

Magazin | 01.02.2000 | [Teilen](#)

Die Bohr-Einstein-Debatte. Quantenmechanik und physikalische Wirklichkeit.

Schöningh, Paderborn 1998. 292 Seiten, DM 88,-.

[Dr. Michael Springer](#)

Die Debatte zwischen dem dänischen Physiker Niels Bohr (1885–1962; Nobelpreis 1922) und Albert Einstein (1879–1955; Nobelpreis 1921) um die Grundlagen der Quantenphysik bildet ein besonders ergiebiges und "koestliches" Kapitel der Wissenschaftsgeschichte. Über Jahrzehnte hinweg versuchte Einstein, zeitweilig unterstützt von Erwin Schrödinger (1887–1961; Nobelpreis 1933), mit immer neuen Gedankenexperimenten die sogenannte Kopenhagener Deutung der Quantentheorie zu erschüttern, die durch Bohr, Werner Heisenberg (1901–1976; Nobelpreis 1932) und eine im Lauf der Jahre wachsende Zahl theoretischer Physiker vertreten wurde.

Ihre Unanschaulichkeit, ihr statistischer Charakter, ihre scheinbaren Paradoxien sind unserem Denken so zuwider, daß manche Physiker – zu den prominentesten zählen der Engländer Roger Penrose und der Belgier Ilya Prigogine – nach wie vor nach einem Anlaß suchen, die ganze Theorie grundsätzlich zu revidieren. Ein solcher Anlaß könnte die noch ausstehende Vereinigung mit der Theorie der Gravitation sein.

Eine eingehende Analyse der Bohr-Einstein-Debatte ist also nicht nur von historischem Interesse. Carsten Held hat in seiner philosophischen Dissertation an der Universität Freiburg, aus der dieses Buch hervorgegangen ist, die Quellen umfassend studiert und war besonders im Falle Einsteins auf mühsame Archivstudien angewiesen, da die monumentale Ausgabe von Einsteins gesammelten Schriften erst bis zum Jahre 1918 gediehen ist.

Detailliert zeichnet Held nach, wie sich im Lauf der Debatte die Standpunkte der Kontrahenten konkretisieren. Dabei geht Held als Philosoph und Historiker vor, das heißt, er interpretiert die Äußerungen der Physiker als naturphilosophische Texte und sucht sie hermeneutisch auszulegen. Und damit mißverstehet er sie in einem entscheidenden Punkt.

Bohr und Heisenberg haben nämlich in dieser Auseinandersetzung nicht vorrangig philosophische Aussagen eigenen Rechts getroffen, sondern versucht, umgangssprachlich eine neue Theorie zu deuten, deren mathematische Konsistenz und empirische Bestätigung bereits unstrittig waren. Ihr einziger, allerdings alles entscheidender, *physikalischer* Streitpunkt war die Vollständigkeit der Quantentheorie: Hat man sich – wie Bohr und die meisten Physiker glauben – mit ihrem statistischen Charakter philosophisch abzufinden, oder ist sie – wie Einstein behauptete – unvollständig, das heißt nur ein vorläufiges Durchgangsstadium auf dem Weg zu einer streng deterministischen Theorie

mit "verborgenen Parametern"? Diese Frage ist heute eindeutig zugunsten Bohrs entschieden.

Alles übrige sind Interpretationsprobleme. Sie entstehen, weil unser Verstand und unsere Sprache, mit denen wir unter anderem auch Philosophie treiben, sich nicht im täglichen Umgang mit einzelnen Atomen, Elementarteilchen und Strahlungsquanten entwickelt haben, sondern aus der Alltagserfahrung mit makroskopischen Objekten. Wenn man Modelle aus der Makrowelt zur Beschreibung der Mikrowelt heranzieht, darf man sich über Widersprüche – insbesondere zwischen dem Wellen- und dem Teilchenbild – nicht wundern. In der Quantenphysik können beide Bilder koexistieren – sie sind komplementär zueinander. Nicht der Bohrsche Komplementaritätsbegriff ist widersprüchlich und unscharf, ja "unverständlich", wie Held behauptet, sondern unser Alltagsverstand ist für ein Verständnis der Mikrowelt ziemlich ungeeignet.

