

«Am Anfang war das Wort.»

Johannes I.I

Wir haben nun eine Reihe von Experimenten besprochen, die uns verschiedene Grunderscheinungen der Quantenmechanik nähergebracht haben. Zu den neuen Grundprinzipien unserer Welt gehören der irreduzible *Zufall*, die *Superposition* (Überlagerung) und die quantenphysikalische *Verschränkung*. Wir haben auch gesehen, dass es zu Schwierigkeiten führt, wenn man versucht, die quantenphysikalischen Aussagen mit unserem sogenannten gesunden Menschenverstand in Einklang zu bringen. Wir wollen uns nun genau dieser Frage zuwenden. Es geht um die Überwindung der Position, die von Richard Feynman so schön formuliert wurde: «Ich denke, ich kann sicher sagen, dass heute niemand die Quantenphysik versteht.»

Wir brauchen also einerseits eine Grundidee, ein Urprinzip, auf dem wir unsere Theorie aufbauen. Auf der anderen Seite erhebt sich dann gleich die interessante Zusatzfrage, die eigentlich letztlich *die* zentrale Frage ist - jene nach der Bedeutung der Entdeckungen der Quantenphysik für unser Weltbild. Anders herum gesagt: Weil unsere Alltags-Weltanschauung, besagter «gesunder Menschenverstand», mit den Aussagen der Quantenphysik so seine liebe Not hat, könnte es ja sein, dass vielleicht auch an unserem Menschenverstand etwas faul ist - vielleicht müssen wir an unserer Weltsicht etwas ändern. Wenden wir uns also zuerst der ersten Frage zu. Wie kann ein Urprinzip aussehen, das möglichst einfach ist und auf dem die Quantenphysik aufgebaut werden kann? Die Beantwortung dieser Frage wird uns automatisch neue Möglichkeiten für die Beantwortung der zweiten Frage eröffnen.

### **1. Muss es so kompliziert sein?**

Ehe wir diese erste Frage mit einem Vorschlag beantworten, welches das Grundprinzip für die Quantenphysik sein kann, wollen wir uns kurz die Rolle der Grundprinzipien für die Physik ansehen. Es hat sich im Laufe der Entwicklung der Physik immer mehr heraus gestellt, dass es auf einige wenige, erstaunlich einfache und vernünftige Grundideen ankommt, auf die dann ein ganzes physikalisches Theoriegebäude aufgebaut werden kann. Diese Grundaussagen sind so fundamental, dass sie immer und überall gelten müssen. Ihre Widerlegung würde andererseits den Zusammenbruch eines ganzen Gedankengebäudes bedeuten.

Nehmen wir das Beispiel der Relativitätstheorie von Albert Einstein. Genau genommen gibt es hier zwei Relativitätstheorien. Die spezielle Relativitätstheorie, die Einstein zuerst aufgestellt hat, und zwar im Jahr 1905 - übrigens in dem selben Jahr, in dem er mit der Erklärung des photoelektrischen Effekts mittels der Quantenhypothese an die Öffentlichkeit trat. Die zweite ist die Allgemeine Relativitätstheorie, die er etwa zehn Jahre später schuf. Die Spezielle Relativitätstheorie führt zu den bekanntlich so eigenartigen Vorhersagen, die mittlerweile übrigens mehrfach hervorragend bestätigt sind, dass bewegte Uhren langsamer gehen als Uhren in Ruhe. Und sie hat auch zu der berühmtesten Gleichung der Physik,  $E = mc^2$ , geführt.

