

Die klassische und die quantenphysikalische Interpretation der Materie

Manuskript eines Vortrages

Gehalten im Rahmen einer Tagung der Vennland-Akademie
für philosophische Erwachsenenbildung
www.vennland-akademie.de

61. Wochenendtagung: Kosmologie I Endlichkeit/Unendlichkeit (Ewigkeit) der Welt

Gunter Heim



**Arnold Janssen Klooster te Wahlwiller
Niederlande**

16. Januar 2010

*Man meint, den Menschen verstanden zu haben, wenn
man ihn auf Materie zurückführt. Um diesen
Schein zu zerstreuen, genügt die Frage:
Was ist denn Materie?*

C. F. von Weizsäcker

Inhaltsverzeichnis

Einführung.....	1
Erster Teil: Philosophische Relevanz des Materiebegriffs.....	3
Zweiter Teil: Die geistfreie Materie der klassischen Physik.....	7
Dritter Teil: Der Materiebegriff in der Quantenphysik.....	15
Vierter Teil: Spekulationen namhafter Physiker.....	22
Literatur	24

Das Bild auf der Titelseite zeigt die Teilnehmer der 61. Wochenendtagung im Seminarraum des Arnold Janssen Klosters in Wahlwiller.

„Man meint, den Menschen verstanden zu haben, wenn man ihn auf Materie zurückführt. Um diesen Schein zu zerstreuen, genügt die Frage: Was ist denn Materie?“ Dieses Zitat der Titelseite stammt aus C. F. von Weizsäckers Buch *Die Geschichte der Natur*. Hirzel Verlag, Zürich, 6. Auflage, 1964.

© Dr. Gunter Heim, 2010
Vennland-Akademie für philosophische
Erwachsenenbildung, begründet von
Univ. Prof. Dr. Vincent Berning, RWTH Aachen
www.vennland-akademie.de

Einführung

Im Einladungsschreiben zu dieser ersten Tagung zum Thema Kosmologie heisst es: "Die Phasen der Welt nach dem Urknall werden heute vielfach mit mathematischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten begründet. Aber woher kommen die Gesetze, die gestaltenden Kräfte, die Richtung des jeweiligen Geschehens, die weiteren Differenzierungen einzelner Ganzheiten in der Einheit des Kosmos? Woher kommt der Zuwachs an Seinsheit und an Seinstiefe bei neuen Ganzheiten wie den Lebewesen und schließlich dem geistbegabten Menschen?"

Das springende Wort in dem Einladungstext ist das Aber - sofern es nämlich für einen Widerspruch zwischen mathematisch-physikalischen Gesetzmäßigkeiten einerseits und gestaltenden Kräften, Seinstiefe und Geist anderseits steht.

In der Tradition der antiken Atomisten¹ entwickelte die abendländische Wissenschaft seit dem 16. Jahrhundert ein im Wesentlichen atomistisches Bild des Kosmos: Kleinste, undurchdringliche Teilchen, bewegen sich unter dem Einfluss einiger weniger Gesetzmäßigkeiten in Raum und Zeit. Die Vielfalt der uns sinnlich fassbaren Phänomene lässt sich letztendlich immer zurückführen auf unterschiedliche Anordnungen der Atome.

Und das gilt auch für den Menschen. In diesem Weltbild ist auch der Mensch bloß eine Anordnung von Atomen, die sich ständig neu umgruppieren. Die geistigen Erscheinungen, die Vielfalt unserer Stimmungen, Wünsche, Sehnsüchte und selbst die Religiösität waren bloße Begleiterscheinungen der atomaren Stoffwelt – ein Epiphänomen.

Ende des 19. Jahrhunderts waren viele Naturwissenschaftler überzeugt, dass dieses Weltbild in seinen Grundannahmen alle Er-

1 Siehe hierzu z. B. Lukrez: *Über die Natur der Dinge*, verfasst im ersten Jahrhundert vor Christus. Im zweiten Buch heisst es: "Welcherlei Körper der Geist nun besitzt und aus welchen Atomen dieser besteht, soll weiter mein Vers dir näher erläutern. Erstlich behaupt' ich, er sei aus den allerfeinsten und kleinsten Urelementen gebildet. Daß dieses sich also verhalte, Magst du aus folgendem lernen, so daß es dir völlig gewiß wird. Nichts in der Welt scheint wohl an Geschwindigkeit irgend zu gleichen Unserem Geist, der im selben Moment, was er denkt, auch schon anfängt. Also bewegt sich der Geist viel schneller als irgendwas andres Aus dem Bereiche der Dinge, die unserem Auge sind sichtbar. Aber nun kann doch ein Ding, das so leicht sich bewegt, nur bestehen Aus ganz kugelig runden und allerkleinsten Atomen, Die beim leichtesten Stoß sofort in Bewegung sich setzen." (Zitiert nach Hermann Diels, 1924)

scheinungen im Kosmos erklären könne. Die Physik galt als grundlegende Wissenschaftsdisziplin. Das heisst: Auf ihre Gesetze müssen letztendlich auch die Wissenschaften vom Leben wie die Psychologie und die Biologie zurückführbar sein.

Neurowissenschaftler suchen noch heute in diesem Geist nach Belegen dafür an, dass dieses oder jenes geistige Phänomen letztendlich identisch sei mit diesem oder jenen Erregungszustand unseres Zentralnervensystems. Wir erinnern uns an die 53. Tagung im Januar 2006 zur *Hirnforschung und Willensfreiheit*, als wir z. B. das Libet-Experiment deuteten.

Soziobiologen, wie zum Beispiel der Engländer Richard Dawkins, versuchen zu zeigen, dass die Vielfalt unseres Verhaltens letztendlich reduziert werden kann auf evolutionäre Optimierungsstrategien - im weiteren Sinne also den Darwinismus.²

Der Mensch ist aus diesem Denkstil heraus vollkommen verständlich und enträtselt: Habe ich genau den Zustand der Materie seines Körpers erfasst und kenne ich alle Gesetzmäßigkeiten dieser Materie, dann weiss ich auch, wie sich diese Materieansammlung in Zukunft weiter verhalten wird. Ich kann also auch das Verhalten des Menschen voraussagen.³

Der deutsche Physiker Carl Friedrich von Weizsäcker (1912-2007) schrieb 1964 dazu: "Man meint, den Menschen verstanden zu haben, wenn man ihn auf Materie zurückführt." Von Weizsäcker fügte aber hinzu: "Um diesen Schein zu zerstreuen, genügt die Frage: Was ist denn Materie?"⁴

Dass diese Frage nach dem Wesen von Materie berechtigt und bedeutsam ist, möchte im Folgenden zeigen. Mein Vortrag ist in vier Teile gegliedert. Im ersten Teil möchte ich die philosophische

2 Stellvertretend nennen möchte ich drei Bücher: Wilson, Edward Osborne: *Sociobiology: The New Synthesis* (1975). Wickler, Wolfgang: *Die Biologie der Zehn Gebote* (1975). Dawkins, Richard: *The Selfish Gene* (1976)

3 C. F. von Weizsäcker äußert Skepsis: "Wir gehen von der Physik aus, um uns gegen sie abzugrenzen. Der menschliche Körper besteht aus denselben chemischen Elementen wie die anorganische Welt, er genügt denselben Gesetzen und hat sich vermutlich auf physikalisch verständliche Weise aus Anorganischem entwickelt. Die Versuchung liegt nahe, zu sagen: "Jetzt wissen wir, was der Mensch ist. Er ist nichts als Materie." Wer das sagt, wäre, was man einen naiven Materialisten nennt. Was ist gegen diese Meinung einzuwenden? Man kann wohl zweierlei an ihr kritisieren: den falschen Anschein einer Erklärung, den sie gibt, und die Worte 'nichts als'." In: C. F. von Weizsäcker: *Die Geschichte der Natur*. 6. Auflage, 1964. Hirzel Verlag, Zürich. Seite 95

4 C. F. von Weizsäcker: *Die Geschichte der Natur*. 6. Auflage, 1964. Hirzel Verlag, Zürich. Seite 95

Relevanz des Materiebegriffs umreißen. Im zweiten Teil möchte ich das Weltbild der klassischen Physik skizzieren. Dabei will ich verständlich machen, warum viele Denker dieses Weltbild mit einem geistlosen, vorherbestimmten Kosmos gleichsetzen. Im dritten Teil will ich zwei quantenphysikalische Experimente vorstellen, die den klassischen Materiebegriff überfordern. Im vierten und letzten Teil will ich kurz auf weltanschauliche Folgerungen eingehen, die namhafte Naturwissenschaftler infolge der neuen Unsicherheit hinsichtlich des Wesens der Materie veröffentlicht haben.

