

Die Welt als Welle und Vorstellung

Die Quantentheorie könnte uns neu zu denken lehren / Von Günter Nooke

Es ist heute 100 Jahre her, dass Max Planck vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Berlin einen Paradigmenwechsel im physikalisch-naturwissenschaftlichen Denken eingeleitet hat. Der 14. Dezember 1900 gilt als Geburtstag der Quantentheorie. Werner Heisenberg, der zur späteren Ausgestaltung dieser Theorie wesentliche Beiträge verfasste, schrieb über Max Planck, er sei der "letzte große Vertreter der klassischen Epoche der Physik" gewesen - und zugleich der, mit dem "alles Neue begonnen hat". Und es war wohl auch Planck, den Heisenberg vor Augen hatte, als er formulierte: "Nur der wahre Konservative kann ein wahrer Revolutionär sein."

Viel ist in den vergangenen Tagen zur Geschichte der Quantentheorie geschrieben worden, aber vergleichsweise wenig darüber, worin diese Revolution im Denken letztlich bestand. Die meisten Physiker stimmen zwar darin überein, dass sich die so genannte Kopenhagener Interpretation der Quantentheorie durchgesetzt hat, sie scheuen sich aber, die philosophischen Konsequenzen anzuerkennen. Mir erscheint es mehr als ärgerlich, wie wenig von der Quantentheorie, dieser vielleicht wichtigsten Gedankenschöpfung des 20. Jahrhunderts, in der Gesellschaft bekannt ist.

Als studierter Physiker und aktiver Politiker wage ich hiermit trotz der Kürze dieser Darstellung, über die Herkunft der Grundmuster meines Denkens Rechenschaft geben. Das mag unüblich erscheinen; es ist aber wohl wesentlicher als die Offenlegung der Einkommensverhältnisse. Im Folgenden beziehe ich mich vor allem auf die Arbeiten und Bücher des Physikers und Philosophen Carl Friedrich von Weizsäcker.

Welle und Teilchen

Auf der Suche nach Wahrheit und einem neuen Verständnis vom Zusammenleben wäre es meines Erachtens von eminenter Bedeutung, die Erfahrungen und Ergebnisse der Physik bei dieser Suche zur Kenntnis zu nehmen. "Vor der Frage: `Was können wir tun?` muss der Frage nachgegangen werden: `Wie müssen wir denken?`" (Joseph Beuys). Georg Picht formulierte noch drastischer: "Wir handeln falsch, weil wir falsch denken."

Anders als in der (reinen) Mathematik braucht jede physikalische Theorie eine Verbindung zur "Realität". Mit Semantik einer physikalischen Theorie ist gemeint, welche Variable welcher Größe in der Wirklichkeit entspricht. Semantische Konsistenz, also Widerspruchsfreiheit bedeutet, dass auch die Messvorschrift, mit der diese Größen ermittelt werden, also das Vorverständnis, mit dessen Hilfe die mathematische Struktur physikalisch interpretiert wird, mit der neuen Theorie in Einklang steht, also den Gesetzen der Quantentheorie folgt.

Der Begriff Vorverständnis macht deutlich, dass wir hier auf ein umgangssprachliches Wissen angewiesen sind. Als die mathematische Formulierung der Quantentheorie in überzeugender Weise gelungen war, musste deshalb die Bedeutung des Messprozesses diskutiert werden. Die Antwort auf die Frage nach der "wirklichen" Natur der Materie ist auf Grund der geforderten Semantik der Theorie immer nur als Antwort auf eine konkrete Frage denkbar. Das wiederum

bedeutet aber im physikalischen Alltag nichts anderes als ein konkret aufgestelltes Experiment.

Bekannt ist der Welle-Teilchen-Dualismus: Je nachdem, welche Messanordnung beispielsweise für einen Elektronen- oder Lichtstrahl aufgebaut wird, zeigt sich der Teilchen- oder Wellencharakter des Elektrons oder des Lichts. Sowohl das Elektron als auch das Licht können jeweils als Teilchen respektive Lichtquant oder eben als Welle nachgewiesen werden.

Das Deutungsproblem

Niels Bohr war wohl der erste, der klar erkannte, dass die Quantentheorie wirklich einen Bruch mit der klassischen Physik verlangte.

Werner Heisenberg beschränkte sich auf prinzipiell beobachtbare Größen und erntete die Kritik Einsteins: "Erst die Theorie entscheidet, was beobachtet werden kann." Weizsäcker formuliert dazu: "Man sieht nur, was man weiß."

