

Würfelt Gott?

Gert-Ludwig Ingold

Sehr geehrte Damen und Herren,
das Motto dieses Semesters lautet „Risiko“ und möglicherweise sind Sie ein solches eingegangen als Sie sich entschieden haben, diesen Hochschulgottesdienst zu besuchen. Sie konnten zum Beispiel nicht wissen, ob die heutige Ansprache interessant sein würde. Ein Risiko lässt sich nur dann eingehen wenn sichere Informationen über gewisse zukünftige Ereignisse fehlen. In unserem Fall hilft auch die Tatsache nichts, dass das Redemanuskript, mit dessen Hilfe Sie die Qualität des Vortrag hätten beurteilen können, gestern schon existierte.

Die Freiheit, ein Risiko eingehen zu können, setzt also voraus, dass die Zukunft nicht schon in der Gegenwart vorausbestimmt ist oder – als zweite Möglichkeit – dass es uns nur nicht möglich ist, die Zukunft vorherzusehen. Vielleicht ist aber alles schon vorausbestimmt, ohne dass wir die Fähigkeit besitzen, dies zu erkennen. Im Grunde stellt sich hier nicht nur die Frage nach der Freiheit, ein Risiko eingehen zu können, sondern nach der Freiheit jeglichen menschlichen Handelns überhaupt sowie der damit verbundenen Verantwortung.

Die Erfahrung lehrt uns, dass wir nicht in der Lage sind, die Zukunft immer richtig vorherzusagen, auch wenn es uns manchmal durchaus gelingen mag. Vielleicht besitzt Gott diese Fähigkeit, vielleicht sieht er sogar nicht nur die Zukunft voraus, sondern bestimmt sie selbst. Darauf deuten zum Beispiel die Worte des Matthäus hin: „Dies alles ist geschehen, damit sich erfüllte, was der Herr durch den Propheten gesagt hat.“ (Mt 1,22)

Ich möchte im Folgenden die Frage nach der Vorhersagbarkeit aus einer physikalischen Perspektive beleuchten und dabei zwei verschiedene Ausgangspunkte wählen: Zunächst werde ich den Standpunkt der klassischen Physik einnehmen, wie sie im 17. und 18. Jahrhundert entwickelt wurde. Im zweiten Teil möchte ich dann auf die Veränderungen zu sprechen kommen, die sich im 20. Jahrhundert durch die Quantentheorie ergeben haben.

Im 17. Jahrhundert gab es einen berühmten Gelehrten, der sich unter anderem mit theologischen Fragestellungen beschäftigte. Vor allem interessierten ihn die apokalyptischen Texte wie das Buch Daniel, aus dem wir in der Lesung einen Ausschnitt gehört haben, und die Offenbarung des Johannes, also gerade jene Teile der Bibel, die uns Aufschluss über die Zukunft geben könnten. Die Entschlüsselung dieser Texte ist alles andere als offensichtlich, doch unser Gelehrter war überzeugt, dass diese Entschlüsselung möglich sein müsse. Warum sollte uns Gott diese prophetischen Texte zugänglich machen, wenn er uns damit nicht eine Nachricht übermitteln wollte?

Isaac Newton, um keinen Geringeren handelt es sich hier, ist heute weniger wegen seiner theologischen Forschungen bekannt als wegen seiner bahnbrechenden Beiträge zur Physik. Auch dort ging es ihm unter anderem darum, Aussagen über die Zukunft zu gewinnen. Die Newtonsche Bewegungsgleichung, auch nach über 300 Jahren noch immer zentraler Bestandteil der klassischen Mechanik, erlaubt es zum Beispiel, die zukünftige Entwicklung eines mechanischen Systems zu berechnen. Hierzu muss man zum einen alle Kräfte kennen, die zwischen den verschiedenen Bestandteilen des Systems wirken. Außerdem wird die Kenntnis aller anfänglichen Orte und Geschwindigkeiten der einzelnen Teile benötigt. Dann ist es mit Hilfe der Newtonschen Bewegungsgleichung zum Beispiel möglich, die Bewegung der Planeten im Sonnensystem vorauszurechnen oder Sonnenfinsternisse vorherzusagen.

Von den Newtonschen Arbeiten ausgehend diskutiert Pierre Simon Laplace in seinem Essai *philosophique sur les probabilités* von 1812 ein hypothetisches Wesen, das Folgendes leisten können soll: es soll in der Lage sein, die Orte und Geschwindigkeiten aller Bestandteile des Universums zu einem bestimmten Zeitpunkt zu kennen. Zudem mit einer ungeheuren Rechenfähigkeit ausgestattet, müsste es diesem Wesen möglich sein, die weitere Entwicklung der Welt präzise vorherzusehen. Wenn alles vorherbestimmt ist, kann es mit der menschlichen Handlungsfreiheit nicht sehr weit her sein. Allerdings lassen sich Einwände gegen diese pessimistische Folgerung vorbringen.