Recht hat Held allerdings mit seiner – wiederum sehr harschen – Kritik an einer verbreiteten Vorstellung, die auf Heisenberg zurückgeht: Wenn man gewisse Meßgrößen nicht zugleich mit beliebiger Genauigkeit bestimmen kann, sondern nur in den Grenzen der Unbestimmtheitsrelation, dann liege das daran, daß die erste Messung das beobachtete Objekt so störe, daß die zweite Messung wertlos werde. Das ist in der Tat nicht richtig. Das Experiment mit dem sogenannten Quantenradierer zeigt, daß es sich beim Beobachten eben nicht um eine irreversible Störung handelt, sondern um einen reversiblen Informationsgewinn. Wird diese hinzugewonnene Information über die erste Meßgröße noch innerhalb der Versuchsanordnung wieder gelöscht, so wird die zweite wieder meßbar (siehe "Komplementarität und Welle-Teilchen-Dualismus" von Berthold-Georg Englert et al., Spektrum der Wissenschaft, 2/1995, S. 50).

Helds Distanz zum mathematischen Charakter der theoretischen Physik drückt sich im Laufe seiner Studie immer deutlicher aus. So setzt er "unanschaulich" praktisch mit "irrational" gleich (S. 65) – als könnten nur anschauliche Überlegungen rational sein, während die meisten mathematischen Gedankengänge irrational wären.

Ein durch und durch mathematisch-unanschauliches Objekt ist die quantenmechanische Wellenfunktion, welche die gesamte Information über den Zustand eines Systems enthält. Held versucht sie zu degradieren: "Die quantenmechanische Zustandsfunktion ... bezieht sich nicht auf ein bestimmtes wirkliches Objekt oder System. Diese Funktion bezeichnet nicht den Zustand *eines* Objekts, nicht einmal in dem Sinne, daß sie für ein vorgegebenes Objekt Wahrscheinlichkeitsaussagen ergäbe."

Zur Begründung führt er an, es sei philosophisch naiv, eine objektive, unabhängig vom Beobachter existierende Wirklichkeit zu unterstellen. Wirklich seien nur Phänomene, die im Augenblick der Beobachtung quasi aus dem Nichts auftauchen. Darum beschreibe die Wellenfunktion keine "wirklichen" Zustände oder physikalischen Systeme, sondern gebe nur an, welche Phänomene bei einer Beobachtung zu erwarten sind.

Philosophisch kommt diese Position derjenigen von Heisenberg schon ziemlich nahe; der aber erscheint im Buch nur als Objekt der Kritik. Auch daß am Ende ein Unterschied zwischen der "orthodoxen" Deutung der Quantentheorie und Bohrs Position konstruiert wird, trägt zur Verwirrung bei.

Dennoch ist die Studie verdienstvoll und aufschlußreich. Verdienstvoll, weil Held detailliert den dramatischen Hergang einer für die moderne Physik fundamentalen Kontroverse nacherzählt. Und aufschlußreich, weil sie vorführt, wie schwierig es ist, mit den Mitteln einer

philosophisch angereicherten Umgangssprache eine mathematisch formulierte Theorie extrem alltagsferner Gegenstände zu erfassen. Mit dieser Schwierigkeit führten Bohr und Einstein einen faszinierenden Kampf, und Held liefert eine eigenwillige Schlachtbeschreibung.

Aus: Spektrum der Wissenschaft 2 / 2000, Seite 104
© Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH

noch was

Die Theorien von Albert Einstein werden auch von der aktuellen Forschung immer wieder bestätigt. Das beweist den Realitätssinn des Physikers.

0 Kommentare

Anzeige

Vor kurzem wurde entdeckt, dass sich die Expansion des Universums beschleunigt, nicht verlangsamt, wie bisher angenommen. Licht von entfernten explodierenden Sternen offenbarte, dass eine unbekannte Kraft (mit dem Spitznamen „dunkle Energie“) die Schwerkraft auf kosmologischen Skalen mehr als überwiegt.

