

<bra| und |ket> und Schrödingers Katze
Teil 3: Bewusstsein und Quantenphysik
von Seejay

Nach Teil 1 und Teil 2 stehen wir nun immer noch vor der Frage, wie der Kollaps der Zustandsfunktion zustande kommt, wenn er doch innerhalb der Physik nicht zu erklären ist. Bei der Suche nach etwas Geeignetem *außerhalb* der Physik stießen tiefschürfende Denker auf das Bewusstsein, das nach verbreiteter Ansicht *ebenfalls* außerhalb der Physik zu stehen scheint. Was also ist Bewusstsein?

Nach Squires soll darunter das verstanden werden, was im normalen Sprachgebrauch mit „ich“ gemeint ist, in Sätzen wie „ich sehe ...“, „ich will ...“. Es wird als etwas Ganzheitliches empfunden, das von der restlichen (physikalischen) Welt ausgegrenzt ist. Man sagt „mein Körper“, „mein Arm“, ja sogar „mein Gehirn“ und versteht das Bewusstsein als etwas hiervon abgesetztes. Nichtsdestoweniger ist klar, dass das Bewusstsein mit der physikalischen Welt in Wechselwirkung steht (sonst hätte ich diese Serie nicht schreiben können, die ja ein materielles Produkt meines Bewusstseins ist). Medizinisch ist heute klar, dass das Bewusstsein irgendwie an Materie gebunden ist. Durch materielle Eingriffe wie Gehirnverletzungen oder Drogen kann es beeinflusst werden. Dennoch lässt es sich nicht an einer Stelle lokalisieren, ja nicht einmal auf das Gehirn einschränken, da auch Hormone einen Anteil am Erleben haben. Offenbar ist das Vorhandensein des Bewusstseins aber ein Evolutionsvorteil, da der bewusste Überlebenswille ein viel flexibleres Instrument zum Überleben darstellt als jeder unbewusste Reflex. Fraglich ist, ob jedes Lebewesen ein Bewusstsein hat. Selbst *wir* müssen uns eingestehen, dass wir bei vielen alltäglichen Verrichtungen ohne Bewusstsein auskommen. Man denke an den täglichen Weg zur Arbeitsstätte, den man bewältigen kann, während man mit den Gedanken ganz woanders ist. Am Ziel angekommen erinnert man sich z.B. nicht, ob und wie oft man unterwegs an einer Ampel warten musste. Nur ein unvorhergesehener Zwischenfall schaltet das Bewusstsein (Überlebenswerkzeug!) dazu.

Nur im Bewusstsein sind Empfindungen wie Trauer, Schmerzen, Farben, Gerüche, Liebe und Hass möglich. Insofern sind diese Empfindungen für den Empfindenden das einzig Reale, denn nur sie werden unmittelbar wahrgenommen. Sie sind zwar mit gewissen physikalischen Phänomenen wie Nervenerregungen gekoppelt, aber nicht mit ihnen identisch. Die merkwürdige Stellung des Bewusstseins als etwas von der restlichen Welt abgegrenzt scheinendes hat eine Reihe unterschiedlicher philosophischer Deutungen herausgefordert – ähnlich wie der Kollaps der Zustandsfunktion in der Quantenphysik, von der jener ja auch abgegrenzt erscheint. Das Phänomen ist alt, denn Bewusstsein kann jeder und jede an sich selbst beobachten. Die Erfolge bleiben spekulativ und gering, da man das Objekt seiner Neugier ausnahmsweise nicht auf dem Seziertisch ausbreiten kann.

Idealismus

Ausgehend von der obigen Feststellung, dass alles was wir wissen und erfahren können, nur durch unsere Sinneseindrücke zu uns findet, betrachtet die Denkrichtung des Idealismus unseren Geist als einzige sichere Realität. Auf dieser Grundlage errichtete René Descartes sein philosophisches System: „Ich denke, also bin ich.“ Allerdings überzeugt er sich dann rasch von der realen Existenz der restlichen Welt, indem er annimmt, dass Gott uns nicht derartig täuschen würde. Er unterscheidet die denkende Materie „res cogitans“ und die ausgedehnte Materie „res extensa“, und hat damit ausdrücklich die Trennung von Bewusstsein und physikalischer Welt vollzogen. Das Akzeptieren einer physikalischen Welt ist dann aber schon dem Realismus (s.u.) zuzurechnen.

Der deutsche Idealismus wurde von Immanuel Kant begründet. In seiner „Kritik der reinen Vernunft“ erkennt er zwar die Existenz des „Ding an sich“ an, stellt aber fest, dass uns davon nur Sinneseindrücke gegeben sind, über die wir dann in unserem Geist reflektieren können.

Zu den idealistischen Philosophien kann man auch den Positivismus und den Instrumentalismus rechnen.

Der Instrumentalismus ist der Ansicht, alle physikalischen Theorien seien nur Hilfsmittel, um Beobachtungen zu ordnen und zu berechnen. Sie sind Werkzeuge, die immer nur innerhalb gewisser Gültigkeitsgrenzen anwendbar sind. Damit können sie in einer bestimmten Situation brauchbar oder unbrauchbar sein, aber nicht wahr oder falsch. Ein Hammer eignet sich, um einen Nagel einzuschlagen, aber nicht, um eine Schraube einzudrehen.

Der Positivismus betont ebenfalls die empirische Erfahrung als das einzig Reale, eine den Erfahrungen zugrunde liegende Realität lehnt er jedoch als bedeutungslos ab. So hat der Positivist Ernst Mach z.B. die statistische Deutung der Thermodynamik („Gas besteht aus Molekülen“) zurückgewiesen, da man Atome und Moleküle schließlich nicht sehen könne.

