

# Existieren Kopien von uns?

Von Sabine Hossenfelder

Quelle: S. Hossenfelder, "Existential Physics: A Scientist's Guide to Life's Biggest Questions", Viking, New York 2022, Kapitel 5 ("Do Copies of Us Exist?"). Private Arbeitsübersetzung, nur für den eigenen Gebrauch. Offizielle deutsche Ausgabe: "Mehr als nur Atome", Siedler, München 2023 (übers. von M. Niehaus und B. Schuh).

---

## Viele Welten

Populärwissenschaftliche Nachrichten über Quantenmechanik sind für mich ebenso verwirrend wie frustrierend. Geben Sie mir eine Gleichung, und ich komme damit zurecht. Aber wenn Sie mir erzählen, dass die Quantenmechanik es erlaubt, eine Katze von ihrem Grinsen zu trennen, oder dass ein Experiment „eine unvereinbare Diskrepanz zwischen den Freunden und den Wigners“ zeigt, werde ich mich leise aus dem Raum zurückziehen, bevor jemand von mir verlangt, dieses Durcheinander zu erklären.

Ich habe unzählige gut gemeinte Einführungen in die Quantenmechanik über mich ergehen lassen, in denen Quantenschuhe, Quantenmünzen, Quantenboxen und ganze Zoos von Quantentieren vorkamen, die in diese Boxen hinein- und wieder herausgingen. Wenn Sie diese Erklärungen tatsächlich verstehen, ziehe ich meinen Hut vor Ihnen, denn wenn ich nicht schon vorher gewusst hätte, wie Quantenmechanik funktioniert, wüsste ich es danach immer noch nicht.

Ich erzähle Ihnen das nicht, um Ihnen den Spaß an Quantenschuhen zu verderben, sondern damit Sie verstehen, woher ich komme. Ich bin sehr stark mathematisch orientiert und persönlich sehe ich keinen Grund, Mathematik in Alltagssprache zu übersetzen. Abstrakte mathematische Strukturen sollte man meiner Meinung nach am besten aus sich selbst heraus behandeln. Sie müssen nicht interpretiert werden und müssen keinen intuitiven Sinn ergeben. Sie müssen auch nicht „so sein wie“ irgendetwas anderes, denn in den meisten Fällen sind sie es nicht. Genau deshalb verwenden wir diese Mathematik: weil es nichts anderes gibt, das ihr gleicht.

Für mich ist die Quantenmechanik das Paradebeispiel dafür, was schiefgehen kann, wenn man intuitive Sprache auf abstrakte Mathematik anwendet. Nehmen wir Superpositionen. In der Quantenmechanik setzen wir Anfangszustände in die Schrödingergleichung ein, um zu berechnen, wie sie sich mit der Zeit verändern. Die Schrödingergleichung besitzt die Eigenschaft, dass, wenn wir sie für zwei verschiedene Anfangszustände gelöst haben, auch die Summe dieser Lösungen, jeweils mit beliebigen Zahlen multipliziert, eine Lösung der Gleichung ist.[\*] Und genau das ist eine Superposition: eine Summe.

Das ist alles. Nein, ich mache keine Witze. Verschränkte Zustände sind eine bestimmte Art von Superposition. Ja, auch sie sind Summen. Wo ist also die ganze sagenumwobene Seltsamkeit geblieben?

Die Seltsamkeit taucht erst auf, wenn man versucht, die Mathematik verbal auszudrücken. Wenn einer der Zustände, die die Schrödingergleichung lösen, ein Teilchen beschreibt, das sich nach rechts bewegt, und der andere eines, das sich nach links bewegt, was ist dann die

Summe dieser beiden? Es ist üblich geworden zu sagen: „Das Teilchen bewegt sich gleichzeitig in beide Richtungen.“ Beschreibt das angemessen, was eine Superposition ist? Ehrlich gesagt weiß ich es nicht. Ich würde es lieber bei „Es handelt sich um eine Superposition“ belassen.

Natürlich verstehe ich, warum man Mathematik in Worte fassen muss, um sie zugänglich zu machen. Deshalb habe auch ich Metaphern für Superpositionen verwendet, wenn ich nicht die Zeit oder den Platz hatte, die Details zu erklären. Und ich werde dasselbe hier tun: die Mathematik weglassen und versuchen, Ihnen eine Vorstellung davon zu vermitteln, was das alles bedeutet. Aber ich möchte, dass Sie wissen, dass ein großer Teil der vermeintlichen Seltsamkeit der Quantenmechanik erst dadurch entsteht, dass man sie in Alltagssprache zwingt.

Es gibt keine exakten Metaphern, weder für die Quantenmechanik noch für irgendetwas anderes, denn wenn sie exakt wären, wären sie keine Metaphern.

Es hilft nicht gerade, dass die Bezeichnung der Quantenmechanik als seltsam, merkwürdig oder unheimlich für griffige Schlagzeilen sorgt und populärwissenschaftliche Medien diese Wörter deshalb etwas zu häufig und etwas zu begeistert verwenden. Ich stimme Philip Ball zu, dass die Quantenmechanik nach mehr als hundert Jahren endlich „beyond weird“ sein sollte, wie er es nennt. Nachdem wir das gesagt haben, wollen wir uns ansehen, was uns die Quantenmechanik über ein Leben nach dem Tod sagt.

Ohne Quantenmechanik sind die Naturgesetze deterministisch. Zur Erinnerung: Das bedeutet, dass man ausgehend von einem Anfangszustand eindeutig berechnen kann, was zu jedem späteren Zeitpunkt geschieht. Angenommen, Sie lassen einen Stift fallen und er fällt zu Boden. Wenn Sie exakt messen könnten, wo und aus welcher Position der Stift gestartet ist, und wenn Sie die genauen Positionen und Bewegungen aller Luftmoleküle um ihn herum kennen würden, könnten Sie berechnen, wann und wie der Stift auf dem Boden aufschlägt.