Erster Teil: Philosophische Relevanz des Materiebegriffs

Eine eigenständige, vom Geist beziehungsweise unseren Bewusstseinsinhalten losgelöste Existenz von Materie anzunehmen ist keine Evidenz. Aus erkenntnistheoretischer Sicht sicher gegeben ist uns nur der jeweils momentane Bewusstseinsinhalt. Hinter dem Bewusstseinsstrom stofflich seiende Dinge zu vermuten, die die Inhalte unserer Wahrnehmung erzeugen, ist ein willkürlicher Akt, eine Hypothese, eine metaphysische Annahme.⁵



René Descartes in einem
Portrait von Frans Hals, 1648

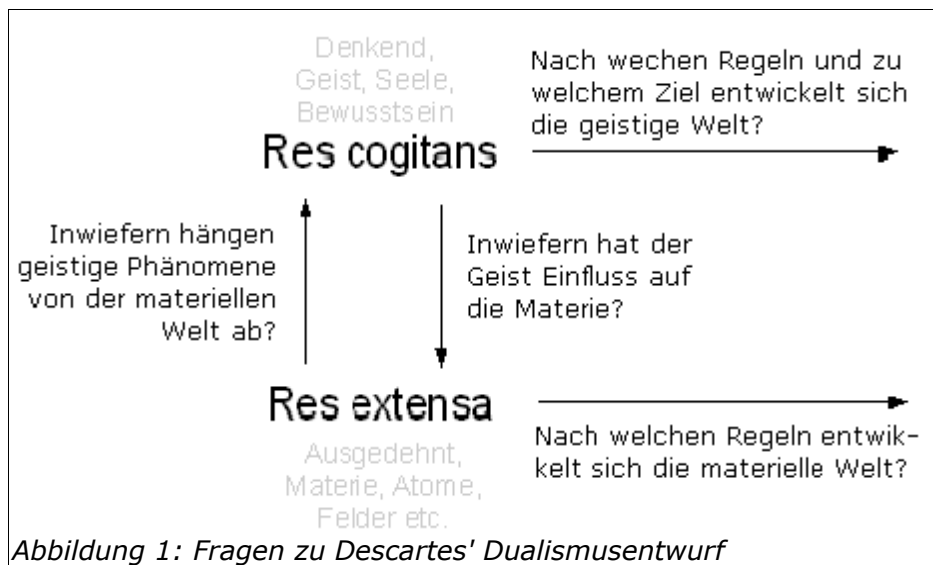
(Quelle: Wikipedia)

Descartes konstruierte ausgehend von der sicheren Existenz Gottes das Materielle und trennt es als eigene Substanz vom denkenden

⁵ Descartes, René: *Meditationes de Prima Philosophia*. Schmidt, Gerhart (Hrsg. und Übers.). S. 96f.: "Außer dem Geist erkenne ich nämlich noch nichts an mir. [...] Ich weiß jetzt, dass die Körper nicht eigentlich von den Sinnen oder von der Einbildungskraft, sondern von dem Verstand allein wahrgenommen werden, und zwar nicht, weil wir sie berühren und sehen, sondern lediglich, weil wir sie denken; und so erkenne ich, dass ich nichts leichter oder evidenten wahrnehmen kann als meinen Geist."

Subjekt ab. Er unterscheidet die *res cogitans* und die *res extensa*. Der so entstandene Substanzdualismus wirft unter anderem jene Fragen auf, die wir heute dem Leib-Seele-Problem, auch Körper-Geist-Problem genannt zuordnen.⁶

Das folgende Schema fasst die hier interessierenden Fragen zusammen, die sich aus einer Gegenüberstellung von Leib und Seele, *res cogitans* und *res extensa*, ergeben.



In diesem Schema sind wertsetzende Empfindungen von falsch und richtig, ethische Regungen der Seele aber auch religiöse Gefühle und bewusst empfundene Entscheidungen in der *res cogitans* verortet.

Den menschlichen Körper rechnete Descartes zur Körperwelt, der *res extensa*. 1628 schrieb er über den Körper: "Und so wie eine aus Rädern und Gewichten gefertigte Uhr nicht weniger genau alle

⁶ Im *Metzler Philosophie Lexikon* (2. erweiterte Ausgabe von 1999) heisst es dazu: "Das Leib-Seele-Problem ergibt sich aus der Frage nach dem Zusammenhang zwischen Körper und Geist des Menschen (und anderer höherer Lebewesen). Zum eigentlichen Problem wird diese Frage erst in ihrer neuzeitlichen Zuspitzung durch Descartes. Danach gehören zum geistigen (mental)en Bereich alle Vorgänge im Bewußtsein (wie Gefühle oder Vorstellungen) und intentionale Einstellungen (z. B. Absichten, Überzeugungen). Ihnen steht auf der körperlichen Seite eine kausal geschlossene, in der Sprache der Physik vollständig beschreibbare Welt raumzeitlich ausgedehnter Gegenstände gegenüber. Da die geistigen Vorgänge Descartes zufolge nicht materiell sind, aber (den Erhaltungssätzen der Physik zufolge) nur Physisches (Materielles) auf anderes Physisches kausal wirken kann, ergibt sich insbesondere das Problem, wie geistige Vorgänge eine kausale Rolle in körperlichen Vorgängen spielen können."

Naturgesetze befolgt, wenn sie schlecht gefertigt ist und die Zeit schlecht anzeigt, als wenn sie allseitig den Wünschen des Künstlers entspricht, so betrachte ich auch den menschlichen Körper als eine Art Maschine, welche aus Knochen, Nerven, Muskeln, Adern, Blut und Haut so eingerichtet und zusammengesetzt ist, dass sie, auch wenn keine Seele in ihr bestände, doch alle die Bewegungen vollziehen würde, welche in ihr ohne Geheiss des Willens und deshalb nicht von der Seele ausgehen."⁷

Descartes setzt die Gesetze der Natur, der Körperwelt also, mit den Gesetzen der Mechanik gleich.⁸ Wir bewegen uns also schon sehr in Nähe eines mechanistischen Determinismus.

Doch für Descartes war die Existenz einer Seele, der *res cogitans*, offensichtlich und dass die Seele mit dem Körper in enger wechselseitiger Verbindung steht ebenso. Die Seele wird vom Körper beeinflusst⁹ und kann ihrerseits nach Descartes auf den Körper zurückwirken.¹⁰

Dieser Interaktionismus mit der Möglichkeit eines Freien Willens ist aber keine Selbstverständlichkeit. In den Worten Spinozas (1632-1677) "vermag der Körper den Geist [ebensowenig] zum Denken zu veranlassen wie umgekehrt der Geist den Körper zur Ruhe oder Bewegung oder zu sonstwas, wenn es es geben sollte."¹¹

Tatsächlich gab es im siebzehnten und achtzehnten Jahrhundert verschiedene Ansätze eine Wechselwirkung zwischen Geist und

7 Quelle: René Descartes: *Untersuchungen über die Grundlagen der Philosophie, in welchen das Dasein Gottes und der Unterschied der menschlichen Seele von ihrem Körper bewiesen wird*. 1628 bis 1629

8 Im fünften Teil seiner *Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs* aus dem Jahr 1637 schreibt er: " ...so folgt nach den Regeln der Mechanik, die mit den Gesetzen der Natur identisch sind..."

9 Descartes schreibt dazu im Fünften Teil der *Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs* aus dem Jahr 1637: "Und endlich das Merkwürdigste in diesen Dingen ist die Entstehung der Lebensgeister (*esprits animaux*), die einem sehr feinen Wind oder, besser gesagt, einer sehr reinen und lebhaften Flamme gleichen, die unaufhörlich in großer Fülle vom Herzen ins Gehirn emporsteigt, von hier durch die Nerven in die Muskeln eingeht und allen Gliedern die Bewegung mitteilt."

10 Die Darstellung der Wirkung der Seele auf den Körper, vorrangig über die Zirbeldrüse, findet sich vermutlich in Descartes *Leidenschaften der Seele* (Original: *Les Passions de l'âme*) aus dem Jahr 1649.

11 Zitiert nach Schrödinger, Erwin: *Geist und Materie*. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 1961. Deutsche Übersetzung der *Turner Lectures* abgehalten am Trinity College, Cambridge, England, im Oktober 1956

Materie bzw. Seele und Körper zu erklären.^{12,13} Doch schienen diese Erklärungen zunehmend schlechter mit naturwissenschaftlichen Erklärungsarten zu harmonisieren. So schreibt Leibniz in seiner *Monadologie* aus dem Jahr 1714: "Descartes hat erkannt, daß die Seelen den Körpern keine Kraft mitteilen können, weil die Menge der Kraft in der Materie immer gleich ist. Dennoch hat er geglaubt, daß die Seele die Richtung der Körper ändern könne. Der Grund dafür ist, daß man zu seiner Zeit das Naturgesetz noch nicht kannte, wonach sich auch die Gesamtrichtung der Materie erhält."¹⁴

Was die Beeinflussung der Körperwelt angeht, gibt Leibniz also den Naturgesetzen den Vorrang: Was naturgesetzlich erklärt werden kann, nimmt der Seele ihren Gestaltungsfreiraum.

Was von Descartes' Trennung der Welt in *res cogitans* und *res extensa* übrig bleibt ist also die Zurückweisung des Geistes oder Seele in die Wirkungslosigkeit. Die natürliche Welt der Körper muss ganz aus sich heraus mit wissenschaftlicher Methodik erkannt werden. Das Subjekt mit seinem freien Willen und moralische Kategorien waren aus dem so konzipierten Weltentwurf ausgeschlossen¹⁵: Das Ohm'sche Gesetz oder Einsteins Relativitätstheorie kann falsch sein, aber nicht böse oder wohlwollend.

Im nun folgenden Teil meines Vortrages möchte ich dieses naturwissenschaftliche Weltbild skizzieren, welches auch das Weltbild der klassischen Physik¹⁶ genannt wird. Es baut auf der Existenz

12 Beispielhaft genannt sei der Occasionalismus des Nicols Malebranche (1638-1715).

13 So schrieb Immanuel Kant in seinem 1766 herausgegebenen Buch *Träume eines Geistersehers*: "Die Seele des Menschen hat ihren Sitz im Gehirne, und ein unbeschreiblich kleiner Platz in demselben ist ihr Aufenthalt. Dasselbst empfindet sie wie die Spinne im Mittelpunkte ihres Gewebes. Die Nerven des Gehirnes stoßen oder erschüttern sie, dadurch verursachen sie aber, daß nicht dieser unmittelbare Eindruck, sondern der, so auf ganz entlegene Teile des Körpers geschieht, jedoch als ein außerhalb dem Gehirne gegenwärtiges Objekt vorgestellt wird. Aus diesem Sitze bewegt sie auch die Seile und Hebel der ganzen Maschine, und verursacht willkürliche Bewegungen nach ihrem Belieben."

