

SCHRIFTENREIHE DER FAKULTÄT FÜR MATHEMATIK

Zufall - Eine Randerscheinung in unserer Welt  
oder Allgegenwärtig?

by

Ulrich Herkenrath

SM-UDE-766

2013

Eingegangen am 20.03.2013

ZUFALL - EINE RANDERSCHEINUNG IN UNSERER WELT  
ODER ALLGEGENWÄRTIG?

von

Ulrich Herkenrath

# 1 Ereignisse und ihr Zustandekommen

## 1.1 Grundlagen, Bezeichnungen und Beispiele

Ereignisse behandle ich hier auf der Ebene der Phänomene, in der „Welt des Erscheinenden“, mit dem Zugang der naturwissenschaftlichen Erkenntnis. Diese basiert letztlich auf Materiellem, d.h. materiellen Wechselwirkungen oder materiell ablaufenden Prozessen. So spreche ich auch von Ursache und Wirkung nur dann, wenn solch eine Beziehung auf dieser materiellen Basis nachvollziehbar ist.

Unter einem Ereignis verstehe ich einen Vorgang, der aus einer Konstellation von Zuständen der natürlichen Wirklichkeit, bezeichnet als Anfangssituation, unter Einwirkung eines Umweltreizes, auch Innovation genannt, eine neue solche Konstellation von Zuständen hervorbringt, die Endsituation. Dabei sind Anfangs- und Endsituation jeweils auf einen Zeitpunkt bezogen, während die Innovation auf den Zeitraum bezogen ist, in dem sich der Übergang von Anfangs- zu Endsituation vollzieht. Manche Autoren bezeichnen die von einem Ereignis in diesem Sinne hervorgebrachte Endsituation alleine schon als Ereignis. Dann steht allerdings wiederum ein Vorgang, der zu einem solchen „Ereignis“ geführt hat, im Hintergrund, im Gegensatz zu der Benennung „Zustand“, einem rein statischen Begriff. Wir nennen Anfangssituation, Innovation und Endsituation die Komponenten eines Ereignisses. Es ist zugelassen, dass Anfangssituation, Innovation und Endsituation alleine von der Natur gesetzt bzw. hervorgebracht werden, oder ein Lebewesen, insbesondere ein Mensch, diese wählt oder einrichtet oder Natur und Lebewesen beide zusammen Einfluss auf diese Komponenten eines Ereignisses ausüben. Handlungen von Lebewesen können absichtslos oder gerade mit Plan und Absicht vorgenommen werden. In der folgenden Liste sind Beispiele für Ereignisse gegeben.

### Beispiele für Ereignisse

- (1) Ein Apfel fällt von einem Baum aus 2m Höhe zur Erde,
- (2) ein Experimentator lässt einen Stein aus 2m Höhe zur Erde fallen,

- (3) ein Experimentator zieht „rein zufällig“ oder absichtslos eine Kugel aus einer Urne mit mehreren Kugeln,
- (4) ein Experimentator wirft einen Würfel,
- (5) das Zustandekommen des täglichen Schlusskurses einer bestimmten Aktie an der Frankfurter Börse,
- (6) das Zustandekommen des durchschnittlichen Jahresschadens einer Versicherungspolice bezogen auf einen konkreten Bestand an Versicherungspolicen,
- (7) zwei alte Freunde aus Deutschland, die seit Jahren nichts mehr voneinander gehört hatten, treffen sich zufällig auf einem Parkplatz am Rande einer Straße durch die Rocky Mountains,
- (8) auf einem Bürgersteig liegt eine leere Blechdose, ein junger Mann, der vorbeigeht, tritt vor die Dose, so dass sie auf die Straße fliegt und ein vorbeifahrendes Auto deshalb einen Unfall verursacht,
- (9) auf einem Platz fährt ein Auto auf ein spielendes Kleinkind zu, ein junger Mann steht nahe bei dem Kind und sieht das, er springt herbei und bringt unter Einsatz seiner Gesundheit das Kind in Sicherheit,
- (10) als Ergebnis eines technischen Versuches misst ein Experimentator die Länge 1,6254 m.