Natürlich können wir die Positionen aller Luftmoleküle nicht exakt messen, und selbst wenn wir es könnten, wäre es nicht praktikabel, anhand dieser Informationen das Ergebnis vorherzusagen. Aber prinzipiell entsteht ohne Quantenmechanik jede Unsicherheit über das Ergebnis lediglich aus unserem mangelnden Wissen über die Anfangsbedingungen. Solche Nicht-Quanten-Theorien nennen wir klassisch.

Die Quantenmechanik funktioniert anders. In der Quantenmechanik beschreiben wir alles durch Wellenfunktionen. Es gibt eine Wellenfunktion für Elektronen und eine für Photonen, aber es gibt auch Wellenfunktionen für Grapefruits, Gehirne und sogar eine für das gesamte Universum. Diese Wellenfunktionen entwickeln sich teilweise deterministisch, aber von Zeit zu Zeit machen sie bei einer Messung indeterministische Sprünge.

Diese Sprünge sind nicht vollständig unvorhersagbar. Wir können die Wahrscheinlichkeit dafür vorhersagen, dass sie auftreten, sowie die Wahrscheinlichkeiten ihrer jeweiligen Ergebnisse. Dennoch enthalten sie ein Element fundamentaler Zufälligkeit. Die Unsicherheit über das Ergebnis einer Messung in der Quantenmechanik beruht nicht auf unserem mangelnden Wissen über die Anfangsbedingungen. Nach der Quantenmechanik ist es schlicht so.

Diese unvorhersagbare Zufälligkeit der Quantenmechanik ist nicht auf subatomare Skalen beschränkt. Man kann sie also nicht einfach als eine irrelevante Eigenart der Natur abtun, die Wissenschaftler gelegentlich in ihren Laboratorien beobachten. Gerade weil das Ergebnis einer

Messung unvorhersagbar ist, manifestiert sich die Zufälligkeit auch bei makroskopischen Objekten wie Ihnen und mir.

Nehmen wir an, eine Experimentatorin beobachtet einen Lichtblitz auf einem Schirm. Wenn das Teilchen auf der linken Seite erscheint, geht sie nach Hause, während sie im Labor bleibt, wenn es auf der rechten Seite erscheint. Vielleicht entscheidet das darüber, ob sie auf der Autobahn einen Unfall hat oder nicht. Die Zufälligkeit eines einzelnen Quantenereignisses kann ihr gesamtes Leben verändern. Und das geschieht nicht nur im Labor. Wenn ein kosmischer Strahl lebendes Gewebe trifft, lässt sich beispielsweise die Schädigung des genetischen Codes letztlich auf den quantenmechanischen Indeterminismus zurückführen.

Obwohl die Quantenmechanik eine außerordentlich erfolgreiche Theorie ist, wird darüber, was ihre Mathematik eigentlich bedeutet, seit der Entwicklung der Theorie zu Beginn des 20. Jahrhunderts gestritten. Manche haben argumentiert, dass die Natur nicht fundamental zufällig sein könne, wie etwa Einstein, der behauptete: „Gott würfelt nicht“, und dass die Quantenmechanik unvollständig sei. Andere, wie einer der Begründer der Quantenmechanik, Niels Bohr, haben behauptet, wir müssten uns schlicht von den überkommenen Vorstellungen des Determinismus verabschieden.

Die meisten Physiker ignorieren die gesamte Debatte heute und behandeln die Quantenmechanik als ein Werkzeug, das Vorhersagen ermöglicht und über das man nicht zu viel nachdenken sollte. Diese „Halt den Mund und rechne“-Haltung ist ein pragmatischer Umgang mit der Sache. Sie hat zu großen Fortschritten geführt und sollte daher nicht belächelt werden. Viele Forscher, die sich mit den Grundlagen der Physik beschäftigen, halten es allerdings für einen Fehler, die Probleme der Quantenmechanik zu ignorieren, weil wir durch ihre Lösung mehr lernen könnten.

Um das Problem der Quantenmechanik zu verstehen, erinnern wir uns daran, dass nach Einsteins spezieller Relativitätstheorie nichts schneller als das Licht geschehen kann. In der Quantenmechanik ändern sich jedoch in dem Moment, in dem man eine Messung durchführt, Wahrscheinlichkeiten augenblicklich und überall. Dieses Update der Wellenfunktion ist nichtlokal. Es ist, wie Einstein es ausdrückte, eine „spukhafte Fernwirkung“. Allerdings stellt sich heraus, dass bei diesem Messvorgang keine Information schneller als mit Lichtgeschwindigkeit übertragen wird. Tatsächlich kann man mathematisch beweisen, dass es mit der Quantenmechanik unmöglich ist, Informationen schneller als das Licht zu übertragen. Es ist also nicht so, dass an der Theorie konkret etwas falsch wäre. Sie fühlt sich nur falsch an.

Forscher haben verschiedene Wege vorgeschlagen, mit dieser Situation umzugehen.

Manche argumentieren, dass die Quantenmechanik schlicht nicht die richtige Theorie sei und durch etwas Besseres ersetzt werden müsse. Das ist eine Möglichkeit, an der auch ich selbst gearbeitet habe. Da sie jedoch sowohl spekulativ als auch etwas abseits des Themas liegt, möchte ich hier nicht darauf eingehen. Für die Zwecke dieses Buches werde ich mich an den allgemein akzeptierten Stand der Forschung halten.

Wenn man die Quantenmechanik nicht tatsächlich verändern möchte, kann man versuchen, ihre Mathematik anders zu interpretieren und hoffen, dass sie dann sinnvoller erscheint. Es gibt eine Reihe solcher Interpretationen. Beispielsweise gibt es die von Niels Bohr vorgeschlagene Interpretation, nach der die Wellenfunktion nicht als real betrachtet werden sollte. Sie sei ein Hilfsmittel zur Vorhersage von Messungen, sagte Bohr. Wenn man jedoch keine Messung

durchführt, sei es sinnlos zu fragen, was tatsächlich geschieht. Diese Auffassung wird heute häufig als Kopenhagener Interpretation oder einfach als Standardinterpretation bezeichnet, weil sie am häufigsten gelehrt wird.