14 Leibniz argumentiert hier mit dem Prinzip der Impulserhaltung.

15 Zum Ausschluss wertsetzender Kategorien aus dem naturwissenschaftlichen Welt schreibt der Mathematiker und Philosoph Alfred North Whitehead: "The characteristic of physical science is, that it ignores all judgments of value: for example aesthetic or moral judgments. It is purely matter-of-fact...". Quelle: *The Anatomy of Some Scientific Ideas*. In: Alfred North Whitehead: *The Aims of Education and other essays*, 1929

16 Ich beziehe mich dabei vor allem auf das folgende Buch: Höfling, Oskar: *Physik Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium*. Dümmeler Verlag Bonn, 1994. Von "klassischer Physik" spricht auch Max Planck in seiner Vorlesung 'Vom Relativen zum Absoluten', gehalten am 1. Dezember 1924. Quelle: Armin Hermann (Herausgeber). *Max Planck. Vorträge Reden Erinnerungen*. Springer Verlag Berlin

kleinster Materieteilchen auf, die sich ganz unabhängig vom Geist nach festen Gesetzen, eben den Naturgesetzen, verhalten.

Zweiter Teil: Die geistfreie Materie der klassischen Physik

Ein treffendes Gleichnis der klassischen Physik trägt den Namen Laplace-Dämon. Es ist benannt nach dem französischen Mathematiker und Astronomen Pierre-Simon Laplace (1749-1827). Laplace schreibt:

„Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Universums als Folge eines früheren Zustandes ansehen und als Ursache des Zustandes, der danach kommt. Eine Intelligenz, die in einem gegebenen Augenblick alle Kräfte kennt, mit denen die Welt begabt ist, und die gegenwärtige Lage der Gebilde, die sie zusammensetzen, und die überdies umfassend genug wäre, diese Kenntnisse der Analyse zu unterwerfen, würde in der gleichen Formel die Bewegungen der größten Himmelskörper und die des leichtesten Atoms einbegreifen. Nichts wäre für sie ungewiss, Zukunft und Vergangenheit lägen klar vor ihren Augen.“¹⁷

In diesem Gedanken sind die wesentlichen Elemente der klassischen Physik enthalten: Laplace entwirft die Welt als bestehend aus körperlichen Gebilden, er nennt Himmelskörper und Atome, die über formelmäßig fassbare Kräfte wechselwirken. Kennt man den Zustand der Gebilde sowie alle geltenden Formeln, so ist die Welt vollständig vorhersagbar und damit determiniert.

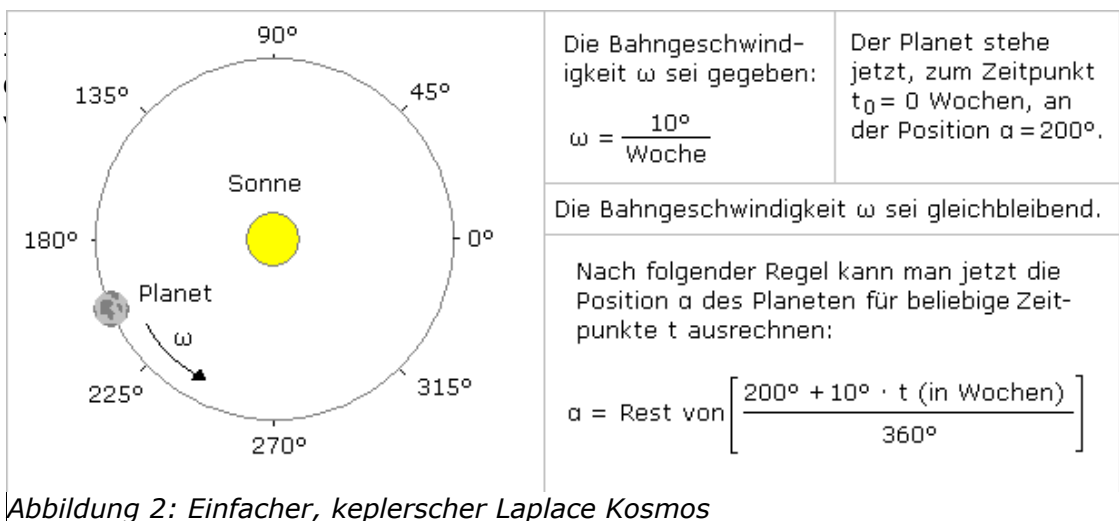


Abbildung 2: Einfacher, keplerscher Laplace Kosmos

Heidelberg New York. 2001.

¹⁷ Quelle: Höfling, Oskar: *Physik Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium*. Dümmler Verlag Bonn, 1994. Das Originalzitat findet sich in: Laplace, Pierre Simon, marquis de: *Essai philosophique sur les probabilités*. Paris, 1840.

Berichten wir ein Beispiel. Nach dem Laplace-Dämon sieht die Sache so aus: Die Lage aller Gebilde ist bekannt, denn ich kenne die Position des Planeten bei $\alpha = 200^\circ$. Die Bahngeschwindigkeit ist mit 10° pro Woche ebenfalls bekannt. Damit ist dieser Miniaturkosmos determiniert.

Setze ich in die Formel rechts unten im Bild oben beispielsweise die Zeit $t=17$ Wochen ein, so geht die Rechnung wie folgt: Ich nehme die 200° , rechne 10° mal 17 dazu, also 170° . Die Summe des Zählers ergibt dann 370° , welche ich nach der Formel dann durch 360° teile. Bei der Division bleibt ein Rest von 10° , also steht der Planet nach 17 Wochen an der Position $\alpha = 10^\circ$. Führe ich die Rechnung für einen Zeitraum $t=4$ Millionen Wochen durch, so erhalte ich analog eine Position $\alpha = 240^\circ$.^{18, 19}

Im 19. Jahrhundert strebte man an, alle Naturvorgänge auf ein solches mechanisches Modell, bestehend aus materiellen Gebilden und einigen Naturgesetzen, reduzieren zu können.

18 Der österreichische Physiker Ernst Mach formulierte 1886: "Wenn ein (etwa durch Zentralkräfte) gut definiertes mechanisches System in seinen Lagen und Geschwindigkeiten gegeben ist, so ist dessen Konfiguration als Funktion der Zeit bestimmt. Man kennt dieselbe zu einer beliebigen Zeit vor und nach der Anfangszeit, kann also voraus und rückwärts prophezeien." Quelle 11: Mach, Ernst: *Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*. 1886

19 Der deutsche Physiologe Emil Heinrich du Bois-Reymond (1818-1896) beschreibt 1872 den Laplace-Dämon anschaulich: "Wie der Astronom den Tag vorhersagt, an dem nach Jahren ein Komet aus den Tiefen des Weltraumes am Himmelsgewölbe wieder auftaucht, so löse jener Geist in seinen Gleichungen den Tag, da das Griechische Kreuz von der Sophienmoschee blitzen oder da England seine letzte Steinkohle verbrennen wird. Setzte er in der Weltformel $t=-\infty$, so enthüllte sich ihm der rätselhafte Urzustand der Dinge [...] Ließe er t im positiven Sinn unbegrenzt wachsen, so erführe er, nach wie langer Zeit Carnot's Satz das Weltall mit eisigem Stillstande bedroht." Quelle: Bois-Reymond, Emil du: *Über die Grenzen des Naturerkennens*. In: Reden von Emil du Bois-Reymond in zwei Bänden. Erster Band. 2. vervollständigte Auflage, edited by Estelle du Bois-



Abbildung 3: Emil Du Bois-Reymond

Emil Heinrich Du Bois-Reymond
(1818–1896), deutscher
Physiologe

Quelle: Wikipedia

Der deutsche Physiologe und Mediziner Emil du Bois-Reymond formulierte das in seiner 1872 gehaltenen Rede über die Grenzen des Naturerkennens so:

"Naturerkennen - genauer gesagt naturwissenschaftliches Erkennen oder Erkennen der Körperwelt mit Hilfe und im Sinne der theoretischen Naturwissenschaft - ist Zurückführen der Veränderungen in der Körperwelt auf Bewegungen von Atomen, die durch deren von der Zeit unabhängige Zentralkräfte bewirkt werden oder Auflösen der Naturvorgänge in Mechanik der Atome."²⁰

Aus den bisher angeführten Zitaten scheinen drei wesentliche, metaphysische Prämissen der klassischen Physik durch: Die zu untersuchende Realität genügt der Kausalität und der Objektivierbarkeit. Und die Gegenstände der Welt sind kleinste Materieteilchen.²¹

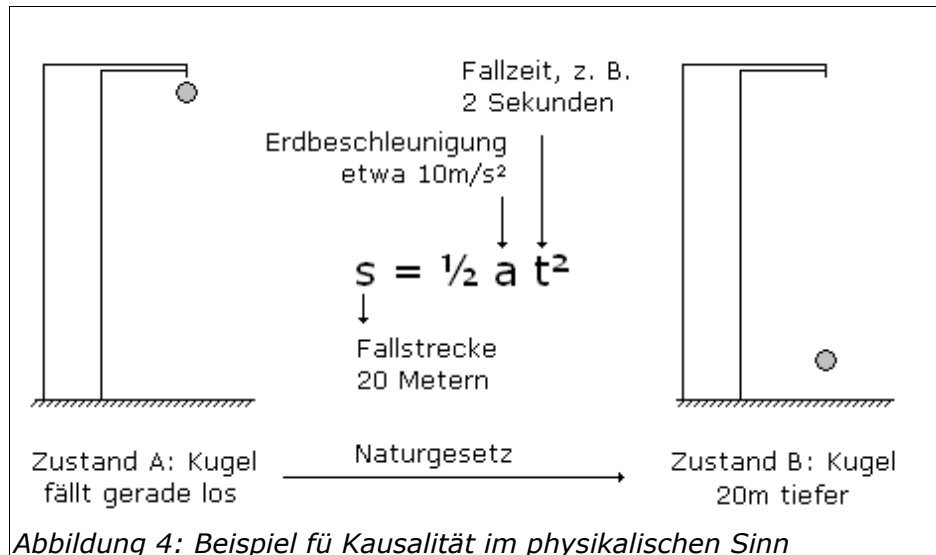
Kausalität steht hier für das Prinzip, dass aus einem ganz genau bestimmten Zustand immer nur genau ein Folgezustand resultieren

Reymond, 441-473. Leipzig: Veit & Comp. 1912.