Anfangssituation, Innovation und Endsituation werden von einem Beobachter des Ereignisses umrissen oder definiert. Damit ist die Betrachtung eines Ereignisses eingeschränkt auf eine oft nicht scharf begrenzte Umgebung mit räumlicher und zeitlicher Dimension als Ausschnitt der Wirklichkeit, man könnte sagen, auf ein System. Anfangs- und Endsituation wären dann Zustände eines Systems. Oft interessieren nur bestimmte Aspekte oder Teilinformationen der Anfangs- und Endsituation bzw. des Übergangs, so etwa in Beispiel (1) die Zeit zwischen Anfangs- und Endsituation, aber nicht die Lage des Apfels auf der Erde. Diese Eingrenzungen sind erforderlich und natürlich, da die Wirklichkeit oder Welt insgesamt und somit auch außerhalb der in die Betrachtung einbezogenen Umgebung bzw. des Systems sich in einem stetigen

Prozess der Veränderung befindet. Prinzipiell steht alles mit allem in Wechselwirkung. Es ist daher natürlich, gleich auch Verknüpfungen von Ereignissen zu bedenken und zu definieren.

- (A) Fügen sich mehrere Ereignisse  $E_1, E_2, E_3, \dots$  so zusammen, dass die Endsituation  $ES_i$  des Ereignisses  $E_i$  gleichzeitig die Anfangssituation  $AS_{i+1}$  des folgenden Ereignisses  $E_{i+1}$  ist, d.h.  $ES_i = AS_{i+1}$ , für  $i = 1, 2, 3, \dots$ , so sind die Ereignisse  $E_1, E_2, E_3, \dots$  verkettet, die Abfolge der  $E_1, E_2, E_3, \dots$  bildet eine Ereigniskette. Je nach dem, wie genau bzw. detailliert man ein Ereignis betrachtet oder „unter die Lupe nimmt“, erweist sich ein Ereignis als Ereigniskette.
- (B) Sind die Ereignisse  $E_1$  und  $E_0$  so untereinander verknüpft, dass die Endsituation  $ES_0$  des Ereignisses  $E_0$  ein Teil der Innovation  $I_1$  des Ereignisses  $E_1$  ist oder  $I_1$  beeinflusst, abgekürzt geschrieben  $ES_0 \subset I_1$ , so kreuzt das Ereignis  $E_0$  das Ereignis  $E_1$ ,  $E_0$  und  $E_1$  sind kreuzende Ereignisse.
- (C) Sind für zwei Ereignisse  $E_1$  und  $E_2$  die zugehörigen Innovationen  $I_1$  und  $I_2$  ganz oder teilweise gleich, abkürzend geschrieben  $I_1 \cap I_2 \neq \emptyset$ , so heißen  $E_1$  und  $E_2$  verbundene Ereignisse.

In der Realität kommt ein Ereignis nie ohne Vorgeschichte zustande: Die Anfangssituation ist gleich der Endsituation eines anderen Ereignisses oder von einem Lebewesen so eingerichtet. Letzteres ändert aber insofern nichts, als dann die Anfangssituation auch gleich der Endsituation eines anderen Ereignisses ist, nämlich des Entscheidungsprozesses dieses Lebewesens. Gleiches gilt für die Innovation eines zu betrachtenden Ereignisses. Betrachtet man ein interessantes Ereignis isoliert, d.h. unabhängig von der Vorgeschichte von Anfangssituation und Innovation oder ohne den Einfluss dieser Vorgeschichte, so bedeutet das, dass man Anfangssituation und Innovation als fest vorgegeben ansieht. Man spricht dann von einem *unbedingten Ereignis*. Solch eine isolierte Betrachtung ist unter Umständen nicht unproblematisch, sie stellt jedenfalls eine Vereinfachung bzw. Vergrößerung der Wirklichkeit dar, ist schon eine Modellbildung im naturwissenschaftlichen Sinne. In der Wirklichkeit hat man es bei der beabsichtigten isolierten Betrachtung eines Ereignisses bei genauerem Hinsehen mit einem Gewirr von verketteten, kreuzenden und verbundenen Ereignissen zu tun. Anspruchsvoller, genauer und feiner

als die isolierte Betrachtung eines Ereignisses ist die Berücksichtigung seiner Einbindung.

Betrachtet man ein interessierendes Ereignis unter Einbezug einer gewissen Vorgeschichte von Anfangssituation und/oder Innovation, so sprechen wir von einem *bedingten Ereignis*. Die Gesamtheit aller Ereignisse, die als Vorgeschichte in die Betrachtung einbezogen wird, heißt *Ereigniskomplex*. Die Grenze dieses Ereigniskomplexes wird dadurch definiert, dass die Ereignisse an der Grenze unbedingt bewertet werden. Damit wird das interessierende Ereignis formal unabhängig von Ereignissen außerhalb des Ereigniskomplexes bzw. es wird praktisch der Einfluß solcher Ereignisse auf das interessierende Ereignis vernachlässigt. Auch das „Ausschneiden“ eines passenden Ereigniskomplexes erfordert „Augenmass“ wie jede naturwissenschaftliche Modellbildung.