Natürlich gefällt es vielen Physikern nicht, wenn man ihnen sagt, sie sollten keine Fragen stellen. Daher haben sie versucht, andere, intuitivere Wege zu finden, um der Mathematik einen Sinn zu geben. Eine alternative Interpretation wurde von David Bohm verfolgt und ist heute als Bohmsche Mechanik bekannt.

Bohm formulierte die Gleichungen der Quantenmechanik so um, dass sie stärker denen der klassischen Mechanik ähneln. In Bohms Gleichungen ist die Wellenfunktion weiterhin vorhanden, aber nun beschreibt sie ein Feld, das Teilchen „führt“.

Der Indeterminismus bei den Messergebnissen entsteht nach Bohms Interpretation aufgrund eines Mangels an Wissen, so wie in der klassischen Physik. Allerdings kann man diesen Mangel an Wissen nach der Bohmschen Mechanik niemals beheben. Letztlich ist das Ergebnis exakt dasselbe wie bei der Kopenhagener Interpretation. Bohms Interpretation wurde nie besonders populär, hat aber bis heute Anhänger.

Eine weitere Möglichkeit, die Quantenmathematik zu interpretieren, wurde von Hugh Everett begründet und von Bryce DeWitt weiterentwickelt. Sie argumentierten, man solle das Messupdate einfach abschaffen und dadurch zu einer deterministischen Entwicklung zurückkehren. In der Viele-Welten-Interpretation tritt jedes mögliche Messergebnis auf, aber jeweils in seinem eigenen Universum.

Wenn Sie an das Teilchen zurückdenken, das eine Wahrscheinlichkeit von fünfzig zu fünfzig hatte, auf der linken oder rechten Seite des Schirms aufzutreffen, dann trifft es in der Viele-Welten-Interpretation in einem Universum auf der rechten Seite und in einem anderen Universum auf der linken Seite auf. Nachdem dies geschehen ist, bleiben diese beiden Universen für immer getrennt. Sie entwickeln sich in ihren eigenen „Zweigen“ weiter, wie man sie oft nennt.

Bevor wir weitermachen können, muss ich ein häufiges Missverständnis über die Viele-Welten-Interpretation ausräumen. Eine Erklärung dafür, wie die Quantenmechanik funktioniert, die Sie vielleicht schon gehört haben, lautet, dass ein Teilchen jeden möglichen Weg von seinem Ausgangs- zu seinem Endpunkt nimmt.

Wenn man beispielsweise einen Laserstrahl auf einen Schirm mit zwei Spalten richtet, den berühmten Doppelspalt, dann geht jedes Teilchen im Laserstrahl durch beide Spalte. Es ist nicht so, dass ein Teilchen durch den linken und das nächste durch den rechten Spalt geht; jedes Teilchen geht durch beide Spalte (Abbildung 8).

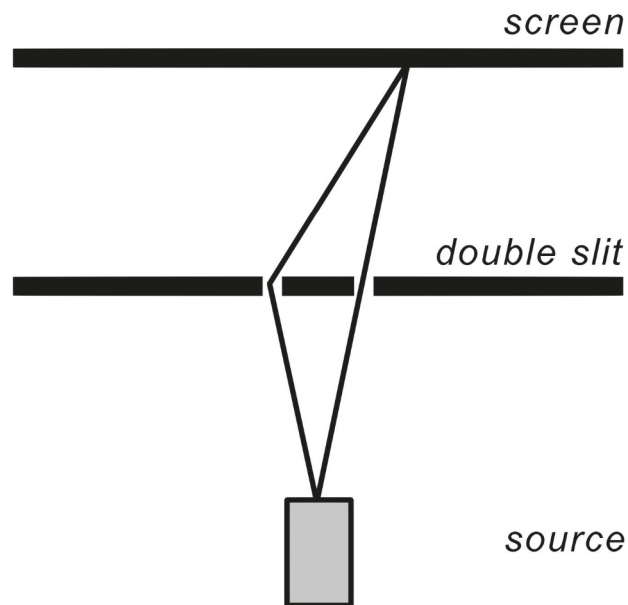


Abbildung 8: Man kann das Doppelspaltexperiment so interpretieren, dass das Teilchen alle Wege gleichzeitig nimmt. Gezeigt sind die beiden wahrscheinlichsten Wege zu einem bestimmten Punkt auf dem Schirm.

Auch dies ist eine Interpretation der Mathematik, die ursprünglich von Feynman vorgeschlagen wurde und als Pfadintegralansatz bezeichnet wird. Mathematisch muss man dann über alle möglichen Wege summieren, um die Wahrscheinlichkeit dafür zu berechnen, dass das Teilchen an einem bestimmten Ort ankommt. Kurz gesagt ist das Ergebnis dasselbe wie bei der ursprünglichen Formulierung mit der Schrödingergleichung. Physiker verwenden Pfadintegrale jedoch gern, weil sich der Ansatz auf schwierigere Situationen verallgemeinern lässt.

Man kann das Pfadintegral so interpretieren, dass das Teilchen jeden Weg in einem anderen Universum nimmt. Persönlich finde ich diese Aussage ziemlich bedeutungslos. In der Mathematik gibt es nichts, was besagt, dass diese Wege in verschiedenen Universen stattfinden. Aber falsch ist die Aussage deshalb auch nicht. Und ich bin grundsätzlich für unterschiedliche Sichtweisen auf Mathematik, weil sie zu neuen Einsichten führen können. Also gut.

Diese verschiedenen Wege oder Universen, wenn Sie so wollen, existieren im gewöhnlichen Pfadintegral allerdings nur vor der Messung. In der Viele-Welten-Interpretation existieren die verschiedenen Universen dagegen auch nach der Messung weiter. Nur weil wir die Quantenmechanik in Form eines Pfadintegrals umformulieren können, bedeutet das daher nicht, dass die Viele-Welten-Interpretation richtig ist. Das sind zwei verschiedene Dinge.