²⁰ Es ist wichtig, voreilige Schlüsse zu vermeiden: du Bois-Reymond sagt nicht, dass die Welt ganz naturwissenschaftlich und damit mathematisch-mechanisch erklärbar sei. Er behauptet bloß, dass der naturwissenschaftlich erkennbare Aspekt der Welt mathematisch-mechanistischer Art sein muss.

²¹ Auf den ontologischen Status von Feldern möchte ich hier aus Zeitgründen nicht eingehen.

kann.^{22,23} Ziel der Naturwissenschaften ist es nun, die Gesetzmäßigkeiten aufzufinden, nach denen aus einem Zustand A ein Folgezustand B eintritt. Nehmen wir als Beispiel für Kausalität das Gesetz für die Berechnung der gefallenen Strecke beim freien Fall.



Das Naturgesetz $s=0,5at^2$ gilt für ganz genau definierte Zustände A. So darf beispielsweise der fallende Gegenstand zu Beginn des Fallens keine Geschwindigkeit senkrecht zur Erdoberfläche haben und es darf kein Luftwiderstand auftreten. Ist dieser Zustand A genau festgestellt, dann kann mit Hilfe des Naturgesetzes vorhergesagt werden, in welchem Zustand B die fallende Kugel nach genau 2 Sekunden sein wird, nämlich 20m unterhalb ihrer Starthöhe. Wir halten fest, dass Kausalität im physikalischen Sinne die eindeutige Zuordenbarkeit von Zuständen in ihrem zeitlichen Ablauf bedeutet.²⁴

22 Max Planck sagt 1914 in einem Vortrag: "Denn einerseits ist für jegliches wissenschaftliche Denken, auch auf den höchsten Höhen des menschlichen Geistes, die Annahme einer in tiefstem Grunde ruhenden absoluten, über Willkür und Zufall erhabenen Gesetzlichkeit unentbehrliche Voraussetzung..." Quelle: Aus dem Vortrag 'Dynamische und statistische Gesetzmäßigkeit', gehalten am 3. August 1914. In: Hans Roos; Armin Hermann (Herausgeber). *Max Planck. Vorträge Reden Erinnerungen*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. 2001.

23 Niels Bohr formuliert so: "... wir sind wohl alle mit Newton darin einig, daß die eigentliche Grundlage der Wissenschaft in der Überzeugung besteht, daß die Natur unter denselben Bedingungen immer dieselben Gesetzmäßigkeiten aufweist." In: Bohr, Niels: *Atomphysik und menschliche Erkenntnis I*. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1958.

24 Das Dümmler Lehrbuch der Physik mahnt an, dass die Physik keine Aussage über die Ursache der Kausalität treffen kann: "Was wir unmittelbar wahrnehmen ist nur die regelmäßige zeitliche Aufeinanderfolge, die aber keineswegs das Wesen des Kausalzusammenhanges trifft. Es muß deshalb bei der kausalen Abhängigkeit zweier Ereignisse hinter der beobachtbaren zeitlichen

Betrachten wir jetzt den zweiten Pfeiler der klassischen Physik, die Objektivierbarkeit ihrer Gegenstände. Das *Dümmler Lehrbuch der Physik* sagt dazu: "Man versteht [unter Objektivität] die Überzeugung, daß ein fallender Körper oder ein seine Bahn beschreibender Planet oder irgendein anderes physikalisches Ereignis Vorgänge darstellen, die unabhängig von der menschlichen Beobachtung ablaufen."²⁵ Konstruieren wir ein Beispiel, das diesem Prinzip zuwiderläuft, um zu erkennen, wie vernünftig es erscheint.

Stellen wir uns zwei Überwachungskameras vor, die einen Park observieren: Kamera A und B. Die Bildausschnitte beider Kameras überlappen sich, indem sie einen kleinen Teich vollständig erfassen. Ein Sicherheitsbeamter kann nun in einem zentralen Überwachungsraum die Bilder beider Kameras wechselweise anzeigen. Dabei macht er eine seltsame Beobachtung: Betrachtet er den Teich über Kamera A, dann sieht er zuweilen einen Schwan auf dem Wasser. Manchmal sieht er den Schwan auch auf dem Land. Ferner kann er öfters beobachten, wie der Schwan fliegend oder watschelnd vom Land aufs Wasser und zurück wechselt. Es scheint also ein ganz normaler Schwan in diesem Park zu wohnen. Doch jedesmal wenn er über Kamera B auf den Teich blickt, sieht er dort den Schwan auf dem Wasser. Ganz gleich wie oft er auf Kamera B blickt: nie sieht er dort den Schwan zuerst auf dem Land. Offensichtlich wird der Zustand des Schwans von der Entscheidung des Beobachters beeinflusst, über welche Kamera er auf den Teich blickt. Dies wäre eine klare Verletzung des Objektivitätsgebotes.²⁶

Aufeinanderfolge der Erscheinungen ein weiterer Zusammenhang erwartet werden, der die zum Begriff der Kausalität gehörende Zwangsläufigkeit hervorruft. Die Physik ist mit ihren auf Beobachtung und Erfahrung gegründeten Methoden nicht in der Lage, Aussagen über diesen hinter den Erscheinungen möglicherweise existierenden Zusammenhang zu machen. Die Frage nach diesen Zusammenhängen kann zwar Gegenstand philosophischer oder metaphysischer Überlegungen sein, aber im Bereich der Physik ist ihre Beantwortung unmöglich." In: Höfling, Oskar: *Physik Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium*. Dümmler Verlag Bonn, 1994. Seite 389

25 Höfling, Oskar: *Physik Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium*. Dümmler Verlag Bonn, 1994. Seite 390

26 Der österreichische Physiker und Mitbegründer der Quantenphysik Erwin Schröder schreibt dazu: "Damit [mit dem Begriff der Objektivierung] meine ich genau dasselbe, was auch oftmals die Hypothese der realen Außenwelt genannt wird. Ich behaupte, es handelt sich dabei um eine gewisse Vereinfachung, die wir einführen, um das unerhört verwickelte Probleme der Natur zu meistern. Ohne es uns ganz klarzumachen und ohne dabei immer ganz streng folgerichtig zu sein, schließen wir das Subjekt der Erkenntnis aus aus dem Bereich dessen, was wir an der Natur verstehen wollen. Wir treten mit unserer Person zurück in die Rolle eines Zuschauers, der nicht zur Welt gehört, welche letztere eben dadurch zu einer objektiven Welt wird." Quelle: Erwin Schrödinger. *Geist und Materie*. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 1961. Deutsche Übersetzung der *Tarner Lectures* abgehalten am Trinity College, Cambridge, England, im Oktober

Fassen wir das Weltbild der klassischen Physik zusammen: Die Abläufe in der materiellen Welt werden von eindeutigen Kausalgesetzen beherrscht. Die Gegenstände der Physik haben objektive Eigenschaften, die unabhängig vom Beobachter bestehen. Wo Gesetzmäßigkeit herrscht, kann kein Freier Wille wirken.²⁷

Physikalischer Erkenntnisgewinn schliesst also Begriffe wie Geist, Wille und Subjekt aus. In einer nur durch die Physik beschriebenen Welt hätten diese Begriffe keinen Platz. Die Physik schließt nicht die Existenz von Geist, Wille und Subjekt aus, doch kann die Physik diese Aspekte der Realität methodisch nicht erkennen.²⁸

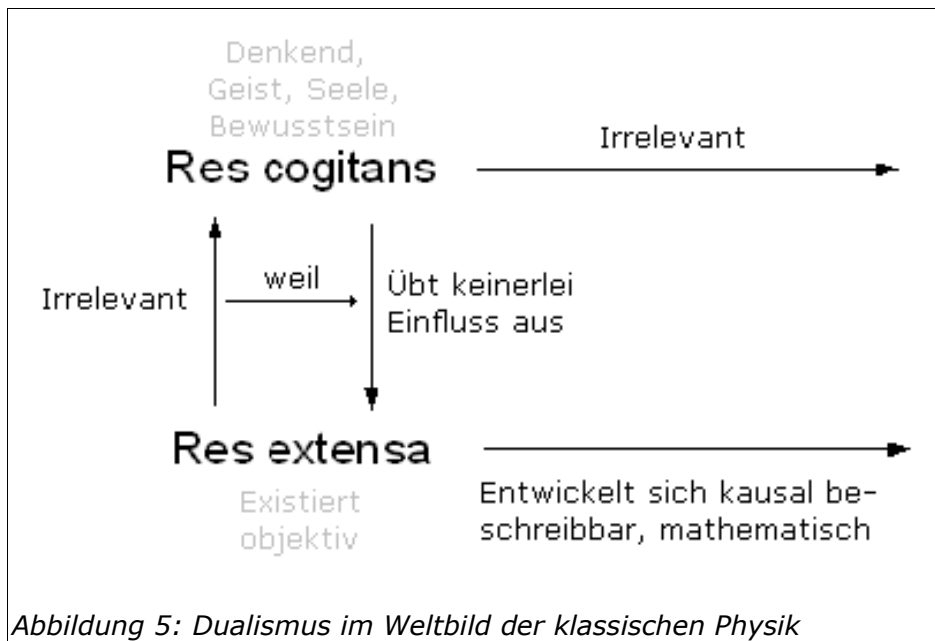
Von hier ist der Schritt zum Laplace-Kosmos nicht mehr allzugroß. Man forderte zunächst, dass letztendlich alle Phänome der Welt physikalisch erklärbar sein sollten: Dazu nochmals du Bois-Reymond: "Naturerkennen [...] ist Zurückführen der Veränderungen in der Körperwelt auf Bewegungen von Atomen ..."