Die konsequente Fortführung des Positivismus ist der Solipsismus. Dessen Vertreter berufen sich darauf, dass ihnen selbst nur ihre *eigenen* Sinneserfahrungen zugänglich sind, weshalb sie überhaupt alles außerhalb ihrer selbst als nicht existierende Trugbilder verstehen. Vom Solipsismus hört man wenig, da seine Vertreter keine Bücher schreiben. Für wen auch?

Zusammengefasst kann man sagen, dass der Idealismus die „externe Welt“ in der einen oder anderen Weise als eine Schöpfung des Geistes ansieht. Wozu der Geist zugleich ausgesprochen kreativ und hochgradig bescheuert sein muss, wenn er eine so wunderschöne Welt schaffen kann und gleichzeitig Kriege und Umweltkatastrophen, die sie bedrohen. Die Auffassung des Idealismus ist unwiderlegbar, aber jedem wissenschaftlichen Fortschritt hinderlich. Dessen Triebkraft ist schließlich das Bestreben, die Welt zu begreifen – was aber eine real existierende Welt voraussetzt.

Realismus

Dieser geht davon aus, dass die Sinneseindrücke durch eine äußere Realität hervorgerufen werden, die unabhängig vom Beobachter existiert, insbesondere auch unabhängig davon, ob er sie wahrnimmt oder nicht. Indem er diese äußere Realität beobachtet, tritt er mit ihr in Wechselwirkung und stört sie (Die Unschärfebeziehung der Quantenphysik besagt, dass diese Störung in bestimmten Fällen nicht beliebig klein gemacht werden kann). Nichtsdestoweniger ist zumindest etwas da, das man stört. Ein Realist fragt also nicht nur „Was *beobachtet* man da?“, sondern auch „Was *ist* da?“.

Ein Positivist müsste die Existenz eines Gegenstandes leugnen, den gerade niemand betrachtet. George Berkeley ist der Auffassung, die Existenz sei dann die *Möglichkeit* des Betrachtetwerdenkönnens und fügt hinzu, wenn niemand hinsehe, sei immer noch Gott da, der den Gegenstand ansieht.

Nach dem oben schon Gesagten dürfte die Grundhaltung des Realismus den meisten Wissenschaftlern zu eigen sein. Wenn da nichts ist, das man erforscht, verschwindet die Motivation zum Forschen.

Indes versagt der „naive“ Realismus bei Quantenphänomenen, denn die Quantenphysik macht keine Aussagen darüber, was *ist*, sondern nur, was man *beobachten kann*. Möglicherweise gibt es einige Dinge, die wir nur irrtümlich der äußeren Realität zugerechnet haben, während sie in Wahrheit Produkte unseres Geistes sind. Der Realismus lässt hierfür Raum, erhebt aber den Geist nicht zum einzig Existierenden.

Werner Heisenberg bezeichnete die Aufspaltung der Welt in *res cogitans* und *res extensa* durch Descartes („Kartesischer Schnitt“) als einen metaphysischen Realismus, da er Gott benötigt, um die Existenz der äußeren Realität zu sichern. Den Gegensatz zum naiven Realismus sieht er im „praktischen Realismus“: die meisten Dinge des täglichen Lebens sind objektivierbar, d.h. vom Beobachter unabhängig. Es bleibt jedoch Raum für nichtobjektivierbare Feststellungen. Die krasse Form des naiven Realismus nennt Heisenberg den „dogmatischen Realismus“. In ihm gibt es nichts, das nicht objektivierbar wäre. Dies ist praktisch der Materialismus.

Materialismus

Der Materialismus vertritt die Auffassung, alles überhaupt Existierende sei Materie oder in seiner Existenz von Materie abhängig. Der Begriff „Materie“ wurde dabei ursprünglich sehr körperlich verstanden („Hart im Raume stoßen sich die Sachen“, wie es bei Schiller heißt), in einer zeitgemäßen Form versteht man hierunter die Gesetze der Physik: Die Gesetze und Prinzipien der Natur werden durch die Gesetze der Physik vollständig abgedeckt. Nun ist das insofern eine Tautologie (griechisch: Gleichbedeutung), als man die „Gesetze der Physik“ so definieren kann, dass sie alle Naturerscheinungen abzudecken haben. Präziser könnte man sagen: „die Wechselwirkungsgesetze im Rahmen einer (noch zu findenden) Großen vereinheitlichten Theorie der vier Naturkräfte.“

In der Tat liegt hier ein Problem vor. Wir wissen aus täglicher Anschauung, dass Geist und Materie wechselwirken: Durchs Fenster weht der Wind herein (Materie), mir wird kalt (Geist), ich schließe das Fenster (Materie). Eine Theorie, die alle Naturkräfte zu erklären beansprucht, muss auch diese Wechselwirkung erklären können.

Eine Alternative ist die Vorstellung, dass es diese Wechselwirkung gar nicht gibt. In der „prästabilierten Harmonie“ nach Gottfried Wilhelm Leibniz existieren geistige und materielle Welt unabhängig voneinander, sind aber so aufeinander abgestimmt, *als ob* sie miteinander wechselwirken. Leibniz erläuterte dies am Beispiel zweier genau gleich gehender Uhren, von denen eine auf ihrem Zifferblatt die Zeit anzeigt, während die andere die Stunden schlägt. Immer zur vollen Stunde der einen Uhr ertönt der Gong der anderen, sodass es scheint, es gebe eine Ursache-Wirkung-Beziehung, während die Uhren in Wirklichkeit nichts voneinander wissen. Diese Form des Materialismus leugnet die geistige Welt nicht grundsätzlich, klammert sie aber als irrelevant aus. Gestattet sei die Frage, wer diese präzise Abstimmung vorgenommen hat.