Das entscheidende Merkmal der Viele-Welten-Interpretation besteht darin, dass sich jedes Mal, wenn eine Quantenmessung stattfindet, das Universum aufspaltet und dabei das erzeugt, was man gemeinhin ein Multiversum nennt. Und weil wir zuvor gesehen haben, dass, wenn man ein wenig großzügig mit der Terminologie umgeht, sogar Wechselwirkungen mit Luft oder mit der kosmischen Hintergrundstrahlung eine Messung verursachen können, entstehen dadurch sehr schnell sehr viele Universen. Das macht ebenfalls sehr schnell sehr viele Physiker unbehaglich.

Das Problem mit dieser Idee ist nun einmal, dass noch niemand gesehen hat, wie sich ein Universum aufspaltet. Nach der Viele-Welten-Interpretation liegt das daran, dass sich Detektoren und deren Verallgemeinerungen, also Sie und ich, gemeinsam mit den Universen aufspalten. Was bestimmt, in welches Universum man gelangt? Nun, angeblich gelangt man in alle.

Da dies nicht unserer Erfahrung entspricht, benötigt die Viele-Welten-Interpretation zusätzliche Annahmen neben der Schrödingergleichung, die festlegen, wie man die Wahrscheinlichkeit berechnet, in ein bestimmtes Universum zu gelangen. Dadurch wird der Indeterminismus wieder durch die Hintertür eingeführt.

Ich erspare Ihnen die mathematischen Details, denn sie sind eigentlich nicht entscheidend. Die Quintessenz ist, dass man genügend zusätzliche Annahmen hinzufügen muss, um die Vorhersagen dessen zu reproduzieren, was früher als Messupdate bezeichnet wurde. Denn wissen Sie was? Dieses Messupdate war aus einem Grund da: Es ist notwendig, um das zu beschreiben, was wir beobachten. Wenn man es einfach wegwirft, liefert die Theorie schlicht nicht die richtigen Vorhersagen. Wir beobachten tatsächlich nicht alle möglichen Ergebnisse eines Experiments.

Das bedeutet, dass die Viele-Welten-Interpretation, was Berechnungen betrifft, exakt dieselben Vorhersagen macht wie die Quantenmechanik in der Standardinterpretation, und zwar auf Grundlage äquivalenter, lediglich anders formulierter Annahmen. Der wesentliche Unterschied liegt nicht in der Mathematik. Der wesentliche Unterschied liegt im Glauben. Anhänger der Viele-Welten-Interpretation glauben, dass alle anderen Universen, also jene, die wir nicht beobachten, genauso real sind wie unseres.

Aber in welchem Sinne sind sie real? Unbeobachtbare Universen sind per Definition nicht notwendig, um das zu beschreiben, was wir beobachten. Daher ist auch die Annahme, dass sie real sind, unnötig. Wissenschaftliche Theorien sollten keine unnötigen Annahmen enthalten. Denn wenn wir das zulassen, müssten wir auch die Annahme zulassen, dass ein Gott das Universum erschaffen hat. Solche überflüssigen Annahmen sind nicht falsch. Sie sind lediglich **awissenschaftlich**. Die Annahme, dass die zusätzlichen Universen der Viele-Welten-Interpretation real sind, ist eine solche awissenschaftliche Annahme.

Ich muss betonen, dass dies nicht bedeutet, dass die Paralleluniversen der Viele-Welten-Idee nicht real sind. Es bedeutet, dass jede Aussage über ihre Realität awissenschaftlich ist. Man kann daran glauben oder nicht. Die Wissenschaft sagt nichts darüber aus und kann nichts darüber aussagen, was davon richtig ist.

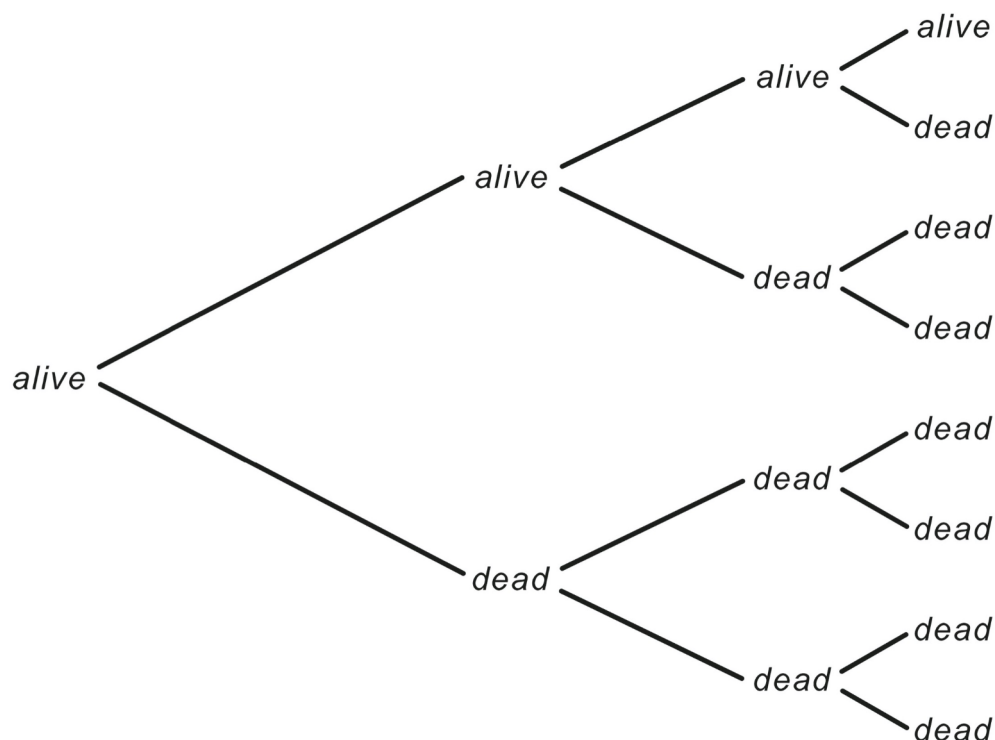
Umgekehrt bedeutet dies auch, dass die Vorstellung, irgendwo da draußen existierten unendlich viele Versionen von Ihnen, mit nichts kollidiert, was wir wissen. Es handelt sich um ein mit der Wissenschaft vereinbares Glaubenssystem.