Und abschließend fordert man noch, dass sich die Welt in ihren physikalisch erfassbaren Aspekten erschöpft. Man ist dann beim Positivismus. Der Dualismus im Sinne der klassischen Physik sieht dann wie folgt aus:

1956

27 In Immanuel Kants Worten: "Dagegen verstehe ich unter Freiheit, im kosmologischen Verstande, das Vermögen, einen Zustand von selbst anzufangen, deren Kausalität also nicht nach dem Naturgesetze wiederum unter einer anderen Ursache steht, welche sie der Zeit nach bestimmte." Quelle: *Kritik der reinen Vernunft*. Zitiert nach der Ausgabe von Raymund Schmidt, Hamburg 1990

28 Kant verlegt das Wissen über einen Freien Willens in einen Bereich außerhalb sicherer Erkenntnis: "Dass mein Wille meinen Arm bewegt, ist mir nicht verständlicher, als wenn jemand sagte, daß derselbe auch den Mond in seinem Kreise zurückhalten könnte; der Unterschied ist nun dieser: daß ich jenes erfahre, dieses aber niemals in meine Sinne gekommen ist. Ich erkenne in mir Veränderungen als in einem Subjekte, was lebt, nämlich Gedanken, Willkür etc. etc. und, weil diese Bestimmungen von anderer Art sein, als alles, was zusammengenommen meinen Begriff vom Körper macht, so denke ich mir billiger maßen ein unkörperliches und beharrliches Wesen. Ob dieses auch ohne Verbindung mit dem Körper denken werde, kann vermitteltst dieser aus Erfahrung erkannten Natur niemals geschlossen werden ... Alle solche Urteile, wie diejenige, von der Art, wie meine Seele den Körper bewegt, oder mit andern Wesen ihrer Art jetzt oder künftig in Verhältnis steht, können niemals etwas mehr als Erdichtungen sein..." In: *Träume eines Geistersehers*, 1766



Geistige Phänomene sind weitgehend oder ganz von der objektiven, materiellen Grundlage der Welt her bestimmt. Sie haben keinen Einfluss auf das materielle Geschehen. Der Weltablauf ist vollständig kausal determiniert und mathematisch exakt beschreibbar.

Materialistisch kann man dieses Weltbild nennen, da für die Entwicklung des Kosmos ausschließlich die materiellen Zustände relevant sind. Im engeren Sinne mechanistisch kann man es nennen, wenn die Erklärungsmuster von der Art der Mechanik sein sollen. Deterministisch kann man es nennen, insofern die zeitliche Entwicklung der Körperwelt vollständig über Gesetze vorausbestimmt ist.

Dass ein solches Weltbild tatsächlich für viele Denker fast schon eine Gewissheit war und auch ein weltanschauliches Problem, das möchte ich abschließend mit einigen Zitaten deutlich machen.



Abbildung 6: Max Planck, H. P. Lovecraft und Max Born
(Quelle: Wikipedia)

Am 3. August 1914 spricht Max Planck auf einem Vortrag die folgenden Worte: "Aber der Mensch in seinem unablässigen Drange kann sich mit dieser Grenze nicht begnügen, er will und muß über sie hinausdringen, da er eine Antwort braucht auf die wichtigste, unaufhörlich wiederkehrende Frage seines Lebens: Wie soll ich handeln? - Und eine Antwort auf diese Frage findet er nicht beim Determinismus, nicht bei der Kausalität, überhaupt nicht bei der reinen Wissenschaft, sondern er findet sie nur bei seiner sittlichen Gesinnung, bei seinem Charakter, bei seiner Weltanschauung."²⁹

1933 schrieb der amerikanische Autor phantastischer Geschichten, H. P. Lovecraft: "Einer meiner stärksten und beharrlichsten Wünsche ist es, vorübergehend die Illusion einer [] Aufhebung oder Verletzung der alles vergällenden Begrenzung durch Raum, Zeit und Naturgesetze zu erlangen, welche uns in alle Ewigkeit einsperren und unsere Neugier über die unendlichen kosmischen Räume jenseits unserer Sichtweite und Erkenntnis frustrieren."³⁰

Der deutsche Physiker und Nobelpreisträger Max Born schreibt 1944 an seinen Freund Albert Einstein "... ich kann nicht begreifen, wie Du eine vollständig mechanistische Welt mit der Freiheit des ethischen Individuums vereinigen kannst [...] Ich finde eine deterministische Welt ganz abscheulich - das ist ein primäres Gefühl."³¹

²⁹ Planck, Max: *Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Springer Verlag 2001. ISBN 3-540-41274-3

³⁰ Übersetzung von mir. Der Originaltext: "...one of my strongest and most persistent wishes being to achieve, momentarily, the illusion of some strange suspension or violation of the galling limitations of time, space, and natural law which for ever imprison us and frustrate our curiosity about the infinite cosmic spaces beyond the radius of our sight and analysis." Zitiert nach: H. P. Lovecraft: *The Call of Cthulhu and Other Weird Stories*. Penguin Classics, 1999. Seite xv der Einführung.

³¹ Max Born: *Albert Einstein. Max Born. Briefwechsel 1916-1955*. Ullstein. Frankfurt/Main, Berlin, 1986. Das Zitat stammt aus einem Brief vom Brief vom 10. Oktober 1944.

Born fuhr jedoch in seinem Brief fort. Er gesteht Einstein zu, dass er mit seinem deterministischen Weltbild möglicherweise Recht hat. Doch Born merkt an: "Aber im Augenblick sieht es in der Physik nicht gerade so aus."³²

Wie Born nun zu seiner Einschätzung kommt, dass es in der Physik der 1940er Jahre nicht gerade so aussieht, als ob die Welt determiniert sei, dies soll der Gegenstand des jetzt folgenden dritten Teils dieses Vortrages sein.

Dritter Teil: Der Materiebegriff in der Quantenphysik

Um die Wende vom neunzehnten zum zwanzigsten Jahrhundert prägte das eben beschriebene Weltbild der klassischen Physik das Denken vieler Personen. Es galt als in sich geschlossen und war aus naturwissenschaftlicher Sicht nahezu konkurrenzlos. Doch experimentelle Ergebnisse an schwarzen Strahlern³³ und später an den vermuteten Atomen³⁴ führten stets zu fundamentalen Widersprüchen mit den Grundannahmen der klassischen Physik.

Wenden wir uns zuerst dem klassischen Doppelspaltexperiment und der Gültigkeit des Determinismus zu.

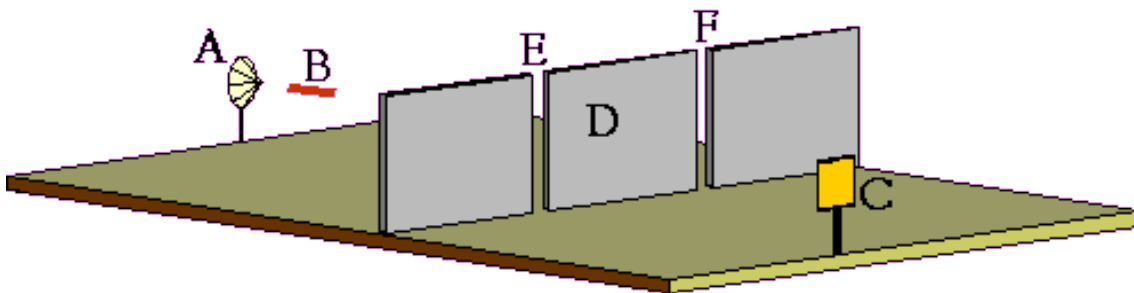


Abbildung 7: Aufbau des Doppelspaltexperiments

³² Max Born: *Albert Einstein. Max Born. Briefwechsel 1916-1955*. Ullstein. Frankfurt/Main, Berlin, 1986. Das Zitat stammt aus einem Brief vom 10. Oktober 1944.

³³ Max Planck beschreibt das entsprechende Experiment und seine Deutung in eigenen Worten in: Planck, Max: *Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Springer Verlag. 2001. Siehe das Kapitel 'Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantums', Seite 11

³⁴ Siehe hierzu z. B.: Bohr, Niels: *Abhandlungen über den Atombau. Aus den Jahren 1913-1916*. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1921. Ausleihbar über die Hochschulbibliothek der RWTH Aachen

Eine Elektronenquelle A sendet immer ein Elektron B nach dem anderen aus. Dabei ist die Richtung vollkommen zufällig. Ein Elektron kann an einem Detektor C registriert werden. Um von A nach C zu gelangen, kann es eine Wand D durch die zwei Spalten E oder F passieren. Stellen wir uns die Elektronen als klassische Teilchen vor, kleinste Kügelchen, die mit ihrer Umwelt nur über direkten Kontakt wechselwirken können.

