnte die Naturwissenschaft nicht mehr die Abbildung des Ganzen sein, also konnte ich trotz des *Doctor rerum naturalium* kein Naturwissenschaftler werden.

5 Auguste Comte, Discours sur l'esprit positif, 1842; deutsche Ausgabe: Rede über den Geist des Positivismus, Hamburg 1994.

6 René Descartes, Discours de la méthode VI,2.

7 Vgl. Charles Darwin, The Autobiography of Charles Darwin, London 1982, 87.

8 Banesh Hoffmann, Albert Einstein. Schöpfer und Rebell, Zürich 1976, 298.

2. Das mechanische Zeitalter. Die Geschichte gestern

Wie sollen wir heute das Verhältnis von Gott und Natur denken, und wie konnte es zu diesem immensen Konflikt kommen? Wie können wir der raunenden Ahnung Heisenbergs gerecht werden, der von einem neuen Verhältnis von Naturwissenschaft zur Religion spricht, bewirkt durch die Atomphysik, also durch die Quantentheorie?

Wenn wir unseren Blick zurück auf die letzten 400 Jahre lenken, so hatten Physik und Theologie viel miteinander zu schaffen, zunächst aber nur negativ. Ich spreche vom mechanischen Zeitalter, beginnend mit dem Todesjahr des Kopernikus 1543, bis zum Jahr 1900, in dem Max Planck das Quantum entdeckte, also den Zufall in die Wissenschaft eingeführt hat.

Nur negativ war zunächst die Beziehung, etwa im Jahr 1610, als Galilei sein nachgebautes Fernrohr auf den Himmel richtet. Er sieht, wie irdisch es am Himmel zugeht. Er schaut auf die Sonne, und die hat plötzlich Flecken. Das war schändlich, denn nach der alten Metaphysik geht es am Himmel immer vollkommen zu, das Sternenzelt sollte aus dem unirdischen Stoff der *Quinta essentia* gebildet sein, und alle Körper sollten am Himmel auf Kreisbahnen umlaufen. Aber plötzlich hat die Sonne dunkle Flecken, und die Venus hat Phasen, sie leuchtet einmal auf der linken und einmal auf der rechten Seite, je nach dem Stand der Sonne. Und mit seinem Fernrohr erkennt Galilei Berge und Täler auf dem Mond, ganz wie auf der Erde. Und vor allem der Jupiter! Galilei sieht vier Monde, die um den Planeten kreisen, was doch unmöglich ist, wenn Aristoteles und Ptolemäus recht haben, welche die Planeten an Sphären hängen ließen, die sich um die Erde drehen. Galilei schreibt ein Büchlein darüber, „Sidereus nuncius“, der Sternensbote genannt, das im März 1610 erscheint. Plakativ gibt Bertolt Brecht in seinem Drama über Galilei dem Physiker einen Stift in die Hand und lässt ihn schreiben: „Heute ist der 10. Januar 1610. Die Menschheit trägt in ihr Journal ein: Himmel abgeschafft“.⁹

Tatsächlich empfanden die wachen Zeitgenossen die Beobachtungen Galileis als die Vertreibung Gottes aus der Natur. Kardinal Bellarmine schreibt bald darauf, etwa 1614, ein Gegenbuch mit dem Namen „Die Himmelsstiege oder die Erhebung der Seele zu Gott durch die Betrachtung der erschaffenen Dinge“. Aber der Kardinal und seine späteren Mitstreiter in der Physiko-Theologie haben dem mechanischen Weltbild nichts Ernsthaftes entgegenzusetzen, da sie über die Grenzen der Mechanik damals nichts wissen konnten.

Ja, es kommt noch schlimmer. Denn jetzt kommt Isaac Newton und sein Buch von 1687 über die „Mathematischen Grundlagen der Naturphilosophie“, oder die „Philosophiae naturalis principia mathematica“. Damit scheint der Damm gebrochen zu sein, die Mechanik scheint den vollkommenen Sieg errungen zu haben, weil sie alle Bewegungen in der Natur zu erklären unternimmt. Zwar waren die Natur des Lichts und vieles andere noch nicht erklärt, aber es schien nur eine Frage der Zeit zu sein, bis alles mit Stoß und Druck nach den mechanischen Grundsätzen der Schwerkraft gedeutet ist. Ein mechanischer Träumer war dann im 19. Jahrhundert Pierre Laplace, der sich in Begeisterung über die Newton'sche Physik nicht genug tun konnte: „Alle Ereignisse, selbst jene, welche wegen ihrer Geringfügigkeit scheinbar nichts mit den großen Naturgesetzen zu tun haben, folgen aus diesen mit derselben Notwendigkeit wie die Umläufe der Sonne“.¹⁰ Und weil er die Vorhersage am Himmel gleich auch auf die Erde verlegt, kann er zu Napoleon sagen, als dieser ihn nach Gott fragt: „Sire, je n'avais pas besoin de cette hypothèse-là“ – diese Hypothese brauchte ich nicht.

Doch es gab auch Skeptiker. Der erste, der skeptisch auf Newtons System blickte, war Newton selbst. Nicht sofort 1687, aber zehn oder zwanzig Jahre später merkte er, was er

⁹ Bertolt Brecht, *Leben des Galilei*, 1945, 3. Bild.

¹⁰ „Tous les événements, ceux même qui par leur petitesse, semblent ne pas tenir aux grandes lois de la nature, en sont une suite aussi nécessaire que les révolutions du soleil“: Pierre-Simon Laplace, *Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit* (1814), Leipzig 1932, 1.

angerichtet hatte: Er hatte das Handeln Gottes in der Welt unmöglich gemacht und damit Gott seiner Freiheit beraubt – und den Menschen gleich mit dazu. Deshalb konnte 1748 ein Arzt namens Julien Offray de La Mettrie ein Buch mit dem Titel „L’homme machine“ schreiben. Zugleich hatte Leibniz in Hannover das Problem bemerkt. Beide, Newton und Leibniz, haben auch eine Lösung der Freiheitsfrage versucht, beide auf merkwürdig konstruierte Weise, die hier nicht dargelegt werden kann. Übrigens sind Newton und Leibniz über diese Frage in einen bitterbösen Streit geraten, mit zornigen Briefen, in denen einer dem anderen vorwarf, den Atheismus zu befördern.¹¹ Was uns interessieren muss, ist nicht ihre Antwort, sondern ihre Frage. Denn beide stellten die richtige Frage, sie stellten die Gottesfrage als Freiheitsfrage: Ist in der Natur, wie wir sie kennen, Freiheit möglich?

Ein halbes Jahrhundert später sah sich Immanuel Kant vor die gleiche Frage gestellt, und er hat die für die damalige Zeit vielleicht beste Antwort gefunden. Newton hat nach Kant zwar Recht mit seiner Physik, aber seine Mechanik gilt nur für die äußeren Erscheinungen, für das Ding an sich soll sie nicht gelten. Deshalb kann oder muss Kant in der „Kritik der reinen Vernunft“ von 1787 so seltsame Sätze sagen wie: „Ich musste also das *Wissen* aufheben, um zum *Glauben* Platz zu bekommen“ (B XXX). „Denn, sind Erscheinungen Dinge an sich selbst, so ist Freiheit nicht zu retten“ (B 564).