Allerdings hat diese Vorstellung einige merkwürdige Konsequenzen. Da letztlich sämtliche Vorgänge in unserem Gehirn quantenmechanische Prozesse sind, gibt es für jede Entscheidung, die Sie treffen, ein Universum, in dem Sie sich für die andere Möglichkeit entschieden haben.

Und falls Sie sich nicht sicher sind, ob eine Entscheidung tatsächlich auf einem Quanteneffekt beruhte, gibt es dafür eine App: Der „Universe Splitter“ schickt für Sie ein Photon durch einen halbtransparenten Spiegel. Je nachdem, ob es hindurchgeht oder nicht, können Sie

Das ist bereits ziemlich bemerkenswert, aber das beste Beispiel für die merkwürdigen Konsequenzen eines Multiversums ist vielleicht die Idee des Quantenselbstmords. Stellen Sie sich vor, Sie wiederholen ein Experiment, bei dem ein Quantenprozess Sie mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent tötet. In der Standardinterpretation der Quantenmechanik sinkt die Wahrscheinlichkeit Ihres Überlebens bei jeder Wiederholung um die Hälfte. Nach der zwanzigsten Wiederholung liegt die Wahrscheinlichkeit, dass Sie tot sind, bei 99,999 Prozent.

Wiederholen Sie das Experiment, und alle vier Universen spalten sich, sodass es acht gibt, und so weiter (siehe Abbildung 9). Nach zwanzig Runden sind Sie mit hundertprozentiger Wahrscheinlichkeit noch am Leben, aber nur in einem von einer Million Universen.



Es wird noch besser. Da jeder molekulare Prozess letztlich auf die Quantenmechanik zurückgeht, bedeutet dies, dass unabhängig von der Todesursache eines Menschen eine winzige, aber von null verschiedene Wahrscheinlichkeit für sein Überleben bestand.

Quantenzufälligkeit macht dies möglich. Es besteht immer die Möglichkeit, dass eine Krankheit spontan in Remission geht, dass Zellschäden sich plötzlich zurückbilden oder dass ein Herz wieder zu schlagen beginnt, nachdem es aufgehört hat. Und selbst wenn die Wahrscheinlichkeit dafür verschwindend gering ist, wird es nach der Viele-Welten-Interpretation in irgendeinem Zweig des Multiversums für jeden von uns geschehen.

Das bedeutet natürlich auch, dass es einen Zweig des Multiversums gibt, in dem noch Dinosaurier auf der Erde umherstreifen, Hitler nie geboren wurde und Sprühkäse niemals erfunden wurde. Das ist vermutlich nicht der Zweig, in dem wir leben. Was sollen wir also daraus machen?

Wenn Sie an die Viele-Welten-Interpretation glauben, wird das Nachdenken über Wahrscheinlichkeiten in unserem Universum zu einem Nachdenken über die Anzahl der Zweige im Multiversum. Und weil Sie nicht in der Zeit zurückgehen können, um einen anderen Zweig auszuwählen, beziehen sich diese Wahrscheinlichkeiten auf Ihre gegenwärtige Beobachtung des Universums. Für alle praktischen Zwecke ist das Ergebnis exakt dasselbe: Dinosaurier sind ausgestorben, der Zweite Weltkrieg hat stattgefunden und Sprühkäse existiert. Sie sterben vielleicht nicht in allen Zweigen des Multiversums, aber die Wahrscheinlichkeit Ihres Überlebens beziehungsweise die der Dinosaurier nimmt genauso ab wie in der Standardinterpretation. Deshalb hat niemand einen Quantenselbstmord versucht: Er würde die Anzahl der Universen verringern, in denen die betreffende Person überlebt.

Was Beobachtungen betrifft, macht die Viele-Welten-Interpretation keinen Unterschied. Wenn Sie aber gerne glauben möchten, dass unendlich viele Kopien von Ihnen existieren, die alle möglichen Varianten Ihres Lebens leben, dann tun Sie das. Dieser Glaube steht nicht im Widerspruch zur Wissenschaft.

## **Das Multi-Schlimmere**

Die Viele-Welten-Interpretation ist nur eine Art von Multiversum. In den vergangenen Jahrzehnten sind einige weitere populär geworden.

Eine davon ist eine Erweiterung der Idee der Inflation, der hypothetischen Phase exponentieller Expansion im frühen Universum. Bei dieser Erweiterung, der ewigen Inflation, erfindet man einen Mechanismus, der den Anfangszustand der Inflation in unserem Universum erzeugt. Die derzeit populärste Variante postuliert ein Multiversum, in dem überall und ständig Urknalle stattfinden.

Die Universen, die durch die anderen Urknalle entstehen, könnten unserem ähnlich sein oder andere Naturkonstanten besitzen, die zu völlig anderen physikalischen Gesetzen führen.

Die Idee, dass sich die Naturkonstanten von einem Urknall zum nächsten verändern könnten, stammt aus einer anderen Multiversum-Idee: der Landschaft der Stringtheorie. Stringtheoretiker hofften ursprünglich, die Naturkonstanten berechnen zu können. Das hat nicht funktioniert. Daher argumentieren sie nun, dass die Tatsache, dass sie die Konstanten nicht berechnen können, bedeuten müsse, dass irgendwo in einem Multiversum alle möglichen Werte existieren.

Man kann all diese verschiedenen Multiversen zu einem Mega-Multiversum zusammenfassen.



Wie bei der Viele-Welten-Interpretation sind auch in den anderen Multiversen die Universen neben unserem konstruktionsbedingt unbeobachtbar. Und sie werden von noch mehr Kopien von Ihnen bevölkert. Diese Kopien entstehen jedoch aus einem anderen Grund: Kleine Variationen im Anfangszustand können zu Universen führen, deren Geschichte der Geschichte unseres Universums fast, aber nicht ganz gleicht. Natürlich wissen wir nicht und werden niemals wissen, welche Anfangszustände im Multiversum tatsächlich möglich sind, weil wir keine beobachtbaren Belege dafür sammeln können. Das ist reine Spekulation.