In den Naturwissenschaften nennt man die gezielte oder bewusste Beobachtung eines Ereignisses ein Experiment, den Beobachter Experimentator. Insbesondere schließt das den Fall ein, dass der Experimentator die Anfangssituation und/oder die Innovation herstellt, einrichtet oder zumindest beeinflusst. Die Endsituation eines Ereignisses, das als Experiment aufgefasst wird, nennt man auch Auskommen, Ausgang oder Ergebnis des Experimentes. Experimente dienen zur Gewinnung bzw. Vermehrung oder Verbesserung von Information. Daher stellt sich für diese die Frage nach einer geeigneten Wiederholbarkeit.

Zum Verhältnis Beobachter oder beteiligter Mensch einerseits und Ereignis andererseits ist Folgendes zu bemerken: In Beispiel (1) verhält sich der Beobachter des Ereignisses passiv, Anfangssituation und Innovation, somit auch die Endsituation, sind menschlich unbeeinflusst. In (2) und (4) stellt der Beobachter aktiv die Anfangssituation her, deshalb wird er hier im Allgemeinen Experimentator genannt. Man könnte auch sagen, er beginne das Ereignis durch seine Wahl bzw. Herstellung der Anfangssituation. Somit beeinflusst er das Ereignis insgesamt, insbesondere auch die Endsituation. In (5) und (6) ist ein Beobachter, ein Fernsehkommentator (sofern er nicht selbst an der Börse gehandelt hat) bzw. das Versicherungsunternehmen passiv, die Innovation und somit die Endsituation hängt aber von handelnden Menschen ab. Das Verhalten und die Entscheidungen vieler Menschen nehmen Einfluss auf die Endsituation

„Schlusskurs“ bzw. „durchschnittlicher Jahresschaden“ am Ende des Jahres. In (10) hängt die Endsituation, die als Ergebnis gemessene Länge, ab vom technischen Prozess, der zu einem exakten Ergebnis geführt hat, dann aber auch von der Feinheit des Maßstabes, mit dem die Länge gemessen wird, sowie dem Beobachter, der den Maßstab anlegt und abliest, in der Summe wird man sagen, ergibt sich ein Messfehler. In (3), (7) und (8) hängt die Endsituation vom „absichtslosen“ Verhalten der beteiligten Personen ab, in (9) hängt sie ab von einer bewussten Entscheidung des jungen Mannes.

Diese Effekte spielen für eine später vorzunehmende Bewertung oder Zuordnung von Ereignissen eine wichtige Rolle. Schließlich sind noch weitere Differenzierungen des Begriffes „Ereignis“ vorzunehmen.

## 1.2 Sortierung von Ereignissen

Wir differenzieren bzw. sortieren den Begriff „Ereignis“ nach den Eigenschaften:

- individuell, generell,
- ideal, realisiert, real,
- vergangen, zukünftig, konzipiert,
- einmalig, mehrfach.

Generelle Mehrfach- Ereignisse sind weiter zu sortieren in Kopien, Wiederholungen in unabhängigen kontrollierten Varianten, Wiederholungen in unabhängigen Varianten, Serienereignisse.

Ein *individuelles* Ereignis ist dadurch gekennzeichnet, dass seine Anfangssituation und seine Innovation mit einer gewissen Vollständigkeit in Hinsicht auf die an ihm interessierenden Aspekte konkretisiert und festgelegt sind.



Ein *generelles* Ereignis ist eine ganze Menge oder Klasse von einzelnen individuellen Ereignissen, die als Gemeinsamkeit gewisse gleichartige Anfangssituationen und Innovationen haben, man könnte sagen, die ein gleichartiges Muster aufweisen. Für Beispiel (7) bedeutet das: Sind mit „zwei alten Freunden“ konkrete Personen, also Individuen, gemeint, so liegt ein individuelles Ereignis vor, sind irgendwelche, beliebige Personen aus Deutschland gemeint, die seit Jahren nichts mehr voneinander gehört haben, so ist ein generelles Ereignis beschrieben. Eine weitere Generalisierung dieses generellen Ereignisses erreicht man, wenn man die konkrete Angabe „auf einem Parkplatz am Rande einer Straße durch die Rocky Mountains“ ersetzt durch die Angabe „auf einer Reise fern der Heimat“ . Ob man Beispiel (1) als ein individuelles oder generelles Ereignis ansieht, hängt von den oben erwähnten interessierenden Aspekten dieses Ereignisses ab, also von einer Vorgabe des Betrachters.

