

Vorlesung (eher: Seminar)

Die Geburt der Quantenmechanik

Dr. Martin Oettel

AG Prof. Binder

Büro: Staudinger Weg 7, 01-317, Tel.: 39-23645

email: oettelm@uni-mainz.de

[Internetseite](#)

Literatur:

Franco Selleri – *Die Debatte um die Quantentheorie*

“Nachtisch”literatur

Günther Ludwig – *Wellenmechanik: Einführung und Originaltexte*

Die Einführung erfordert gute Kenntnisse der klassischen Mechanik und Elektrodynamik.

van der Waerden – *Sources of Quantum Mechanics*

Englische Übersetzung verschiedener Originalarbeiten, mit kurzer, aber guter Einführung in die einzelnen Artikel

Arnold Sommerfeld – *Atombau und Spektrallinien*

Ein klassisches Lehrbuch zur Quantentheorie der Atomstruktur. Die älteren Auflagen (bis 1925) enthalten eine ausführliche Darstellung der Bohr-Sommerfeld-Theorie nebst ausführlichen mathematischen Ergänzungen. Neuere Auflagen enthalten die leicht gekürzte Bohr-Sommerfeld-Theorie in Band I und die Wellenmechanik in Band II.

David Cassidy - *Uncertainty*

Eine dicke, aber gut lesbare Heisenberg-Biographie

Internet:

Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte

History of Quantum Physics Project

<http://quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/main>

Sources for History of Quantum Physics

<http://www.amphilsoc.org/guides/ahqp/index.htm>

Niels Bohr Library & Archives with the Center for History of Physics (AIP)

<http://www.aip.org/history/nbl/oralhistory.html>

Inhalt:

- Einführung
- 1900 - Die Geburt der Quantenmechanik?
Max Planck und die Schwarzkörperstrahlung
- 1913 - Das Bohrsche Atommodell
- 1922-24 - Die "spektroskopische Krise"
- 1925 - Die neue Quantenmechanik
- 1926 - Wellenmechanik
- 1927 - Kopenhagener Deutung
- Ausblick

Realismus

Naiver Realismus (auch **Klassischer Realismus**, **direkter Realismus**, **common sense Realismus**) ist eine bestimmte Position in der [philosophischen Erkenntnistheorie](#), genauer der Theorie der Wahrnehmung. Ihr zufolge sind die Dinge im Wesentlichen so, wie sie uns erscheinen. Die gelbe Farbe etwa kommt einem Gegenstand selbst zu und ist kein Effekt unserer Wahrnehmung. Bildlich gesprochen nimmt der Wahrnehmende eine passiv-rezipierende Rolle ein, während sich die wahrzunehmenden Dinge gleichsam aufdrängen.

Schwacher Realismus, empirischer Realismus

Dazu Kant:

„Alle äußere Wahrnehmung also beweist unmittelbar etwas Wirkliches im Raume, oder ist vielmehr das Wirkliche selbst, und insofern ist also der empirische Realismus außer Zweifel, d. i. es korrespondiert unseren äußeren Anschauungen etwas Wirkliches im Raume. Freilich ist der Raum selbst, mit allen seinen Erscheinungen, als Vorstellungen, nur in mir, aber in diesem Raume ist doch gleichwohl das Reale, oder der Stoff aller Gegenstände äußerer Anschauung, wirklich und unabhängig von aller Erdichtung gegeben, und es ist auch unmöglich: daß in diesem Raume irgend etwas außer uns (im transzendentalen Sinne) gegeben werden sollte, weil der Raum selbst außer unserer Sinnlichkeit nichts ist. [...] Das Reale äußerer Erscheinungen ist also wirklich nur in der Wahrnehmung und kann auf keine andere Weise wirklich sein.“ (KrV A 375)

Die erkenntnistheoretische Position Kants selbst ist die eines transzendentalen Idealismus verbunden mit einem empirischen Realismus. Dies bedeutet, dass es für Kant keine Erkenntnis ohne empirische Wahrnehmung gab, dass die Erkenntnisse aber aufgrund der Vermögen des Verstandes durch die reinen, a priori vorhandenen Verstandesbegriffe (Raum, Zeit, Kategorien) geformt werden. Über die Außenwelt (die Dinge an sich) kann man aber nicht mehr sagen, als dass es sie gibt. Kants Position wird daher als sehr schwacher Realismus bezeichnet.