Der wissenschaftliche Status dieser Multiversum-Ideen ist daher derselbe wie der der Viele-Welten-Interpretation. Die Realität von etwas Unbeobachtbarem anzunehmen ist nicht notwendig, um das zu beschreiben, was wir beobachten. Daher ist die Annahme, dass diese anderen Universen real sind, awissenschaftlich.

Dies ist kein besonders schwieriges Argument, weshalb ich erstaunlich finde, dass meine Physikerkollegen es nicht zu verstehen scheinen. Unweigerlich werden sie erklären: „Aber dann müsste man auch behaupten, dass es nicht wissenschaftlich ist, über das Innere schwarzer Löcher zu sprechen.“ Aber nein, die Situation bei schwarzen Löchern ist völlig anders. Zum einen kann man das Innere eines schwarzen Lochs prinzipiell durchaus beobachten. Man kann nur nicht zurückkommen, um uns davon zu erzählen. Noch wichtiger ist, dass schwarze Löcher verdampfen, sodass ihr Inneres nicht ewig von uns getrennt bleibt. Wenn ein schwarzes Loch verdampft, schrumpft sein Horizont, bis er vollständig verschwunden ist. Wäre das nicht so, würde ich tatsächlich den wissenschaftlichen Wert infrage stellen, über das Innere eines schwarzen Lochs zu sprechen.

„Aber“, werden sie als Nächstes argumentieren, „weil die Lichtgeschwindigkeit endlich ist, das Universum aber erst 13,7 Milliarden Jahre alt ist, können wir nur einen Teil des Universums sehen, selbst wenn es unendlich groß ist.“ Natürlich glaube ich nicht, dass das Universum jenseits der Grenze dessen, was wir derzeit beobachten können, aufhört zu existieren.

Nun, wie ich schon so oft erklärt habe, geht es hier nicht darum, was ich glaube oder nicht glaube. Es geht darum, was wir wissen können oder nicht wissen können. Ich sage, dass das, was jenseits unserer Beobachtungsmöglichkeiten liegt, reine Glaubenssache ist. Die Wissenschaft sagt nichts darüber aus, ob es existiert oder nicht existiert. Daher ist sowohl die Behauptung, es existiere, als auch die Behauptung, es existiere nicht, awissenschaftlich. Wenn Sie darüber sprechen möchten, gerne. Aber tun Sie nicht so, als wäre es Wissenschaft. An diesem Punkt sind sie gewöhnlich entweder verwirrt oder beleidigt oder beides.

Der Grund, warum ich immer wieder darauf bestehe, dass Physiker endlich aufräumen und nicht Glaube mit Wissenschaft vermischen sollten, liegt darin, dass diese Verwirrung für Nichtfachleute offensichtlich ist. Physiker von Brian Greene über Leonard Susskind und Brian Cox bis hin zu Andrei Linde haben öffentlich über das Multiversum gesprochen, als wäre dies wissenschaftlich vorbildlich. Und weil Multiversum-Ideen viel mediale Aufmerksamkeit auf sich ziehen, wirft das ein schlechtes Licht auf die Fähigkeit der wissenschaftlichen Gemeinschaft, von ihren Mitgliedern hohe Standards einzufordern.

Ein prominentes Beispiel für den daraus entstehenden Schaden ist der republikanische Präsidentschaftskandidat von 2016, Ben Carson. Carson ist ein pensionierter Neurochirurg, der nicht besonders viel über Physik zu wissen scheint. Was er jedoch weiß, muss er von Multiversum-Enthusiasten gelernt haben. Am 22. September 2015 hielt Carson eine Rede an einer Baptistenschule in Ohio und erklärte seinem Publikum, dass „Wissenschaft nicht immer

richtig ist“. Das ist natürlich richtig. Anschließend begründete er seine Skepsis gegenüber der Wissenschaft jedoch, indem er sich über das Multiversum lustig machte:

„Und dann gehen sie zur Wahrscheinlichkeitstheorie über und sagen: ‚Aber wenn es über einen ausreichend langen Zeitraum genügend viele Urknalle gibt, wird einer davon der perfekte Urknall sein und alles wird perfekt organisiert sein.‘“

In einer früheren Rede fügte er fröhlich hinzu: „Ich meine — Sie wollen über Märchen reden? Das ist doch unglaublich.“

Nun ist offensichtlich, dass Carson in seinen Ausführungen vieles aus Thermodynamik und Kosmologie missverstanden hat. Aber darum geht es eigentlich nicht. Ich erwarte von Neurochirurgen nicht, dass sie Experten für die Grundlagen der Physik sind, und ich hoffe, Carsons Publikum erwartet das ebenfalls nicht. Der Punkt ist, dass er uns zeigt, was passiert, wenn Wissenschaftler Fakten mit Fiktion vermischen: Nichtfachleute verwerfen beides gemeinsam.

In seiner Rede fuhr Carson fort: „Dann sage ich zu ihnen: ‚Sehen Sie, ich werde Sie nicht kritisieren. Sie haben viel mehr Glauben als ich. ... Dafür zolle ich Ihnen Anerkennung. Aber ich werde Sie wegen Ihres Glaubens nicht herabsetzen, und Sie sollten mich wegen meines Glaubens ebenfalls nicht herabsetzen.‘“

Und da stimme ich ihm zu. Niemand sollte wegen dessen herabgesetzt werden, woran er glaubt. Wenn Sie glauben möchten, dass unendlich viele Universen mit unendlich vielen Kopien Ihrer selbst existieren, von denen einige unsterblich sind, ist das für mich völlig in Ordnung. Aber bitte tun Sie nicht so, als wäre es Wissenschaft.

