

Liebe Kollegen und Freunde,
geschätzte Interessenten der Naturwissenschaft und Philosophie

1913 entwarf der dänische Physiker Niels Bohr das heute noch gängigste Atommodell, das unsere Kinder in der obligatorischen Schulzeit gelehrt bekommen. Wir feiern also dessen 100-jähriges Jubiläum. Zu diesem Anlass möchte ich übers Jahr hinweg verschiedene Impulse rund um dieses Thema und seine Auswirkungen auf unser Weltbild machen. Ich verspreche Euch, dass es spannend wird. Übrigens, Niels Bohr und seine Kopenhagener Schule wird zu Recht auch mit Sokrates und dessen Athener Schule verglichen. Es geht also um Physik und Philosophie und die Frage: Wie können wir die Welt verstehen? Wir befinden uns immer noch im Weihnachtszyklus. Deswegen widme ich den ersten Beitrag dem Kerzenlicht.

Verzeichnis der Beiträge

Beitrag 01	Herr Bohr , woher kommt das Kerzenlicht?	(04.01.)
Beitrag 02	Wie ist Bohrs Atommodell zu würdigen?	(22.01.)
Beitrag 03	Ohne Metaphysik keine Physik - Bohrs Denkstil	(09.02.)
Beitrag 04	Bohrs Quantentheorie gebärt Heisenbergs Quantenmechanik	(23.2.)
Beitrag 05	Bohr zum Determinismus und Indeterminismus in der Physik	(8.3.)
Beitrag 06	Bohrs Korrespondenzprinzip und Heisenbergs Unschärferelation	(22.3.)
Beitrag 07	Das Komplementaritätsprinzip – Bohrs Vermächtnis	(12.4.)
Beitrag 08	Die historische Bohr -Einstein-Debatte	(26.4.)
Beitrag 09	Aspect bestätigt Bohr	(8.5.)
Beitrag 10	Bohr inspiriert die Anfänge der Molekularbiologie	(22.5.)
Beitrag 11	Bohr und der 2. Weltkrieg	(29.5.)
Beitrag 12	Bohrs Traum verwirklicht sich mit dem CERN	(14.6.)
Beitrag 13	Bohr – der Sokrates unter den Physikern	(28.6.)
Beitrag 14	War Bohr vom hebräischen Denken inspiriert?	(30.3.)
Beitrag 15	Weitere Perlen von Niels Bohr	(5.7.)

Herr Bohr, woher kommt das Kerzenlicht?

Ja das Kerzenlicht, es verursachte schlechte Laune unter den Wissenschaftlern des ausgehenden 19. Jahrhunderts. So althergebracht und alltäglich eine Kerze ist, man konnte die Farbe ihres Lichtscheins mit der damaligen Physik einfach nicht erklären. Eine wahre Demütigung für die stolzen Wissenschaftler, die wie Lord Kelvin in seiner berühmten Rede von 1900 meinten, dass man bald alle Naturphänomene verstünde und die Naturwissenschaft ihrem Ende zugehe.

Im selben Jahr erriet Max Planck eine verbesserte Formel zur Beschreibung der Lichtstrahlen, die von heissen Körpern, wie einer brennenden Kerze ausgehen. Mit Betonung auf „erraten“, denn Planck versuchte lediglich Strahlungsverteilungskurven an experimentelle Daten mathematisch anzugleichen und erfand dazu eine neue Konstante h , das Plancksche *Wirkungsquantum*. Die Wissenschaftler nahmen diese mathematische Krücke notgedrungen zur Hilfe aber die physikalische Konsequenz des Wirkungsquantums, nämlich dass Licht aus Teilchen, sogenannten Quanten bestehen soll, das wollte niemand so recht glauben, am wenigsten Planck selber.

Es war dann Niels Bohr, der 1913 mit seinem neuen Atommodell Plancks Quanten ihre Existenz verlieh und damit endlich erklären konnte wie das Kerzenlicht entsteht. Wie das Licht einer Glühlampe oder das Sonnenlicht, es entsteht wenn Elektronen in angeregten Atomhüllen in ihre angestammten Schalen zurückspringen. Es handelt sich dabei um die legendären Quantensprünge, ein Wort das heute gleichbedeutend mit Paradigmenwechsel ist, weil die Quanten eines Kerzenscheins tatsächlich die Welt in einem neuen Licht erscheinen liessen.

(Lesenswerte Lektüre: „Das grosse Buch vom Licht“ von Kilian & Aschemeier, 2012)

Eine Randbemerkung zur Esoterik: Viele gnostische Lehren der Antike und ihre aktuellen esoterischen Pendants wollen die Materie und das Körperliche als loszuwerdendes Schlechtes und das Licht und das Geistige als erstrebenswertes Gutes darstellen. Dazu bedient sich die Esoterik regelmässig pseudo-physikalischen Wissens aus der elektromagnetischen Feldtheorie und Quantenmechanik, um ihr Konzept der Feinstofflichkeit zu erklären. Aber die moderne Physik sagt: Ohne angeregte Materie kein Licht, und ohne Licht keine angeregte Materie. Dazu sind Materie und Licht zwei komplementäre Aspekte, entsprechend einem Teilchen und einer Welle. Beides kann sowohl als (Materie-) Welle oder als Elementarteilchen (Photon) betrachtet werden.