Die Fortschritte von Biologie und Medizin zeigen beständig, dass alle Detailvorgänge des Lebens durch die bekannten Naturgesetze erklärt werden können. Es ist naheliegend, dies auch von den Vorgängen im Gehirn zu erwarten. So bliebe am Ende nichts Immaterielles mehr übrig, das es noch zu erklären gäbe. Lebewesen und insbesondere der Mensch wären dann nichts als (sehr komplizierte) Maschinen. Dahinter steckt unausgesprochen die reduktionistische Auffassung, man könne ein Gesamtsystem verstehen, indem man seine Bestandteile einzeln untersucht. In einer holistischen Sichtweise würde das nichts beweisen, denn in ihr könnte man Gehirn und Bewusstsein nur als Ganzes begreifen, aber nicht durch Betrachtung der Einzelfunktionen.

Im Peripheralismus oder Behaviorismus – ursprünglich eine Schule der Psychologie, die einen Menschen allein nach seinem Verhalten zu beurteilen versucht, ohne Berücksichtigung eventueller innerer Vorgänge im Bewusstsein – wird angenommen, das Gehirn sei vollständig physikalisch erklärbar; das Bewusstsein sei lediglich ein Epiphänomen, das zur Erklärung der Funktionsweise nicht erforderlich sei. Zur Verdeutlichung: ein Epiphänomen ist zum Beispiel der Lichtblitz, der bei einem Lauflicht scheinbar die Lichterkette entlang huscht. Er ist zum Verständnis der Lichterkette nicht erforderlich, bei der ja in Wirklichkeit nur die Lampen der Reihe nach ein- und wieder ausgeschaltet werden.

Dies widerspricht aber dem offensichtlichen Unterschied zwischen bewussten und unbewussten Handlungen. Nur bewusst kann man auf unvorhergesehene Zwischenfälle angemessen reagieren.

Zentralismus

In der Psychologie spielt der Behaviorismus noch eine gewisse (allerdings nicht mehr beherrschende) Rolle. Als Peripheralismus begreift er das Bewusstsein als unbedeutende Randerscheinung. Der Zentralismus hingegen behauptet die Identität von Bewusstsein und Gehirnfunktion: geistige Prozesse *sind* einfach Eigenschaften des Gehirns. Dann besteht nicht das Problem, den Zusammenhang zwischen dem einen und dem anderen zu erklären, sondern sie sind beide identisch. Allerdings ist das Problem dadurch gar nicht gelöst, sondern wegdefiniert (So wie die Lehre vom dreieinigen Gott das Problem wegdefiniert, Vater, Sohn und Heiligen Geist mit einer monotheistischen Religion in Einklang zu bringen. Erklärt wird dadurch gar nichts, man muss es glauben). John Searle vergleicht die zentralistische Erklärung des Bewusstseins mit dem Versuch, die Festigkeit von Festkörpern mit der Eigenschaft der Moleküle zu erklären, sich nicht von ihrem Platz entfernen zu können – aber dann ist es eine Tautologie. Die Festigkeit einer Struktur kann man immerhin berechnen, ob sie Bewusstsein hat, hingegen nicht.

Dualismus

Der Dualismus ist im Grunde wieder der Descartes'sche Realismus und wird daher auch als Cartesianismus bezeichnet. Er akzeptiert die reale physikalische Welt und akzeptiert gleichzeitig, dass es daneben noch etwas Anderes gibt, das Geistige, das keine Physik ist und dennoch mit der Welt wechselwirkt. Descartes sprach die *res cogitans* nur Menschen zu, nicht jedoch Tieren, die er für völlig durch mechanische Prinzipien erklärbar hielt (Offenbar besaß Descartes kein Haustier und hat z.B. nie beobachtet, mit welcher Zielstrebigkeit ein Papagei die Schrauben aus der Tür seines Käfigs dreht, um sie zu öffnen). Diese Einzigartigkeit der *res cogitans* unterstützte – und unterstützt noch heute – den Glauben, der Geist könne den Tod des Körpers überleben.

Eine Spielart des Dualismus ist der „attributive Dualismus“. Danach gibt es zwar nichts Immaterielles neben dem Gehirn, aber das Gehirn hat physikalische und geistige Eigenschaften. Dies wird häufig mit Hardware und Software eines Computers verglichen: die Software als die den Computer belebende Seele. Gerade dieser Gedanke beherrscht Teile der Forschung auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz. Deren radikale Vertreter sind der Ansicht, es sei nur eine Frage einer geeigneten Software, einen Computer mit Bewusstsein auszustatten. Allerdings ist Software im Computer ebenso harte Physik wie die Hardware, denn sie besteht aus elektrischen, magnetischen oder sonstigen Zuständen im Arbeitsspeicher.

Zu Descartes' Zeiten war es leicht, sich etwas neben der Physik Wirkendes vorzustellen. Die Physik umfasste damals ja kaum mehr als die Mechanik und die Optik, und es war nicht abzusehen, dass es einmal auf eine Große Vereinheitlichte Theorie hinauslaufen würde, die für sich beansprucht, *alles* zu erklären. So war die Frage, wie Geist und Materie miteinander wechselwirken, für Descartes kein Problem. Er nahm ein Kopplungsorgan im Gehirn an (und identifizierte es etwas voreilig mit der Zirbeldrüse). Die Physik zu Descartes' Zeiten war nicht kausal abgeschlossen und ertrug eine solche Lösung. Die Fortschritte in der Physik machen es hingegen immer schwieriger, dies zu akzeptieren.