Gemeint ist die Aufhebung des Wissens einer allzuviel wissenden Metaphysik, aber auch einer allzuviel wissenden Physik wie im Fall von Laplace. Kant hatte allerdings nicht das Glück, verstanden zu werden, da die späteren Philosophen seinen physikalischen Hintergrund nicht im Blick hatten, etwa Fichte, der Kant verbessern wollte, was dieser sich entschieden verbat. Hier die Einschätzung meines Lehrers von Weizsäcker: „Kants Argumente konnte man nicht widerlegen, aber mit ihren Folgerungen zu leben, war für den klassischen Entwurf der Philosophie unerträglich. So wurde das grandiose Abenteuer des deutschen Idealismus gewagt“.¹²

3. Die Lage heute

Lassen wir uns anregen von Leibniz, Newton und Kant, und gehen wir heute auf die Suche nach der verlorenen Freiheit, verloren oder stark gefährdet durch die mechanische Physik.

Diese Physik ändert sich plötzlich um das Jahr 1900, von niemandem erwartet und von nur wenigen begrüßt, am wenigsten von dem Entdecker Max Planck, der das Quantum in die Physik eingeführt hat. Damit hat er gegen einen alten Grundsatz der Metaphysik und der Physik verstoßen: *Natura non facit saltus* – Die Natur macht keine Sprünge. Doch leider ist der Grundsatz im Unrecht, und Planck, der sich lange gegen die Sprünge gewehrt hat, ist im Recht, wenn auch wider Willen: „Durch mehrere Jahre hindurch machte ich immer wieder Versuche, das Wirkungsquantum irgendwie in das System der klassischen Physik einzubauen. Aber es ist mir das nicht gelungen“.¹³

Auch der junge Einstein beteiligte sich zunächst an der Physik der Quanten, etwa als er im Alter von 26 Jahren den photoelektrischen Effekt mit Hilfe des Wirkungsquantums erklärte. Damals merkte er noch nichts. Zwanzig Jahre später ist er über die neue Theorie entsetzt. 1927 schreibt er in einem Brief: „Lebendiger Inhalt und Klarheit sind Antipoden, einer räumt das Feld vor dem andern. Das erleben wir gerade jetzt tragisch in der Physik“.¹⁴

Tragik in der Physik? Ja, das ist möglich, wenn man sein Herz an ein Bild der Natur gehängt hat, dem die Natur widerspricht. Bis 1930 hatte sich Einstein zu helfen versucht, indem er die Quantentheorie als in sich widersprüchlich erklärte. Insbesondere ging er immer wieder leiden-

11 Vgl. Samuel Clarke, Der Briefwechsel mit G.W. Leibniz von 1715/16, Hamburg 1990.

12 Carl Friedrich von Weizsäcker, Zeit und Wissen, München 1992, 531.

13 Max Planck, Vorträge und Erinnerungen, Darmstadt 1970, 27.

14 Max Born/Albert Einstein, Briefwechsel 1916-1955, Hamburg 1972, 102.

schaftlich gegen die Unbestimmtheitsrelationen von Heisenberg vor. Gott würfelt nicht! – war sein Kampfruf. Nachdem er jedoch den Titanenkampf gegen Bohr auf der Solvay-Konferenz von 1930 verloren hatte, änderte er seine Taktik. Er meinte, die Quantentheorie habe keine inneren Widersprüche, doch in der vorliegenden Form sei sie noch nicht vollständig. Nebenbei schlug er Heisenberg für den Nobelpreis vor, den dieser 1932 auch erhielt. Einstein blieb hartnäckig: Die fehlenden verborgenen Parameter zur Wiederherstellung der vollen Kausalität müssten und könnten gefunden werden. In dem Versuch, diese Parameter zu finden, leitete Einstein allerdings selbst seine endgültige Niederlage ein.

Das EPR-Experiment, das Einstein 1935 zusammen mit Podolsky und Rosen vorschlug, war zwar zunächst nur ein Gedankenexperiment, aber dem Physiker John Bell gelang es in den 1960er Jahren, ein ausführbares Experiment daraus zu entwickeln, denn Bell war selbst an der Existenz der verborgenen Parameter zur Wiederherstellung der vollen Kausalität in der Natur interessiert. Auch für ihn kam es anders.

Einstein hatte mit dem EPR-Paradoxon zeigen wollen, wie sehr die Unbestimmtheit der Quantentheorie gegen den gesunden Menschenverstand verstößt. Seine Prinzip lautete: Lokale Realität bestimmt die Natur. Jeder physikalische Vorgang soll an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit stattfinden. Wenn dieses Prinzip nicht vollständig gilt, dann gilt das Kausalgesetz nicht mehr vollständig, denn dann sind Ursache und Wirkung nicht sauber voneinander zu unterscheiden. Man spricht von verschränkten Teilchen. Und John Bell hatte eine glänzende Idee, wie man die Frage nach der lokalen Realität im Experiment entscheiden kann. Sein Wunsch allerdings geht nicht in Erfüllung. Alle Ergebnisse sprechen eindeutig gegen die lokale Realität. Im Jahr 2017 haben chinesische Forscher sogar einen neuen Rekord in der Distanz der Teilchen aufgestellt. „Verschränkte Photonenpaare zeigen ihr spukhaftes Verhalten sogar, wenn sie 1200 Kilometer entfernt sind“.¹⁵

Wer etwas mehr von dem Paradoxon verstehen möchte, muss sich mit den Bell'schen Ungleichungen beschäftigen. Stellen wir uns zum Beispiel die Mitarbeiter einer Firma vor. Jedem Mitarbeiter können wir feste Eigenschaften zuschreiben. Nehmen wir exemplarisch die folgenden drei Merkmale:

- männlich oder weiblich (m oder nicht m),
- treibt Sport oder treibt nicht Sport (s oder nicht s),
- hat New York City besucht oder nicht (n oder nicht n).

Lokale Realität meint dann: Jeder Angehörige hat die Eigenschaft oder hat sie nicht, losgelöst davon, ob eine andere Person diese Eigenschaft hat. Offenbare, lokale Parameter – legen bei den Leuten der Firma diese Eigenheiten fest. Wir führen folgende Schreibweisen ein: $A(m, s)$ sei die Anzahl der Mitarbeiter, die männlich sind und Sport treiben, $A(s, \text{nicht } n)$ sei die Anzahl derer, die Sport treiben, doch nicht in New York waren, und so weiter.

Dann gilt die folgende Ungleichung:

$$A(m, s) \leq A(m, n) + A(s, \text{nicht } n).$$

Die Anzahl der Leute im Betrieb, die männlich sind und Sport treiben, ist kleiner oder gleich der Anzahl von Leuten, die männlich sind und in New York waren, vermehrt um die Anzahl von Leuten, die Sport treiben und nicht in New York waren. Der Beweis ist einfach: Die Leute, die bei $A(m, n)$ im Vergleich mit $A(m, s)$ wegfallen, sind unter solchen zu finden, die männlich sind, Sport treiben und nicht in New York waren. Diese finden wir alle unter $A(s, \text{nicht } n)$ wieder; in dieser Gruppe sind sogar noch die sportlichen weiblichen Mitglieder mit dieser Eigenschaft enthalten. Ungleichungen dieser Art werden ganz allgemein Bell'sche Ungleichungen genannt. Und diese Ungleichung, die doch für den Verstand sehr einleuchtend ist, gilt nicht in der Quantentheorie. Denn den kleinsten Teilchen lassen sich keine festen, lokal ein-

15 FAZ vom 21. Juni 2017, Seite N1.

deutig bestimmbar Parameter zuordnen. Das allerdings muss in mühsamer Laborarbeit gezeigt werden.