Ereignisse, insbesondere Experimente, werden manchmal *ideal* formuliert, modelliert und betrachtet, siehe etwa Beispiel (3), oder das Werfen eines „unverfälschten“ Würfels, das Fallen eines Gegenstandes zur Erde, allgemein Vorgänge, die etwa die Physik untersucht. Auf der Grundlage einer wissenschaftlichen Theorie, die natürlich generell durch empirische Befunde zu vielen anderen Phänomenen gestützt ist, lässt sich dann unter Umständen ein Ereignis analysieren, erklären und beschreiben. Ideale Ereignisse sind unbedingt und zeitlos oder zeitungebunden, da sie im Rahmen einer idealen Modellbildung formuliert und betrachtet werden, sie sind prinzipiell nicht an eine Realisierung gebunden.

Von besonderem Interesse sind natürlich solche ideal formulierten Ereignisse, die auch *realisiert* werden können, d.h. die sich in der natürlichen Wirklichkeit ereignen bzw. hergestellt oder eingerichtet und dann beobachtet werden können, oder die sich schon realisiert haben, wie z.B. das Fallen eines Gegenstandes zur Erde. Mehr noch, um etwa die theoretische Beschreibung des idealen Ereignisses auf ihre Richtigkeit oder Angemessenheit überprüfen zu können, ist die Möglichkeit einer gewissen Wiederholbarkeit solch eines Ereignisses wichtig und wünschenswert.

Ideal formulierte und in der Wirklichkeit bereits realisierte Ereignisse sind eine interessante Teilgesamtheit der sogenannten *realen* Ereignisse, d.h. der Ereignisse, die in der natürlichen

Wirklichkeit sich schon ereignet haben oder noch stattfinden können, sei es unbeeinflusst von Menschen oder Lebewesen, sei es von solchen beeinflusst, egal ob ohne oder mit Plan und Absicht. Bezogen auf einen aktuellen Zeitpunkt der Betrachtung sind alle *vergangenen* Ereignisse reale.

Die natürliche Wirklichkeit unter Einschluss der Menschen wird, bezogen auf einen aktuellen Zeitpunkt der Betrachtung, *zukünftige* Ereignisse hervorbringen. Niemand kann ihre Gesamtheit überblicken. Der Mensch kann Ereignisse in der Zukunft *konzipieren* in allgemeinerer Form als er ideale Ereignisse formulieren kann. So kann er etwa sich vornehmen, einen bestimmten Plan in Zukunft umzusetzen, d.h. ihn zu realisieren, daraus ein eben in Zukunft reales Ereignis zu machen. Diese subjektiv konzipierten und damit für möglich gehaltenen Ereignisse gliedern sich in

- objektiv unmögliche,
- objektiv mögliche, die sich aber real nie ereignen,
- objektiv mögliche, die sich ereignen, also real werden.

*Einmalige* Ereignisse, sind solche, die nur einmal real stattfinden oder stattfinden können. Sie bedürfen keiner weiteren Erläuterung. Beispiel sind etwa die Geburt eines ganz bestimmten Menschen oder der Ausbruch des Vesuv 79 n. Chr..

Bei *Mehrfach*-Ereignissen ist eine zusätzliche Differenzierung vorzunehmen.

Jedes reale, individuelle Ereignis, das stattgefunden hat oder stattfinden wird, ist ganz genau genommen einmalig, da nie wieder seine Anfangssituation und Innovation vollständig genau gleich sich ergeben werden oder herstellbar sind. Das hat schon ein Denker wie Cusanus im 15. Jahrhundert erkannt. Denn in der natürlichen Wirklichkeit steht alles mit allem in Wechselwirkung und zwei vollständig genau gleiche Zustände der Welt wird es nicht geben (s. Cusanus, Herkenrath (2005)). Aber in vielen Fällen wird man in „hinreichend guter Näherung“ Anfangssituation und Innovation gleich vorfinden bzw. herstellen können bzw. voraussetzen dürfen und