Mit dieser Kraft hatten die Forscher zwar nicht gerechnet, trotzdem war sie bereits 1915 von einer Modifikation vorhergesagt worden, die [Albert Einstein](#) für seine eigene Theorie der Schwerkraft, die [allgemeine Relativitätstheorie](#), vorschlug. Aber er ließ die unter dem Titel „kosmologische Konstante“ bekannte Modifikation später wieder fallen und nannte sie die „größte Eselei“ seines Lebens.

Wissenschaft ist ein Wettbewerb der Ideen

Also verkünden die Schlagzeilen „[Einstein hatte doch recht](#)“, als könnte man Wissenschaftler wie Hellseher miteinander vergleichen: Wer hebt sich von der Masse ab, weil er weiß, was niemand weiß – wie das Ergebnis von Experimenten, die noch konzipiert, ganz zu schweigen von durchgeführt werden müssen? Wessen Prognose war im Nachhinein richtig?

Aber die Wissenschaft ist kein Wettbewerb zwischen den Wissenschaftlern, es ist ein Wettbewerb der Ideen – nämlich der Erklärungen dessen, was sich dort draußen in der Realität befindet, wie es sich verhält und warum. Diese Erklärungen werden zunächst nicht durch Experimente getestet, sondern anhand von Kriterien wie Vernunft, Logik, Anwendbarkeit und

Einzigartigkeit auf die Lösung der Wunder der Natur, die sie sich zu erklären vornehmen. Nur der kleinste Teil dieser Erklärungen, die diesen Kriterien standhalten, werden anhand von Vorhersagen getestet.

Die Geschichte, warum Einstein die kosmologische Konstante vorschlug, sie dann verwarf und warum sie Kosmologen heute wieder aufnehmen, illustriert diesen Prozess. Einstein wollte die Implikation der nicht modifizierten allgemeinen Relativitätstheorie vermeiden, dass das Universum nicht statisch sein könne – dass es expandieren (sich gegen seine eigene Schwerkraft verlangsamen), kollabieren oder von einem Moment auf den anderen ruhen kann, aber dass es nicht ungestützt hängen kann.

Einsteins kosmologische Konstante

Diese spezielle Vorhersage kann nicht geprüft werden (keine Beobachtung kann feststellen, dass das Universum ruht, auch wenn es das tun sollte), aber die Gleichungen der allgemeinen Schwerkraft können nicht willkürlich geändert werden. Sie sind durch die explanatorische Substanz von Einsteins Theorie stark eingeschränkt, der zufolge Schwerkraft auf der Krümmung der Raumzeit beruht, Licht für alle Beobachter dieselbe Geschwindigkeit hat usw.

Aber Einstein begriff, dass er einen bestimmten Begriff, den der kosmologischen Konstante, hinzufügen und seine Größe so einsetzen konnte, dass ein statisches Universum voraussagbar wäre, ohne den anderen Erklärungskörper zu beeinträchtigen. Alle anderen Vorhersagen auf der Grundlage der vorherigen Theorie der Schwerkraft – der Isaac Newtons – die zu der jeweiligen Zeit prüfbar waren, waren gute Annäherungen an die der nicht modifizierten allgemeinen Relativität, mit der einzigen Ausnahme: Newtons Raum war ein unbeweglicher Hintergrund, vor dem sich Gegenstände bewegen.

Es gab damals noch keine Hinweise darauf, dass Newtons Ansicht nicht wahr war – es musste keine mysteriöse Expansion erklärt werden. Zudem bedurfte es für alles, was weiter ging als das traditionelle Konzept des Raumes, eines beträchtlichen konzeptuellen Sprungs, während die kosmologische Konstante andere Vorhersagen nicht messbar änderte. Also fügte Einstein sie hinzu.