Psychoneurale Paare

Dieses Konzept wurde 1988 von Ted Honderich vorgeschlagen und versucht, den Dualismus mit dem Zentralismus zu verbinden. Demnach sollen Prozesse im Gehirn jeweils eine nervliche (materielle) und eine geistige Komponente besitzen, die wie Vorder- und Rückseite einer Münze untrennbar zusammengehören („nomic correlation“). Diese Paare aus

materiellen und geistigen Vorgängen bestimmen das Verhalten des Gehirns, sodass synchron physikalische Vorgänge und bewusste Empfindungen auftreten. Dies ist insofern dualistisch, als es geistige und physikalische Vorgänge unterscheidet, und insofern zentralistisch, als es diese untrennbar koppelt (in dieser Sichtweise kann also die Seele den Körper nicht überleben, aber sie existiert immerhin). Diese nomic correlation kann mit zu den physikalischen Gesetzen gerechnet werden. Damit wäre auch das Geistige ein Aspekt der Physik und könnte – zumindest im Prinzip – mit der gleichen Präzision berechnet werden wie das Verhalten der materiellen Komponente.

Denkt man dies konsequent zuende, so kommt man aber zu der Frage, warum diese Kopplung nur im menschlichen Gehirn auftreten soll. Sie könnte auch bei Tieren, Pflanzen oder unbelebter Materie auftreten, oder es müsste ein klares Kriterium geben, unter welchen Umständen sie auftritt.

Panpsychismus

In gewisser Weise kann man den Panpsychismus als konsequente Lösung der Frage nach der Grenze zwischen beseelter und unbeseelter Materie auffassen: es gibt eine solche Grenze nicht, im Panpsychismus ist jegliche Materie beseelt. Der Glaube an eine Seele in jedem Ding ist in „Primitiv“-kulturen sehr verbreitet und wird auch als Animismus bezeichnet. Allerdings sagte auch Vergil „sunt lacrimae rerum“, auch die Dinge haben Tränen, obwohl Vergil ja nicht gerade einer Primitivkultur entstammt.

Eine modernere Auffassung des Panpsychismus sieht, in besserer Übereinstimmung mit der Theorie der psychoneuralen Paare, einen *Keim* von Bewusstsein in allen Dingen. Andernfalls müsste es eine bemerkenswerte Naturkonstante geben, die festlegt, ab welcher Anzahl von Atomen ein Organismus plötzlich Bewusstsein entwickelt: sie läge irgendwo zwischen 1 (Atom) und 10^{28} (Mensch). Und wenn N diese Konstante wäre, so wäre es ein bemerkenswertes Phänomen, wie zwischen $N-1$ und N plötzlich Bewusstsein in Erscheinung tritt. Und es bliebe die Frage, warum wesentlich größere Strukturen als der Mensch, z.B. Autobahnbrücken, nach landläufiger Ansicht *kein* Bewusstsein haben.

Demnach wäre es plausibel, dass der Übergang von unbeseelter zu beseelter Materie fließend ist, und dann müsste ein Funke von Bewusstsein bereits im kleinsten Ding sein. David Griffin sagte: „Der Unterschied zwischen einem Proton und der Psyche eines Menschen ist ein gradueller, kein grundsätzlicher.“

Eine Spielart des Panpsychismus nimmt – wiederum in dualistischer Manier – an, Bewusstsein sei eine gesonderte Erscheinung außerhalb der Physik, die aber mit der Materie in Wechselwirkung treten kann. Der Grad, in dem ein materielles System Bewusstsein besitzt, bedeutet dann den Grad, in dem es für die Wechselwirkung empfindlich ist.

Prozessphilosophie

Diese Auffassung geht auf Alfred North Whitehead zurück. Er formulierte 1920 eine Philosophie (oder sogar Theologie), in der nicht die Dinge, sondern die Prozesse, also die Veränderungen, der wesentliche Inhalt der Welt sind. Wenn aber Veränderung das Wesentliche ist, muss sie Whitehead zufolge auf ein Ziel hin gerichtet sein. Dass man das auch anders sehen kann, zeigt Platons Ideenlehre. In ihr sind ebenfalls die Veränderungen das Wesentliche in der Welt, aber sie gehen nicht auf ein Ziel hin, sondern von einem idealen Urzustand weg.

Nun sind wir es zwar im täglichen Leben gewohnt, dass die meisten Dinge, die wir tun, einen Zweck erfüllen, aber in den physikalischen Gesetzen ist kein Ziel oder Zweck zu finden. (Wenngleich wiederum der zweite Hauptsatz der Thermodynamik als Ziel die maximale

Unordnung vorzugeben scheint). Whitehead behauptet demgegenüber, dass jeder Prozess zumindest in primitiver Form Ziel und Inhalt besitzt.

In den üblichen physikalischen oder chemischen Vorgängen kommt der innewohnende Zweck jedoch nicht zum Tragen, bzw. sein sporadisches „Aufflackern“ entgeht unserer Beobachtung. Die meisten großen Strukturen der Umwelt decken sich dann mit den bekannten Naturgesetzen. Bei den höher organisierten Formen des Lebens wird jedoch der Einfluss der Zweckbestimmung immer deutlicher.

Es ist die Frage, wodurch sich bei dieser Interpretation die Naturgesetze von den Zweckbestimmungen unterscheiden, bzw. wenn man diese Unterscheidung getroffen hat, warum man dann nicht genau den Standpunkt des Dualismus erzielt hat.