Ich beschränke mich auf das Ergebnis, wie es bei Paul Davies zu lesen ist: „Aus Einsteins Gedankenexperiment sind jedenfalls inzwischen eine Reihe wirklicher Experimente geworden, deren Ergebnisse bestätigt haben, dass Bohr eindeutig recht hatte und Einstein bedauerlicherweise unrecht“. „Es herrscht Unbestimmtheit, was bedeutet, dass einige Ereignisse ‚einfach geschehen‘, spontan sozusagen, ohne vorherige Ursache im üblichen Wortsinn“. ¹⁶ Oder wir können den großen Physiker Feynman hören, der auf die lange Geschichte der Physik zurückblickt und seufzt: „Ja! Die Physik *hat* aufgegeben. *Wir wissen nicht, wie man vorhersagen könnte, was unter vorgegebenen Umständen passieren würde*, und wir glauben heute, dass es unmöglich ist – dass das einzige, was vorhergesagt werden kann, die Wahrscheinlichkeit verschiedener Ereignisse ist“. ¹⁷

So lautet das Ergebnis von 400 Jahren extremer Anstrengung in der Physik: Es gibt in der Natur den Zufall und die Notwendigkeit, beides, das eine ist so echt wie das andere, und sie sind nicht unter ein gemeinsames Prinzip zu bringen. Und mit Zufall und Notwendigkeit, diesem widerspenstigen Paar, finden wir die Parallele und Differenz der Physik zur Theologie. Die Theologie, wie jede gesunde Philosophie, ist auf Freiheit angewiesen, deren Möglichkeit erst einmal nachgewiesen werden muss, bevor sie überhaupt loslegen kann, von Schöpfung und Offenbarung zu sprechen. Ich rede von einer Freiheit in der Natur, denn der Mensch ist ein leibhaftiges Wesen, er ist nicht Geist außerhalb der Welt, wie das vielleicht Descartes mit seiner *res cogitans* gemeint hätte. Der Mensch ist Geist in Welt und in der Natur.

Wie also können wir von der Freiheit sprechen? Jetzt kann ich keine Zitate mehr bringen, das Folgende muss ich selbst verantworten. Doch beginnen wir mit einem weiteren Zitat, das zeigt, wie man mit Zufall und Notwendigkeit nicht umgehen sollte. Der Amerikaner Edward O. Wilson sagt: „If humankind evolved by Darwinian natural selection, genetic chance and environmental necessity, not God, made the species. – Wenn der Mensch durch die Darwin'sche natürliche Selektion entstanden ist, dann haben genetischer Zufall und von der Umgebung erzeugte Notwendigkeit, nicht Gott, die Arten geschaffen“. ¹⁸

Wilson begeht einen Denkfehler, indem er Zufall und Notwendigkeit wie ein einziges Prinzip behandelt. Es sind aber zwei, deren Einheit unseren Begriffen nicht zugänglich ist, d.h. dem Begreifen schlechthin unzugänglich bleibt. Notwendigkeit ist ein Wissensprinzip, das Ursache und Wirkung verbindet, und Zufall ist ein Nichtwissensprinzip, das die Verbindung von Ursache und Wirkung auflöst. Und Hüh und Hott sind nicht in ein einziges Wort zu bringen. Wir müssen uns vor diesem Denkfehler hüten und stattdessen transzendental vorgehen.

Fragen wir nach den Bedingungen: Was muss in der Natur realisiert sein, damit Freiheit in ihr denkbar ist? Nun, zum einen muss Notwendigkeit da sein, viele kausale und verlässliche Gesetze muss es geben, mit denen Gott und der Mensch ihre Freiheit betätigen. Es müssen die Gesetze der Schwerkraft, der Optik, der Wärmelehre erfüllt sein, damit ich auch nur einen Schritt nach vorne gehen kann. Der alte Gegensatz von Freiheit und Notwendigkeit ist oberflächlich. Er hat nur insofern recht, als die kausale Notwendigkeit nicht ganz meinen Willen, einen Schritt nach vorne zu tun, bestimmen darf. Denn sonst wäre mein Wunsch nur das Ergebnis feuernender Neuronen und anderer Vorgänge in mir. Die physikalische Notwendigkeit muss in der Natur ihre Grenze finden, aber das tut sie auch. Wie jetzt im 21. Jahrhundert wohl endgültig feststeht, ist der Zufall in der Natur echt und nicht nur ein subjektives, vorläufiges Unwissen. Diese transzendente Überlegung ist zwar kein Beweis für die Existenz der Freiheit,

16 Paul Davies, *Die Unsterblichkeit der Zeit*, Bern 1995, 208 und 219.

17 Richard P. Feynman, *Vorlesungen über Physik*, Bd. III (1965), München 1992, 30.

18 Edward Osborne Wilson, *On Human Nature*, Cambridge 1978, 1.

jedoch ein plausibler Aufweis für die Spuren der Freiheit in der Naturforschung selbst, insofern diese am Ende auf Zufall und Notwendigkeit hinausläuft.

Was wir in der Physik gesehen haben, wiederholt sich in der Evolutionslehre mit Mutation und Selektion, worauf ja schon Wilson mit „genetic chance and environmental necessity“ hingewiesen hat, wenn auch in unzulänglicher Form. Die gleichen Bruchstücke von Freiheit finden sich in der Neurobiologie, denn auch dort lassen sich Bereitschaftspotential und Bewusstseinspotential als Spiel zwischen Zufall und Notwendigkeit deuten. Das gleiche wird wohl auch von der Kosmologie gelten. Wenn gewisse Leute den Kosmos eine Quantenfluktuation des Nichts nennen und von einer Schöpfung ohne Schöpfer sprechen, so ist auch da die Quantentheorie im Spiel, damit auch Zufall und Notwendigkeit, und wiederum stoßen wir auf die Bruchstücke der Freiheit. Und dann kann man selbst im Urknall den Finger eines personalen Schöpfers erkennen, der in Freiheit tätig ist. Man kann das sehr gut tun, ganz zwingend ist es nicht. Aber das ganz Zwingende wäre ja wiederum mit der Freiheit nicht vereinbar, und wir haben es mit dem echten Zufall aus der Naturwissenschaft ausschließen können.

So komme ich abschließend zu meinen beiden Hauptsätzen: „Natur ist diejenige Wirklichkeit, die ich ergreifen kann, Gott diejenige Wirklichkeit, die mich ergreift.“ Diesem Satz hätten natürlich auch Descartes, Laplace und Einstein zugestimmt, nur hätten sie gerne die Wirklichkeit, die mich ergreift, zu einer leeren Menge erklärt. Der zweite Satz lautet: „Freiheit ist das Schattenspiel von Zufall und Notwendigkeit.“ Wer diesem Satz zustimmt, weiß ich nicht genau, jedenfalls zähle ich diese Personen dann zu meinen engsten Freunden.

Bücher von Dieter Hattrup zur Thematik:

- Einstein und der würfelnde Gott. An den Grenzen des Wissens in Naturwissenschaft und Theologie, Herder: Freiburg i.Br. 2001; 4. Auflage 2008.
- Die Wirklichkeitsfalle. Vom Drama der Wahrheitssuche in Naturwissenschaft und Philosophie, Herder: Freiburg i.Br. 2003.
- Carl Friedrich von Weizsäcker – Physiker und Philosoph, WBG: Darmstadt 2004.
- Frankenberger, Gottbekenntnisse großer Naturforscher. Erweitert und kommentiert von D. Hattrup, Paulinus: Trier 2005.
- Der Traum von der Weltformel oder Warum das Universum schweigt, Herder: Freiburg i.Br. 2006.
- Darwins Zufall oder Wie Gott die Welt erschuf, Herder: Freiburg i.Br. 2008.
- Freiheit als Schattenspiel von Zufall und Notwendigkeit – Vier Dialoge, Herder: Freiburg i.Br. 2009.
- Darwin als Kirchenvater 1: Stephen Jay Gould. Verlag CreateSpace 2014, ISBN-13: 978-1503144491.
- Darwin als Kirchenvater 2: Albert Einstein u.a. Verlag CreateSpace 2014, ISBN-13: 978-1503144934.
- Darwin als Kirchenvater 3: Thomas von Aquin. Verlag CreateSpace 2014, ISBN-13: 978-1503234444.

