

Das Messproblem

Inhalt:

1. Motivation
2. Konkretisierung des „Messproblems“
3. Schrödingers Katze
4. Sichtweise der Kopenhagener Interpretation und die „Verschiebbarkeit des Schnittes“
5. Dekohärenz

1. Motivation

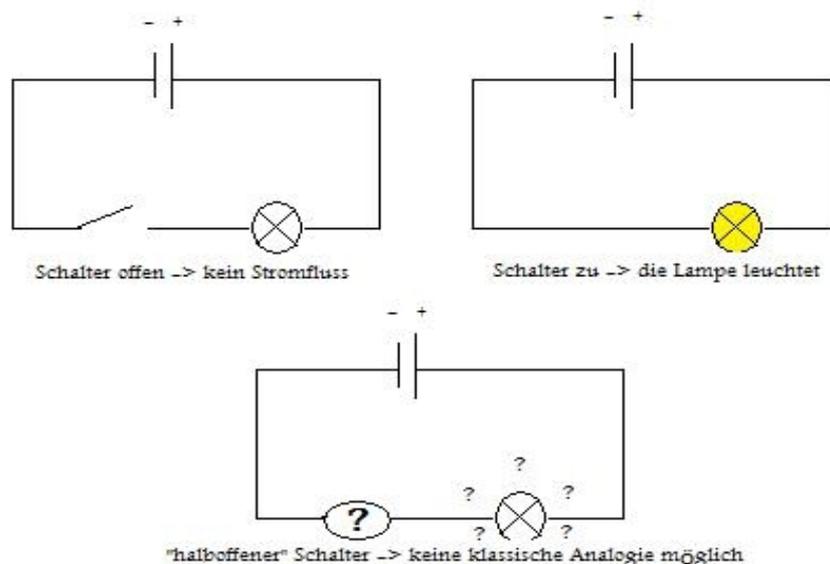
Innerhalb der Quantenmechanik beschreibt man physikalische Systeme mit Hilfe der Schrödingergleichung als Wellenfunktionen. In der täglichen Erfahrungswelt bleiben die Effekte, welche aus diesem Bild resultieren (Interferenz, Beugung, Delokalisierung) weitestgehend unbeobachtet. Setzt man voraus, dass die Beschreibung durch die Quantenmechanik die Welt tatsächlich beschreibt, oder hinreichend gut nähert (was in mittlerweile zahllosen Experimenten bestätigt wurde und darüber hinaus auch zu vielen wesentlichen technischen Neuerungen geführt hat), so muss man sich fragen, wie das „klassische“ Bild aus der quantenmechanischen Beschreibung hervorgeht.

2. Konkretisierung

Mit Hilfe der Schrödingergleichung ordnet man einem Teilchen eine an Wellen erinnernde (zumindest physikalisch) Verteilung zu, welche die Wahrscheinlichkeit angibt dieses Teilchen zum Zeitpunkt t am Raumpunkt x zu finden. Man kann so zu keinem Zeitpunkt exakt angeben, wo es sich befindet.

Wenn man das dieses Teilchen z. B. in einem Kraftfeld beobachtet und sämtliche äußere Einflüsse verhindert, so verhält sich das System vollkommen reversibel und determiniert (die *zeitliche* Entwicklung der Wahrscheinlichkeiten ist eindeutig und umkehrbar). In dieser Beschreibung ist es möglich, dass sich verschiedene Zustände des Teilchens überlagern.

Beispiel: In einem elektrischen Schaltkreis aus Lampe, Schalter, einer Spannungsquelle und den nötigen Drähten kann der Schalter entweder offen oder geschlossen sein, somit fließt also entweder ein Strom und die Lampe brennt oder nicht. Eine Überlagerung beider Möglichkeiten wäre ein „halb-geschlossener“ Schalter und somit ein halbiertes Strom, was natürlich nicht mit unserer Erfahrung verträglich ist.



Macht man jetzt eine Messung an unserem Teilchen, so stellt man fest, dass eine solche Überlagerung nicht mehr möglich ist, das heißt, aus einer Vielzahl möglicher Zustände wird genau ein „reiner“ Zustand verwirklicht (Kollaps der Wellenfunktion).

Nach einem Beispiel, woran man noch andere Aspekte der Problematik gut darstellen kann, wird versucht diesen Vorgang zu beschreiben und einen Einblick zu geben, wie dieser im Rahmen der Physik diskutiert wird.

3. Schrödingers Katze

Erwin Schrödinger schlug 1935 ein Gedankenexperiment vor, um anhand diesem aufzuzeigen, zu welchen absurden Ergebnissen man kommt, wenn man die Quantenmechanik „ernst nimmt“. Dazu stellte er sich eine Katze zusammen mit einer Probe strahlenden Urans, einer Giftampulle und einer mörderischen Apparatur, die die Ampulle zerschlägt, wenn sie Strahlung des Urans detektiert, in einem abgeschlossenen Kasten vor. Man kann nun nicht genau sagen, wann das Uran Strahlung abgibt, also wann das Gift die Katze töten wird. Wenn man dieses System streng quantenmechanisch beschreibt, muss man nun annehmen, dass sich die Katze, solange man nicht nachschaut (also eine Messung vornimmt) sich in einem Zustand *zwischen* Leben und Tod befindet (die bereits erwähnte Überlagerung von sich im klassischen Sinne ausschließenden Zuständen).