Repräsentationaler Realismus

Gegenüber dem naiven Realismus geht diese Position davon aus, dass die Wirklichkeit nur durch einen vermittelnden Akt des [Bewusstseins](#) erkannt werden kann. [Bertrand Russell](#) beschreibt diese Art der Auffassung wie folgt:

„Ich bin aber der Meinung, dass unser Selbst, wie auch immer wir es definieren mögen, auch, wenn es als das reine Subjekt angenommen wird, unmöglich als ein Bestandteil des unmittelbaren Gegenstandes unserer Sinne angesehen werden kann. Wenn wir unser Problem so formulieren, ist also zuzugeben, dass wir etwas über die Existenz von uns unabhängiger Wesenheiten wissen können.“[\[12\]](#)

Ausgangspunkte dieser Sichtweise sind entweder das Ich-Bewusstsein oder sogenannte sekundäre Qualitäten wie Farbe, Geruch oder Geschmack. Solche Eigenschaften von Gegenständen sind nicht unmittelbar in der Wahrnehmung enthalten, sondern werden vom Bewusstsein geformt. Es sind interne mentale Zustände, die gegen einen naiven Realismus sprechen. In der modernen [Philosophie des Geistes](#) werden diese Phänomene unter dem Stichwort [Qualia](#) diskutiert. Repräsentationen sind Sinnesdaten, vorsprachliche und sprachliche Zeichen der Wirklichkeit. Auf einer höheren Ebene sind diese zu Gedanken und Überzeugungen zusammengeführt. Wenn auch die Repräsentationen nicht unbedingt in der Struktur der Wirklichkeit entsprechen, so besteht aber eine gleich bleibende Beziehung zwischen Außenwelt und Bewusstsein ([Isomorphie](#)). Diese Beziehung zwischen Repräsentation und Wirklichkeit wird als kausales Verhältnis aufgefasst.

Kritischer Realismus

Im kritischen Realismus wird die Vorstellung eines direkten Zugangs zur Wirklichkeit, zum Beispiel durch unmittelbare Sinneseindrücke, abgelehnt. Jedoch gibt es eine vom menschlichen Denken unabhängige äußere Welt.

Dies bedeutet „dass Erkenntnis nicht ein Erschaffen, Erzeugen oder Hervorbringen des Gegenstandes ist, wie der Idealismus alten und neuen Fahrwassers uns belehren will, sondern ein Erfassen von etwas, das auch vor aller Erkenntnis und unabhängig von ihr vorhanden ist“[\[Nicolai Hartmann\]](#). Die Unterscheidung von Gegenstandsbewusstsein und Selbstbewusstsein beruht auf grundlegenden Erfahrungen. Der Mensch erfasst das real Seiende schrittweise immer mehr, jedoch ist sein Erkenntnisvermögen so begrenzt, dass die Erkenntnis dem Seienden weder vollständig adäquat noch ähnlich ist.

[Moritz Schlick](#) führte gegen den schwachen Realismus Kants an:

„Nehmen wir einmal an, unserer Erkenntnis seien nur ‚Erscheinungen‘ zugänglich, hinter denen dann unbekannte Dinge an sich ständen, so wären diese Dinge doch zugleich mit den Erscheinungen erkannt, denn da unsere Begriffe den Erscheinungen zugeordnet sind, diese aber den Dingen an sich zugeordnet angenommen waren, so bezeichnen ja unsere Begriffe auch die Letzteren, weil ein Zeichen des Zeichens doch auch ein Zeichen für das Bezeichnete selbst ist.“[\[26\]](#)

Für Schlick war es unplausibel, über einzelne Erscheinungen zu reden und zugleich zu behaupten, man könne überhaupt keine Aussagen über ihre Realität machen. Grundlage für Schlicks Realismus ist die „Methode der Koinzidenz“. Dies ist das mehrfache Überprüfen der eigenen Wahrnehmung, aber auch die Übereinstimmung mit der Wahrnehmung Dritter. Aufgrund dieser Koinzidenz werden Begriffe gebildet. Dies ist eine auch in den Wissenschaften zugrunde liegende Gegebenheit. In diesem Sinne wird Korrespondenz als eine zutreffende Darstellung aufgefasst. Kritisch ist die Position Schlicks, weil er davon ausging, dass zwischen Sprache und Realität keine Ähnlichkeit besteht.