damit die Möglichkeit haben, das „gleiche“ Ereignis zu wiederholen, d.h. mehrfach beobachten zu können. Was eine möglichst oder hinreichend gute Näherung darstellt, kann nur im konkreten Fall entschieden werden in Hinsicht auf den interessierenden Aspekt der Endsituation und seine Variation in Abhängigkeit von Variationen von Anfangssituation und Innovation. Das setzt natürlich eine gewisse Kenntnis und Modellbildung für den Ablauf des Ereignisses voraus. Insbesondere muss danach auch gesichert sein, dass bereits realisierte Wiederholungen des Ereignisses keinen Einfluss haben auf die aktuelle Wiederholung, d.h. deren Übergang zur Endsituation. In diesem Sinne unabhängige, in hinreichender Näherung gleiche oder gleichwertige Wiederholungen eines Ereignisses nenne ich *Kopien* des Ereignisses. Klassische Beispiele für die Möglichkeit, beliebig viele Kopien eines, wenn man so will, ein- und desselben Ereignisses erhalten oder herstellen oder „ziehen“ zu können, bieten die Beispiele (2) bis (4), wenn man aus dem jeweiligen generellen Ereignis ein individuelles herauszieht. Im Beispiel (4) muss dabei über das Material des Würfels vorausgesetzt werden bzw. gesichert sein, dass bereits durchgeführte Würfe den Würfel nicht verändern. Setzt man voraus, dass mehrere sogenannte „unverfälschte“ Würfel zum Würfeln zur Verfügung stehen, so muss man zum Ziehen der Kopien des Ereignisses oder des Experimentes nicht immer den gleichen Würfel werfen, sondern jeder dieser gleichwertigen Würfel, d.h. jede „Kopie“ des (idealisierten) unverfälschten Würfels, kann für jede Kopie des Experimentes verwendet werden. Wir werden dieses Beispiel später im Kapitel über „zufällige Ereignisse“ weiter ausführen.

Die nächst-allgemeinere Art der Wiederholbarkeit, diesmal eines generellen Ereignisses, besteht darin, im oben beschriebenen Sinne unabhängige Realisierungen gleichartiger Ereignisse, d.h. individueller Ereignisse aus ein- und demselben generellen Ereignis, gewinnen zu können. Ich nenne das die *Wiederholung* eines Ereignisses in *unabhängigen kontrollierten Varianten*. So könnte in Beispiel (2) der Experimentator den Stein aus 1 m, 2 m, 3 m, 4 m Höhe zu Boden fallen lassen, um aus der Zeit bis zu seinem Aufschlag auf der Erde eine Gesetzmäßigkeit abzuleiten. Als nächstes könnte er diese Experimente mit Steinen verschiedenen Gewichts durchführen, danach mit anderen Gegenständen, z.B. mit Federn. Das generelle Ereignis hieße dann „Ein Experimentator lässt einen Gegenstand zur Erde fallen“ .

Eine wiederum allgemeinere Art der Wiederholbarkeit eines generellen Ereignisses besteht darin, unabhängige Realisierungen gleichartiger Ereignisse gewinnen zu können, deren Anfangssituation und Innovation nicht von einem Experimentator eingerichtet und nicht vollständig erfasst werden können. Diese Realisierungen sollen *Wiederholungen in unabhängigen Varianten* genannt werden. Ist man in Beispiel (6) bereit, das Schadenaufkommen abfolgender Jahre als eine Serie von im oben dargelegten Sinne unabhängiger Ereignisse anzunehmen, so liegen Wiederholungen in unabhängigen Varianten vor. Die Gültigkeit dieser Annahme, also dass das Schadenaufkommen früherer Jahre keinen Einfluss hat auf das des aktuellen Jahres und zukünftiger Jahre, ist nicht als „natürliche Gesetzmäßigkeit“ beweisbar, sondern eine zweckmäßige Modellbildung des Beobachters, deren „näherungsweise“ Gültigkeit er testen sollte. Wie stets bei Modellbildungen muss sich der „Modellbauer“ beurteilen lassen nach dem Prinzip „An ihren Früchten werdet ihr sie erkennen“ . Das heißt hier, wie gut Ergebnisse auf Basis dieser Modellbildung, die Früchte, mit der empirisch fassbaren Wirklichkeit übereinstimmen bzw. harmonieren.

Eine noch schwächere Art der Wiederholbarkeit eines generellen Ereignisses besteht darin, abhängige Realisierungen gleichartiger Ereignisse im Sinne von „Neuauflagen“ gewinnen zu können. Ich nenne das *Serienereignisse*. Bemerkenswert daran ist, dass die Annahme der Unabhängigkeit dieser Realisierungen aufgegeben wird. Das heißt, dass frühere Realisierungen Einfluss haben auf die gegenwärtige und zukünftige Realisierungen. Am Beispiel (5) lässt sich das erklären: Das generelle Ereignis ist das Zustandekommen des börsentäglichen Schlusskurses der Allianz-Aktie. Anfangssituation, d.h. der Schlusskurs des Vortages, und Innovation, d.h. die am Beobachtungstag eintreffenden Nachrichten von Unternehmen, aus der Wirtschaft und der Politik, variieren unkontrolliert vom Beobachter und die Entwicklung des Aktienkurses am Beobachtungstag hängt von seiner Entwicklung in der Vergangenheit ab. Sehr viele wiederholt auftretende, also Mehrfach-Ereignisse, weisen wegen der Komplexität des Geschehens in der natürlichen Wirklichkeit eine Abhängigkeitsstruktur auf. Eine Analyse des oben als Beispiel herangezogenen Ereignisses über die Zeit, eine Suche nach Gesetzmäßigkeiten, hat als wesentliche Aufgabe, die betreffende Abhängigkeitsstruktur zu modellieren.