Die Spezielle Relativitätstheorie kann auf ein einziges Grundprinzip zurückgeführt werden, nämlich dass die Naturgesetze in allen nicht beschleunigten Systemen, den sogenannten *Inertialsystemen*, gleich sind. An einem klaren Beispiel illustriert: Wir alle machen die Erfahrung, dass wir in einem Eisenbahnzug oder in einem schnell fliegenden Flugzeug nicht feststellen können, wie schnell wir uns bewegen, ohne dass wir hinaussehen. Egal, ob der Zug

steht oder fährt in Gegenstand fällt im Zug genauso senkrecht wie daheim auf den Boden. Ebenso können wir im Flugzeug genauso unseren Lieblingsfilm sehen wie zu Hause. Es ändert sich an den physikalischen Abläufen, die dahinterstecken, offenbar überhaupt nichts. Wir haben hier ein sehr verständliches und einsichtiges Prinzip, auf dem aufbauend Albert Einstein seine Spezielle Relativitätstheorie schuf. Es sei bemerkt, dass oft als zusätzliche Grundregel angegeben wird, dass die Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Geschwindigkeit einer Quelle ist, aus der das Licht ausgesandt wird. Also Licht, das von unserem Flugzeug nach vorne abgestrahlt wird, ist genauso schnell wie Licht, das nach hinten abgestrahlt wird. Es bekommt die Geschwindigkeit des Flugzeuges nicht auch noch zusätzlich mit. Dieses Gesetz kann jedoch auch als Konsequenz des ersten gesehen werden, da die Lichtgeschwindigkeit eine Funktion von einfachen Naturkonstanten ist.

Albert Einstein hat aber gleichzeitig etwas anderes dabei aufgegeben, etwas, das vorher häufig von den Physikern angenommen worden war, ohne dass es dafür einen Grund gäbe. Es ist dies im wesentlichen die Annahme einer universellen Zeit, nämlich die Annahme, dass die Zeit am Boden genauso abläuft wie im Jumbo-Jet, der mit einer hohen Geschwindigkeit fliegt. Albert Einstein sah, dass es für diese Annahme keinen absolut zwingenden Grund gibt. Seine Überlegung war im Prinzip einfach die, dass dann, wenn alle Zeitabläufe, auch die der Uhren, in einem Jumbo-Jet zum Beispiel langsamer wären als am Boden, man dies in keiner Weise bemerken würde. Nur beim Vergleich der beiden bemerkt man einen Unterschied. Dennoch gibt es keinerlei logischen Grund, warum ein solcher Unterschied darin, wie schnell die Zeit an verschiedenen Orten abläuft, nicht doch bestehen könnte.

Die Vorhersage der Speziellen Relativitätstheorie, dass bewegte Uhren, etwa in Jumbo-Jets, langsamer gehen, wurde mittlerweile tatsächlich experimentell bewiesen. Der Unterschied ist natürlich so klein, dass er nur mit hochpräzisen Atomuhren festgestellt werden kann. Einem Transatlantikflieger kann man keine Hoffnung machen, durch möglichst viele Flüge sein Leben verlängern zu können. Ebenso gehen Uhren bei großer Schwerkraft anders. Interessant ist aber doch, dass auch diese Tatsache, dass bewegte Uhren langsamer gehen, heute ihre technische Anwendung gefunden hat. Im Rahmen des GPS-Systems senden Satelliten ständig hochpräzise Signale aus, die mit einer Zeitinformation kodiert sind. Aus dieser Information kann man dann mit einem Empfänger auf der Erde die genaue Position, den genauen Ort, bestimmen, an dem man sich befindet. Würden auf den Satelliten nicht automatisch die Fehler berücksichtigt werden, die sowohl infolge der Speziellen Relativitätstheorie als auch der Allgemeinen Relativitätstheorie auftreten, würden wir immer zu falschen Ortsbestimmungen kommen und das ganze System würde nicht funktionieren.

Im Rahmen der Speziellen Relativitätstheorie gilt das erwähnte Grundprinzip nur für nicht beschleunigte Systeme, im Beispiel des Zuges dann, wenn dieser eben mit gleichmäßiger Geschwindigkeit dahinfährt. Fährt er nach einer Station los, beschleunigt er also, bremst er oder fährt er um eine Kurve, so spüren wir dies tatsächlich innerhalb des Zugs, ohne hinausschauen zu müssen. Die Allgemeine Relativitätstheorie geht einen Schritt weiter und bezieht Beschleunigungen mit ein. Das Grundprinzip hier ist, dass die physikalischen Gesetze in allen beschleunigten Systemen gleich sein müssen. Als ein einfaches Beispiel nehmen wir an, Sie befinden sich in einer kleinen Kabine. Ohne hinauszusehen, können Sie nun nicht feststellen, ob die Kraft, die Sie nach unten drückt, die Schwerkraft ist, weil sich die Kabine auf dem Erdboden befindet oder ob die Kabine im Weltraum ist und gerade beschleunigt wird. Jeder von uns kennt das Gefühl der zusätzlichen Schein-Schwerkraft in einem Lift, der gerade losfährt. Da wir nicht unterscheiden können, woher die Kraft kommt, die wir spüren, ob sie die der Schwerkraft ist oder durch Beschleunigung verursacht wird, müssen also alle physikalischen Abläufe gleich sein.