Bewusstsein in der Quantenphysik

Die Geschichte der Physik zeigt, dass es zu jedem Zeitpunkt Dinge gegeben hat, die sich innerhalb der Physik nicht erklären lassen. Der Begriff „Physik“ ist also unscharf. Wenn Bewusstsein derzeit physikalisch nicht zu verstehen ist, so könnte dies zu späterer Zeit anders sein. Der kartesische Schnitt zwischen *res cogitans* und *res extensa* könnte dann als methodologischer Ansatz gesehen werden, nicht als ontologischer – der sich allerdings schon seit Descartes sehr hartnäckig hält. Allein im Begriff „Verständnis“ liegt bereits eine Schwierigkeit. Verstehen ist ein Vorgang in unserem Bewusstsein. Wenn wir einen physikalischen Prozess verstehen, öffnet sich also die Welt der Physik für etwas, das außerhalb der Physik steht. Macht man dies zur Definition des Verstehens, so ist ein Verstehen des Bewusstseins innerhalb der Physik per Definition unmöglich.

Das Problem des Kollapses einer Zustandsfunktion zeigt, dass wir derzeit nicht einmal ein einfaches Gebilde wie ein Lichtquant oder ein Elektron verstehen. Man kann also nicht sagen, es gebe eine abgegrenzte Welt „verständener Physik“. Insofern ist unser Unverständnis des Bewusstseins eigentlich nichts Außergewöhnliches.

Eine besondere Bedeutung hat das Bewusstsein innerhalb der Quantenphysik erlangt. In der positivistisch geprägten Kopenhagener Interpretation kann man den Kollaps der Zustandsfunktion dem Beobachter zuschreiben. Solange niemand einen reinen Quantenzustand beobachtet, bleibt das System in einem Überlagerungszustand, der sich deterministisch entwickelt. Erst die Anwesenheit eines Beobachters führt zu einer Diskrepanz. Ist es demnach der *Beobachter*, der den Kollaps der Zustandsfunktion herbeiführt?

Squires spricht vom „Paradoxon von der Kenntnis“: Im Falle unseres Kalkspat-Versuches (Bild 3) befindet sich das Licht im Zustand

$$|v\rangle = 0,8 \cdot |w\rangle + 0,6 \cdot |s\rangle,$$

der eine Überlagerung aus $|w\rangle$ und $|s\rangle$, darstellt. Weiter oben (Viele-Welten-Interpretation) haben wir schon versucht, den Beobachter mit in das Quantensystem einzubeziehen:

$$|v\rangle = 0,8 \cdot |w, O_w\rangle + 0,6 \cdot |s, O_s\rangle,$$

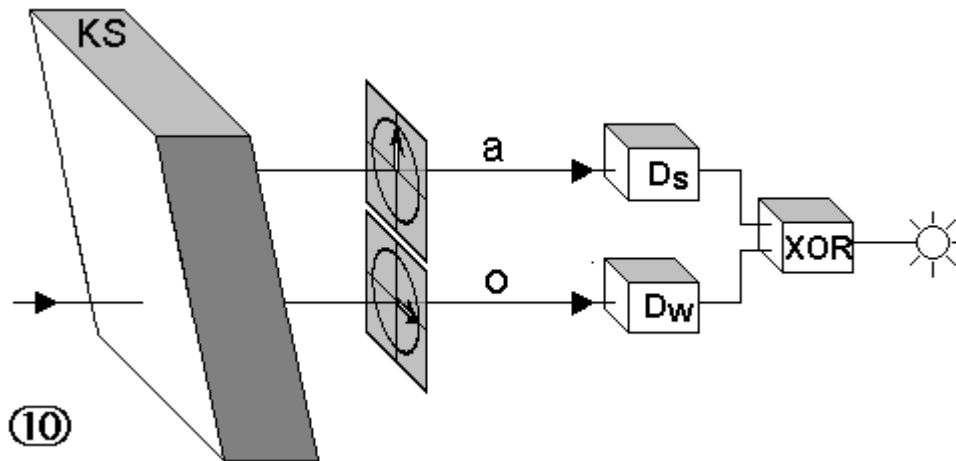
der damit ebenfalls in einen Überlagerungszustand aus O_w und O_s gerät. Wenn man den Beobachter nun fragt, ob er ein Lichtquant oben (senkrecht polarisiert) oder unten (waagrecht polarisiert) gesehen hat, würde er mit der Wahrscheinlichkeit $0,6^2 = 0,36 = 36\%$ antworten „unten“ und mit 64% „oben“. Man könnte ihn aber statt dessen fragen, ob er ein Resultat kennt. Jetzt müsste er mit 100% antworten „ja“, obwohl er eben *kein* Resultat kennt, da er sich ja in einem Überlagerungszustand befindet. Der Versuch, das Bewusstsein des Beobachters zu einem Bestandteil der Physik zu machen, führt demnach zu einem Paradoxon.

Im Grunde funktionieren aber Quantencomputer nach diesem Prinzip. Sie rechnen mit Qubits, d.h. Überlagerungszuständen aus „0“ und „1“. Trotzdem müssen Sie ein eindeutiges

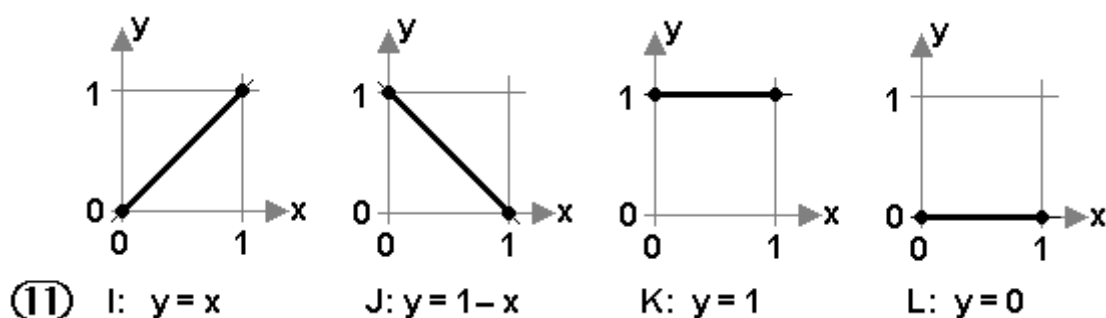
Rechenergebnis abliefern, sonst wären sie unbrauchbar. Niemand sieht hierin heutzutage noch ein Paradoxon. Darauf möchte ich etwas näher eingehen.