Es ist klar, dass die Möglichkeit der Wiederholung eines (generellen) Ereignisses in der ein oder anderen Form eine Grundlage der empirischen Wissenschaften ist, eine Voraussetzung, um Gesetzmäßigkeiten und speziell Naturgesetze qualitativ und quantitativ formal herzuleiten.

### 1.3 Untersuchung und Erklärung von Ereignissen

Studiert oder untersucht man das Zustandekommen eines (individuellen) Ereignisses, d.h. den Übergang von der Anfangs- zur Endssituation, so muss man zusätzlich zu Anfangssituation, Innovation und Endsituation auch eine Untersuchungsbasis und einen Wirkkomplex vorgeben, unter Umständen auch einen relevanten Ereigniskomplex, der in das interessierende Ereignis mündet.

Die *Untersuchungsbasis* besteht aus einer Raum-Zeit-Struktur einschließlich zugehöriger Maßeinheiten, d.h. einem Feinheitsgrad der Untersuchungsmöglichkeit passend zur Umgebung. Beispiele dafür sind Ausschnitte der dreidimensionalen Erfahrungswelt, einer zweidimensionalen Ebene oder des vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuums, wenn in der relativistischen Physik modelliert wird, jeweils mit passenden Längen- und Zeiteinheiten.

Der *Wirkkomplex* ist die Gesamtheit der in Betracht zu ziehenden Ursachen, Einflüsse, allgemein Prinzipien, die wirken bei der Herstellung der Endsituation aus Anfangssituation und Innovation. Die Mitglieder oder Elemente des Wirkkomplexes mögen *Faktoren* heißen. Sie sind oft in Form von Naturgesetzen oder Gesetzmäßigkeiten formuliert und ermöglichen quantitative Vorhersagen. Als wichtige Beispiele für einen Wirkkomplex seien genannt die Gesetze der klassischen Physik oder die der relativistischen Physik.

Untersuchungsbasis und Wirkkomplex sind für viele Arten von Ereignissen natürlich bzw. nach allgemeinem Konsens gegeben, müssen aber unter Umständen bewusst und präzise spezifiziert werden, jedenfalls stets klar definiert sein zur Analyse des zu untersuchenden Ereignisses.

Die Kombination von Untersuchungsbasis und Wirkkomplex bezeichne ich als *Untersuchungsstruktur*. Beispiele dafür sind jeweils ein Ausschnitt der Raum-Zeit-Struktur mit den Gesetzen

der makroskopischen Physik oder mit den Gesetzen der mikroskopischen Physik. Die Untersuchungsstruktur muß vom Betrachter spezifiziert werden: So kann man etwa einen Behälter mit Molekülen eines Gases unter einer makro- oder mikroskopischen Untersuchungsstruktur betrachten. Innerhalb einer makroskopischen Untersuchungsstruktur wird das individuelle Verhalten der Moleküle ausgeblendet, dafür sind Ungenauigkeiten von Messergebnissen zu erklären.

Sehr oft wird ein Ereignis bedingt, also eingebettet in einen Ereigniskomplex, untersucht. Insbesondere ist das der Fall, wenn Entscheidungen bzw. Handlungen von Menschen oder allgemein Lebewesen ein Ereignis beeinflussen. Dabei nehmen sie Einfluss auf die Anfangssituation oder die Innovation, greifen aber nicht in den Wirkkomplex ein: sie schränken ihn nicht ein und bereichern ihn auch nicht mit neuen Faktoren an, der Wirkkomplex ist von Natur gegeben und wirksam. Im Ereignis (3) kann man als die vom Experimentator gewählte Anfangssituation die Situation des Würfels mit Orts- und Impulskoordinaten im Zeitpunkt seiner „Freigabe“ durch den Experimentator definieren. Die Innovation ist dann die Gesamtheit der Umweltbedingungen, der Wirkkomplex die Gesamtheit der Gesetze der Newtonschen Mechanik. Im Ereignis (8), das natürlich bei näherer Betrachtung eine Ereigniskette darstellt, ist die Entscheidung bzw. Handlung des jungen Mannes subsumiert in der Innovation, oder im Falle der Darstellung als Ereigniskette in den Innovationen.