Wie ist Bohrs Atommodell zu würdigen?

Ernest Rutherford entdeckte mit seinem berühmten Goldfolienexperiment, dass Atome quasi hohl sind und positive Kerne haben. Die negativen Elektronen dachte er sich um den Kern kreisend, denn wie bei einem Sonnensystem sollten die Rotationsfliehkräfte die Anziehung kompensieren. Man wusste aber bereits, dass kreisende Elektronen ein Magnetfeld generieren würden, dadurch kontinuierlich Energie abgestrahlt würde, bis die Elektronen in den Kern stürzen würden. Rutherfords „Saturn-Modell“ bestach zwar durch seine Anschaulichkeit, konnte aber die Stabilität der Atome in keiner Weise erklären. An dieser Stelle, genau vor 100 Jahren, trat Niels Bohr auf die Bühne.

Keiner hat bis dato, und übrigens bis heute, eine Innenstruktur von einem Atom gesehen. Wenn also Spekulationen über eine solche Anschauung in Widersprüche führen, so sagte sich Bohr, dann lassen wir doch diese Anschaulichkeit einfach mal stehen und beginnen mit den Fakten: (I) Atome können sich binden und voneinander lösen und bleiben dabei dieselben, und (II) sie können bestimmte Strahlungen absorbieren und abstrahlen. Gemäss Bohrs eigenen Ausführungen anlässlich der Verleihung des Nobelpreises (siehe Lektüre) widmete er jedem Faktum ein Postulat: (I) Elektronen befinden sich in unerklärbaren stationären Zuständen und (II) von dort gibt es entgegen der klassischen elektromagnetischen Theorie keine Ausstrahlung, sehr wohl aber bei einem Übergang zwischen stationären Zuständen. Von diesen Postulaten ausgehend liessen sich (I) die von Dmitri Mendelejew und Lothar Meyer entdeckte Periodizität der stabilen Elemente und (II) die scharfen Absorptionslinien erklären.

Der Verdienst Bohrs liegt aber nicht nur in der entworfenen Quantentheorie der Atome, sondern ebenso in seiner Art zu denken. Denn anstatt von einem mit der klassischen Physik erklärbaren anschaulichen Bild ausgehend in Widersprüchen zu landen, machte er mit der klassischen Physik widersprüchliche Postulate, um die zu beobachtenden Eigenschaften von Atomen zu erklären. Er vertrat dabei eine Philosophie, die besagt, dass eine Theorie nicht verrückt genug sein kann, wenn sie denn der Erklärung von Beobachtungen dient. Dieselbe Philosophie vertrat bereits ein anderes Genie, Albert Einstein. Dieser gemeinsame philosophische Stil, der dem *Kritischen Rationalismus* von Karl Popper entspricht, ermöglichte unter anderem die historische *Bohr-Einstein-Debatte*, die in die Geschichte der Physik und in die Geschichte der Philosophie einging.

(Lesenswerte Lektüre: „Über den Bau der Atome“ von Niels Bohr, 1924)

Ohne Metaphysik keine Physik - Bohrs Denkstil

Niels Bohr postulierte unerklärbare stabile Zustände von Elementarteilchen und erschuf eine neue Physik der Atome. Ähnlich tat dies bereits Einstein, der eine unerklärbare konstante Lichtgeschwindigkeit postulierte und eine neue Physik des Kosmos kreierte. Beide Genies widersetzten sich mit ihrem Denkstil den damaligen Positivisten, die sich des aufkommenden *Logischen Empirismus* rühmten. Dieser versuchte der neuzeitlichen Naturwissenschaft eine philosophische Grundlage zu geben, sprach aber in letzter Konsequenz allem Nicht-Messbaren (Metaphysik) jeglichen Sinngesamt ab. Nur protokollierte Messresultate (Protokollsätze) könne man induktiv zu einer Theorie formulieren. Dem widersprach Karl Popper, indem er auf das Humesche Induktionsproblem hinwies. Es sei gar nicht möglich, nur von empirischen Beobachtungen ausgehend zu einer Theorie zu kommen. Vielmehr sei es ein kreativer Akt der Ratio, des menschlichen Geistes, der ein Naturgesetz intuitiv erkennt. Deswegen erklärte schon David Hume Naturgesetze für Produkte unseres Geistes, also für reine Metaphysik. Mit dieser Aussage provozierte er Immanuel Kant, der in der Folge die erste systematische Erkenntnistheorie entwarf. Poppers Wissenschaftstheorie ist ein Kind der Kantschen Erkenntnistheorie mit grossem Respekt für die Metaphysik. Vermutlich hatte Popper auch Bohrs Physik- und Denkstil vor Augen, als er den *Kritischen Rationalismus* begründete, um damit den Positivisten entgegen zu treten. Folgendes Zitat von Niels Bohr zeigt die anti-positivistische Haltung sehr schön: *„Der Sinn des Lebens besteht darin, dass es keinen Sinn hat zu sagen, dass das Leben keinen Sinn hat.“*

(Lesenswerte Lektüre: „Was zu bezweifeln war“ von Radecke & Teufel, 2010)

Eine Randbemerkung zur Finanzkultur: Der Logische Empirismus findet man auch ökonomischen Theorien einverleibt. So entwickelt die empirische Verifizierbarkeit von sogenannten „hard facts“ eine besondere Faszination und verleitet immer wieder zu einem reduktionistischen Neopositivismus, worin nur solche Aspekte als relevant gelten, die einen finanziellen Wert erkennen lassen.