Warum das Universum immer schneller expandiert

Dann entdeckte Edwin Hubble 1929, dass das Universum expandiert, konsistent (innerhalb der damals möglichen Beobachtungsgenauigkeit) und mit nicht modifizierter allgemeiner Relativität. Also verwarf Einstein die

kosmologische Konstante. Dass er das tat, hatte nichts damit zu tun, dass Hubble weniger Fehler machte, auch unterwarf er sich nicht den überlegenen prophetischen Fähigkeiten Hubbles. Das Problem, das die Konstante lösen sollte, existierte einfach nicht länger.

Die neuen Beobachtungen widerlegten die Existenz der kosmologischen Konstante nicht. Sie haben sie lediglich zu einer schlechten Erklärung gemacht. Dann kamen 1998 neue Beobachtungen, denen zufolge sich die Expansion des Universums beschleunigte. Daraus folgte, dass die kosmologische Konstante, die „wieder eingesetzt“ wurde, um die neuen Beobachtungen zu erklären, nicht mehr ganz diejenige ist, die Einstein vorschlug und dann zurückzog. Sie ist größer, denn jetzt muss sie nicht nur einfach erklären, warum das Universum nicht kollabiert, sondern auch, warum seine Expansion beschleunigt wird.

Anti-Realismus bleibt populär

Einsteins Bemerkung, es sei eine „Eselei“ gewesen, ist genauso irreführend wie die Idee, jetzt „habe er doch recht“. Die kosmologische Konstante ist nichts, das niemals hätte vorgeschlagen werden sollen. Ihre Einführung stellt einen Fortschritt im Verständnis der Realität dar – wie auch ihre Verwerfung angesichts Hubbles Entdeckung und ihre Wiederaufnahme in revidierter Form zur Erklärung der neuen Beobachtungen.

Gleichermaßen wird auch die Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts geführte „Bohr-Einstein-Debatte“ um die [Quantentheorie](#) oft als ein persönlicher Konflikt zwischen Zauberern fehl interpretiert. Die Vorhersagen der Quantentheorie sind so kontra-intuitiv, dass unter der Führung einer der Pioniere der Theorie, Neils Bohr, der Mythos entstand, es gebe keine Realität, die ihnen zugrunde läge und sie erklären könne.

Partikel gelangen von A nach B ohne den dazwischen liegenden Raum zu durchqueren, wo sie nicht genügend Energie haben, um zu existieren, sie „borgen“ sich diese Energie vorübergehend, weil sie ihre Energie „nicht genau kennen“. Informationen gelangen von A nach B ohne dass irgendetwas dazwischen geschieht – was Einstein „gespenstische Bewegungen in der Distanz“ nannte. Und so weiter.

Die Gemeinsamkeit dieser paradoxen Interpretationen liegt darin, dass sie den Realismus verlassen, die Doktrin, dass eine physische Welt, die in der Realität existiert, all unseren Erfahrungen zugrunde liegt. Anti-Realismus bleibt populär und erscheint in verschiedenen Formen in Lehrbüchern und populären Erläuterungen der Quantentheorie. Aber Einstein bestand

darauf, dass es für physikalische Phänomene Erklärungen im Sinne von „Realitätselementen“ gäbe.

Einstein war kein Halbgott

Glücklicherweise steht eine Minderheit von Physikern, mich selbst eingeschlossen, unerschütterlich auf der Seite des Realismus, indem sie Hugh Everetts Interpretation der Quantentheorie der multiplen Universen befürworten. Nach dieser Ansicht existieren dort keine Partikel, wo es nicht genügend Energie für ihre Existenz gibt, sie haben einfach in einigen Universen mehr Energie als durchschnittlich und in anderen weniger. Alle vermeintlichen „Paradoxe“ der Quantentheorie können auf ähnliche Weise gelöst werden.

Während also die meisten meinen, Bohr habe die Debatte gewonnen, glaube ich, dass Einstein wie immer nach einer Erklärung der Realität suchte, während seine Rivalen Unsinn verbreiteten. Everetts Interpretation macht aus Einstein keinen Halbgott. Aber sie gibt ihm recht.

David Deutsch ist Gastprofessor für Physik am Zentrum für Quantenrechnung am Clarendon Labor der Universität von Oxford und Autor von "The Fabric of Reality" und "The Beginning of Infinity".