An diesen beiden Urprinzipien, dem für die Spezielle und dem für die Allgemeine Relativitätstheorie, erkennen wir ein interessantes Charakteristikum. Letztlich kommt es darauf an, was durch Beobachtung ausgesagt oder - in diesem Fall - nicht ausgesagt werden kann. Man kann eben nicht, auch nicht durch noch so clevere Experimente, ohne hinauszusehen entscheiden, wie schnell der Zug ist, mit dem man fährt; und man kann ebenso wenig entscheiden, welcher Natur die Beschleunigung ist, der man ausgesetzt ist. Diesen Grundprinzipien ist auch noch gemein, dass sie sehr einfach, sozusagen vernünftig sind. Wobei natürlich das, was uns vernünftig erscheint, unter Umständen auch einem Vorurteil unterliegen kann. Begeben wir uns also nun auf die Suche nach einer solchen Grundidee für den Fall der Quantenphysik. Dies müssen wir allerdings unterscheiden von einer Axiomatisierung der Quantenphysik, wie es sie tatsächlich schon gibt. Hier gibt man eine Reihe von Axiomen an, also Grundannahmen, die oft sehr formaler Natur sind.

Dazu gehört im Fall der Quantenphysik zum Beispiel das Axiom, dass die quantenmechanischen Zustände in einem sehr abstrakten Raum, dem sogenannten Hilbert-Raum, definiert sind. Auch nimmt die Superposition als Superpositionsprinzip bei einer solchen Axiomatisierung eine zentrale Stellung ein. Diese Axiome sind geeignet, die mathematische Struktur der Quantenphysik auf eine solide Grundlage zu setzen. Sie sind jedoch alles andere als intuitiv klar und unmittelbar einsichtig. Letztlich ist dies jedoch nicht, was wir suchen. Es geht uns vielmehr um eine Grundaussage, die einfach ist, uns vernünftig erscheint und nach Möglichkeit direkt an das Beobachtbare anknüpft.

Es könnte natürlich auch durchaus sein, dass wir eines Tages mit der Situation konfrontiert werden, kein Grundprinzip mehr finden zu können. Vielleicht ist die Welt eben zu kompliziert für unseren menschlichen Geist, um so ein Prinzip in allen Fällen aufzufinden. Es ist ja an sich ohnehin erstaunlich, dass es uns überhaupt möglich ist, Grundprinzipien zu entdecken. Warum ist die Welt überhaupt mit einfachen Grundprinzipien begreifbar und nicht einfach so kompliziert, dass wir nur unsere «geistigen Hände» in den Schoß legen können? Diese Ansicht, dass die Welt für uns viel zu kompliziert sei, war übrigens immer weit verbreitet und gilt auch heute noch für viele Menschen. Aber vielleicht kann schon die Entwicklung monotheistischer Religionen als ein Ansatz der Suche nach einfachen Grundprinzipien verstanden werden. Es ist vielleicht kein Wunder, dass die modernen Naturwissenschaften in Europa entstanden sind, in einer Kultur, wo Gott als ein einziger und einmaliger Gott, nämlich der der christlich-jüdischen Tradition, verstanden wurde.

## **2. Das Spiel der zwanzig Fragen**

Wir haben ja schon gesehen, dass die Auswahl des experimentellen Apparates bestimmt, welche physikalische Größe beobachtet werden kann, und dass dies nicht unbedingt voraussetzt, dass diese physikalische Größe vor der Beobachtung bereits existiert hat. Der Physiker John Archibald Wheeler hat in diesem Zusammenhang ein wunderschönes Gedankenspiel vorgeschlagen, das diese Idee etwas veranschaulichen soll.