Wenn dieses Wesen die vollständige Information über den Zustand der Welt zu einem gewissen Zeitpunkt besitzen soll, dann muss es, sofern es zu dieser Welt gehört, auch seinen eigenen Zustand vollständig kennen – einen Zustand, der wiederum von der Kenntnis des Zustands abhängig ist. Dieses Problem ließe sich jedoch umgehen, wenn das Wesen außerhalb dieser Welt zu sehen ist. Könnte Gott die Fähigkeiten dieses hypothetischen Wesens besitzen?

Ein zweites Problem ist die Präzision, mit der der Zustand der Welt oder selbst eines einzelnen Teilchens in dieser Welt bekannt sein kann. Bei jeder Messung gibt es Fehler und die Frage ist, inwieweit es sich negativ auswirkt, wenn der anfängliche Zustand nur mit einer gewissen Genauigkeit bekannt ist. Dann gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Szenarien.

Einerseits kann es sein, dass die zukünftige Bewegung nicht sonderlich von den Anfangsbedingungen abhängt. Kleine Messfehler sind dann verzeihlich. Betrachten wir als Beispiel Regentropfen, die an verschiedenen Stellen in Augsburg auf den Boden treffen, also teilweise einen erheblichen Abstand voneinander haben. Wenn die Tropfen nicht verdunsten oder ihnen ein anderes Missgeschick widerfährt, finden sich alle Regentropfen einige Zeit später in der Donau wieder, auf der langen Reise Richtung Schwarzes Meer.

Es gibt aber auch Situationen, in denen sich kleinste Veränderungen in den Anfangsbedingungen dramatisch auswirken. Stellen wir uns einen Regentropfen vor, der nahe einer Wasserscheide, zum Beispiel im Schwarzwald, zu Boden fällt. Auch hier mag sich ein Regentropfen nach einiger Zeit in der Donau und später im Schwarzen Meer wiederfinden. Ein anderer Regentropfen, der nur knapp auf der anderen Seite der Wasserscheide auftrifft, wird dagegen den Weg über den Rhein in die Nordsee nehmen. Ein winziger anfänglicher Abstand, vielleicht nur Millimeter, hat bald eine Distanz von zweitausend Kilometern zur Folge.

Diese extreme Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen ist typisch für chaotische Systeme, wobei hier der Zufall überhaupt keine Rolle spielt. Im Prinzip ist die Zukunft genau vorhersagbar. Wenn allerdings kleinste Fehler bei der Be-

schreibung des Anfangszustands auftreten, wird die Zukunft de facto sehr schnell ungewiss.

Die beiden beschriebenen Szenarien lassen sich durchaus im Leben wiederfinden. Über lange Strecken mag sich das eigene Leben sehr vorhersehbar entwickeln. Manchmal gibt es jedoch Momente, in denen Kleinigkeiten eine große oder gar entscheidende Auswirkung haben. Gelegentlich kann es ein ganzes Leben verändern, irgendwo eine Minute zu früh oder zu spät angekommen zu sein. Solche Situationen können mit großen Risiken oder auch großen Chancen verknüpft sein und sind vielleicht das Salz in der Suppe des Lebens.

Wie wir gesehen haben, stoßen wir bereits in der klassischen Physik an die Grenzen der Vorhersagbarkeit, obwohl dennoch alles genau vorbestimmt ist. Grund hierfür ist unsere Unfähigkeit, den Zustand des gesamten Universums oder selbst eines kleinen Teils davon mit absoluter Präzision zu kennen. Allerdings gaukelt uns die praktische Unvorhersehbarkeit der Zukunft eine Handlungsfreiheit nur vor, denn die Gesetze der klassischen Physik sind deterministisch und damit ist die Zukunft eindeutig vorherbestimmt.

Seit der Entwicklung der Quantentheorie zu Beginn des 20. Jahrhunderts stellt sich die Situation neu dar. Ein zentrales Ergebnis dieser Theorie, die Heisenbergsche Unschärferelation, verbietet nämlich, gleichzeitig Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens genau zu kennen. Damit ergibt sich selbst ohne Messfehler eine prinzipielle Schwierigkeit, den Anfangszustand eines Systems zu kennen. Lassen Sie mich versuchen, die Unschärferelation mit einer Analogie zu veranschaulichen. Betrachten wir beispielsweise eine grüne Kugel und einen roten Würfel. Bei Farbenblindheit lassen sich zwar die Formen, Kugel und Würfel, unterscheiden, nicht aber die Farben. Sieht man dagegen unscharf, so lassen sich nur die Farben, also grün und rot, unterscheiden. In Rahmen dieser Analogie muss ein Beobachter in der Quantentheorie entweder farbenblind oder kurz-sichtig sein oder beides gleichzeitig zumindest bis zu einem gewissen Grade.