„All unsere Wirklichkeitserkenntnisse sind also streng genommen Hypothesen. Keine wissenschaftliche Wahrheit, mag sie historischer Art sein oder der exakten Naturforschung angehören, macht davon eine Ausnahme, keine ist im Prinzip vor der Gefahr sicher, irgendwann einmal widerlegt und ungültig zu werden.“[\[27\]](#)

Der Kritische Realismus findet sich auch im [kritischen Rationalismus](#) von [Karl Popper](#) und [Hans Albert](#). Er wird dabei ohne Begründungsanspruch, aber mit Wahrheitsanspruch vertreten.[\[29\]](#) Der Kritische Rationalismus geht davon aus, dass Vernunft sich nicht durch Begründung der Wahrheit oder des Fürwahrhaltens einer Behauptung auszeichnet, sondern durch die strenge Prüfung a posteriori mittels Kritik, die nicht auf den Vorwurf fehlender Begründung abzielt, sondern die kritisierte Behauptung selbst angreift. Die Wirklichkeit muss aus diesem Blickwinkel also nicht erst ‚erkannt‘ werden, bevor Aussagen darüber gemacht werden dürfen; es genügt, wenn solche Aussagen als versuchsweise Vermutungen vertreten und permanent für Kritik offengehalten werden. Der kritische Realismus ist demnach eine Konsequenz der wissenschaftlichen Theorien,[\[30\]](#)[\[31\]](#) nicht eine Annahme, die für Wissenschaft notwendig ist, ihr vorausgeht oder von ihr vorausgesetzt werden muss, [\[32\]](#) er ist daher kein ontologisches Fundament, sondern eine kosmologische Entdeckung. Der Zugang zur Wirklichkeit ist nur durch solche Theorien möglich (die alle dem „Inhalt nach a priori, nämlich genetisch a priori“[\[33\]](#) sind, aber nicht a priori gültig). Popper wandte sich dabei gegen die „Erkenntnistheorie des Alltagsverstandes“, die davon ausgeht, dass Aussagen über die Welt durch Sinneserfahrung abgeleitet werden und dass Sinneserfahrungen daher ein Begründungs- oder

Autoritätsanspruch zusteht. Diese Annahme führt zwangsläufig zu einem Antirealismus. Nach Popper können Theorien weder aus Sinneserfahrung abgeleitet noch von der Realität positiv verifiziert werden. Sie können nur negativ zurückgewiesen werden: „Diese Art der Information – die Abweisung unserer Theorien durch die Wirklichkeit – ist [...] in meinen Augen die einzige Information, die wir von der Realität bekommen können: alles andere ist unsere eigene Zutat.“^[34] Gegen antirealistische Interpretationen der Quantentheorie^[35] argumentierte Popper mit einer von ihm selbst aufgestellten und weiterentwickelten realistischen Interpretation. Hans Albert verwies insbesondere auf die Wahrnehmungsforschung als Argument für den Realismus.^[36]

Positivismus

Der **Positivismus** ist eine Richtung in der [Philosophie](#), die fordert, [Erkenntnis](#) auf die Interpretation „positiver Befunde“ zu beschränken. Das Wort „positiv“ wird dabei wie in den [Naturwissenschaften](#) gebraucht, in denen man von einem „positiven Befund“ spricht, wenn eine Untersuchung unter vorab definierten Bedingungen einen Nachweis erbrachte. Der Positivismus geht in der Namensgebung und ersten Institutionalisierung auf [Auguste Comte](#) (1798–1857) zurück und wurde unter diesem und seinen Nachfolgern im 19. Jahrhundert vorübergehend zu einem weltumspannenden humanistischen Religionsersatz ausgebaut, der alles [Transzendente](#) aus den Überlegungen ausschloss. Zwischen der erkenntnistheoretischen Position, die vor allem die Wissenschaftsdiskussion auf sich zog, und dem institutionalisierten Positivismus, der einen Religionsersatz anstrebte, entstanden im Verlauf des 19. Jahrhunderts erhebliche Spannungen.