**Und die Moral von der Geschichte?
Glaubt den lauten Positivisten nicht!
Sie rufen stets, nur Wert und Preis
führen uns ins Paradies.**

Bohrs Quantentheorie gebärt Heisenbergs Quantenmechanik

Den Aufenthalt der Elektronen stellte man sich in Bohrs Atommodell und dessen *Quantentheorie* immer noch als Newtonsche Bahnen vor. Arnold Sommerfeld beschrieb deren Elliptizität, Orientierung und magnetische Sensibilität mit je einer weiteren Quantenzahl. Sein Schüler, Wolfgang Pauli, kritisierte dieses Regelwerk jedoch als pure Fantasie. Als nächstes stellte Louis De Broglie Bohrs Elektronenbahnen als stehende Materiewellen dar; und der letzte Versuch, die Atomphysik auf eine klassische Theorie zu stellen, kam von Bohr, Kramers und Slater: Die „virtuellen Oszillatoren“, die Bohr dann aber selber wieder verwarf.

Endlich nahm sich Max Born anstatt der Bewegung der Elektronen (Zustände), deren sprunghaften Übergänge an. Inspiriert von diesem neuen Denkansatz und den „virtuellen Oszillatoren“, gelang Werner Heisenberg 1925 in der Abgeschiedenheit von Helgoland eine Algebra, die zur Grundlage der neuen *Quantenmechanik* wurde.

Immer noch angetan von De Broglies Materiewellen antwortete Erwin Schrödinger jedoch mit einer ganz anderen Mathematik. Damit liessen sich die stationären Zustände der Elektronen als stehende Wellen beschreiben. Heisenberg warf ihm einen Rückfall in die alte Perspektive vor, wo man vom Atombau her dachte.

In diesem Streit fand Max Born eine Lösung: Schrödingers Wellengleichung beschreibe keine Verteilung von Elektronen, sondern ihre Aufenthaltswahrscheinlichkeiten. Damit fällt aber die Bestimmtheit der Materie dahin. Es folgen unendliche Gespräche zwischen Bohr und Heisenberg, woraus das *Komplementaritätsprinzip* und die *Unschärferelation* hervor gehen werden.

(Lesenswerte Lektüre: „Die Unbestimmbarkeit der Welt“ von Lindley, 2008)

Bohr zum Determinismus und Indeterminismus in der Physik

1958 verfasste Bohr einen Beitrag für „Philosophy in the Mid-Century“ (siehe Lektüre). Darin beschreibt er den Determinismus der klassischen Physik und den Indeterminismus der Quantenphysik folgendermassen: *In der Newtonschen Mechanik, in welcher der Zustand eines Systems materieller Körper durch ihre augenblicklichen Lagen und Geschwindigkeiten bestimmt ist, war es möglich den Zustand des Systems zu jeder anderen Zeit eindeutig zu bestimmen. Eine solche ideale Form kausaler Beziehungen wird durch den Begriff Determinismus ausgedrückt. Bei der Beschreibung elektromagnetischer Phänomene konnte eine deterministische Beschreibungsweise dadurch aufrechterhalten werden, dass zusätzlich die Richtung und Intensität der elektromagnetischen Kräfte an jedem Punkt des Raumes zu einer gegebenen Zeit einbezogen werden. In dieser Hinsicht änderte sich die Sachlage nicht wesentlich mit der Einsteinschen Relativitätstheorie. Eine neue Epoche wurde mit Plancks Entdeckung des elementaren Wirkungsquantums eingeleitet. Es wurde damit klar, dass die anschauliche Darstellung der klassischen physikalischen Theorien eine Idealisierung ist, die nur für Phänomene gilt, bei deren Analyse alle in Betracht kommenden Wirkungen genügend gross sind, um eine Vernachlässigung des Wirkungsquantums zu gestatten. Während diese Bedingung bei Phänomenen im gewöhnlichen Massstab völlig erfüllt ist, zeigen experimentelle Untersuchungen über atomare Teilchen neuartige, mit deterministischer Analyse unvereinbare Gesetzmässigkeiten.*

Hier gibt Bohr einen Rückblick, wie die Bestimmtheit der Materie mit dem Vordringen in ihre kleinsten Strukturen fallen gelassen werden musste. Der zuletzt genannte Indeterminismus in der Quantenphysik war seit den späten 20er-Jahren der Grundstein der *Kopenhagener Deutung* und Stein des Anstosses für die *Bohr-Einstein-Debatte*.