Heisenbergs Lösung von 1927 ist als Unbestimmtheitsrelation bekannt. Die klassischen Eigenschaften eines Teilchens, Ort und Impuls, sind beobachtbar, aber sie sind prinzipiell nicht gleichzeitig beobachtbar. Dies war keine Voraussetzung, sondern eine Konsequenz der Quantentheorie. Das heißt: die allgemein gültige Quantentheorie hatte auch entschieden, was überhaupt beobachtbar ist. Die klassische Bahn eines Teilchens ist durch beides, einen genauen Ort und den dazugehörigen Impuls (Geschwindigkeit) bestimmt. Beide Größen sind aber nicht zugleich messbar, deshalb existiert die klassische Bahn des Teilchens niemals.

Man darf hier nicht eine positivistische Fehlinterpretation unternehmen und behaupten: "Zustände mit gleichzeitig scharf bestimmten Orten und Impulsen können nicht beobachtet werden, also existieren sie nicht." Nur die logische Umkehrung, schreibt Weizsäcker, ist richtig: "Diese Zustände existieren gemäß der Theorie nicht, also können sie auch nicht beobachtet werden." Es ist auch nicht richtig, die Unbestimmtheit als Folge des Messprozesses zu interpretieren. In der mathematischen Sprechweise der Theorie bedeutet der Messprozess vielmehr die Reduktion des Wellenpakets, der Zustandsfunktion, und damit den Übergang zu einem neuen Wissen durch eben diese Messung.

Wenn man vorher den Impuls des Elektrons kannte und es daher keinen Ort hatte, so kennt man nach der Messung seinen Ort und es hat daher keinen Impuls. Über ein Wissen hinter diesem Wissen der Quantentheorie zu spekulieren: Das würde bedeuten, die Quantentheorie als unvollständige Theorie mit verborgenen Parametern zu verstehen. Das kann aber ausgeschlossen werden.

Auf Niels Bohr und Werner Heisenberg geht die Kopenhagener Interpretation der Quantentheorie zurück. Die löst das Dualismusproblem auf folgende Weise. Carl Friedrich von Weizsäcker beschreibt den Kern der Kopenhagener Deutung: "Materie und Licht sind ,an sich` weder Teilchen noch Welle. Wenn wir sie aber für unsere Anschauung beschreiben wollen, so müssen wir beide Bilder gebrauchen. Und die Gültigkeit des einen Bildes erzwingt gleichzeitig die Gültigkeitsgrenzen des anderen." Bohr nannte das die Komplementarität von Welle und Teilchen und bezeichnete diese Komplementarität als Grund der Unbestimmtheit. Vereinfacht könnte man sich einen Projektionsraum vorstellen, bei dem jeweils an der einen Wand nur das Teilchenbild und an der anderen nur das Wellenbild gezeigt wird - je nachdem wohin man schaut und woher das Projektionslicht gerade kommt.

Grundsätzlich wurde mit dieser Deutung die Quantentheorie als vorgegeben und die klassischen Theorien als abgeleitet betrachtet. Carl Friedrich von Weizsäcker geht weiter und spricht von der Quantentheorie als einer Theorie von Wahrscheinlichkeiten. Für ihn geht es dabei um Prognosen von möglichen, also zukünftigen Ereignissen. Diese Ereignisse sind Ergebnisse empirischer Wahrnehmung, also zum Beispiel dem konkreten Ausgang einer Messung, die ein Mensch beobachtet.

Die Rolle des Beobachters

Das Problem besteht darin zu formulieren, was beim Messprozess "wirklich" geschieht. Eine Impulsmessung an einem Teilchen ändert auf Grund der damit verbundenen Wechselwirkung den Wert des Teilchenimpulses um einen bestimmten Betrag. Streng genommen kann also in einer zweiten Messung nur noch der veränderte Wert nach der ersten Messung registriert werden. Damit ergibt sich für die zweite Messung ein anderer Erwartungswert, wenn zuvor die erste Messung wirklich stattgefunden hat, verglichen mit dem Fall ohne Messung, bei dem sich die Zustandsfunktion ungestört, zeitlich kontinuierlich fortentwickeln kann. Für beide Fälle liefert die Quantentheorie die richtigen Vorhersagen. Der Unterschied für das messende Subjekt, also den Beobachter, besteht allerdings darin, ob er von dem Ergebnis der ersten Messung weiß oder nicht. Die Reduktion des Wellenpakets, die Veränderung der Zustandsfunktion ist identisch mit dem Ereignis, in dem ein Beobachter ein Faktum erkennt. Sie geschieht nicht, solange nur Messobjekt und Messapparat wechselwirken oder danach der Apparat "unbeobachtet" herumsteht, sondern im Augenblick des "Ablesens".