Greifen Menschen oder allgemein Lebewesen in ein Ereignis ein, so muß man eine Vorstellung im Sinne einer Arbeitshypothese über das Zustandekommen solcher Handlungen in die Untersuchungsstruktur einbringen. In Abschnitt 2.4 werden dazu zwei Hypothesen, abgekürzt mit (D) und (W), formuliert.

## **1.4 Idealtypische Ereignisse und ihre Realisierungen**

### **(A) Deterministische oder Ursache-Wirkungs-Ereignisse und determinierte Ereignisketten**

In seinem Drang, Ereignisse zu erklären, ihre Endsituationen vorherzubestimmen und damit

die Welt planbar zu machen, sucht der Mensch nach Ursache-Wirkungs-Beziehungen bzw. -Mechanismen. Aus diesen versucht er, Entscheidungshilfen oder sogar Gesetzmäßigkeiten und Naturgesetze abzuleiten. Ein ideales individuelles unbedingtes Ereignis werde im Sinne der oben gegebenen Definitionen in einer bestimmten Untersuchungsstruktur erfasst und untersucht.

Idealtypisch stellt ein Ursache-Wirkungs-Ereignis, oder auch deterministisches Ereignis genannt, den einfachsten und klarsten Vorgang dar: Einem Paar (Anfangssituation, Innovation) ist eindeutig eine bestimmte Endsituation zugeordnet. Dabei können verschiedene solche Paare zu gleichen Endsituationen führen, weshalb eine Umkehrung der Zuordnung im Allgemeinen nicht möglich ist. Das Entscheidende an der Ursache-Wirkungs-Beziehung ist die Eindeutigkeit der Endsituation eines Ereignisses. Der Übergang von (Anfangssituation, Innovation) zu Endsituation wird durch den wirkenden Wirkkomplex „verursacht“, oft werden auch (Anfangssituation, Innovation) als Ursache und die Endsituation als Wirkung bezeichnet. Solch ein Ereignis ist von deterministischer Natur: Kennt man (Anfangssituation, Innovation) ist die Endsituation vorherbestimmt, d.h. determiniert. Die Realisierung eines idealen Ursache-Wirkungs-Ereignisses ist ein Abbild des idealen: Realisierte Komponenten (Anfangssituation, Innovation) verursachen die determinierte Endsituation. Besteht eine Ereigniskette sämtlich aus Ursache-Wirkungs-Ereignissen, spricht man von einer Ursache-Wirkungs-Kette. Klassische Beispiele für Ursache-Wirkungs-Ketten sind Ereignisse bzw. Ereignisketten innerhalb der Untersuchungsstruktur der makroskopischen Physik. Verfeinert man nach einer ersten Betrachtung einer Ursache-Wirkungs-Kette die Untersuchungsstruktur, wenn man so will, betrachtet man die Ereigniskette „unter einer Lupe“, so wird im Allgemeinen die Kette reichhaltiger oder länger. Insbesondere ist von Interesse, ob alle Ereignisse in der längeren Kette noch als Ursache-Wirkungs-Ereignisse erklärbar sind. Ob ein Ereignis oder eine Ereigniskette als Ursache-Wirkungs-Kette auffassbar oder erklärbar ist, hängt unter Umständen vom in Betracht gezogenen bzw. wirkenden Wirkkomplex ab.

Allgemeiner heißt eine ideale Ereigniskette  $(E_1, E_2, \dots, E_n)$  determiniert, wenn zu gegebener Anfangssituation  $AS_1$  von  $E_1$  und gegebenen Innovationen  $I_1, \dots, I_n$  die Endsituation  $ES_n$  von  $E_n$  eindeutig bestimmt ist. Das ist insbesondere wahr, wenn  $(E_1, \dots, E_n)$  eine Ursache-

Wirkungs-Kette ist. In einer determinierten Ereigniskette dürfen aber auch zufällige Ereignisse auftreten, und zwar solche, die innerhalb der Ereigniskette in eine gleiche Endsituation  $ES_j$  münden.

Ein interessierendes ideales individuelles bedingtes Ereignis, eingebettet in einen Ereigniskomplex, heißt determiniert, wenn alle Ereignisketten des Komplexes mit dem interessierenden Ereignis als finalem Element determiniert sind.