(Lesenswerte Lektüre: „Atomphysik und menschliche Erkenntnis II“ von Niels Bohr, 1966)

Bohrs Korrespondenzprinzip und Heisenbergs Unschärferelation

1920 gründete Niels Bohr seine Bemühungen die Quantentheorie mit der klassischen Physik zusammen zu denken auf das *Korrespondenzprinzip*. Es besagt, dass mehrere gültige Theorien zu derselben Sache korrespondieren müssen, und dass es eine Regelung geben muss, unter welchen Umständen welche Theorie zu bevorzugen sei. Im letzten Beitrag sahen wir ein Beispiel, wie Bohr die klassischen physikalischen Theorien als eine Idealisierung für makroskopische Phänomene betrachtete, die es erlauben das Wirkungsquantum zu vernachlässigen. Übrigens kennen wir Mineralogen auch ein *Korrespondenzprinzip*, jenes von Paul Niggli. Es besagt, dass die makroskopischen Kristallflächen mit den nanoskopischen Kristallstrukturen korrespondieren. Das *Korrespondenzprinzip* ist nicht zu verwechseln mit der *Korrespondenztheorie*, einer Wahrheitstheorie, die besagt, dass wenn Experiment und Theorie korrespondieren, letztere als wahr bezeichnet werden darf. Genau hierbei hatte die Quantenmechanik aber ein Problem. Sie konnte die in der Nebelkammer beobachtbaren Bahnen von Elektronen nicht beschreiben. Bohr und Heisenberg zerbrachen sich nächtelang den Kopf darüber, bis Bohr im Februar 1927 erschöpft in den Skiurlaub nach Norwegen fuhr. Der Daheimgebliebene spürte den Moment des Durchbruchs und begab sich auf einen nächtlichen Spaziergang im Fäliedpark. Die Nebelkammer lässt ja nur eine Folge von Kondensationstropfen beobachten, die die Elektronenbahn äusserst ungenau vermuten lassen. Die richtige Frage muss also lauten: *Kann man in der Quantenmechanik eine Situation darstellen, in der sich ein Elektron ungefähr an einem gegebenen Ort befindet und dabei ungefähr eine vorgegebene Geschwindigkeit besitzt?* Was Heisenberg nach seinem Spaziergang aufschrieb, kennen wir als *Unschärferelation*.

(Lesenswerte Lektüre: „Der Teil und das Ganze“ von Werner Heisenberg, 1969)

Das Komplementaritätsprinzip – Bohrs Vermächtnis

1927, in besagtem Skiurlaub in Norwegen (siehe Beitrag 6), hatte Niels Bohr seine Gedanken zum Dualismus zwischen Wellenbild und Teilchenbild weiter entwickelt und sprach von nun an vom *Komplementaritätsprinzip*. Heisenberg schreibt dazu: *Bohr hat den Gebrauch beider Bilder empfohlen, die er als „komplementär“ zueinander bezeichnete. Die beiden Bilder schliessen sich natürlich aus, weil eine bestimmte Sache nicht gleichzeitig ein Teilchen (d.h. Substanz, beschränkt auf ein sehr kleines Volumen) und eine Welle (d.h. ein Feld, ausgebreitet über einen grossen Raum) sein kann. Aber die beiden Bilder ergänzen sich; wenn man mit beiden Bildern spielt, indem man von einem Bild zum anderen übergeht und wieder zurück, so erhält man schliesslich den richtigen Eindruck von der merkwürdigen Art von Realität.*

So wie sich Bohr und Heisenberg gegenseitig auf intellektuelle Höchstleistungen trieben, so unterschiedlich waren ihre Lösungsansätze. Wo der Jüngere mit abstrakter Mathematik daher kam, brachte der Ältere ein philosophisches Wahrheitsprinzip ein. Es kam aber nie zu einer gemeinsamen Publikation mit einer Gesamtdarstellung von *Unschärferelation* und *Komplementaritätsprinzip*. Deren Zusammenhang könnte man aber folgendermassen beschreiben: Ein Teilchen weist sich durch seine Grösse und seine Bewegung (Geschwindigkeit) aus. Will man nun mittels eines Experimentes am Spalt eine dieser beiden Teilcheneigenschaften genau bestimmen, so zeigt sich die Materie jeweils als Welle. Entweder ich verenge den Spalt, um die **Teilchengrösse** zu bestimmen, dann beobachte ich auf dem Schirm dahinter eine gestreute **Welle** mit einer unscharfen Bewegungsrichtung (resp. Geschwindigkeitsvektor). Oder ich will den Geschwindigkeitsvektor des **Teilchens** messen, dann muss ich den Spalt so weit öffnen, als wäre es eine **Welle**, die hindurch passen muss, damit sie auf den Schirm fokussiert werden kann, d.h. die Streuung entsprechend minimiert wird. Verrückt!

(Lesenswerte Lektüre: „Physik und Philosophie“ von Werner Heisenberg, 1958)

Die historische Bohr-Einstein-Debatte

Niels Bohr und Albert Einstein pflegten gegenseitig einen hohen Respekt und konnten dadurch einen sachlich scharfen Disput über fast drei Jahrzehnte hinweg auf freundschaftliche Art führen - die *Bohr-Einstein-Debatte*. Es gibt reihenweise Publikationen zu diesem Thema und trotzdem möchte ich zweierlei dazu sagen.