Quantencomputer

Stellt euch beim Kalkspat-Versuch anstelle des Beobachters zwei Fotodetektoren (D_s und D_w) vor, einer im oberen Strahlenweg, einer im unteren. Der obere wird dann mit 64% Wahrscheinlichkeit ansprechen, der untere mit 36%. Man verbindet die Ausgänge der Fotozellen mit einer Logik (XOR, Entweder-Oder-Schaltung), die eine Lampe einschaltet, wenn der eine oder der andere Eingang ein Signal bekommt. Diese Schaltung löst also die Aufgabe: „Kennst du ein Resultat?“. Die Lampe geht natürlich mit 100% Wahrscheinlichkeit an. Ein billiger Quantencomputer, wenn man so will, aber kein Paradoxon (Bild 10).



Elektronenrechner rechnen im Binärsystem, also nur mit den Ziffern 0 und 1. Diese werden üblicherweise mit Stromkreisen realisiert, wobei ein ausgeschalteter Kreis eine 0 und ein eingeschalteter Stromkreis eine 1 darstellt. Stellt euch einen Rechner vor, der statt dessen mit Licht rechnet. Senkrecht polarisiertes Licht $|s\rangle$ steht für 0, waagrecht polarisiertes $|w\rangle$ für 1. Nun seien einige mathematische Funktionen zu untersuchen, d.h. Zuordnungen zwischen x und y , die ich hier vorstelle (Bild 11. Ihr seid mit Koordinatensystemen vertraut? Das hier ist ein kartesisches, benannt nach eben jenem schon mehrmals erwähnten René Descartes):



Die Funktion I macht aus 0 eine 0 und aus 1 eine 1. Die Funktion J macht im Gegenteil aus 0 eine 1 und aus 1 eine 0. Funktion K liefert unabhängig von x den konstanten Wert 1, und Funktion L liefert konstant eine 0. K und L sind daher konstante Funktionen, I und J sind nichtkonstante Funktionen. Man kann diese Funktionen leicht durch Operatormatrizen ausdrücken:

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, J = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, K = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, L = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix},$$

und – schon gut. Die stehen hier jetzt nur für Leute, die unbedingt nachrechnen möchten.

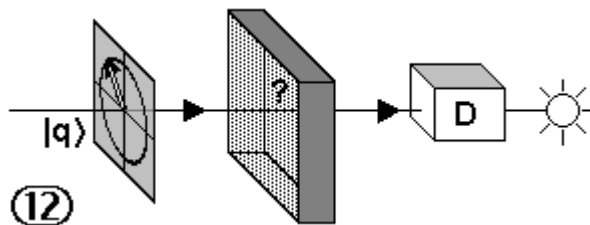
Physikalisch werden die Funktionen durch geeignete Filter realisiert, durch die man ein Lichtquant $|s\rangle$ bzw. $|w\rangle$ schickt, und das Ergebnis kommt in Gestalt des entsprechend polarisierten Lichtquants heraus.

Eine dieser vier Funktionen stehe nun als Filter im Strahlengang, aber wir wissen nicht, ob es eine konstante (K oder L) oder eine nichtkonstante Funktion (I oder J) ist. Um das herauszufinden, muss man einmal eine 0 (Lichtquant $|s\rangle$) und einmal eine 1 (Lichtquant $|w\rangle$) hindurchschicken und das Ergebnis registrieren. Das sind zwei Rechenoperationen.

Man kann aber ein Qubit $|q\rangle$ präparieren, d.h. einen Überlagerungszustand aus 0 und 1, nämlich

$$|q\rangle = 0,7 \cdot |s\rangle - 0,7 \cdot |w\rangle .$$

(Die 0,7 ist gerundet, eigentlich müsste es $\sqrt{1/2}$ sein, damit $\langle q|q\rangle = 1$ ist, aber ihr wisst, ich wollte ja bei Grundrechenarten bleiben). Dieses Qubit schickt man durch die Funktion und wartet mit einem Fotodetektor auf der anderen Seite (Bild 12).



Was passiert? Im Falle einer der konstanten Funktionen K oder L anstelle des „?“ werden alle Anteile von $|q\rangle$ entweder in die Senkrechte oder in die Waagerechte transformiert.

$$K |q\rangle = 0,7 \cdot |w\rangle - 0,7 \cdot |w\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} ,$$

$$L |q\rangle = 0,7 \cdot |s\rangle - 0,7 \cdot |s\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} .$$

Kein Quant erreicht den Detektor, die Lampe ist aus. Im Falle einer der nichtkonstanten Funktionen I oder J ergibt sich hingegen:

$$I |q\rangle = |q\rangle ,$$

weil I sowohl $|w\rangle$ als auch $|s\rangle$ unverändert lässt, bzw.

