

Anton Zeilinger
Der Zufall als Notwendigkeit
für eine offene Welt

*»Jedenfalls bin ich überzeugt, daß
der Alte nicht würfelt.«*

ALBERT EINSTEIN, Brief an Max
Born vom 4. Dezember 1926

Albert Einsteins erste Kritik an der Quantenphysik setzte bereits sehr früh ein. Dies war schon bei der 81. Jahresversammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte in Salzburg im September 1909. Albert Einstein hatte vier Jahre zuvor in seinem »annus mirabilis« 1905 als damals noch vollkommen unbekannter, kleiner Sachbearbeiter am Eidgenössischen Patentamt fünf Arbeiten veröffentlicht, von denen einige das Weltbild der Physik auf den Kopf stellen sollten. Dazu gehörte die Arbeit, in der er seine Relativitätstheorie vorstellte und auch die, in der die wohl bekannteste Gleichung der Physik, $E=mc^2$, zum ersten Mal auftrat. In der ersten dieser Arbeiten im März befasste er sich jedoch mit der Quantenphysik. Er schlug vor, dass Licht aus sogenannten Lichtquanten besteht, die später Photonen genannt wurden. Diese Arbeit wurde übrigens lange nicht akzeptiert. So findet sich in dem berühmten Schreiben von Planck, Nernst, Rubens und Warburg vom 12. Juni 1913, in dem sie Einstein als Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften vorschlugen, der berühmte Passus: »Dass er in seinen Spekulationen

in: Anton Zeilinger, Helmut Leder, Elisabeth Lichtenberger, Jürgen Mittelstraß u.a., "Der Zufall als Notwendigkeit", Band 132 der Serie "Beiträge aus unterschiedlichen Disziplinen über Einfluss und Wirkung des Zufalls", Picus Verlag, Wien, Juni 2007.
ISBN 978-3-85452-532-5

gelegentlich auch einmal über das Ziel hinausgeschossen haben mag, wie zum Beispiel in seiner Hypothese der Lichtquanten, wird man ihm nicht allzu schwer anrechnen dürfen.« Umso bemerkenswerter ist es, dass Albert Einstein schon 1909 auf dem erwähnten Kongress in Salzburg seinem »Unbehagen« über die neue Rolle des Zufalls Ausdruck verlieh, die in der Quantenphysik herrscht.

Jürgen Mittelstraß weist in seinem Aufsatz darauf hin, dass schon für Aristoteles das Notwendige dasjenige war, was nicht anders sein kann, und das Zufällige das, was keine bestimmte Ursache besitzt. In diesem Sinne gab es im Weltbild der klassischen Physik eigentlich keinen Zufall, wie Taschner unter Verweis auf Laplaces Überlegungen zur Planetenbewegung ausführt. Die Gesetze der klassischen Physik sind eben im Kern deterministisch. Es ist zwar so, dass wir im Allgemeinen die genaue Ursache-Wirkungskette für ein einzelnes Ereignis nicht angeben können. So können wir etwa nicht genau angeben, warum in Winiwarters Geschichte die Person gerade auf dieser Eisplatte ausgerutscht ist, was dann letztlich zur Änderung des Lebens der Person geführt hat. Winiwarter weist implizit offenbar auch darauf hin, dass, wenn nicht alle, so doch wohl die meisten wichtigen Ereignisse in der Biografie jedes Einzelnen durch Zufall zustande kommen. Wenn wir also nicht angeben können, warum das Unglück auf der Eisplatte gerade zu dem Zeitpunkt und auf diese Weise stattgefunden hat, so sagen uns die Gesetze der klassischen Physik doch, dass das Abfließen ein kausales war. Das heißt, wenn alle Anfangsbedingungen des Universums genau gegeben sind – und dies sind sie, unabhängig davon, ob wir sie wissen

oder nicht, oder sogar ob wir sie wissen können oder nicht –, so ist das weitere Geschehen eindeutig determiniert. Der Sturz auf dem Eis ist eine Notwendigkeit und kein Zufall, und wir können uns beruhigt zurücklehnen und die Welt wie ein ablaufendes Uhrwerk betrachten.

Albert Einstein hatte schon 1909 erkannt, dass dieses Bild im Fall der Quantenphysik zusammenbricht. Dies ist schon für sich höchst bemerkenswert, da zu diesem Zeitpunkt die moderne Quantentheorie noch keineswegs voll ausformuliert war. Es ist auch dies ein Beleg für Einsteins hervorragende Intuition. Bemerkenswert ist eben, dass in der Quantenphysik die kausale Erklärbarkeit des Einzelereignisses wegfällt. Was wir allerdings genau beschreiben können, ist das Verhalten großer Ensembles. Das Einzelereignis entzieht sich grundsätzlich der Beschreibbarkeit. Es ist nicht nur unser Nichtwissen. Daran ändert sich auch nichts durch die von Mittelstraß erwähnte Bohmsche Interpretation. Wenn man dort zwar ein Bild einer kausalen Bahn für ein einzelnes Teilchen mathematisch konstruieren kann, entzieht sich das Einzelereignis nach wie vor der vollständigen Vorhersagen liefernden Beschreibbarkeit. Dies folgt daraus, dass die Anfangsbedingung nicht nur nicht kontrollierbar, sondern auch nicht erfassbar ist. Diese Nichterfassbarkeit gilt wohl auch für einen Laplaceschen Dämon – es sei denn, dieser Dämon könnte auf nichtphysikalische Methoden des Informationsgewinns zurückgreifen.