Zum Inhalt des Ringens: Einstein glaubte an eine objektive Aussenwelt, die unabhängig vom wahrnehmenden Subjekt real existiert. Der Indeterminismus der neuen Quantenmechanik mochte er nicht und schrieb dazu: *Zu einem Verzicht auf die strenge Kausalität möchte ich mich nicht treiben lassen, bevor man sich nicht noch ganz anders dagegen gewehrt hat als bisher*. Deswegen bestritt er vehement, dass der Zustand eines physikalischen Systems erst durch die Angabe der Versuchsanordnung definiert sein soll, so wie es Werner Heisenberg, ein Vertreter des Bohrschen Standpunktes, einmal auf sehr bemerkenswerte Weise beschrieb: *Während des Beobachtungsaktes findet der Übergang vom Möglichen zum Faktischen statt*. In anderen Worten: Was vor dem Ereignis nur probabilistisch beschrieben werden kann, wird im Moment des Beobachtens zum Faktum einer Historie. Das hört sich an wie eine Seinslehre.

Zur Form des Streites: Diese Debatte ist das Vorbild eines wertschätzenden Streites. Trotz konträrer Meinungen konnte eine sachliche Kontroverse geführt werden. Man begegnete sich auf Augenhöhe und ohne Abhängigkeiten. Es ging also nicht um Macht. Auch Emotionen hatten ihren Platz. Aber stets blieben Bohr und Einstein bei der Sache und wahrten gegenseitig höchsten Respekt - ein Beispiel für alle Wissenschaftler und Philosophen, Gläubigen und Andersgläubigen.

(Lesenswerte Lektüre: „Die Philosophie der Physiker“ von E. Scheibe, 2012)

Aspect bestätigt Bohr

Bohrs *Komplementaritätsprinzip* und Heisenbergs *Unschärferelation* bilden die beiden Standbeine der *Kopenhagener Deutung* der Quantenmechanik. Sie besagt, dass komplementäre Messgrößen eines Elementarteilchens, wie Ort und Geschwindigkeit, nicht zugleich beliebig genau bestimmt werden können. Grund seien keine mangelnde Messgenauigkeit oder fehlende Parameter, sondern das ureigene Wesen dieser „Teilchen“, die sich in einem „unscharfen Schwebezustand“ befänden, in dem unzählige Kombinationen von Ort und Geschwindigkeit möglich sind und sich je nach Messvorgang eine davon realisiert.

Albert Einstein bestritt in der berühmten Debatte mit Niels Bohr diese Deutung und startete 1935 mit dem *EPR-Gedankenexperiment* den berühmtesten Angriff.

47 Jahre später, 1982, wurde die *Kopenhagener Deutung* von Alain Aspect's Team experimentell bestätigt (siehe Lektüre). Dazu schickte man einzelne Photonen auf einen halbdurchlässigen Spiegel. Ein Teilchendetektor dahinter verriet jedes Photon als Durchgang oder Reflexion. Nahm man aber den Detektor weg und liess die durchgegangenen mit den reflektierten Photonen über mehrere Spiegel und zuletzt durch je einen Spalt auf denselben Fotofilm fallen, so baute sich aus all den einzelnen „Fotopixeln“ mit zunehmender Belichtungszeit ein Interferenzmuster auf. So, als wäre jedes dieser Teilchen eine Welle, die mit sich selbst interferiert hat. Kämen nämlich die Photonen als Teilchen durch den Doppelspalt, so würden sie nur zwei Lichtstreifen erzeugen, nicht aber ein komplexes Interferenzmuster. Das einzelne Photon ist also, bevor es auf einen Detektor oder das Fotopapier trifft, im wahrsten Sinne des Wortes „überall und nirgends“ zugleich. Die Physiker nennen dies eine „kohärente Überlagerung“ von Zuständen.

(Lesenswerte Lektüre: „Licht und Materie. Eine physikalische Beziehungsgeschichte“ von Morsch, 2003)

Bemerkung zum EPR-Experiment: Einstein beschrieb zusammen mit seinen princetonener Kollegen Podolsky und Rosen ein für damalige Zeiten hypothetisches Experiment: Trenne man „Zwillingsteilchen“, die bezüglich Ort und Geschwindigkeit verschränkt wären, so könne man an jedem eine der beiden komplementären Messgrößen genauestens bestimmen. Somit wären Komplementärgrößen grundsätzlich genau bestimmbar. Denn es könne ja wohl nicht sein, dass wenn der Ort von Teilchen A genau gemessen würde, sich die Geschwindigkeit von Teilchen B nur noch ungenau bestimmen liesse. Eine solche „spukhafte Fernwirkung“ sei doch absurd, so Einstein.

Bohr inspiriert die Anfänge der Molekularbiologie

1932 nahm Niels Bohr eine Einladung für einen Kongress über Lichttherapie an und hielt eine Eröffnungsrede über „Licht und Leben“. Dabei entwickelte er in Analogie zur Atomphysik eine Vision: Man solle die Wechselwirkungen von Licht und Leben erkunden, ähnlich wie man bei der Erforschung der Materie die verschiedensten Wechselwirkungen mit elektromagnetischer Strahlung studiert hatte. Und man solle diese Untersuchungen am „*Wasserstoffatom des Lebens*“ (eine Metapher Bohrs für die einfachste Form allen Lebens) durchführen, um die Chance auf Erfolg zu erhöhen.