Was hiermit verdeutlicht werden soll, ist der Zusammenhang von Fakten und Möglichkeiten, von dem, was in der Vergangenheit geschehen ist, und dem, was in Zukunft alles (noch) möglich ist. Hiernach ist eine Beobachtung ein Erwerb einer Information durch den Beobachter, also ein Wissenszuwachs. Die Diskontinuität gibt es demnach im Wissen des Beobachters. Nach dieser Überlegung beschreibt die Wellenfunktion keinen Zustand. Sie wird also eher irreführend als Zustandsfunktion bezeichnet. Vielmehr ist sie ein Wissenskatalog von Wahrscheinlichkeiten für eine Unendlichkeit möglicher zukünftiger Ereignisse. Dabei folgt sie immer einem beobachteten Faktum, nimmt also Bezug auf die Faktizität der Vergangenheit. Für die Beschreibung der Vergangenheit braucht man keine kontinuierliche Funktion, hier reicht im Grunde die Aufzählung von Fakten.

Mit Weizsäcker können wir zusammenfassend festhalten: Die Wellenfunktion ist Wissen. Wissen hängt von der Information ab, die ein Subjekt hat. Wissen ist natürlich nicht Träumerei, nicht bloß subjektiv, sondern Wissen von objektiven Fakten der Vergangenheit. Für jeden, der dieselbe Informationen besitzt, ergibt sich eine Wahrscheinlichkeitsfunktion für die Zukunft. Wieder vereinfacht gesprochen kann man sagen, dass der Raum dessen, was wir zukünftig für möglich halten, von unseren unterschiedlichen Informationen über das Geschehen in der Vergangenheit abhängt und damit unterschiedlich ist.

Paradoxien, wie sie unter der Überschrift von Schrödingers Katze oder Wigners Freund diskutiert wurden, entstehen immer dann, wenn die Wellenfunktion noch in irgendeinem anderen Sinn als ein "objektives Faktum" angesehen wird: Wenn also mehr gemeint sein soll, als das, wovon eine Person zu einer bestimmten Zeit das konkrete Wissen hat. Es geht im Sinne dieser Beschreibung also nicht um die "Speicherung" eines Messresultates in einem klassisch beschriebenen Messapparat unabhängig davon, ob und wann jemand dieses

Messergebnis abliest. Das einzige "klassisch" Vorausgesetzte ist die Irreversibilität der Fakten, also die für unsere Erfahrung wesentliche Zeitstruktur von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft.

Verzicht auf objektive Realität

Da kein Zweifel an der Gültigkeit der Quantentheorie besteht, weil kein einziges Experiment oder Messergebnis vorliegt, was zu diesen Zweifel berechtigt, können wir streng genommen nicht mehr das Objekt vom Subjekt trennen. Gemeint ist damit nicht weniger, als dass von uns verlangt wird, den Glauben an die "objektive Realität" der physikalischen Objekte zu opfern.

Wem das zu weit geht, der muss sich den Ausweg klarmachen. Die Alternative würde bedeuten, die Quantentheorie in der vorliegenden Gestalt trotz ihrer großen Erfolge als adäquate Theorie der Wirklichkeit abzulehnen. Doch gerade auf der Suche nach einer möglichst adäquaten Beschreibung der "objektiven Realität" sind Physiker und Mathematiker im vergangenen Jahrhundert quasi zwangsweise auf eine Theorie gestoßen, die eben diese "objektive Realität" in Frage stellt.

Was vor 100 Jahren mit Plancks Berliner Vortrag begann, war nicht nur ein Paradigmenwechsel in der Physik. Lax gesprochen kam man über den Weg der modernen Physik in die Nähe einer alten Wahrheit. Denn es ist schon ein faszinierender Gedanke: Die Wahrheit der exakten Naturwissenschaft kann nicht gegen die Wahrheit der Religionen und die der griechischen Philosophie in Stellung gebracht werden. Vielmehr weist sie sogar darauf hin und geht möglicherweise darin auf. Die griechische Philosophie wollte das Ganze denken. Ihr Begriff des Seins war nicht weit entfernt vom religiösen Blick auf Gott.

"Gott" so sagte Heidegger, "ist der populäre Name für das Eine, das bei Parmenides das Seiende heißt, bei Platon das Gute, bei Aristoteles der Geist." Ontologisches Denken in der Philosophie und orthodoxes Offenbarungswissen in der Religion sind heute scheinbar gleichermaßen unverständlich und unwillkommen. Sie stören, weil wir sie nicht mehr einzuordnen wissen. Die einfachste Art, damit fertig zu werden, ist die Leugnung dieses Wissens, das vor uns noch Generationen bestimmte. Anders als vor 100 Jahren können wir uns dabei nicht mehr auf die moderne Naturwissenschaft, berufen. Lassen wir uns aber auf die Quantentheorie ein, ergibt sich eine neue Offenheit für vielfältige neue Erfahrungen.

Der Autor ist stellvertretender Vorsitzender der CDU/CSU-Fraktion im Deutschen Bundestag.

Quelle: Süddeutsche Zeitung, 14.12.2000, Ausgabe Bayern, S. 17

Ressort: Feuilleton