LICHT – WELLEN ODER TEILCHEN?

Ein Einblick in die wundersame Welt der Quantenmechanik

Die Diskussion um die Natur des Lichts hat eine lange Geschichte. Licht besteht aus starren Korpuskeln – so postulierte Isaac Newton im 17. Jahrhundert, eine Hypothese, die auf keinerlei experimentellen Grundlagen beruhte. Diese Interpretation wurde aufs heftigste von Newtons Zeitgenossen Hooke und Huygens angegriffen. Sie behaupteten, Licht sei eine Wellenerscheinung. Erst Thomas Young gelang Anfang des 19. Jahrhunderts der Nachweis, dass das Licht die Eigenschaften einer Welle hat. Das Young'sche Experiment brachte die Diskussion zu einem vorläufigen Abschluss, bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts der photoelektrische Effekt entdeckt wurde; er besteht darin, dass ultraviolettes Licht aus einer Metallplatte Elektronen heraus schlägt. Die Interpretation dieses Effekts – ohne den wir heute keine Digitalkameras, Videokameras und andere Lichtdetektoren hätten – entzog sich jedem Erklärungsversuch mit den Methoden der zur Jahrhundertwende bekannten Physik.

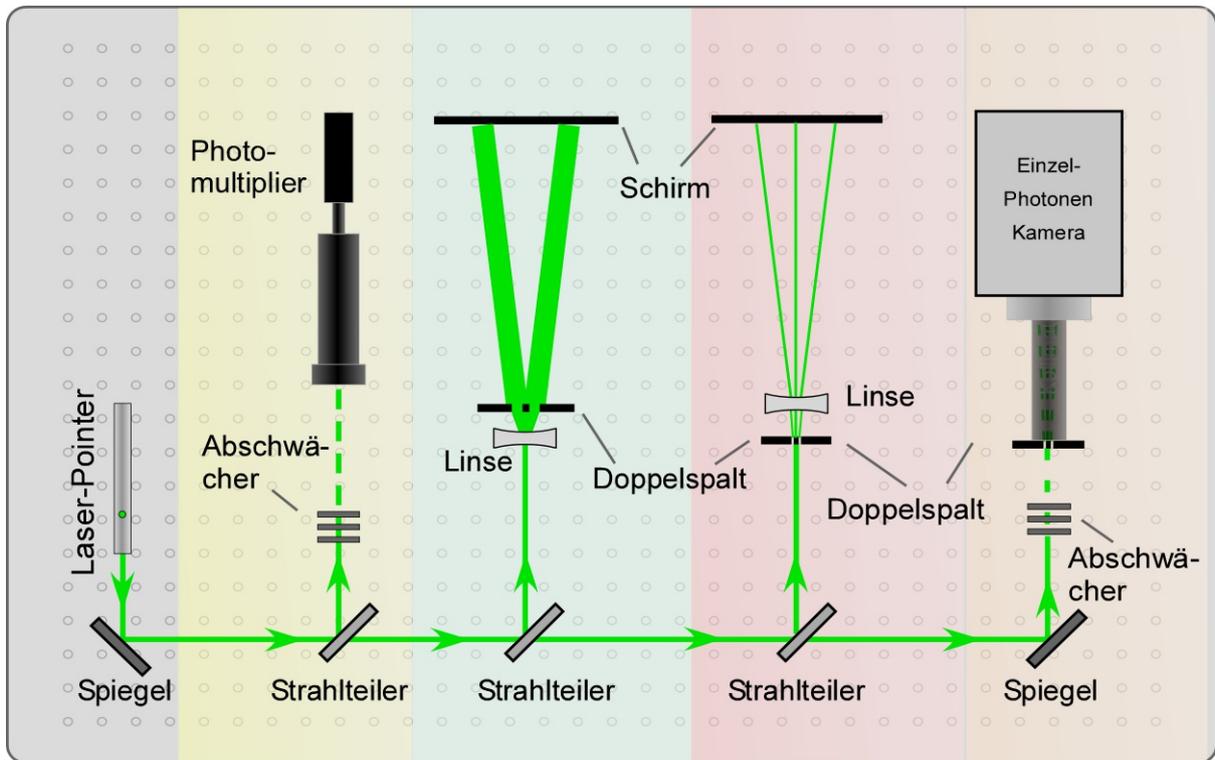
1905 stellte Albert Einstein die 1921 mit dem Nobelpreis ausgezeichnete revolutionäre Hypothese auf: Man kann den Photo-Effekt erklären, wenn man annimmt: Das Licht besteht aus einem Strom von Teilchen – später Photonen genannt. Die unwiderruflichen Beweise sowohl für die Teilchennatur als auch für die Wellennatur des Lichts stellten die Physiker vor ein großes Dilemma. Die Interpretation dieses Paradoxes geht auf Niels Bohr zurück, der das Komplementaritätsprinzip aufstellte. Nach diesem Prinzip kann ein physikalisches System sehr wohl zwei sich gegenseitig ausschließende Eigenschaften haben; sie können nicht gleichzeitig beobachtet werden, sind jedoch beide nötig, um das System vollständig zu beschreiben. Das universelle Prinzip spielt auch in vielen anderen Disziplinen eine wichtige Rolle, um nur die fernöstlichen Philosophien zu nennen (Yin-Yang).



Diese Auflösung des Paradoxes ist heute als *Welle-Teilchen-Dualismus* des Lichts bekannt. Das Licht verhält sich wie eine Welle, und das Licht verhält sich wie Teilchen, aber nie gleichzeitig. Was man beobachtet, hängt von dem durchgeführten Experiment ab: Während seiner Ausbreitung offenbart das Licht seine Wellennatur, wohingegen sich beim Nachweis des Lichts der Teilchencharakter zeigt. Erst die Theorie der Quantenmechanik vereint beide Aspekte in einer einzigen kohärenten Beschreibung, indem sie den Lichtteilchen (Photonen) eine Welleneigenschaft zuordnet: die quantenmechanische Wellenfunktion.

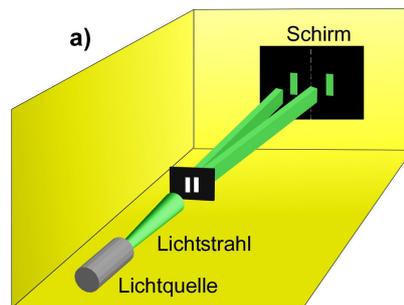
DEMONSTRATIONSEXPERIMENT

Vor kurzem habe ich ein von den Departementen für Physik und Chemie finanziertes Demonstrationsexperiment zur Illustration des Welle-Teilchen-Dualismus realisiert. Ein grüner Laserpointer dient hierbei als Lichtquelle, sein Strahl wird durch Spiegel auf vier verschiedene Experimente gelenkt, wie die folgende Abbildung zeigt.