Unter den Zuhörern sass Max Delbrück, ein junger Physiker, der von Bohrs Rede dermassen beeindruckt war, dass er sich fortan mit der Erforschung des Lebens beschäftigte. Bald erkannte er, dass das Gen ein Atomverband ist, der durch die Einwirkung von Röntgenstrahlen mutiert und dabei seine stabile Form ändert. Auf der Suche nach dem „biologischen Wasserstoffatom“ stiess Delbrück auf die Viren, womit eine neue Epoche der Genetik und Molekularbiologie begann. Immer wieder liess sich Delbrück von Bohrs visionärer Eröffnungsrede inspirieren und wurde 1969 für seine bahnbrechenden Forschungsarbeiten mit dem Nobelpreis geehrt.

Bohr vertrat die Ansicht, dass neben der molekularen Betrachtung, das „*Vorhandensein von Leben*“ eine Grundannahme der Biologie sein sollte, die ähnlich wie das *Wirkungsquantum* in der Atomphysik, einfach nur angenommen werden könne. Delbrück reflektierte diesen Gedanken bis zuletzt und meinte, dass der „Bohr der Biologie“, ein Wissenschaftler, der nebst den molekularbiologischen Zusammenhängen auch erkenntnistheoretische Aspekte in eine neue umfassende Sichtweise stellen kann, noch nicht gekommen sei.

(Lesenswerte Lektüre: „Niels Bohr. Physiker und Philosoph des Atomzeitalters“ von E. Fischer, 2012)

Bohr und der 2. Weltkrieg

Drei Geister in den Dreissigerjahren – so könnte diese Geschichte auch heissen. Gemeint sind Bohrs guter *Geist von Kopenhagen*, der üble *Geist der Nazis* und der entfesselte *Geist der Kernspaltung*.

Niels Bohr verwirklichte mit „seinem“ physikalischen Institut in Kopenhagen die Vision einer internationalen, interdisziplinären und transparenten Forschung. Deswegen nannte man ihn ehrwürdig den **Geist von Kopenhagen**.

Demgegenüber stand der Rassenwahn der Nationalsozialisten – der **Geist der Nazis**. Man verordnete die Relativitäts- und Quantentheorie als jüdisch abzulehnen und die arische Physik wiederherzustellen. Zahlreiche jüdischstämmige Wissenschaftler emigrierten daraufhin in die USA, wo sich eine neue Elite von Physikern etablierte.

1938 wurde in Berlin durch Otto Hahn und Fritz Strassmann die kontrollierte Kernspaltung entdeckt – der **Geist der Kernspaltung** war somit entfesselt worden.

Theoretisch gedeutet wurde dieses Experiment vor allem durch Lise Meitner und Otto Robert Frisch. Sie standen mit Bohr in Kontakt und baten ihn auf seiner bevorstehenden Reise in die USA diskret zu bleiben und die Publikation abzuwarten. Aber Bohr konnte nicht anders, als schon auf der Überfahrt davon zu erzählen, so dass am Tage seiner Ankunft die Amerikaner informiert waren, die Entwicklung der Atombombe einleiteten und ab 1942 mit dem „Manhattan-Projekt“ in einem beispiellosen Kraftakt die erste Atombombe realisierten. Man befürchtete nämlich, dass das berliner Kernspaltungsexperiment und die grossen Uranvorkommen in Böhmen zwangsläufig Hitler die erste Atombombe bescherten würden.

Wer immer aber die Atombombe entwickelte, bald sahen viele ein, dass die Physik damit ihre Unschuld verlor. Bohr war einer der Ersten, der etwas dagegen unternahm und sich in die politische Diskussion einzubringen versuchte, allerdings ohne Erfolg.

(Lesenswerte Lektüre: „Die Nacht der Physiker“ von R. von Schirach, 2012)

Bohrs Traum verwirklicht sich mit dem CERN

Schon vor dem Atombombenabwurf auf Hiroshima sah Niels Bohr die Physik und ihr Verhältnis zur Politik in einem anderen Licht, und seine alte Vision von einer offenen globalen Forschungsgemeinschaft gewann mit den schrecklichen Ereignissen des 2. Weltkriegs eine existenzielle Tragweite für die gesamte Menschheit. Im Lichte dieser Vision appellierte er mehrmals an die Politiker, zuletzt 1950 in einem offenen Brief an die Vereinten Nationen. Man solle die Kernenergie international zu zivilen Zwecken gemeinsam weiter entwickeln und nicht gegenseitig geheime nationale Atomprogramme schüren. Der Koreakrieg stand jedoch bevor und Bohrs Aufruf verhallte ungehört.