Ein in vielen Ländern sehr beliebtes Spiel ist das der zwanzig Fragen. Ein Spieler wird hinausgeschickt, und die übrigen Mitspieler einigen sich dann auf einen Begriff, den dieser Mitspieler erraten muss. Alles, was er dabei machen darf, ist, Fragen zu stellen die mit ja oder nein beantwortet werden können. Nach maximal zwanzig Fragen muss er den Begriff erraten haben. Die Fragen werden reihum von den im Raum zurückgebliebenen Mitspielern beantwortet. Das Spiel kann zum Beispiel so ablaufen: «Ist es lebend.? - Ja. - Kann es fliegen? - Nein. - Schwimmt es? - Ja. - Ist es ein Fisch? - Nein. - Ist es ein Säugetier? - Nein. - Ist es grün? - Ja. - Ist es ein Krokodil? - Ja.» Damit ist das Spiel beendet. Hier ging es also darum,

einen Begriff zu finden, der bereits vereinbart war, bevor die Fragen gestellt werden. Es geht also im Spiel darum, etwas schon Existierendes herauszufinden.

Man kann sich nun vorstellen, solche Spiele bereits einen ganzen Abend gespielt zu haben. Schließlich vereinbaren die im Raum zurückgebliebenen Spieler etwas ganz Neues, was vorher noch nie geschah. Das merkt der zurückkehrende Spieler, sobald er wieder in den Raum kommt. Alle schmunzeln und schauen ihn mit erwartungsvollen Mienen an. Schon bei der ersten Frage «Ist es lebend?» schauen alle Mitspieler den, der antworten muss, aufmerksam an. Als er antwortet «Ja», gibt es ein großes Grinsen im ganzen Saal. Bei der nächsten Frage wird noch mehr geschmunzelt und immer mehr und mehr. Gleichzeitig dauert die Beantwortung der Fragen aber immer länger, je mehr Fragen schon beantwortet worden sind. Bis schließlich nach den zwanzig Fragen alles in großes Gelächter ausbricht.

Was war geschehen? Im Gegensatz zu den bisherigen Spielen hatten die Mitspieler vereinbart, keinen Begriff festzulegen. Das heißt, die wichtigste Regel war dann, dass nachfolgende Antworten der vorhergehenden Antwort nicht widersprechen durften. Jeder musste also bei seiner Antwort wenigstens ein Beispiel für einen Begriff im Kopf haben, das mit allen bisherigen Antworten im Einklang ist. So ist, auf die Folge der Antworten allmählich aufbauend schließlich ein Begriff entstanden, der sicher am Anfang nicht für alle gleich war, aber doch immer mehr eingeeengt wurde. Auf diese Weise wurde durch fortgesetzte Beobachtung, nämlich durch fortgesetzte Fragestellung, in den Köpfen der Mitspieler etwas Neues konstruiert, das dann schließlich genauso wirklich war -oder nicht wirklich - wie das beim ersten Spiel vereinbarte Krokodil.

Wheeler hat dieses Beispiel nicht von ungefähr erfunden. Er hat schon vor einiger Zeit begonnen, darüber nachzudenken, welche Rolle die Information in der Physik, aber insbesondere in der Quantenphysik, spielen könnte. Er meinte einmal: «Morgen werden wir gelernt haben, wie man die ganze Physik in der Sprache der Information verstehen und sie in dieser Sprache ausdrücken kann.»