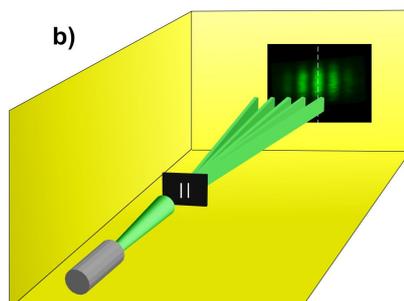


Photonen hören: Der Lichtstrahl wird so stark abgeschwächt, dass nur wenige Photonen pro Sekunde auf einen Detektor (Photomultiplier) treffen, in dem jedes Photon einen elektrischen Impuls erzeugt, der als Knacken in einem Lautsprecher hörbar gemacht wird.

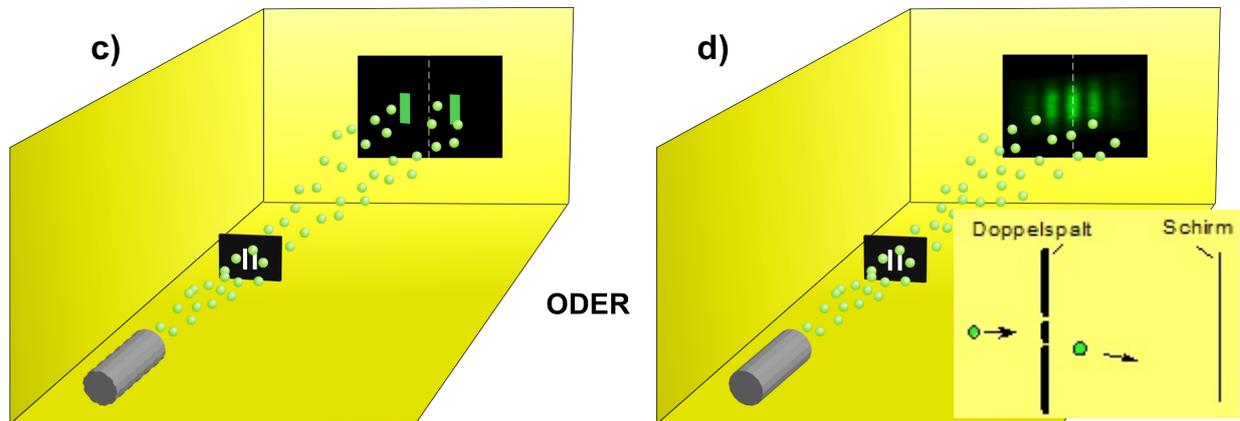
Strahlen sehen: Beleuchtet man zwei breite Spalte in einer sonst undurchsichtigen Scheibe, sind auf dem dahinter liegenden Schirm die Bilder der beiden Spalte mit einem dunklen Bereich in der Mitte zu sehen (Abb. a). Dies ist das Verhalten von Licht-Strahlen.



Wellen sehen: Macht man die beiden Spalte sehr dünn und bringt sie sehr nahe aneinander, so zeigt das Bild auf dem Schirm ein ganz anderes Verhalten. Zu beobachten sind mehrere Streifen und zudem in der Mitte ein heller Streifen (Abb. b). Dies ist der Doppelspalt-Versuch von Young, bei dem das charakteristische Streifenmuster die Wellennatur des Lichts beweist.



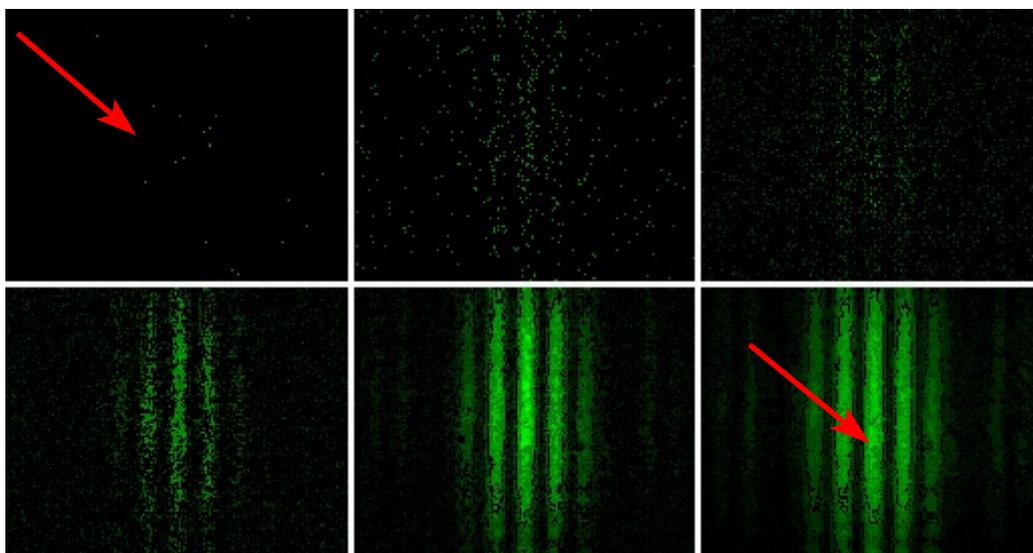
Photonen und Wellen sehen: Es stellt sich die von Einstein mit Bohr intensiv diskutierte Frage, was passiert, wenn man den Young'schen Versuch mit einem stark abgeschwächten Lichtstrahl durchführt, so dass in jedem Augenblick nur ein einzelnes Photon durch den Spalt fliegt. Wird man dann auf dem Schirm ein Muster sehen, das Licht-Strahlen entspricht (Abb. c), oder ein solches, das Licht-Wellen entspricht (Abb. d)?



Im Demonstrationsversuch wird eine hochempfindliche Kamera, die einzelne Photonen als helle Punkte darstellen kann, eingesetzt, um das Resultat zu zeigen. Auf jedem Einzelbild der Kamera erzeugt der stark abgeschwächte Lichtstrahl etwa zehn scheinbar zufällig verteilte helle Punkte, welche die Auftreff-Orte der Photonen darstellen und so den Teilchencharakter des Lichts demonstrieren.

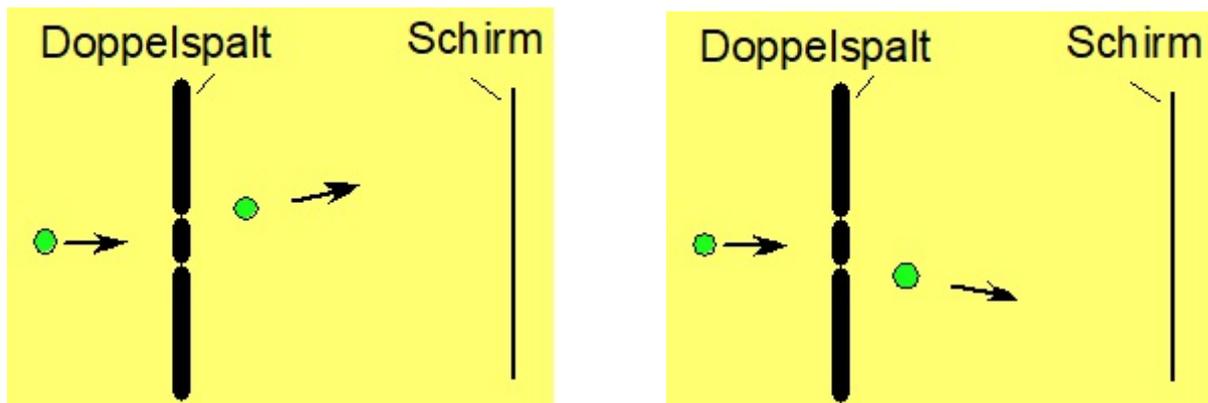
Überlagern sich viele solcher Bilder, so sieht man, wie sich mit der Zeit das für Wellen charakteristische Streifenmuster herausbildet, was wiederum den Wellencharakter des Lichts demonstriert. Die Tatsache, dass in der Mitte des Schirms ein heller Streifen auftaucht, obwohl die Photonen einzeln durch die Spalte fliegen, lässt sich nur durch die Annahme erklären, dass jedes einzelne Photon gleichzeitig durch beide Spalte fliegt.