$$J |q\rangle = - |q\rangle ,$$

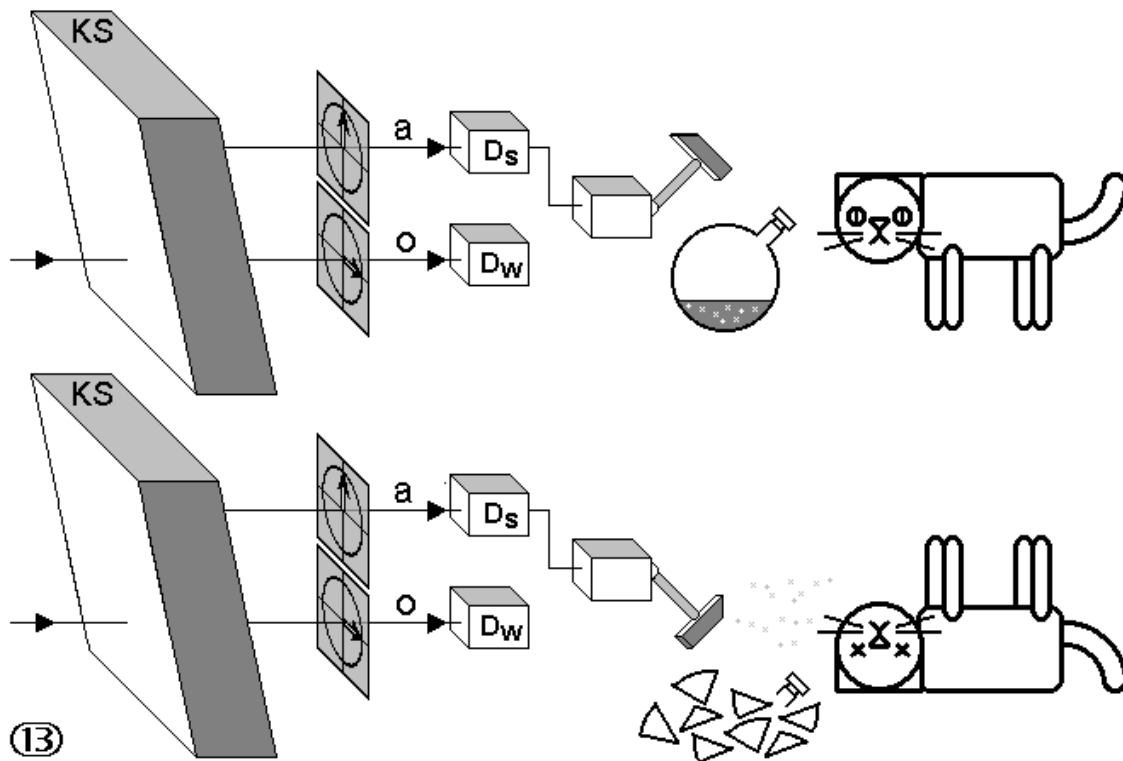
weil J die Anteile $|w\rangle$ und $|s\rangle$ miteinander vertauscht.

Das Quant erreicht den Detektor, die Lampe ist an. Eine *einzig*e Rechnung mit unserem Spielzeug-Quantencomputer reichte also aus, um zwischen konstanter und nichtkonstanter Funktion zu unterscheiden, während ein klassischer Computer *zwei* Berechnungen gebraucht hätte. $|q\rangle$ bleibt dabei während der Rechnung in seinem Überlagerungszustand, erst zur Anzeige des Ergebnisses kollabiert der Zustand, indem das Quant entweder im Filter oder im Detektor stecken bleibt.

Schrödingers Katze

Da ist sie endlich. Ich vermute, Schrödingers Gedankenexperiment ist bekannt, ich formuliere es jetzt mal in das Umfeld meiner Lichtquantenversuche um. In einer geschlossenen Kiste befindet sich erstens die Katze, zweitens der Kalkspat-Aufbau mit den beiden Fotodetektoren, und drittens eine so stark gedimmte Lichtquelle, dass innerhalb einer Stunde nur ein einziges Lichtquant durch die Apparatur läuft. Der untere Detektor wird nicht angeschlossen, der obere

löst einen Hammer aus, der eine Phiole mit Gift zertrümmert. Das Gift tötet die Katze. Die Katze ist nach Durchgang des Lichtquants, also nach einer Stunde, mit 36% Wahrscheinlichkeit tot, und mit 64% noch am Leben (Bild 13, Katzenhasser dürfen die Anschlüsse vertauschen).



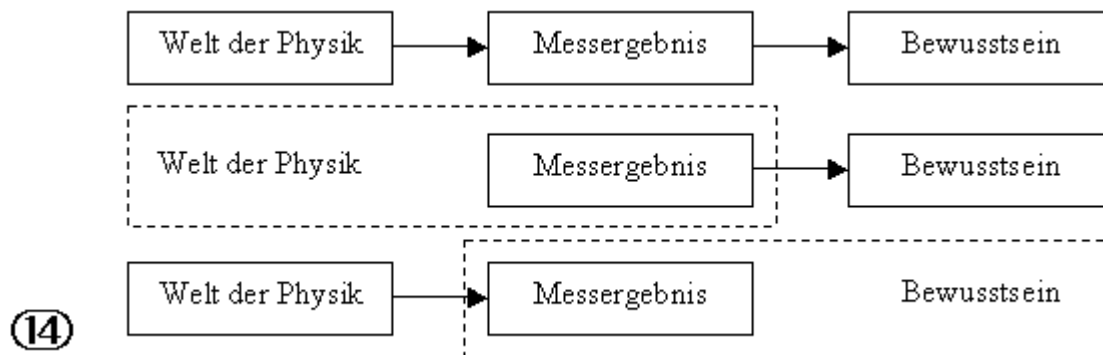
Damit ist die Katze in einen Überlagerungszustand

$$|v\rangle = 0,8 \cdot |w, \text{lebend}\rangle + 0,6 \cdot |s, \text{tot}\rangle$$

gebracht worden. Wenn nun ein Beobachter die Kiste öffnet, findet er aber eine lebendige oder eine tote Katze vor, und keinen Überlagerungszustand. Also (so Schrödinger) ist der Kollaps der Zustandsfunktion durch den Beobachter ausgelöst worden.