Wolfgang Pauli hatte ihm zuvor davon abgeraten: *Wer dem „Willen zur Macht“ etwas anderes, Geistiges, entgegensetzen will, darf nicht selbst einem Machtwillen so weit erliegen, dass er sich einen grösseren Einfluss auf die Weltgeschichte zurechnet, als er der Natur der Sache nach haben kann.* Pauli sagte weiter, dass seine Ansicht nicht mit Hoffnungslosigkeit gleichzusetzen sei, und weil die „verkehrten“ Machthaber nicht unsterblich seien und die öffentliche Meinung sowieso stark schwanke, er sich abseits halte und abwarte. Hierauf antwortete Bohr: *Die Zuschauereinstellung, die Du beschreibst, ist für mich eine ganz klare und begrenzte Möglichkeit, aber wo ich mich selber in der Zuschauer- oder Schauspielersituation befinde, ist nicht leicht zu sagen, ..., wo Du auf Deine Weise so ehrlich Ruhe suchst in Deinem Studium der Gegensätze, während ich auf gut oder übel nun einmal streiten muss, um die Konsequenzen der Gegensätze zu dämpfen.* In diesem Sinn ist auch folgendes Zitat von Bohr zu verstehen:

Der Mensch ist zugleich Zuschauer und Mitspieler im grossen Drama des Lebens.

Was Bohr auf der politischen Bühne verwehrt blieb, war ihm dafür wissenschafts- politisch beschieden. Er hatte grossen Einfluss auf die Planung und Einrichtung des europäischen Zentrums für Kernforschung (CERN) in Genf. Viele seiner Vorstellungen über den Geist der Forschung liessen sich dort verwirklichen, eine für die gesamte Menschheit transparente Forschung ohne wirtschaftliche und militärische Absichten.

(Lesenswerte Lektüre: „Niels Bohr. Der Kopenhagener Geist in der Physik“ von Meyenn et al., 1985)

Bohr – der Sokrates unter den Physikern

Niels Bohr wurde von Carl Friedrich von Weizsäcker als „*Sokrates unter den Physikern*“ bezeichnet, was in vielerlei Hinsicht gerechtfertigt scheint.

Denn in der Physik musste zunächst ein neues Denken ermöglicht werden, ohne das ein Erkenntniszuwachs nicht möglich zu sein schien. Dieses neue Denken war von einer ganz anderen Qualität. Bohrs *Komplementaritätsprinzip* war quasi eine philosophische Wahrheitstheorie. In deren Tragweite suchte Bohr dann auch nach Analogien ausserhalb der Physik und hielt in biologischen und psychologischen Fachkreisen Vorträge dazu. Bohr prägte „sein“ Institut in Kopenhagen als die sichtbare Institution der *Kopenhagener Schule*, als das „Athen des 20. Jahrhunderts“. Er rief Wissenschaftler aus den unterschiedlichsten Fachgebieten nach Kopenhagen und sah im dabei entstehenden interdisziplinären Dialog und dessen Blüten den eigentlichen Sinn der Wissenschaften und damit einen Weg, wie die Wissenschaften ihrer Verantwortung gegenüber der Gesellschaft gerecht werden konnten. Aber auch seine Art einen Dialog zu führen war sokratisch. So versuchte er in einer unendlichen Ruhe sein Gegenüber durch Fragen zu einer Erkenntnis zu führen, respektive diese ihm zu entlocken. Und ein Letztes, das ihn als Sokrates bezeichnen lässt, war sein Platon - Werner Heisenberg, der ihn zum Besten gab. Heisenberg hatte Bohrs Gedankengänge in nächtelangen Diskursen selbst durchschritten und vermochte durch seine direkte Art der Darstellung, Bohrs Aussagen in einer besonderen Klarheit wiederzugeben.

(Lesenswerte Lektüre: „Werner Heisenberg. Das selbstvergessene Genie“ von Ernst-Peter Fischer, 2001)

War Bohr vom hebräischen Denken inspiriert?

Niels Bohr hatte, wie übrigens viele Physiker seiner Zeit, jüdische Wurzeln, wuchs aber in einem säkularen Umfeld auf. Aufgrund seiner Schriften und Aussagen ist jedoch ersichtlich, dass er einen grossen Respekt vor den Religionen hatte und sich vielleicht gerade deswegen eher spärlich dazu äusserte. Wie auch immer, es fällt auf, dass, abstrahiert von den Inhalten, Bohrs Komplementaritätsprinzip dem hebräischen (Komplementär-) Denken sehr nahe kommt.

Das *hebräische Denken* versucht durch komplementäre (sich widersprechende aber ergänzende) Gotteserzählungen dem vielschichtigen einen Gott nahe zu kommen. Erkenntnistheoretisch kann man es auch so ausdrücken: Das hebräische Denken versucht Dualismen mit ihren widersprechenden Wirklichkeiten in die einzige Realität eines Monotheismus hineinzudenken. Bohr meint mit seinem *Komplementaritätsprinzip* etwas Analoges: Komplementäres Denken sei das stete Springen zwischen sich widersprechenden analytischen Wirklichkeiten, um die komplexe Realität der Natur möglichst umfassend zu erkennen.