Zunächst sei der Spalt bei F geschlossen. Wir zählen nun, wieviele Elektronen in C registriert werden, wenn man 100 Elektronen in A aussendet. Es könnte zum Beispiel sein, dass 3 der ausgesendeten Elektronen den Detektor erreichen. Man wiederholt das Experiment nun sehr oft und stellt fest, dass im Mittel genau 4% der Elektronen den Detektor C erreichen.

Wie ließe sich dies im Teilchenmodell erklären? Die meisten Elektronen werden die Elektronenquelle A so verlassen, dass sie auf die Wand treffen oder in eine ganz andere Richtung wegfliegen. Nur manche Elektronen gelangen an den Spalt E.

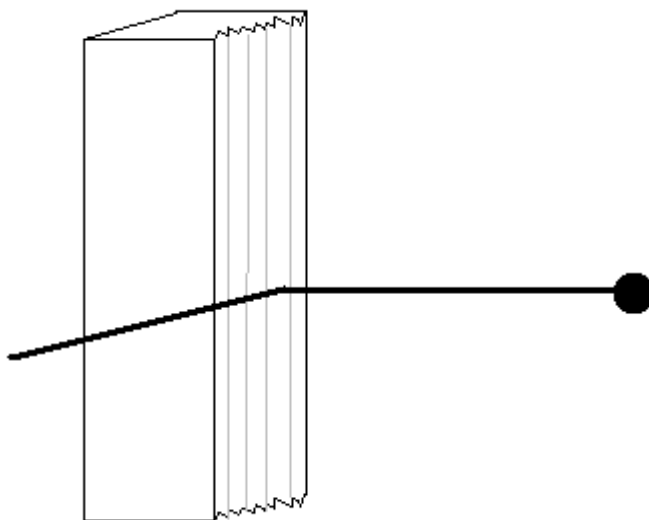


Abbildung 8: Zufällige Ablenkung von Elektronen am Spalt E

Manche gehen ungehindert durch, andere prallen an der nicht ganz glatten Wand ab. Je nach dem Geschehen am Spalt verlassen manche Elektronen den Spalt genau in Richtung des Detektors C. Diese werden dort registriert. Das Bild ist stimmig und würde etwa mit Gewehr kugeln an einer entsprechend großen Wand das Versuchsergebnis erklären können.

Die Elektronen bewegen sich also wie klassische Materieteilchen auf einer klaren Bahn.

Was sollte nun passieren, wenn man den zweiten Spalt bei F öffnet?

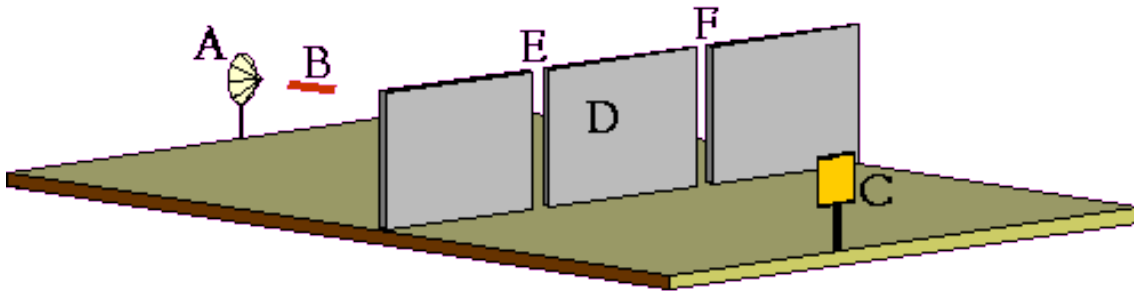


Abbildung 9: Aufbau des Doppelspaltexperiments

Öffnet man bei einer geeigneten Versuchsgeometrie den zweiten Spalt bei F kommen auf einmal bei C weniger Elektronen an als bei nur einem geöffneten Spalt!

Warum sollen auf einmal Elektronen, die vorher durch Spalt E zum Detektor gelangt sind durch eine Öffnung von Spalt F dies nicht tun? Eine Wechselwirkung von mehreren Elektronen untereinander kann ausgeschlossen werden, da wir ja immer nur ein Elektron nach dem anderen auf den Weg schicken.³⁵

Wie können wir uns das Geschehen vorstellen? Wissen die Elektronen von der Existenz des Spalts F, wenn sie durch E fliegen? Spalten sie sich unterwegs in zwei oder beliebig viele Teilchen auf? Offensichtlich überfordert das Doppelspaltexperiment die Idee klassischer Materieteilchen.

Ein weiteres Deutungsproblem im Rahmen des Doppelspaltexperiments stellt die Tatsache dar, dass sich keinerlei Gesetz zur Vorhersage des Verhaltens eines einzelnen Elektrons finden lässt. Es kommen zwar bei vielen Versuchsdurchläufen zum Beispiel immer etwa 4% der Elektronen im Detektor C an, aber für ein einzelnes Elektron kann man keinerlei zuverlässige Voraussage machen. Dies

³⁵ Üblicherweise wird im Zusammenhang mit dem Doppelspaltexperiment auf den sogenannten Wellen-Teilchen-Dualismus verwiesen. Demnach können Elektronen wahlweise als Wellen oder als Teilchen modelliert werden. Je nach Versuchsanordnung trifft das ein oder andere Modell auf die Realität zu. Keines der beiden Modelle alleine wird aber allen Phänomenen gerecht: Elektronen werden immer als Teilchen beobachtet, sie breiten sich aber mit den Eigenschaften einer Welle aus.

erinnert an die Zufälligkeit mit der Atome in einem radioaktiven Prozess zerfallen. Auch hier ist es nicht gelungen, eine Gesetzmäßigkeit für einzelne Atome zu finden.

Das Geschehen am Doppelspalt - und im Prinzip aller quantenphysikalischer Vorgänge - kann bloß statistisch gefasst werden. In Kombination mit anderen Befunden der Quantenphysik drängte sich das Bild auf, dass das Verhalten einzelner Elektronen vollkommen indeterminiert sei und damit den Laplace-Dämon unmöglich macht. Hören wir dazu einige Physiker:



Der dänische Physiker und
Nobelpreisträger Niels Bohr,
1922

Abbildung 10: Niels Bohr

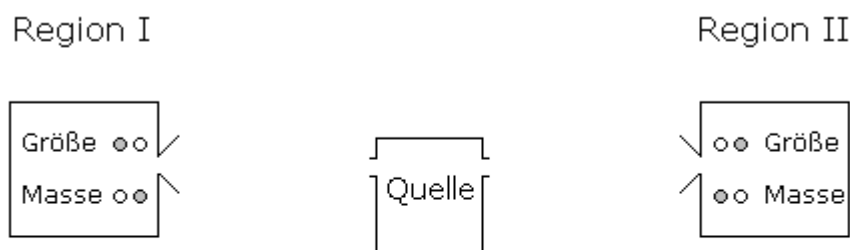
Niels Bohr, der 1922 den Nobelpreis für Physik erhielt, schreibt:
"Gleichzeitig zwingt uns eben diese Situation, auf die Durchführung einer Kausalbeschreibung der [Licht]phänomene zu verzichten und uns mit Wahrscheinlichkeitsgesetzen zu begnügen, die auf der Tatsache beruhen, daß die elektromagnetische Beschreibung der Energieübertragung durch Licht im statistischen Sinne gültig bleibt."
(Quelle 23)

Richard Feynman, Nobelpreis für Physik 1965: "Ein Philosoph hat einmal behauptet: 'Naturwissenschaft setzt notwendig voraus, daß gleiche Umstände immer auch gleiche Auswirkungen haben.' Nun, dem ist nicht so!" (Zitiert nach Quelle 29)

Damit war ein Grundpfeiler der klassischen Physik des 19ten Jahrhunderts gefallen: Der feste Glaube an die strenge Kausalität in der beobachtbaren Welt. An ihre Stelle trat der statistische Begriff der Wahrscheinlichkeit. Die Zwangsläufigkeit einer Determiniertheit des Weltprozesses im Sinne des Laplace-Dämons war aufgehoben.

Inwiefern dies einem irgendwie gearteten freien Willen oder die Entwicklung von Seinstiefe und Sinn den Weg zurück in das Weltbild ermöglichen könne, wurde von vielen Physikern intensiv diskutiert und nicht selten verneint.³⁶

Betrachten wir nun einen zweiten Versuch aus dem Bereich der Quantenphysik zum sogenannten Einstein-Podolsky-Rosen Paradoxon, kurz EPR³⁷. Hier geht es um die objektive Existenz der Materieteilchen, also darum, dass ihre Eigenschaften unabhängig von menschlichen Beobachtern, von der *res cogitans*, sind.



Immer wenn ich in I "klein" messe, dann erhalte ich in II "leicht".
Immer wenn ich in II "leicht" messe, dann erhalte ich in I "schwer".
Immer wenn ich in I "schwer" messe, dann erhalte ich in II "groß".