Wer erzeugt das Messergebnis?

Schrödinger meinte das damals (1935) nicht ernst, sondern wollte durch ein offenkundiges Paradoxon auf die Unvollständigkeit der Quantenphysik aufmerksam machen.



Wie aber, wenn man es doch ernst nimmt? Gehen wir davon aus, dass das Bewusstsein des Beobachters, das nicht Teil der Physik ist, durch die Wahrnehmung des Messergebnisses erst den Messprozess vollendet und den Kollaps (der auch nicht Teil der Physik ist) des physikalischen Zustandes auslöst (Bild 14).

In der klassischen Physik war das kein Problem: Die Physik lieferte ein Messergebnis, das Bewusstsein nahm es zur Kenntnis. Die klassische Vorstellung, dass das Messergebnis Teil der Physik ist, versagt jedoch, also liegt es nahe, den Heisenberg-Schnitt zu verlagern und das Messergebnis nunmehr dem Bewusstsein zuzurechnen. (Woraus sich ein heißer Tipp für KI-Forscher ergäbe: Wenn eine KI eine Zustandsfunktion zum Kollaps bringen kann, dann hat sie Bewusstsein – eine Art quantenphysikalischer Turing-Test.)

Das wirft jedoch ein paar Fragen auf. Was ist, wenn jemand die Photoplatte aus dem Kalkspat-Versuch unentwickelt in die Schublade legt und dort vergisst? Nach Jahren findet sie eine Studentin und entwickelt sie, sodass sich nun zeigt, ob die Schwärzung oben oder unten ist. War die Platte tatsächlich bis dahin in einem Überlagerungszustand zwischen Schwärzung oben und Schwärzung unten, und hat die Studentin mit ihrem Bewusstsein den Kollaps der Zustandsfunktion ausgelöst? Lasst euch das auf der Zunge zergehen.

Eine Zustandsfunktion des Universums, falls es so etwas gibt, bleibt dann natürlich auch bis zum Auftreten von Beobachtern, die das Universum bewusst wahrnehmen, in einem Überlagerungszustand aller möglichen Universen. Erst die Beobachtung bringt sie zum Kollaps, wodurch sich endlich die Bedingungen manifestieren, die zur Entstehung des Lebens und insbesondere eines Beobachters Voraussetzung waren. Die Beobachtung hätte somit die Voraussetzung dafür geschaffen, dass sie möglich war.

Für einen normal denkenden Menschen ist das schon starker Tobak; wie schön, dass moderne Philosophen in der Hinsicht recht schmerzfrei sind. Versteht das nicht falsch: Philosophen dürfen sowas denken. Sie müssen das sogar denken, denn wie sollte man je die Grenzen des Denkbaren ausloten, wenn man sich nicht an das Udenkbare herantraut und schaut, wie weit man kommt? „You cannot understand new physics with an old physics mind.“

Eine weitere Frage ist: Wenn sich mehrere Beobachter um ein Experiment herum versammeln: Warum sehen dann alle das gleiche Messergebnis? Hierfür schlägt Squires das „Selektormodell“ vor, das er mit einem Fernsehgerät vergleicht: Im Wellenäther sind alle Programme verfügbar, aber wenn man am Empfänger einen Kanal einstellt, können alle, die davor sitzen, nur noch das eine gewählte Programm sehen. So wählt auch das Bewusstsein als Selektor ein Messergebnis aus, das beobachtet wird, während alle anderen aber unbeobachtet erhalten bleiben, d.h. die Zustandsfunktion muss dazu nicht kollabieren. Es gibt allerdings keinen bevorzugten Beobachter, der die Fernbedienung hat und somit darüber bestimmt, welches Programm – äh – Messergebnis alle zu sehen haben. Squires löst das Problem, indem er Bewusstsein als etwas Universelles ansieht, nicht nur als etwas Individuelles. Das universelle, nicht nur auf ein Gehirn lokalisierte Bewusstsein entscheidet sich für ein Messergebnis, und die Individuen nehmen dann dieses Ergebnis wahr. Suggestion, Telepathie, Telekinese rücken in greifbare Nähe ... oder gleich die Welt als eine Simulation wie bei „Matrix“ oder, viel schöner, bei „Welt am Draht“.

Ohne ein neues Fass aufmachen zu wollen, bringt mich das auf den Gedanken, welchen Sinn eine simulierte Welt wohl haben könnte und wer die Simulation betreibt. Bei „Welt am Draht“ war es, glaube ich, eine soziologische Studie über die Auswirkung eines Rauchverbots. Und unsere Welt? Vielleicht ist sie ein Probelauf des Schöpfers, um vor der endgültigen Erschaffung des Universums noch die letzten Fehler zu finden. Lasst mich raten, welchen Fehler er finden wird ... Wir sollten das an anderer Stelle diskutieren.

Wir halten fest: Wir haben eine nichtlokale Physik vermeiden wollen und sind dafür bei einem nichtlokalen Bewusstsein gelandet. Allerdings ist das noch nicht der Weisheit letzter Schluss. Darüber mehr in der nächsten und letzten Folge der Serie.