Hören wir dazu ein Zitat von Heisenberg (1969): *Der Begriff der Komplementarität zum Beispiel, den Niels Bohr jetzt bei der Deutung der Quantentheorie so sehr in den Vordergrund stellt, war ja in den Geisteswissenschaften, in der Philosophie keineswegs unbekannt, [...] . Eine Wissenschaft, die sich auf diese Art des Denkens eingestellt hat, wird nicht nur toleranter gegenüber den verschiedenen Formen der Religion sein, sie wird vielleicht, da sie das Ganze besser überschaut, zu der Welt der Werte mit beitragen können.*

(Lesenswerte Lektüre: „Das hebräische Denken im Vergleich mit dem griechischen“ von Boman, 1968
„Biblisches Denken und hellenistische Überlieferung“ von C. Tresmontant, 1956)

Eine Randbemerkung zum hebräischen Denken: Thorleif Boman bezeichnet das griechische Denken als statisch und das hebräische als dynamisch, mag jedoch beide Denkartarten gleichermassen zu würdigen. Hingegen betrachtet Claude Tresmontant das hebräische Denken gegenüber dem griechischen als überlegen und macht klar sichtbar, wie diametral die griechische Weltauffassung mit ihrem Dualismus von Idee und Materie und von Seele und Leib dem radikalen Antidualismus der hebräischen Denkweise entgegengesetzt ist. Des Weiteren sei, Zitat (S. 158): „[...] festzustellen, dass sich jene Kategorien [der hellenistischen Vernunft] mehr und mehr – in Physik, Biologie und Psychologie – als unzureichend für das Verständnis des Wirklichen erweisen. Auch in der Wissenschaft bedarf es einer Neuerung der Kategorien unseres Erkennens.“

Weitere Perlen von Niels Bohr

Die Quantentheorie ist so ein wunderbares Beispiel dafür, dass man einen Sachverhalt in völliger Klarheit verstanden haben kann und gleichzeitig doch weiss, dass man nur in Bildern und Gleichnissen von ihm reden kann.

Wenn in den Religionen aller Zeiten in Bildern und Gleichnissen und Paradoxien gesprochen wird, so kann das kaum etwas anderes bedeuten, als dass es eben keine anderen Möglichkeiten gibt, die Wirklichkeit, die hier gemeint ist, zu ergreifen. Aber es heisst nicht, dass sie keine echte Wirklichkeit sei. Mit der Zerlegung dieser Wirklichkeit in eine objektive und eine subjektive Seite wird man nicht viel anfangen können. Daher empfinde ich es als eine Befreiung unseres Denkens, dass wir aus der Entwicklung der Physik in den letzten Jahrzehnten gelernt haben, wie problematisch die Begriffe „objektiv“ und „subjektiv“ sind.

*Das Gegenteil einer richtigen Behauptung, ist eine falsche Behauptung.
Aber das Gegenteil einer tiefen Wahrheit kann wieder eine tiefe Wahrheit sein.*

(Diese Zitate finden sich auf den Seiten 246, 107, 124 in „Der Teil und das Ganze“ von Heisenberg.)

Liste der empfohlenen Bücher

- Beitrag 1 Kilian U. und Aschemeier R. (2012): **Das grosse Buch vom Licht**. Primus Verlag.
- Beitrag 2 Bohr N. (1924): **Über den Bau der Atome**. Verlag von Julius Springer, Berlin. Vortrag bei der Entgegennahme des Nobelpreises in Stockholm am 11. Dezember 1922. Ins Deutsche übersetzt von W. Pauli Jr.
- Beitrag 3 Radecke H.-D. und Teufel L. (2010): **Was zu bezweifeln war. Die Lüge von der objektiven Wissenschaft**. Droemer Verlag.
- Beitrag 4 Lindley D. (2008): **Die Unbestimmbarkeit der Welt. Heisenberg und der Kampf um die Seele der Physik**. Deutsche Verlags-Anstalt.
- Beitrag 5 Bohr N. (1966): **Atomphysik und menschliche Erkenntnis II. Aufsätze und Vorträge aus den Jahren 1958-1962**. Die Wissenschaft, Band 123, Vieweg & Sohn.
- Beitrag 6 Heisenberg W. (2008): **Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik**. 7. Auflage. Piper, München. Das Original erschien 1969.
- Beitrag 7 Heisenberg W. (2000): **Physik und Philosophie**. 6. Auflage, Hirzel, Stuttgart. Das amerik. Original „Physics and Philosophy“ erschien 1958.
- Beitrag 8 Scheibe E. (2012): **Die Philosophie der Physiker**. 2. Auflage. Verlag Beck.
- Beitrag 9 Morsch O. (2003): **Licht und Materie. Eine physikalische Beziehungsgeschichte**. WILEY-VCH.
- Beitrag 10 Fischer E.-P. (2012): **Niels Bohr. Physiker und Philosoph des Atomzeitalters**. Siedler Verlag.
- Beitrag 11 von Schirach R. (2012): **Die Nacht der Physiker. Heisenberg, Hahn, Weizsäcker und die deutsche Bombe**. Berenberg Verlag.
- Beitrag 12 von Meyenn K., Stolzenburg K. & Sexl R. U. (1985): **Niels Bohr. Der Kopenhagener Geist in der Physik**. Vieweg & Sohn.
- Beitrag 13 Fischer E.-P. (2001): **Werner Heisenberg. Das selbstvergessene Genie**. Piper Verlag.
- Beitrag 14 Boman. Th. (1968): **Das hebräische Denken im Vergleich mit dem griechischen**. 5. Auflage, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
Tresmontant C. (1956): **Biblisches Denken und hellenistische Überlieferung**. 1. Auflage, Patmos-Verlag, Düsseldorf.