Die Teilchen-Natur des Lichts offenbart sich im Moment des Licht-Nachweises (einzelne Punkte):

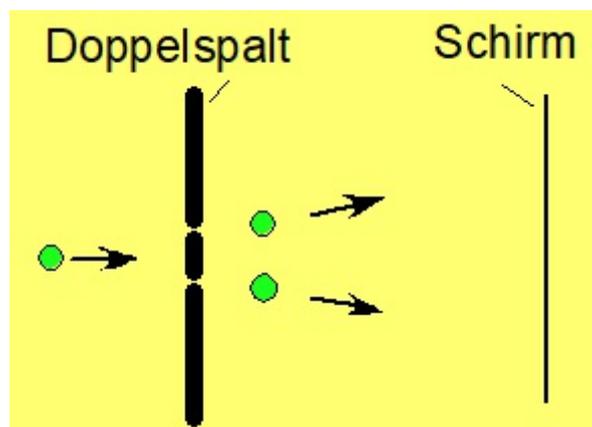


Die Wellen-Natur des Lichts offenbart sich während der Licht-Ausbreitung.

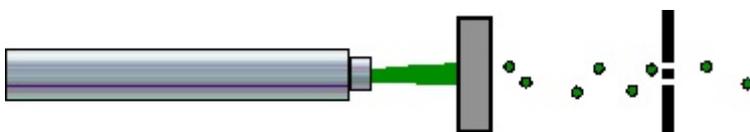
Welchen Spalt durchfliegt also beim Doppelspaltexperiment das Photon? In der klassischen Mechanik erwartet man, dass das Photon den einen *oder* den anderen Spalt passiert.



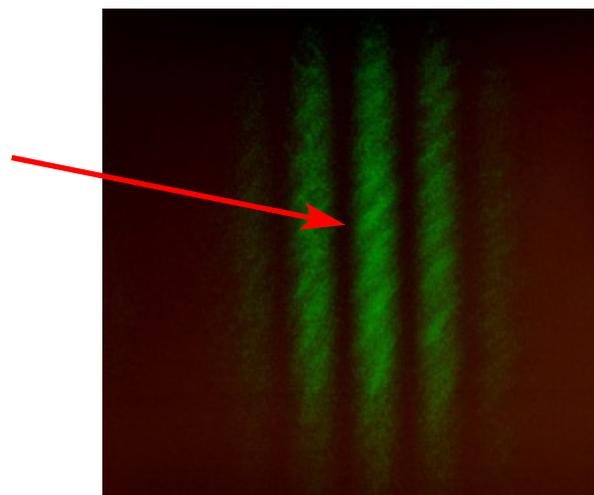
In der quantenmechanischen Beschreibung, die erforderlich ist, um die Phänomene zu erklären, passiert jedes Photon *gleichzeitig* beide Spalte!

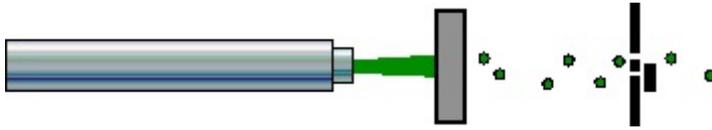


Und was geschieht, wenn man einen Spalt schließt?

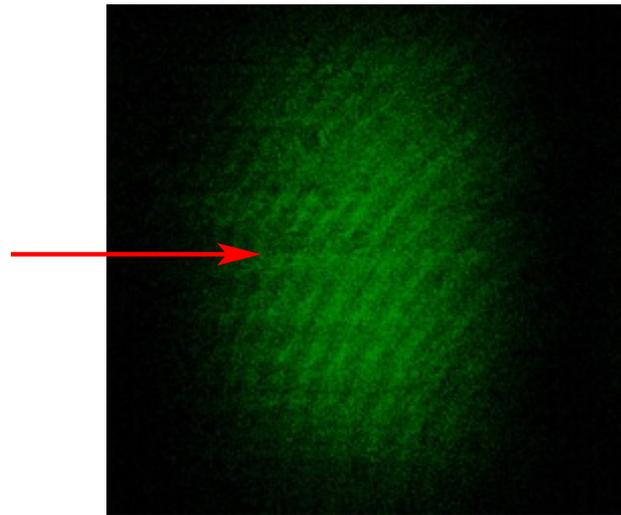


Sind beide Spalte geöffnet, entstehen „verbotene Zonen“, an denen das Photon nie erscheint.



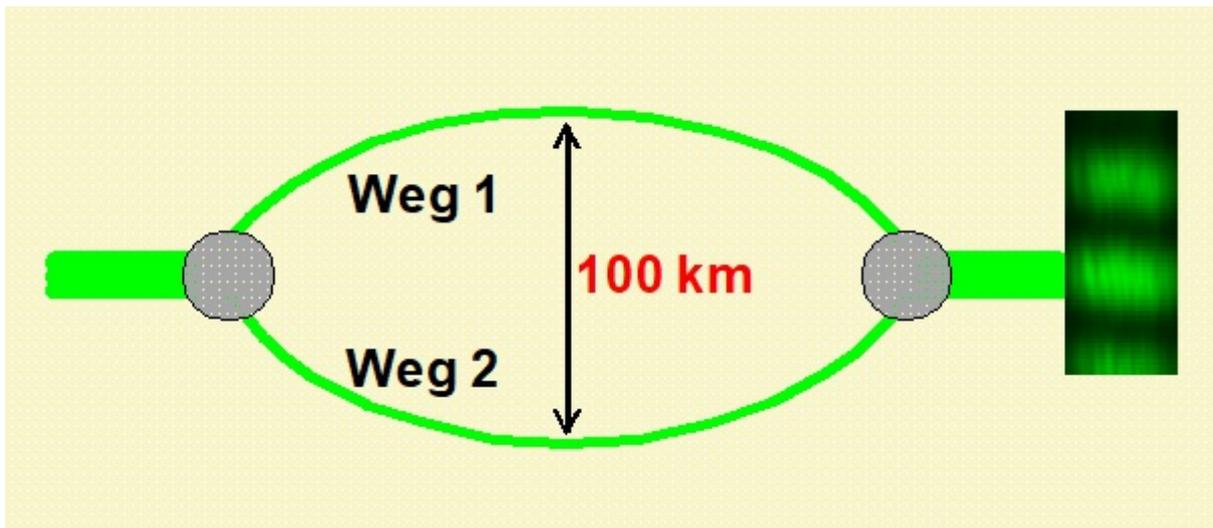


Ist hingegen ein Spalt geschlossen, tauchen solche „verbotenen Zonen“ nicht auf.



Die Schlussfolgerung lautet: Das Photon, das einen der Spalte durchquert, „weiß“ offenbar, ob der andere Spalt offen ist oder nicht. Das wiederum lässt sich nur dadurch erklären, dass das Photon gleichzeitig durch beide Spalte fliegt.