### **3. Information und Wirklichkeit**

*«Er ist falsch zu denken, es wäre Aufgabe der Physik herauszufinden, wie die Natur beschaffen ist. Aufgabe der Physik ist es vielmehr, herauszufinden, was wir über die Natur sagen können.»*

Niels Bohr

Unser ganzes Leben lang sammeln wir Information und reagieren auf diese Information in einer entsprechenden Weise. Dieses Sammeln von Information kann entweder passiv erfolgen, indem wir einfach die Eindrücke auf uns einströmen lassen, oder es kann ein aktiver Vorgang sein, indem wir konkrete Fragen an die Natur stellen. Aber auch die passiv auf uns einströmenden Eindrücke werden von uns offenbar als Antworten auf Fragen, die wir allerdings nicht oder höchstens implizit gestellt haben, verarbeitet. Der Eindruck dass dieser Baum vor meinem Fenster grün ist, ist eben die Antwort auf eine Frage, nämlich die nach seiner Farbe. Im Laufe unserer Evolution haben wir offenbar immer komplexere Mechanismen der Informationsverarbeitung entwickelt. So ist das menschliche Gehirn wahrscheinlich das komplexeste System im Universum, sehen wir einmal von eventuellen kosmischen Nachbarn ab, die vielleicht noch kompliziertere Methoden der Informationsverarbeitung besitzen. Jedes Lebewesen muss also offenbar ständig Information

sammeln und aufgrund dieser Information Entscheidungen treffen und sein Verhalten entsprechend einstellen.

Zur Wirklichkeit, was immer das sein möge, haben wir also nur indirekten Zugang. Sie ist stets etwas – ein Bild, eine Vorstellung, ein Gedanke –, das wir aufgrund unserer Vorstellungen und Erfahrungen konstruieren. Das Ganze ist etwa so wie bei einem einfachen japanischen Haus. Wir haben ein Grundgerüst aus Latten und Stangen. Das sind unsere elementaren Beobachtungen. Und zwischen diesen Latten und Stangen spannen wir aus Papier die Wände. Die Wirklichkeit, die Realität des Hauses, besteht dann hauptsächlich aus diesen dünnen Papierwänden, dabei wird es aber hauptsächlich von den stabilen Latten und Stangen getragen. Genauso, wie das Papierhaus zwischen den Stangen aufgespannt wird, ist unsere Wirklichkeit zwischen den Stützen, die durch die Beobachtungsergebnisse geliefert werden, aufgespannt. Das eigentliche Substantielle sind die Beobachtungsergebnisse. Was bedeuten aber Beobachtungsergebnisse letztlich? Nichts anderes als Information, die in Form von Antworten auf Fragen formuliert werden kann.

Für den Fall der Quantenphysik haben wir schon gesehen, dass wir über unsere Apparate letztlich nur Fragen an die Natur stellen und dass diese Fragen dann von der Natur in irgendeiner Form beantwortet werden - wenn wir Glück haben. Am einfachsten war dies im Fall des Mach-Zehnder-Interferometers. Entweder wollen wir wissen, welchen Weg das Teilchen genommen hat, dann lassen wir den letzten Strahlteiler weg, und - je nachdem, welcher Detektor anspricht - wir bekommen eine bestimmte Antwort auf diese Frage. Oder wir möchten die Interferenz sehen. Dann bringen wir den Strahlteiler exakt an seinen Platz. Bei Interferenz wird nur einer der beiden Detektoren «Klick» machen, der andere wegen der destruktiven Interferenz dagegen nicht. Im ersten Fall machen wir uns dann ein Bild in der Weise, dass wir von dem Weg sprechen, den das Teilchen genommen hat. Im anderen Fall machen wir uns ein Bild, indem wir von einer Welle sprechen, die beide Wege genommen hat. In Wirklichkeit sind auch das beides nur Bilder. Letztlich können wir nur über einzelne Ereignisse sprechen, über «Klicks» in Detektoren.