Albert Einstein war mit dieser Situation sehr unzufrieden und versuchte schließlich zusammen mit Boris Podolsky und Nathan Rosen im Jahre 1935 nachzuweisen, dass die Quantentheorie unvollständig sein müsse. Die grüne Kugel und der rote Würfel können uns helfen, die Argumentation dieser drei Physiker zu verstehen. Wir verpacken die beiden Gegenstände und schicken das eine Paket nach München und das andere nach Ulm. Dort werden die Pakete geöffnet und der Gegenstand jeweils von einem Farbenblinden betrachtet. Der Münchner Farbenblinde wird nicht im Voraus wissen, ob er eine Kugel oder einen Würfel findet, aber in dem Moment, in dem er eines von beiden findet, ist auch klar, was der Ulmer Farbenblinde finden wird. Daran ist natürlich nichts Besonderes, denn die Kugel in unserem Experiment war schon immer eine Kugel und der Würfel war schon immer ein Würfel.

Interessanter wird es, wenn wir kurzfristig entscheiden, den Farbenblinden durch einen Kurzsichtigen zu ersetzen, der entweder etwas Grünes oder etwas Rotes finden wird. Auch hier könnte man einwerfen, dass der Inhalt des Pakets schon die ganze Zeit eine bestimmte Farbe hatte. Das bedeutet aber, dass für jeden Gegenstand schon von Anfang an festgelegt war, ob es sich um eine grüne Kugel oder einen roten Würfel handelt. In der klassischen Physik wäre das kein Problem, wohl aber in der Quantentheorie. Denn im Rahmen unserer Analogie hatten wir ja gesagt, dass wir nicht gleichzeitig Form und Farbe der Gegenstände kennen können.

Ein möglicher Ausweg wäre, die Quantentheorie durch so genannte versteckte Variablen zu ergänzen, die sich dadurch auszeichnen, dass sie Form und Farbe bestimmen. Uns bleibt die Kenntnis dieser Variablen dagegen verwehrt, sie sind ja versteckt. In diesem Falle hätten wir keine von der Quantentheorie verbotene Information. Der Ausgang der Messung wäre aber dennoch insgeheim von Anfang an festgelegt.

Die entscheidende Frage ist nun: gibt es solche versteckten Variablen? Hier ist etwas zu suchen, von dem man überhaupt nicht weiß, ob es existiert. Bedeutet es, wenn man keine versteckten Variablen findet, nur, dass man nicht genau genug gesucht hat?

Es erschien zunächst hoffnungslos, diese Frage zu entscheiden. Fast 30 Jahre später konnte der irische Physiker John Bell jedoch zeigen, wie man die Nichtexistenz versteckter Variablen experimentell nachweisen kann. Allerdings gibt es bei dieser Idee zwei Schlupflöcher, die ausgeschlossen werden müssen. In unserer Analogie dürfen sich die Münchner und die Ulmer nicht absprechen. Außer dem dürfen sie kein Paket (oder so gut wie keines) gezielt aussortieren. In der Praxis ist es alles andere als einfach, diese beiden Probleme zu umgehen und bis jetzt ist es nur gelungen, entweder das eine oder das andere Schlupfloch auszuschießen. Wenn man aber davon ausgeht, dass die Natur nicht beide Schlupflöcher gleichzeitig ausnutzt, und das glaubt inzwischen praktisch niemand mehr, so ist die Antwort seit kurzem klar: Es gibt keine versteckten Variablen!

Dies ist eine bemerkenswerte Aussage, denn sie impliziert, dass das Ergebnis einer einzelnen Messung im Allgemeinen nicht genau vorherbestimmt ist, auch nicht insgeheim. Als John Bell im Jahre 1963 die entscheidende Einsicht hatte, die zu diesem Resultat führte, war Albert Einstein bereits tot. Bis zu seinem Lebensende vertrat er die Ansicht, die er unter anderem in einem Brief vom März 1942 zum Ausdruck brachte:

Es scheint schwierig, Gott in die Karten zu schauen. Doch kann ich keinen Augenblick lang glauben, dass der Alte würfelt und sich telepathischer Mittel bedient (wie die gegenwärtige Quantenmechanik von ihm verlangt).

Heute sieht es so aus, als würde Gott durchaus gelegentlich würfeln – warum sollte er auch nicht? Für uns Menschen bedeutet dies, dass die Zukunft im Allgemeinen nicht vorhersehbar ist, so dass immer wieder Risiken einzugehen sind. Die Frage, ob uns damit auch echte Handlungsfreiheit garantiert ist, bleibt allerdings offen.