Abbildung 11: Zum Einstein-Rosen-Podolsky Paradoxon

Ein Gerät, das wir Quelle nennen, produziert Paare von irgendetwas, das wir in zwei weit voneinander entfernten Regionen mit Messgeräten näher bestimmen können. Die Messgeräte können zwei Eigenschaften messen, nämlich die Größe und die Masse der Teilchen.³⁸

Man erhält nun das folgende Ergebnis:

³⁶ So lehnte zum Beispiel Erwin Schrödinger ausdrücklich die Interpretation ab, dass die statistische Freiheit im Einzelereignis einen Freien Willen auf neuronaler Ebene im Gehirn erklären könne. Siehe dazu den Vortrag *Do Electrons think?* aus dem Jahr 1949. Als Audio-CD erhältlich über ISBN: 978-3-932513-30-5.

³⁷ Zur Darstellung und Interpretation des EPR-Paradoxons benutzte ich: Stapp, Henry: *Mind, Matter and Quantum Mechanics*. Springer Verlag 1993. Stapp verweist in der dritten Ausgabe seines Buches zur Grundlage seiner EPR-Beschreibung auf die folgende Veröffentlichung von Lucien Hardy: 'Nonlocality for Two Particles without Inequalities for Almost All Entangled States'. In: *Physical Review Letters*. Volume 71, Number 11, 1993, S. 1665ff.

³⁸ Tatsächlich werden in den quantenphysikalischen Experimenten zum EPR-Paradoxon nicht makroskopische Eigenschaften wie Größe und Masse sondern mikroskopische Eigenschaften wie zum Beispiel Spin und Polarisation gemessen.

1. Immer wenn ich in Region I die Größe messe und dabei das Ergebnis "klein" erhalte, dann erhalte ich bei einer Messung der Masse in Region II das Ergebnis "leicht".
2. Immer wenn ich in Region II die Masse messe und dort das Ergebnis "leicht" erhalte, dann erhalte ich bei einer Messung der Masse in Region I "schwer".
3. Immer wenn ich in Region I die Masse "schwer" messe, dann erhalte ich bei einer Messung der Größe in Region II das Ergebnis "groß".

Was erzeugt die Quelle? Anscheinend werden hier Paare von Teilchen erzeugt: Es gibt kleine schwere Teilchen und große leichte: Billiardkugeln und Luftballons sinnbildlich gesprochen. Die Quelle in der Mitte erzeugt immer ein Paar, welches aus einer Billiardkugel und einem Luftballon besteht. Die Idee passt.

Spiele wir einmal die Idee durch, dass auf beiden Seiten kleine Teilchen herauskommen: Ich messe in I "klein" und in zwei "leicht". Das passt. Ich messe weiter in I immer "schwer". Passt noch immer. Dann aber messe ich - immer - in II "groß". Dass beide Kugeln klein sein können, passt also nicht zu den Messergebnissen. Es ist logisch unmöglich.

Tatsächlich aber erhalten das Ergebnis, dass in 6,25% der Fälle beide Teilchen klein sind, wenn wir auf beiden Seiten gleichzeitig die Größe messen. Offensichtlich passt die gerade entwickelte Vorstellung nicht mehr, dass die Quelle stets ein Paar bestehend aus kleinen, schweren und großen leichten Dinge erzeugt. Dies ist aber nach der ersten Versuchsreihe die einzig logisch haltbare Folgerung.³⁹

Offensichtlich gilt folgendes:

Messen wir gleichzeitig an beiden Seiten die Größe, kommt es manchmal vor, dass beide Teilchen klein sind. Messen wir aber Größe und Masse nacheinander, kann es sich nur um Paare unterschiedlich großer Teilchen handeln. Welche Eigenschaften die Teilchen aus der Quelle haben, hängt also wohl von unserem späteren Messen ab. Dies verletzt das Gebot der Objektivität, wonach die Materie unabhängig vom Beobachtungsvorgang mit ihren Eigenschaften existiert.

Versuche, diesen Befund zu interpretieren, gehen in die Richtung eines unmittelbaren Informationsaustausches zwischen den beiden Teilchen oder der Preisgabe realer Eigenschaften, die man den

³⁹ Eine ausführliche Beschreibung einer anderen Variante des EPR-Paradoxons findet sich in: Zeilinger, Anton: *Einsteins Spuk. Teleportation und weitere Mysterien der Quantenphysik*. Goldmann Verlag, 2007.

Teilchen vor ihrer Messung zuschreibt. Erst durch den Akt der Messung erhalten die Teilchen ihre Eigenschaften. In jedem Fall ist der klassische Materiebegriff nicht mehr haltbar, demnach die Teilchen nach ihrem Austritt aus der Quelle unabhängig vom späteren Messen bereits ihre Eigenschaften festgelegt haben. Hinter den Sinneseindrücken eine kontinuierlich existierende Welt aus Materie unabhängig von Beobachtern zu postulieren ist keine Selbstverständlichkeit mehr. Hören wir, wie sich einige Naturwissenschaftler dazu äußerten:

Max Planck, 1941: Der Sinneseindruck ist immer schlechthin gegeben und daher unanfechtbar. Welche Folgerungen wir daran knüpfen, ist eine weitere Frage, die uns zunächst noch nicht zu beschäftigen braucht. Daher ist der Inhalt der Sinneseindrücke die geeignete und die einzige unangreifbare Grundlage für den Aufbau der exakten Wissenschaften. (Quelle 7)

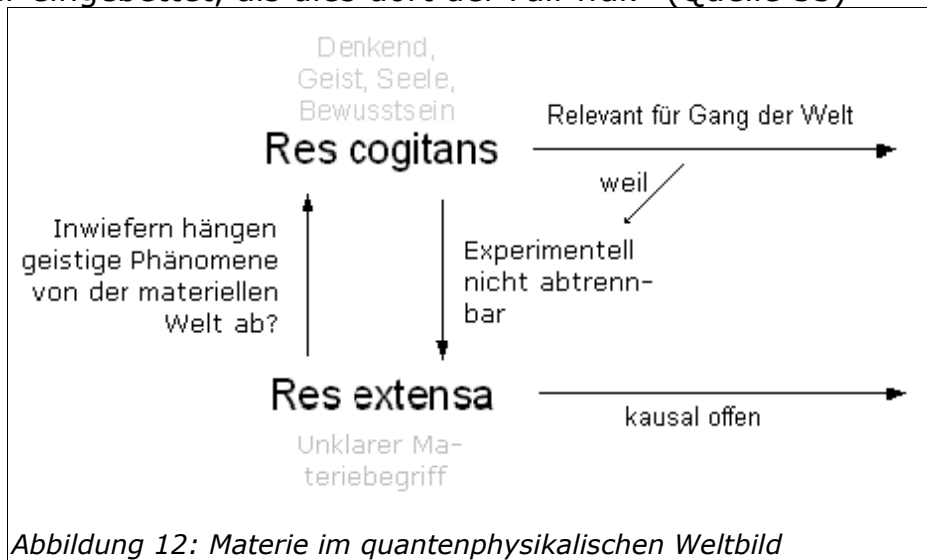
Erwin Schrödinger: [Mit dem Begriff der Objektivierung] meine ich genau dasselbe, was auch oftmals die Hypothese der realen Außenwelt genannt wird. Ich behaupte, es handelt sich dabei um eine gewisse Vereinfachung, die wir einführen, um das unerhört verwickelte Probleme der Natur zu meistern. Ohne es uns ganz klarzumachen und ohne dabei immer ganz streng folgerichtig zu sein, schließen wir das Subjekt der Erkenntnis aus dem Bereich dessen, was wir an der Natur verstehen wollen. Wir treten mit unserer Person zurück in die Rolle eines Zuschauers, der nicht zur Welt gehört, welche letztere eben dadurch zu einer objektiven Welt wird. (Quelle 27)

Einstein schreibt 1948: "Fragt man, was unabhängig von der Quanten-Theorie für die physikalische Ideenwelt charakteristisch ist, so fällt zunächst folgendes auf: die Begriffe der Physik beziehen sich auf eine reale Außenwelt, d. h. es sind Ideen von Dingen gesetzt, die eine von den wahrnehmenden Subjekten unabhängige >reale Existenz< beanspruchen (Körper, Felder etc.), welche Ideen andererseits zu Sinneseindrücken in möglichst sichere Beziehung gebracht sind." (Quelle 28)

Der zur Zeit in Wien wirkende Physiker Anton Zeilinger fasst den Befund wie folgt zusammen:

"[Einsteins] Bild einer real, faktisch existierenden Wirklichkeit, die in ihren wesentlichen Eigenschaften unabhängig von uns ist, diese Trennung von Wirklichkeit und Information ist offenbar nicht haltbar. Unsere Welt ist also einerseits freier, als dies die klassische Physik zugelassen hat. In diese Welt sind wir als Beobachter aber auch

stärker eingebettet, als dies dort der Fall war." (Quelle 35)



Vierter Teil: Spekulationen namhafter Physiker

Galt vielen Naturwissenschaftlern um 1900 ein deterministisches Weltbild als vollkommen selbstverständlich, war bis 1930 eine lebhafte Debatte um die philosophischen Konsequenzen des quantenphysikalischen Weltbildes entbrannt. Die Quantenphysik lässt offen, ob die Welt determiniert ist und sie lässt die Trennung von Subjekt und Objekt als sehr problematisch erscheinen. Aus dieser neuen Offenheit zogen verschiedene Physiker tiefgehende, weltanschauliche Konsequenzen. Einige möchte ich kurz andeuten.