Im elementarsten Fall haben wir einfache Alternativen vor uns, ganz im Sinne der Uralternative, des «Ur», von Carl Friedrich von Weizsäcker. Hat ein bestimmter Detektor geklickt oder nicht? Oder, bei zwei Detektoren, hat Detektor A den «Klick» gemacht oder Detektor B? Alles andere ist mentale Konstruktion. Der Weg, den das Teilchen nimmt, welches Schicksal auch immer es sonst noch erlitten haben mag, oder ob sich eine Welle ausgebreitet hat, all dies sind Bilder, die wir uns aus den Handlungen, die wir vornehmen, aus den Eigenschaften des Apparats, den wir aufbauen, und schließlich aus den Detektorklicks, die wir beobachten, konstruieren. Wir haben außerdem gesehen, dass es zu Widersprüchen führen kann, wenn wir annehmen, dass das, was wir in unserem Experiment beobachten, bereits vor der Beobachtung in der Form existiert hat, wie wir es sehen. Etwa vom Weg eines Teilchens durch das Interferometer zu sprechen, hat erst Sinn, wenn wir diesen Weg tatsächlich messen. Ohne Beobachtung, ohne Messung, können wir keinem System irgendwelche Eigenschaften zuordnen. Und es ist ja noch radikaler. Von Eigenschaften, die wir einem System in einem bestimmten Beobachtungskontext zuordnen, darf nicht ohne weiteres angenommen werden, dass sie auch in einem anderen Beobachtungszusammenhang, in einer anderen Beobachtung, existieren.

Wenn wir uns also nun wieder der Frage des Grundprinzips zuwenden, so müssen wir offenbar dem Wissen um das Beobachtungsergebnis, also der *Information*, eine sehr zentrale Rolle zubilligen. Heißt dies deshalb, dass alles nur Information ist? Heißt dies gar, dass es vielleicht keine Wirklichkeit gibt? So einfach können wir es uns nun auch wieder nicht

machen. Denn nur weil Wirklichkeit nicht direkt zugänglich ist, heißt das noch lange nicht, dass sie nicht existiert. Umgekehrt können wir ihre Existenz aber auch nicht beweisen, obwohl man einiges doch zumindest als Hinweis auf die Existenz einer von uns unabhängigen Wirklichkeit auffassen kann. Hierzu ist zuerst zu erwähnen, dass wir offenbar alle in derselbe Situation übereinstimmen können, dieselben Beobachtungen zu machen. Auch andere Beobachter kommen zum selben Schluss, welcher Detektor «Klick» gemacht hat, wie wir selbst. Das heißt, das Individuum, die individuelle Beobachtung, ist offenbar nicht wichtig.

Eine rein logisch zwar mögliche, aber von niemandem wirklich durchgehaltene Position wäre hier die des *Solipsismus*, wenn man also annimmt, dass der eigene Geist, das eigene Bewusstsein, einzigartig in der Welt ist und alles nur in diesem Bewusstsein existiert. Dies ist natürlich eine Position, die logisch nicht widerlegt werden kann. Was am stärksten gegen sie spricht, ist die Lebens- und Verhaltenspraxis jedes einzelnen. Insbesondere verhalten sich auch individuelle Physiker nicht so, als ob sie Solipsisten wären – auch wenn manche manchmal behaupten, sie seien welche.

Der zweite Hinweis darauf, dass es eine Wirklichkeit gibt, die unabhängig von uns ist, ist wohl der Zufall in quantenmechanischen Einzelprozessen. Insbesondere die Tatsache, dass dieser Zufall objektiv ist, nicht durch eine tiefere Ursache erklärbar und daher unserem Einfluss in jeder Weise entzogen, deutet darauf hin, dass es etwas außerhalb von uns selbst gibt. Aber, wie schon erwähnt, ein logisch schlüssiger und zwingender Beweis kann hier nicht geführt werden.

Unser Grunddilemma ist offenbar, dass wir zwischen *Information* und *Wirklichkeit* nicht in einer operationellen, nachvollziehbaren Weise unterscheiden können. Diese Situation erinnert an den Ausgangspunkt der beiden Grundprinzipien der beiden Relativitätstheorien. Im Fall der Speziellen Relativitätstheorie war es unmöglich zu unterscheiden, ob sich unser Flugzeug in Ruhe befindet oder ob es sich mit einer hohen Geschwindigkeit gleichmäßig dahinbewegt. In der Allgemeinen Relativitätstheorie war es uns unmöglich zu entscheiden, ob wir deshalb unser Gewicht spüren, weil wir uns in einem Raum auf der Erde befinden oder weil sich der Raum, in dem wir sind, gleichmäßig beschleunigt. Die Konsequenz davon war, dass die Naturgesetze so beschaffen sein müssen, dass diese Unterschiede grundsätzlich keine Konsequenz haben, dass sie nicht zu beobachtbaren Unterschieden führen können.