Gehen wir also davon aus, dass sich langfristig die Kopenhagener Interpretation der Quantenphysik durchsetzen wird. Dafür kann man viele Gründe angeben, unter anderem den einer extremen Ökonomie an Konzepten, ganz im Sinne Ockhams »Entia non sunt multipli-

canda praeter necessitatem«. Der Zufall des quantenmechanischen Einzelereignisses bedeutet dann wirklich, dass einem hier etwas zu-fällt, ohne weitere Begründbarkeit und ohne weitere Möglichkeit einer Begründung. Interessanterweise spielt gerade dieser Zufall in neuen technologischen Ansätzen zur Informationsübertragung und Informationsverarbeitung eine zentrale Rolle. Ein Beispiel ist etwa die Quantenkryptographie, bei der der Zufall des Einzelereignisses dazu verwendet werden kann, einen rein zufälligen Schlüssel zu erzeugen, mit dem Nachrichten auf absolut sichere Weise verschlüsselt werden können.

Der quantenmechanische Zufall bedeutet also, dass es sehr wohl rein Zufälliges im aristotelischen Sinne gibt. Zufälliges, das keine bestimmte Ursache besitzt. Der wirkliche, faktische Zustand der Welt ist also nicht durch Anfangsbedingungen vorgegeben. Die Welt ist offen, die Welt ist nicht verurteilt, ein deterministisch ablaufendes Uhrwerk zu sein.

Die Frage, die wir uns nun stellen, ist die, wie weit diese quantenmechanische Zufälligkeit auf das Mikroskopische beschränkt ist, oder ob sie gar ihre Konsequenzen im Makroskopischen haben kann. Hier sei wieder kurz an Monods »Zufall und Notwendigkeit« erinnert. Die einzelne Mutation, die einzelne spontane Änderung der Erbinformation wird als zufällig angesehen. Wie sehr ist dieser Zufall ein objektiver? Genetische Veränderungen können durch sehr viele Auslöser bewirkt werden, darunter vor allem chemische und thermodynamische. Jedoch kann es durchaus sein, dass der Auslöser einer Mutation ein quantenphysikalischer ist. Ganz konkret ist es sicher so, dass einzelne Teilchen aus der kosmischen

Strahlung oder aus dem radioaktiven Zerfall eines Atoms eine Mutation bewirken können. Dies ist grundsätzlich nicht vermeidbar, da wir ja selbst, unsere eigenen Körper, unvermeidbar radioaktives Kalium beinhalten. Dies deshalb, da die Halbwertszeit des Kaliums so groß ist, dass es seit Beginn des Universums noch nicht genug Zeit hatte, vollständig zu zerfallen. Also spielt der quantenmechanische Zufall auch in der Evolution eine Rolle und ist grundsätzlich nicht ausschließbar.

Dass dieser Zufall auch in anderen Ereignissen eine Rolle spielen könnte, wie etwa dem anfangs diskutierten Ausrutschen auf dem Eis oder gar dem von Elisabeth Lichtenberger diskutierten Erdbeben von Lissabon, ist natürlich reine Spekulation. Es ist jedoch wohlbekannt, dass bei Systemen, die knapp vor einer spontanen Änderung ihres physikalischen Zustandes stehen, winzigste Auslöser diese Änderung herbeiführen können. Es mag übertrieben sein, solche Überlegungen auch für die eben erwähnten Ereignisse zuzulassen. Prinzipiell ausschließbar ist dies jedoch nicht.

Der Zufall stellt also offenbar ein konstitutives Element unserer Welt dar. Es geht nicht nur darum, ihn nicht aus der Welt zu verbannen, sondern ihn als Quelle für Neues schlechthin zu sehen. Wenn man dies akzeptiert, so gilt es, durch unser Handeln Bedingungen zu schaffen, bei denen der Zufall die Möglichkeit hat, etwas Positives zu bewirken. Dies mag naiv klingen, aber es ist wohl so, dass wir unseren Musilschen »Möglichkeits-sinn« bisher noch nicht genug entwickelt haben.

Im Sinne eines Beitrages zur Entwicklung dieses Möglichkeitssinns sei Helmut Leder, Elisabeth Lichtenberger, Jürgen Mittelstraß, Rudolf Taschner und Verena

Winiwarter sehr herzlich für ihre Beiträge zum Thema »Zufall« in ihren sehr verschiedenen Wissenschaften gedankt. Besonderer Dank gilt Hubert Christian Ehalt für den enormen und wichtigen Beitrag, den seine Wiener Vorlesungen zur Entwicklung des Möglichkeitssinns leisten.