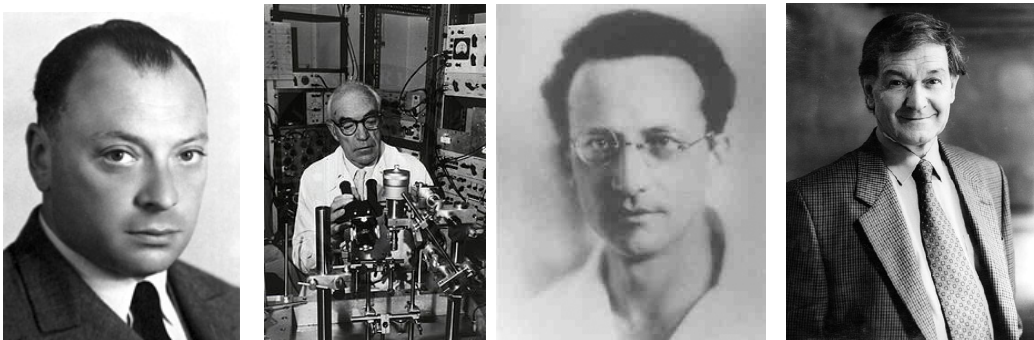


Abbildung 13: Pauli, Eccles, Schrödinger und Penrose (Alle Bilder: Wikipedia)

Wolfgang Pauli führte einen über 20 Jahre dauernden Briefwechsel mit dem Psychologen C. G. Jung. Ein Berührungspunkt ihres Denkens

war die Idee sinnstiftender Synchronizitäten im Weltablauf. Damit gemeint sind scheinbar zusammenhangslos entstandene Ereignisse, die gerade im Moment ihres Zusammentreffens Sinn ergeben: Man denkt zum Beispiel seit längerer Zeit an einen alten Bekannten. In einer fremden Großstadt verpasst man knapp einen Bus, und gerade dadurch trifft man den alten Bekannten.

Der Neurowissenschaftler John Eccles und der Philosoph Karl Popper entwickelten zusammen ein Modell eines Interaktionismus. Demzufolge wirke das Ich über Quantenprozesse im Gehirn auf die materiellen Abläufe in der Welt ein. Diese Einflussnahme bewege sich im Rahmen quantenphysikalisch zulässiger Zufallsschwankungen und sei deshalb nicht als Abweichung von Naturgesetzen erkennbar.

Erwin Schrödinger beschäftigte sich intensiv mit der Frage nach dem Bewusstsein. Er tendierte zu östlichen Vorstellungen einer Weltseele. Die Möglichkeit, dass die quantenphysikalischen Abläufe einem Freien Willen einen Zugang zur Welt verschaffen verwarf er ausdrücklich.

Max Planck ließ in seinen Schriften eine tief religiöse Grundhaltung erkennen. Er setzte sich explizit mit dem Widerspruch zwischen Willensfreiheit und Determinismus auseinander. Mir scheint, dass er die Implikationen der Quantenphysik nicht zu benötigen schien, um sein religiös-ethisches Weltbild zu rechtfertigen.

Der englische Mathematiker Roger Penrose zieht den holistischen Charakter der Quantenphysik heran und interpretiert das Bewusstsein als Ausdruck ganzheitlicher Gehirnzustände. Auf einem Weg, den die klassische Physik nicht öffnen könnte, führe das Bewusstsein Entscheidungen durch, die im mathematischen Sinne nicht berechenbar seien. Penrose bezeichnet sich selbst als Platoniker.

Der US-amerikanische Physiker Henry Stapp, der unter Pauli in Deutschland wirkte, argumentiert im Sinne eines Monismus, einer Identität von Geist und Materie.



Abbildung 14: J. Kirchhoff:
Mensch und Mathematik

Literatur

- 1 Schrödinger, Erwin: *Was ist ein Naturgesetz? Beiträge zum naturwissenschaftlichen Weltbild*. R. Oldenbourg Verlag München, 2008. ISBN: 978-3-486-58671-8
- 2 Schrödinger, Erwin: *Was ist Materie?* Die Doppel-CD enthält den auf Deutsch gehaltenen Vortrag *Was ist Materie* aus dem Jahr 1952 sowie den englischsprachigen Vortrag *Do Electrons think?* aus dem Jahr 1949. ISBN: 978-3-932513-30-5
- 3 Schrödinger, Erwin: *Mein Leben, meine Weltansicht*. Deutscher Taschenbuch Verlag München, 2006. ISBN: 3-423-34273-0
- 4 Pauli, Wolfgang (zusammen mit C. G. Jung): *Ein Briefwechsel. 1932-1958*. Herausgegeben von C. G. Meier. Springer Verlag 1992
- 5 Atmanspacher, H. und Primas, H.: *Der Pauli-Jung Dialog und seine Bedeutung für die moderne Naturwissenschaft*. Springer Verlag 1995. ISBN 3-540-585184
- 6 Erkelens, H. van: *Wolfgang Pauli und der Geist der Materie*. Königshausen und Neumann 2002. ISBN 3-8260-2222X
- 7 Planck, Max: *Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Springer Verlag 2001. ISBN 3-540-41274-3
- 8 Heisenberg, Werner: *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*. R. Piper & Co. Verlag, München 1969
- 9 Einstein, Albert: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. Akademie Verlag, Berlin (Ost) 1979
- 10 Mach, Ernst: *Erkenntnis und Irrtum*. 1905
- 11 Mach, Ernst: *Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*. 1886
- 12 Feynman, Richard P.: *QED. Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie*. Piper Verlag München, 1988. ISBN: 3-492-21562-9
- 13 Stapp, Henry: *Mind, Matter and Quantum Mechanics*. Springer Verlag 1993. ISBN: 3-540-56289-3
- 14 Popper, Karl R. und Eccles, John C.: *Das Ich und sein Gehirn*. Piper Verlag München 1997. ISBN: 3-492-21096-1
- 15 Gell-Mann, Murray: *Das Quark und der Jaguar*. Piper Verlag München, 1994. ISBN: 3-492-03201-X
- 16 Penrose, Roger: *Computerdenken. Die Debatte um Künstliche Intelligenz, Bewußtsein und die Gesetze der Physik*. Spektrum der Wissenschaft (Verlag). ISBN: 3-9330-708-7
- 17 Greene, Brian: *The Elegant Universe. Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. Vintage 2000. ISBN: 0-09-928992-X
- 18 Meurers, Joseph: *Kosmologie heute. Eine Einführung in ihre philosophischen und naturwissenschaftlichen Problemkreise*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 1984. ISBN: 3-534-07020-8
- 19 Höfling, Oskar: *Physik Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium*. Dümmler Verlag Bonn, 1994. ISBN: 3-42-4045-5
- 20 Bois-Raymond, Emil du: *Die Sieben Welträtsel*. Vortrag in Leipzig 1880. In: *Reden von Emil du Bois-Reymond in zwei Bänden*. Zweiter Band. 2. vervollständigte Auflage, edited by Estelle du Bois-Reymond, 65-98. Leipzig: Veit & Comp.

- 21 Bois-Reymond, Emil du *Über die Grenzen des Naturerkennens*. In der zweiten allgemeinen Sitzung der 45. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Leipzig am 14. August 1872 gehaltener Vortrag. In: *Reden von Emil du Bois-Reymond in zwei Bänden*. Erster Band. 2. vervollständigte Auflage, edited by Estelle du Bois-Reymond, 441-473. Leipzig: Veit & Comp. 1912.
- 22 Bohr, Niels: *Abhandlungen über den Atombau. Aus den Jahren 1913-1916*. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1921. Ausleihbar über die Hochschulbibliothek der RWTH Aachen
- 23 Bohr, Niels: *Atomphysik und menschliche Erkenntnis I*. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1958. Das Buch beinhaltet Vorträge der Jahre 1932 bis 1956. Ausleihbar über die Hochschulbibliothek der RWTH Aachen
- 24 Bohr, Niels: *Atomphysik und menschliche Erkenntnis II*. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1966. Das Buch beinhaltet Vorträge der Jahre 1958 bis 1963. Ausleihbar über die Hochschulbibliothek der RWTH Aachen
- 25 *Die Religion in Geschichte und Gegenwart. Handwörterbuch für Theologie und Religionswissenschaft*. Dritter Band. Verlag von J. C. B. Mohr, Tübingen 1929
- 26 Hans Joachim Störig: *Kleine Weltgeschichte der Philosophie*. Fischer Taschenbuch Verlag, 13. Auflage, 1987
- 27 Erwin Schrödinger: *Geist und Materie*. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 1961. Deutsche Übersetzung der Turner Lectures abgehalten am Trinity College, Cambridge, England, im Oktober 1956
- 28 Max Born: *Albert Einstein. Max Born. Briefwechsel 1916-1955*. Ullstein. Frankfurt/Main, Berlin, 1986
- 29 Tony Hey und Patrick Walters: *Quantenuniversum. Die Welt der Wellen und Teilchen*. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft. Heidelberg, 1990
- 30 P.G. Kwiat and L. Hardy: "The mystery of the quantum cakes". American Journal of Physics, 68 (2000) p. 33-36
- 31 Dan Styer: "Hardy's Test of Quantum Mechanics". Oberlin College Physics Department.
<http://www.oberlin.edu/physics/dstyler/StrangeQM/Hardy.pdf>
- 32 René Descartes: *Untersuchungen über die Grundlagen der Philosophie, in welchen das Dasein Gottes und der Unterschied der menschlichen Seele von ihrem Körper bewiesen wird*
- 33 C. F. von Weizsäcker: *Die Geschichte der Natur*. 6. Auflage, 1964. Hirzel Verlag, Zürich
- 34 Immanuel Kant: *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*. Riga, 1786
- 35 Zeilinger, Anton: *Einsteins Spuk. Teleportation und weitere Mysterien der Quantenphysik*. Goldmann Verlag, 2007
- 36 Whitehead, Alfred North: *The Aims of Education and other Essays*. The Free Press, 1929