Analog dazu formulieren wir also jetzt die Forderung:

*«Naturgesetze dürfen keinen Unterschied machen zwischen Wirklichkeit und Information.»*

Es ist offenbar sinnlos, über eine Wirklichkeit zu sprechen, über die man keine Information besitzen kann. Es wird das, was man wissen kann, offenbar der Ausgangspunkt für das, was Wirklichkeit sein kann. In der üblichen, bisher herrschenden Alltags-Weltansicht ist es genau umgekehrt. Wir alle gehen davon aus, dass die Welt mit ihren Eigenschaften «da draußen» eben genau so existiert, wie sie unabhängig von uns existiert. Wir spazieren durch diese Welt, sehen dies, hören das, fühlen jenes und sammeln auf diese Weise Information über die Welt. Im Sinn der klassischen Physik und auch in unserem Alltagsweltbild ist die Wirklichkeit zuerst, die Information über diese Wirklichkeit hingegen eben etwas Abgeleitetes, etwas Sekundäres. Aber vielleicht ist es auch umgekehrt. Alles, was wir haben, ist die Information, sind unsere Sinneseindrücke, sind Antworten auf Fragen, die wir stellen. Die Wirklichkeit kommt danach. Sie ist daraus abgeleitet, abhängig von der Information, die wir erhalten.

Wir können unsere Grundidee also noch radikaler formulieren, da es offenbar keinen Unterschied zwischen Wirklichkeit und Information geben kann, können wir auch sagen:

*«Information ist der Urstoff des Universums.»*

Überlegen wir uns nun, was dies für große und für kleine Systeme bedeutet - insbesondere, und dies ist ja unser Ziel, wollen wir untersuchen, ob wir damit in unserem Verständnis der Quantenphänomene weiterkommen können.

Nehmen wir uns zuerst ein großes System her, vielleicht einfach diesen Teppich, der neben mir hier am Boden liegt. Ich kann sehr viele Fragen stellen, um diesen Teppich mit seinen Antworten zu charakterisieren. Aus welchem Material ist er? Welche Farbe hat er? Woher kommt er? Wurde er maschinell oder per Hand hergestellt? Wie alt ist er? Stellt er einen Wertgegenstand dar, oder ist er ein wertloses Gebrauchsstück und so weiter und so weiter. Wir sehen schon, dass wir, um einen Gegenstand des Alltagslebens, einen makroskopischen, also großen, mit bloßem Auge wahrnehmbaren Gegenstand zu charakterisieren, Antworten auf sehr viele Fragen geben müssen. Genaugenommen ist die Anzahl dieser Fragen, die wir zu einer vollständigen Charakterisierung eines jeden klassischen Gegenstandes benötigen, unvorstellbar groß, denn bei einer vollständigen Charakterisierung würden wir ja auch angeben müssen, wie jede einzelne Faser in dem Teppich beschaffen ist, wie groß/dick sie ist, wie sie räumlich orientiert ist, welche Farbe sie hat und so weiter. Wir müssten sogar noch weiter gehen und für jedes einzelne Atom in der Faser genau angeben, aus welchem Element es besteht und wo sich dieses Atom relativ zu den anderen Atomen im Teppich befindet. Dies ist ein schier unerreichbares Unterfangen. Wir können ein klassisches System nie vollständig charakterisieren, und wir sollten eigentlich umgekehrt argumentieren. Das klassische System ist letztlich unser Konstrukt aufgrund der Eindrücke, die wir haben. Wenn wir wüssten, es handelt sich um ein Textil, das eine bestimmte Beschaffenheit hat, üblicherweise am Boden liegt und so weiter, dann handelt es sich um einen Teppich. Wissen wir seine näheren Eigenschaften, dann erinnern wir uns sogar, dass das der Teppich ist, den wir vor circa 20 Jahren von Tante Amalie geschenkt bekommen haben.