## **Leben wir in einer Computersimulation?**

Ich finde die Vorstellung, dass wir in einer Computersimulation leben, durchaus sympathisch. Sie gibt mir Hoffnung, dass die Dinge auf der nächsten Ebene besser sein werden. Die Simulationshypothese, wie sie genannt wird, wurde von Physikern weitgehend ignoriert, erfreut sich aber einer gewissen Beliebtheit unter Philosophen und Menschen, die sich selbst gerne für intellektuell halten. Offenbar ist sie umso attraktiver, je weniger man von Physik versteht.

Die Simulationshypothese wird vor allem mit dem Philosophen Nick Bostrom verbunden, der argumentiert hat, dass uns reine Logik dazu zwingt, zu dem Schluss zu kommen, dass wir simuliert sind, sofern bestimmte Annahmen erfüllt sind, auf die ich gleich eingehen werde. Elon Musk gehört zu denjenigen, die diese Idee übernommen haben. „Es ist am wahrscheinlichsten, dass wir in einer Simulation sind“, sagte er. Und selbst Neil deGrasse Tyson gab der Simulationshypothese „bessere als 50:50-Chancen“, richtig zu sein.

Die Simulationshypothese nervt mich, aber nicht, weil ich Angst hätte, dass Menschen tatsächlich daran glauben. Die meisten verstehen, dass der Idee wissenschaftliche Strenge fehlt. Nein, die Simulationshypothese nervt mich, weil sie in das Terrain der Physiker eindringt. Sie ist eine kühne Behauptung über die Naturgesetze, die überhaupt nicht berücksichtigt, was wir über die Naturgesetze wissen.

Vereinfacht gesagt besagt die Simulationshypothese, dass alles, was wir erleben, von einem intelligenten Wesen programmiert wurde und dass wir Teil dieses Computercodes sind. Die Ansicht, dass wir in irgendeiner Form in einer Berechnung existieren, ist an sich keine absurde

Behauptung. Soweit wir derzeit wissen, sind die Naturgesetze mathematisch. Man könnte daher sagen, dass das Universum diese Gesetze gewissermaßen einfach berechnet. Sie mögen diese Terminologie etwas seltsam finden, und ich würde dem zustimmen, aber sie ist nicht kontrovers. Der kontroverse Teil der Simulationshypothese besteht darin, dass sie eine weitere Realitätsebene voraussetzt, auf der irgendein Wesen oder irgendeine Sache kontrolliert, was wir für die Naturgesetze halten, oder sogar in diese Gesetze eingreift.

Der Glaube an ein allwissendes Wesen, das in die Naturgesetze eingreifen kann, sich uns aber aus irgendeinem Grund verborgen hält, ist ein verbreitetes Element monotheistischer Religionen. Der Unterschied besteht darin, dass diejenigen, die an die Simulationshypothese glauben, behaupten, sie seien durch rationales Denken zu ihrem Glauben gelangt. Ihre Argumentation folgt normalerweise eng dem Argument von Nick Bostrom, das sich grob so zusammenfassen lässt: Wenn es (a) viele Zivilisationen gibt und diese Zivilisationen (b) Computer bauen, die Simulationen bewusster Wesen ausführen, dann gibt es (c) sehr viel mehr simulierte bewusste Wesen als reale. Also ist es wahrscheinlich, dass Sie in einer Simulation leben.

Zunächst einmal könnte eine oder beide Voraussetzungen falsch sein. Vielleicht gibt es keine anderen Zivilisationen oder sie interessieren sich nicht für Simulationen. Das würde das Argument natürlich nicht falsch machen. Es würde lediglich bedeuten, dass man die Schlussfolgerung nicht ziehen kann. Ich möchte die Möglichkeit, dass eine der Voraussetzungen falsch ist, jedoch beiseitelassen, weil ich nicht glaube, dass wir gute Belege für die eine oder andere Seite haben.

Der Punkt, den ich am häufigsten am Argument von Bostrom kritisiert sehe, ist, dass er einfach voraussetzt, dass es möglich ist, menschenähnliches Bewusstsein zu simulieren. Wir wissen tatsächlich nicht, ob das möglich ist. In diesem Fall müsste man allerdings erklären, warum es nicht möglich sein sollte.

Denn nach allem, was wir derzeit wissen, ist Bewusstsein schlicht eine Eigenschaft bestimmter Systeme, die große Mengen an Information verarbeiten. Es spielt keine entscheidende Rolle, auf welcher physikalischen Grundlage diese Informationsverarbeitung beruht. Es könnten Neuronen oder Transistoren sein, oder Transistoren, die glauben, sie seien Neuronen. Ich glaube nicht, dass die Simulation von Bewusstsein der problematische Teil ist.

Der problematische Teil von Bostroms Argument besteht darin, dass er voraussetzt, es sei möglich, all unsere Beobachtungen nicht mit den Naturgesetzen zu reproduzieren, die Physiker mit extrem hoher Präzision bestätigt haben, sondern mit einem anderen, zugrunde liegenden Algorithmus, den der Programmierer ausführt. Ich glaube nicht, dass Bostrom dies beabsichtigt hat, aber genau das hat er getan. Er hat implizit behauptet, es sei einfach, die Grundlagen der Physik mit etwas anderem zu reproduzieren. Das ist der problematische Teil seines Arguments.

Zunächst einmal enthält die Quantenmechanik Phänomene, die sich mit einem gewöhnlichen Computer nicht in endlicher Zeit berechnen lassen. Zumindest bräuchte man daher einen Quantencomputer, um die Simulation auszuführen, also einen Computer, der mit Quantenbits oder kurz Qubits arbeitet, die Superpositionen zweier Zustände, beispielsweise 0 und 1, darstellen.

Aber niemand weiß bisher, wie man die allgemeine Relativitätstheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik aus einem Computeralgorithmus reproduzieren kann, der auf irgendeiner Art von Maschine läuft. Einfach „Quantencomputer!“ zu rufen und mit den Händen zu wedeln, hilft nicht weiter. Man kann die uns bekannten Naturgesetze mit einer Computersimulation approximieren. Das tun wir ständig. Aber wenn die Natur tatsächlich auf diese Weise funktionieren würde, könnten wir den Unterschied erkennen. Tatsächlich haben Physiker nach Anzeichen dafür gesucht, dass Naturgesetze wirklich Schritt für Schritt wie Computercode ablaufen. Ihre Suche war bislang erfolglos. Man kann den Unterschied erkennen, weil alle bekannten Versuche, Naturgesetze algorithmisch zu reproduzieren, mit den vollständigen Symmetrien von Einsteins Theorien der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie unvereinbar sind. Einstein zu übertreffen ist nicht einfach.