Abb.: eine Darstellung des „Versuchsaufbaus“ von E. Schrödinger

4. Interpretation der Kopenhagener Deutung

In der von Bohr und Heisenberg 1927 formulierten Deutung der Quantenmechanik wird das Problem so beschrieben, dass sich die Katze tatsächlich in einem Überlagerungszustand befindet, bis ein Individuum mit einem Bewusstsein feststellt, welcher Zustand genau vorliegt. Das wirft natürlich mehrere Fragen auf, weil man nicht erklärt, was ein „Bewusstsein“ ist, also ob das z.B. nur Menschen sein können oder ob die Katze sich ihrer selbst bewusst ist und dies an sich selbst „messen“ kann.

Eine weitere Überlegung wäre zu sagen dass die Quantenmechanik einfach alle „kleinen“ Sachen beschreibt, und alles „große“ klassisch zu beschreiben ist. Dazu könnte man nun den Beobachter, der in die Kiste schaut in eine noch größere Kiste stecken, die wiederum vollkommen abgeschlossen ist. Nun müsste man diese Kiste öffnen um das Ergebnis für außerhalb des Kastens eindeutig festzustellen, man kann diese Überlegung beliebig fortsetzen (auch in die umgekehrte Richtung). Dieses Problem nennt man „Verschiebbarkeit des Schnittes“, weil man kein Kriterium finden kann, wo man eine Grenze zwischen quantenmechanischer Beschreibung und klassischer Beschreibung ziehen soll.

Wenn man schon keine Größenordnung festlegen kann, bei der der Übergang erfolgt, so könnte man nun argumentieren, dass man nur eine Messung zu machen braucht, um den Kollaps der Wellenfunktion herbeizuführen, und dass die Größenordnung kein Kriterium darstellt. Dabei

verschiebt man aber das Problem nur auf die Definition der Messung, denn man muss nun erklären, wie der Messmechanismus funktionieren würde (weil dieser ja auch mit QM beschrieben werden müsste).

In ein paar abschließenden Bemerkungen zu dem Gedankenexperiment möchte ich die Diskussion zum letzten Abschnitt erleichtern:

Bei der recht einfachen, umgangssprachlichen Beschreibung von „Schrödingers Katze“ werden viele Formulierungen gebraucht, welche Bedingungen implizieren, die man experimentell nicht verwirklichen kann. So ist der „abgeschlossene Kasten“ nicht möglich, weil jeder Kasten auch mit dem System innerhalb wechselwirkt und gleichzeitig mit allem, was sich außerhalb befindet, er kann aber keine vollständige Informationsbarriere darstellen. Eine solche Barriere könnte man nur durch eine vollständige Kühlung auf 0 K erreichen. Selbst dann würde es aber noch Wechselwirkungen geben, da das Vakuum quantenmechanisch nicht mehr als leerer Raum zu verstehen ist (eine Folge der Unschärfe bezüglich Zeit und Energie). Der abgeschlossene Kasten wäre also unter keinen Umständen mit lebensfreundlichen Bedingungen zu realisieren und muss bei der einer strengen Diskussion mit quantenmechanischen Effekten als offen betrachtet werden.

5. Dekohärenz

Als Kohärenz bezeichnet man die Fähigkeit von Wellen, miteinander interferieren zu können. Wenn sie diese verlieren, ist es adäquat, sie als Teilchen zu beschreiben (z.B. Licht beim Doppelspalt-Experiment). Nun kann man dank der Welleneigenschaften der quantenmechanischen Beschreibung alles als Welle darstellen, und somit ist das Phänomen der Interferenz nicht auf Photonen oder Elektronen beschränkt. Dekohärenz eines quantenmechanischen Systems bedeutet nun, dass es seine Welleneigenschaften im Allgemeinen verliert und damit klassisch beschrieben werden kann. Die Theorie der Dekohärenz beschreibt den Kollaps der Wellenfunktion dadurch, dass sie den prinzipiellen Ansatz vertritt, dass alles quantenmechanisch beschrieben werden muss und es keinen scharfen (also un stetigen) Übergang zwischen den beiden Beschreibungen gibt, sondern dass der Unterschied allein in der Stärke der Welleneigenschaften, also der Kohärenz des Zustandes liegt. Diese Fähigkeit (so zeigt man im Rahmen dieser Theorie) wird durch wiederholte Wechselwirkungen verringert, das heißt dass bei jedem Stoß (Wärme) und jeder Kraftwirkung der Komponenten untereinander (el. Ladung, Gravitation->Masse) der Wellencharakter abnimmt und sich das System zunehmend klassischer verhält. *Jedes* System wird somit im Verlauf der Zeit zunehmend klassisch, nur dass die Wechselwirkungsrate (z.B. Stöße je Zeitintervall) bestimmt wie schnell dies geschieht. Im Falle der Katze hätte man also schon nach nicht messbar kurzer Zeit den Übergang zur klassischen Beschreibung vollzogen, da wie bereits erwähnt die nicht vermeidbaren Wechselwirkungen im betrachteten System die Welleneigenschaften sehr schnell vernachlässigbar klein werden lassen. Somit würde der Zustand der Katze nur wenige Augenblicke in einem solchen Überlagerungszustand bleiben, wobei man dies nicht feststellen können wird, da selbst die Wirkung des Giftes nicht instantan erfolgt.

von Benjamin Winkler

Quellen:

<http://www2.tu-berlin.de/>

<http://de.wikipedia.org>

<http://www.quanten.de>

„Quanten sind anders“ von Thomas Görnitz, Spektrum-Verlag