Idealismus

Idealismus bezeichnet in der [Philosophie](#) unterschiedliche Strömungen, die (sehr grob zusammengefasst) gemein haben, dass das eigentlich Wirkliche die [Ideen](#) sind; was wir wahrnehmen, seien nur Abbilder davon.

- Die Vertreter des [erkenntnistheoretischen](#) (auch: [ontologischen](#)) Idealismus sehen in jeder Form von Materie sowie auch in menschlichen Handlungen (und damit in der gesamten Geschichte) nur ein Abbild von Ideen. Als weiterer Gegenbegriff wird gelegentlich der erkenntnistheoretische [Realismus](#) bezeichnet, was missverständlich ist, da auch idealistische Strömungen (seit dem [Mittelalter](#)) diesen Begriff für sich in Anspruch nahmen.

Konstruktivismus

Konstruktivismus nennen sich mehrere Strömungen in der [Philosophie](#) des 20. Jahrhunderts. Auf Grund des gemeinsamen Namens werden sie oft irrtümlich für übereinstimmend gehalten. Die meisten Varianten des Konstruktivismus gehen davon aus, dass ein erkannter Gegenstand vom Betrachter selbst durch den Vorgang des Erkennens *konstruiert* wird. In der Fachsprache der Philosophie ausgedrückt, nehmen sie damit eine nominalistische Position zum [Universalienproblem](#) ein.

Während der [Radikale Konstruktivismus](#) die menschliche Fähigkeit, objektive [Realität](#) zu erkennen, mit der Begründung bestreitet, dass jeder Einzelne sich seine Wirklichkeit im eigenen Kopf „konstruiert“, glaubt der [Erlanger Konstruktivismus](#) an eine gemeinsame Konstruktionsweise: dass es

mit Hilfe einer besonderen Sprach- und Wissenschaftsmethodik möglich sei, „das naive Vorfinden der Welt“ zu überwinden und durch „methodische Erkenntnis- und Wissenschafts-Konstruktion“ zu ersetzen. Ob dieses gemeinsam Konstruierte auch unabhängig von seiner Konstruktion existiert oder bloß einen [Konsens](#) belegt, ist dagegen ein anderes Problem.

Naiver Realismus und das Erlernen der Quantenmechanik

Freeman Dyson

Der Student lernt zunächst die Kunstgriffe...dann wird er unruhig, da er eigentlich nicht versteht, was er tut. Dieser Zustand dauert oft sechs Monate und länger und ist anstrengend und unerfreulich. Höchst unerwartet meint der Student aber dann schließlich zu sich: ‚Ich verstehe die Quantenmechanik!‘ Oder vielleicht eher: ‚Ich verstehe nun, daß gar nichts zu verstehen ist` ... für jede neue Studentengeneration muß weniger Widerstand gebrochen werden, bevor sie sich an die Ideen der Quantenmechanik gewöhnt haben.

Paul Dirac

Der Leser mag vielleicht unzufrieden mit dem Versuch sein,...die Existenz der Photonen mit der klassischen Lichttheorie in Einklang zu bringen. Er könnte argumentieren, daß eine sehr sonderbare Idee eingeführt worden ist - die Möglichkeit nämlich, daß ein Photon teilweise in jedem seiner beiden Polarisationszustände ist oder auch teilweise in jedem von zwei getrennten Strahlen. Aber selbst mit Hilfe dieser sonderbaren Ideen kann kein zufriedenstellendes Bild der Ein-Photonenvorgänge gegeben werden ... Darauf kann man antworten, daß das wichtigste Ziel der Physik nicht die Bereitstellung von Bildern ist, sondern die Formulierung von Gesetzen, die die Phänomene regieren, und die Anwendung dieser Gesetze auf die Entdeckung neuer Phänomene.

Richard Feynman

Es ist alles ganz geheimnisvoll. Und je mehr man es betrachtet, desto geheimnisvoller erscheint es. Viele Ideen wurden erdacht, um die Kurve für P_{12} durch einzelne Elektronen zu erklären, die sich auf komplizierte Art durch die Löcher bewegen. Keine dieser Ideen war erfolgreich. Keine von ihnen kann die richtige Kurve für P_{12} durch P_1 und P_2 erklären.