Ein möglicher Einwand könnte lauten: Das Photon ist „groß“, und die Spalte liegen so nahe nebeneinander, dass das Photon leicht gleichzeitig durch beide Spalte fliegen kann. Doch physikalische Experimente zeigen: Man kann die Versuchsanordnung auch so gestalten, dass die beiden Wege mehrere 100 km weit voneinander entfernt liegen – und das Ergebnis bleibt das gleiche.



Das sonderbare Verhalten, dass Teilchen bis zu dem Moment ihres Nachweises delokalisiert sind, bildet eine der Grundlagen der Quantenmechanik.

Die nicht nur physikalische, sondern zugleich weltanschauliche Bedeutung der Ergebnisse wird im nächsten Beitrag dargestellt.

QUANTENPHYSIK –
VOM SUBJEKTIVEN ZUM REINEN ZUFALL

Angeblich zufälliges Verhalten beruht im Bereich der klassischen Physik ausschließlich auf unserer Unkenntnis bzw. auf mangelhaften Messmethoden. Anders im Reich der kleinsten Teilchen, der Quantenphysik: Hier gilt das Prinzip des „reinen Zufalls“. Physiker gewähren Einblick in eine der wichtigsten Entdeckungen der Physik des 20. Jahrhunderts.

Im 17. Jahrhundert formulierte Isaac Newton die Gesetze der Mechanik, welche die Bewegung der Körper auf der Erde und im Universum bestimmen. Der spektakuläre Erfolg dieser Gesetze, insbesondere in der Astronomie, führte Pierre-Simon Laplace 1814 dazu, sich eine „Intelligenz“ vorzustellen – später „Dämon“ genannt –, die aufgrund der Kenntnis der Positionen und Geschwindigkeiten aller Teile des Universums die Zukunft des Universums voraussagen kann. Diese Aussage führt notgedrungen zu der schwer akzeptierbaren Schlussfolgerung, dass alle Ereignisse – so auch Wissen, Verhalten und Entscheidungen des Menschen – auf deterministische Weise kausal mit vorangegangenen Ereignissen verknüpft sind.

Streng genommen gibt es in der deterministischen Welt des Laplace'schen Dämons keinen Platz für den Zufall. In der Wissenschaft ist der Begriff „Zufall“ eng mit der Wahrscheinlichkeit verbunden, dass ein gewisses Ereignis eintritt. Ob eine hochgeworfene Münze mit Kopf oder Zahl nach oben landet, ist durch die Geschwindigkeit und Rotation der Münze beim Abwurf bestimmt, und allein die unbekanntenen Anfangsbedingungen verhindern eine Voraussage des Resultats. Trotzdem können wir sagen, dass jedes der beiden Resultate mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% eintritt. Anhand einer Videoaufnahme des Abwurfs kann ein Computer den Ausgang vorausberechnen und bereits vor der Landung der Münze anzeigen. Der deterministische Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung der Newton'schen Gesetze bedingt, dass die Münze vom Moment ihres Abwurfs an die Information über den Ausgang des Wurfs in sich trägt. In der klassischen Physik hat der Zufall einen rein subjektiven Charakter, da er auf unserer Unkenntnis der Anfangsbedingungen beruht, die wir nur in einfachen Fällen bestimmen können.

Tiefgreifender Paradigmenwechsel

Die Quantenmechanik wurde am Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelt, um verschiedene experimentelle Beobachtungen zu beschreiben, deren Deutung sich den Gesetzen der Mechanik und der Elektrodynamik entzieht. So postuliert die Quantenmechanik z.B., dass sich Licht gleichzeitig als Welle und als Strom von Quantenteilchen (Photonen) beschreiben lässt. Die Quantenmechanik führte zu einem Paradigmenwechsel, der das allumfassende Wissen des Laplace'schen Dämons prinzipiell verunmöglicht und uns zur Aufgabe eines streng deterministischen Weltbildes zwingt.

Der Zufall spielt in der Quantenmechanik eine herausragende Rolle, vor allem in der breit akzeptierten Kopenhagener Interpretation. Die Quantenmechanik beschreibt die Position eines Teilchens durch eine mathematische „Wellenfunktion“, deren Quadrat die Wahrscheinlichkeit angibt, mit der man das Teilchen an einem bestimmten Ort antrifft.

Eine wesentliche Grundlage für die Verwerfung des Determinismus bildet Heisenbergs Unschärferelation, die (vereinfacht) besagt: Wir können nicht gleichzeitig Ort und Geschwindigkeit eines leichten Teilchens kennen: je größer die Ortsunschärfe, desto kleiner die Geschwindigkeitsunschärfe und umgekehrt. Im Alltag ist die Unschärfe wegen der großen Masse der Objekte unmessbar klein. Hingegen ist das Verhalten der extrem leichten Teilchen in der

subatomaren Welt vollkommen durch diese Unschärfen bestimmt, daher der Ausdruck „Quantenwelt“. So ist die Größe eines Atoms dadurch bestimmt, dass die Natur versucht, die Unschärfen des Orts und der Geschwindigkeit seiner Elektronen gleichzeitig klein zu halten. Unschärfe bedeutet hier, dass Ort und Geschwindigkeit per se unbestimmt sind, nicht etwa, dass es nur technisch unmöglich wäre, sie genau zu messen. Diese Verschwommenheit ist ein spezifisches Merkmal der Quantenmechanik.

Das bedeutet: Gleiche Ausgangszustände in der Vergangenheit können zu verschiedenen Endzuständen in der Zukunft führen. Damit aber lässt sich kein eindeutiger Kausalzusammenhang mehr zwischen Vergangenheit und Zukunft herstellen, wie die klassische Mechanik ihn postuliert hatte.

Als Albert Einstein sagte: „Gott würfelt nicht!“, wollte er – gleichsam im Widerstand gegen seine eigenen Forschungsergebnisse – darauf bestehen, dass alle Ereignisse der Zukunft sich wenigstens prinzipiell streng determiniert aus den Gegebenheiten der Vergangenheit herleiten lassen. „Gott würfelt doch!“, so müssen wir aufgrund der Einsichten der Quantenmechanik nun sagen. Denn die Beschreibung durch Quantenwahrscheinlichkeiten weist dem Zufall in der Quantenwelt eine fundamentale Rolle zu. Im Gegensatz zum *subjektiven (kausalen)* Zufall in der klassischen Physik haben wir es in der Quantenwelt mit einem *objektiven (akausalen)* Zufall zu tun, wie folgendes Beispiel belegt:

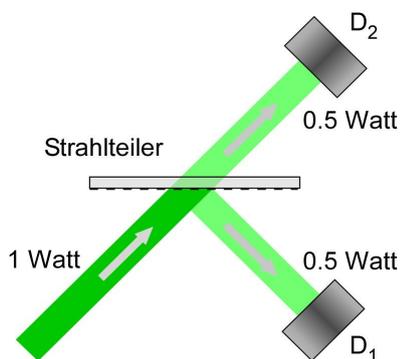


Abb. 1

Betrachten wir eine halbversilberte Glasplatte (Strahlteiler), die 50% eines einfallenden Lichtstrahls reflektiert und 50% durchlässt (Abb. 1), sodass die Detektoren D1 und D2 gleiche Intensitäten messen. Fasst man den Lichtstrahl als Strom von Photonen auf, registriert jeder Detektor im Mittel $N/2$ Photonen, wenn N Photonen auf den Strahlteiler gesandt werden (Abb. 2).