Dieses Problem besteht unabhängig davon, welche Gesetze in der übergeordneten Realität gelten, aus der der Programmierer uns angeblich simuliert. Wir kennen keinen Algorithmus irgendeiner Art, der die von uns beobachteten Gesetze erzeugen würde, unabhängig davon, worauf dieser Algorithmus ausgeführt wird. Wenn wir einen solchen Algorithmus kennen würden, hätten wir eine Theorie von allem gefunden.

Ein zweites Problem mit Bostroms Argument besteht darin, dass eine Zivilisation in der Lage sein muss, sehr viele bewusste Wesen zu simulieren, und dass diese bewussten Wesen ihrerseits versuchen werden, bewusste Wesen zu simulieren, und so weiter.

Man kann sich zwar vorstellen, ein einzelnes Gehirn mitsamt seinen Eingaben zu simulieren. In diesem Fall würde die Schlussfolgerung, dass wir wahrscheinlich in einer Simulation leben, weil es mehr simulierte als reale Gehirne gibt, jedoch nicht funktionieren. Man benötigt tatsächlich sehr viele Gehirne. Das bedeutet wiederum, dass man die Information komprimieren muss, von der wir glauben, dass das Universum sie enthält, denn andernfalls würden die Simulationen sehr schnell keinen Speicherplatz mehr haben.

Bostrom muss daher voraussetzen, dass es irgendwie möglich ist, sich in bestimmten Teilen der Welt, die gerade niemand betrachtet, nicht besonders um die Details zu kümmern und diese Details erst dann einzusetzen, wenn jemand hinschaut.

Aber auch hier erklärt er nicht, wie das funktionieren soll. Welche Art von Computercode kann so etwas tatsächlich leisten? Welcher Algorithmus kann bewusste Subsysteme und ihre Absichten erkennen und anschließend schnell die erforderlichen Informationen ergänzen, ohne jemals eine beobachtbare Inkonsistenz zu erzeugen?

Das ist ein wesentlich schwierigeres Problem, als Bostrom offenbar annimmt. Es setzt nicht nur voraus, dass Bewusstsein rechnerisch reduzierbar ist, denn sonst könnte man nicht vorhersagen, wohin jemand gleich schauen wird, bevor er hinschaut. Außerdem kann man im Allgemeinen physikalische Prozesse auf kurzen Distanzen nicht einfach wegwerfen und trotzdem auf großen Distanzen das richtige Ergebnis erhalten.

Globale Klimamodelle sind ein hervorragendes Beispiel dafür. Wir verfügen derzeit nicht über die Rechenleistung, um Entfernungen unterhalb von ungefähr zehn Kilometern aufzulösen. Aber man kann nicht einfach die gesamte Physik unterhalb dieser Skala verwerfen. Das ist ein nichtlineares System. Daher hinterlassen Details auf kurzen Skalen Spuren auf großen Skalen — Schmetterlinge, die Tornados auslösen, und so weiter. Wenn man die Physik auf kurzen Distanzen nicht berechnen kann, muss man sie zumindest angemessen ersetzen.

Selbst dies näherungsweise richtig zu machen, ist eine große Herausforderung. Der einzige Grund, warum Klimawissenschaftler dies ungefähr richtig hinbekommen, besteht darin, dass sie Beobachtungen besitzen, anhand derer sie überprüfen können, ob ihre Näherungen funktionieren. Wenn man jedoch nur eine Simulation hat, wie der Programmierer in der Simulationshypothese, kann man das nicht tun.

Das ist mein Problem mit der Simulationshypothese. Ihre Anhänger machen große Annahmen, möglicherweise ohne es zu wissen, darüber, welche Naturgesetze durch Computersimulationen reproduziert werden können, und sie erklären nicht, wie dies funktionieren soll. Alternative Erklärungen zu finden, die all unsere Beobachtungen mit hoher Präzision reproduzieren, ist jedoch wirklich schwierig. Ich sollte es wissen, denn genau damit beschäftigen wir uns in den Grundlagen der Physik.

Vielleicht verdrehen Sie jetzt die Augen und denken: „Komm schon, lass die Nerds doch ein bisschen Spaß haben.“ Und sicher, ein Teil dieser Diskussion ist einfach intellektuelle Unterhaltung. Aber ich glaube nicht, dass die Popularisierung der Simulationshypothese völlig harmlos ist. Sie vermischt Wissenschaft mit Religion, was im Allgemeinen keine gute Idee ist, und ehrlich gesagt denke ich, dass wir uns über wichtigere Dinge Gedanken machen sollten als darüber, dass uns jemand den Stecker zieht.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Die Simulationshypothese ist kein ernsthaftes wissenschaftliches Argument. Das bedeutet nicht, dass sie falsch ist. Es bedeutet aber, dass man an sie aufgrund von Glauben glauben müsste und nicht, weil die Logik auf ihrer Seite wäre.

---

## Die kurze Antwort

Die Vorstellung, dass Kopien von uns im Multiversum existieren, ist **nicht wissenschaftlich**, weil solche Kopien sowohl unbeobachtbar als auch nicht notwendig sind, um das zu erklären, was wir beobachten.

Multiversumstheorien wurden von Physikern vorangetrieben, die glauben, dass Mathematik real ist, anstatt ein Werkzeug zur Beschreibung der Realität zu sein.

Sie dürfen daher gerne glauben, dass Kopien von Ihnen existieren, wenn Sie möchten. Es gibt jedoch keine Hinweise darauf, dass dies tatsächlich der Fall ist.

Die Hypothese, dass unser Universum eine Computersimulation ist, erfüllt den derzeitigen wissenschaftlichen Standard nicht.