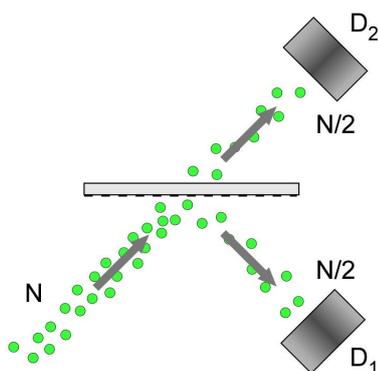


Abb. 2

Schicken wir nur ein einzelnes Photon auf den Teiler, können wir nicht mehr vorhersagen, welcher Detektor das Photon registrieren wird (Abb. 3). Dies ist ein kompletter Zusammenbruch der Kausalität, da eine gegebene Ursache (Photon trifft Strahlteiler) zwei unterschiedliche Wirkungen (Nachweis durch D1 oder D2) haben kann.

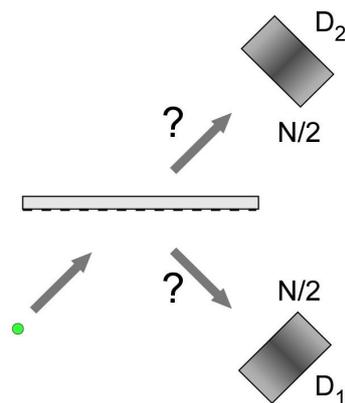


Abb. 3

Die Quantenmechanik erlaubt uns keine Aussage für Einzelereignisse, sondern sagt lediglich voraus, dass bei vielfacher Wiederholung die Hälfte der Photonen von D1 und die andere von D2 nachgewiesen werden.

Man würde erwarten, dass jedes Photon mit einer 50-prozentigen Wahrscheinlichkeit vom Strahlteiler reflektiert oder durchgelassen wird. Die Quantenmechanik hingegen lehrt uns: Jedes Photon wird sowohl reflektiert als auch durchgelassen. Bis zu seinem Nachweis bleibt das Photon delokalisiert, d.h. seine Wellenfunktion besteht aus zwei miteinander verknüpften Teilen, die sich gleichzeitig auf die Detektoren zubewegen. Beim Nachweis des Photons fällt die Wellenfunktion sozusagen in einem der Detektoren in sich zusammen, man spricht von einem Kollaps der Wellenfunktion.

Um die Kausalität zu retten, wurde spekuliert, ob das Photon, ähnlich wie die hochgeworfene Münze, eine verborgene Information über den einzuschlagenden Weg in sich trägt (*hidden variable*). Durch zahlreiche Experimente konnte jedoch die Existenz solcher verborgenen Variablen widerlegt werden (Bell'sche Ungleichungen).

Dass das Photon beide Wege gleichzeitig nimmt, ist keine abstrakte Hypothese, sondern eine physikalische Realität, welche sich mit einer von den Autoren entwickelten Apparatur sogar in der Vorlesung demonstrieren lässt.

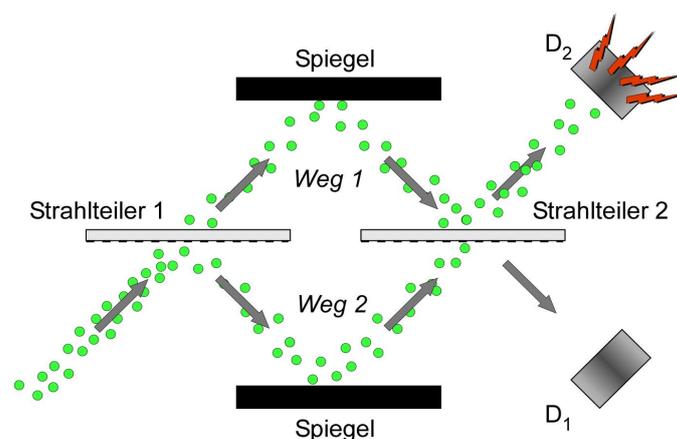


Abb. 4

Hinter dem Strahlteiler 1 werden die Lichtwege mit Spiegeln umgelenkt und durch einen zweiten Strahlteiler wieder vereinigt. Jedes Photon kann somit auf zwei verschiedenen Wegen zu einem gegebenen Detektor gelangen. Falls die Wege gleich lang sind, werden alle Photonen vom Detektor D2 registriert, und keines der Photonen fällt auf den Detektor D1. Dieses Phänomen der destruktiven Interferenz ist bekannt bei starken Lichtstrahlen und dient als Beweis für die Wellennatur des Lichts. Bei einzelnen Photonen kann deren Abwesenheit in D1 nur durch die Annahme erklärt werden, dass jedes Photon, d.h. seine Wellenfunktion, beide Wege gleichzeitig genommen hat. Im Verschwinden der Photonen äußert sich die destruktive Interferenz der beiden Teilwellen. Zwingt man das Photon, einen spezifischen Weg einzuschlagen, indem man den andern Weg blockiert (Abb. Fig.5), macht man die seltsam anmutende Beobachtung, dass der Detektor D1 wieder Photonen registriert. Das Photon, welches den oberen Weg nimmt, „spürt“ somit, ob der untere Weg offen ist oder nicht.

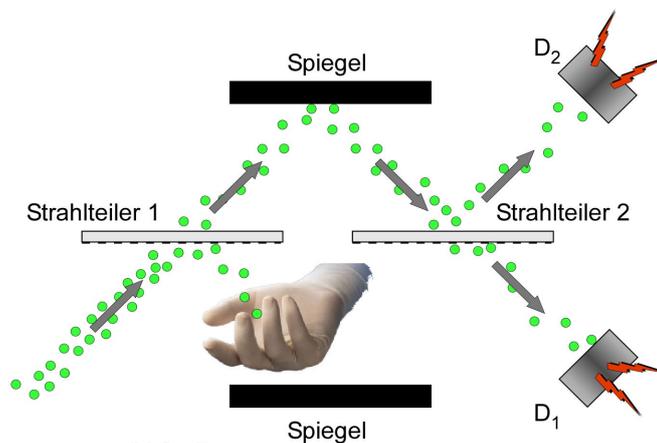


Abb. 5

Quo vadis?

Resümieren wir kurz die wichtigsten Ergebnisse der Quantenmechanik, die seit den Anfängen des 20. Jahrhunderts in Geltung ist:

- Das Postulat der Quantisierung des Lichts in Form von Korpuskeln (Photonen) markiert die Geburtsstunde der Quantenmechanik.
- Die Welt des Allerkleinsten (atomare und sub-atomare Skala) wird durch die Gesetze der Quantenmechanik regiert.
- Diese Gesetze beinhalten z.B., dass ein Objekt gleichzeitig an zwei Orten sein kann.
- Dadurch ist die Möglichkeit einer Weltformel in Form einer geschlossenen Kausalkette naturwissenschaftlich widerlegt.

Die Gesetze der Quantenmechanik, so bizarr sie auch scheinen mögen, stellen die physikalische Realität dar – und fast alle modernen Technologien (Mikro-Elektronik, Handy, Computer, medizinische Bildgebung, Laser, digitale Photographie, usw.) beruhen auf Anwendungen der Gesetze der Quantenmechanik.

Unlängst konnten Physiker den quantenmechanischen Zufall „zähmen“ und ihn einsetzen, um Nachrichtenübertragungen auf absolut sichere Art zu verschlüsseln. In Zukunft werden Quantencomputer, in denen der Quantenzufall eine fundamentale Rolle spielt, möglicherweise eine neue technologische Revolution bewirken.

Kausalzusammenhänge behalten weiterhin ihren Stellenwert in den sogenannten exakten Naturwissenschaften. Sie beschreiben die Wirklichkeit jedoch nicht vollständig. Der akausale Quantenzufall gesteht uns eine offene Zukunft zu.