### **(B) Zufallsabhängige oder zufällige Ereignisse und Ereignisketten**

Von anderer Natur oder Struktur als Ursache-Wirkungs-Ereignisse sind die zufallsabhängigen oder sogenannten zufälligen Ereignisse. Das „Zufällige“ bezieht sich zunächst einmal und allgemein auf die Sichtweise bzw. Erkenntnismöglichkeit des Betrachters solch eines Ereignisses. Bei den zufälligen Ereignissen ist zu unterscheiden zwischen den „*eigentlich zufälligen*“ und den „*ungewissen*“ oder „*subjektiv zufällig bewerteten*“ Ereignissen. Ein eigentlich zufälliges Ereignis ist immer ungewiss. Es gibt jedoch ungewisse Ereignisse, die nicht eigentlich zufällig sind, sondern Ursache-Wirkungs-Ereignisse, bzw. -Ketten, und zwar solche, deren Ursache-Wirkungs-Struktur wegen der Komplexität des Geschehens nicht erkennbar ist.

Ein ideales individuelles unbedingtes zufälliges Ereignis ist dadurch charakterisiert, dass es mehrere, d.h. mindestens zwei verschiedene mögliche Endsituationen hat. Jede solche Endsituation heißt ebenfalls zufällig. Bei einem idealen individuellen bedingten, d.h. in einen Ereigniskomplex eingebetteten Ereignis, können die zufälligen Endsituationen dadurch zustandekommen, dass seine Anfangssituation und/oder seine Innovation jeweils Endsituation eines anderen zufälligen Ereignisses sind. Das interessierende bedingte Ereignis ist also unter Umständen nur deshalb zufällig, weil es mit einem anderen zufälligen Ereignis verkettet ist oder kreuzt. Eine Kette idealer individueller Ereignisse heißt zufällig, wenn ihre Endsituation zufällig ist. Es ist möglich bzw. zulässig, dass eine Ereigniskette, die zufällige Ereignisse enthält, als Ganzes gesehen nicht mehr zufällig ist, sondern determiniert, da sie eine eindeutige Endsituation besitzt. Das kann geschehen, wenn die verschiedenen möglichen Endsituationen von Ereignissen innerhalb der Kette solche neuen Ereignisse initiieren, die sich beim Durchlaufen der Kette wieder



vereinigen, d.h. in eine gleiche Endsituation münden. Solche Fälle können sich auch ergeben, wenn man den Feinheitsgrad der Untersuchungsstruktur vergrößert und so die auf Ebene des feineren Feinheitsgrades zufälligen Ereignisse sich bei Betrachtung unter einem größeren Feinheitsgrad ausmitteln.

Bei einer Realisierung eines idealen individuellen zufälligen Ereignisses wird genau eine der möglichen Endsituationen angenommen und daher nur ein Ausschnitt des zugehörigen idealen Ereignisses erfassbar. Zur quantitativen Beschreibung des Auftretens einer konkreten Endsituation bei einer Realisierung kommt der Begriff „Wahrscheinlichkeit“ ins Spiel. Welche konkrete Endsituation sich bei einer Realisierung des zufälligen Ereignisses ergibt, sich ereignet oder eben dem Betrachter „zufällt“, hängt bei einem eigentlich zufälligen Ereignis zusätzlich zu einem Wirkkomplex von einem wirkenden Prinzip „Zufall“ ab. Die konkrete Endsituation eines realisierten zufälligen Ereignisses lässt sich somit über den Wirkkomplex nicht auf eine Ursache zurückführen, sie ist in diesem Sinne „unverursacht“. Der Zufall wirkt im Hintergrund, „er lässt sich nicht in die Karten schauen“, seine Wirkung bei jeder einzelnen Realisierung ist prinzipiell unvorhersehbar. Dem entspricht in der Quantentheorie die Aussage: Eine Meßgröße nimmt erst im Zeitpunkt der Messung einen konkreten Wert an.

Für die Konzeption und das Verständnis dieses Prinzips „Zufall“ und somit eines zufälligen Ereignisses ist folgendes ideal formulierte, aber auch in beliebig vielen Kopien realisierbare Ereignis bzw. Experiment grundlegend:

Ein Experimentator steht neben einer Urne mit endlich vielen möglichst gleichartigen Kugeln, etwa  $N$  Stück. Auf jeder Kugel ist genau eine der natürlichen Zahlen  $1, 2, 3, \dots, n$  geschrieben, wobei die Zahl  $n$  kleiner oder gleich  $N$  ist,  $n \leq N$ . Die Kugeln liegen gut durchmischt in der Urne. Der Experimentator zieht nun „blind“, d.h. ohne auf die Urne zu blicken, plan- und absichtslos genau eine Kugel aus der Urne. Die auf der gezogenen Kugel befindliche Zahl ist das Ergebnis dieses sogenannten „Zufallsexperimentes“ oder das „zufällige Ergebnis“ des Experimentes.

Dieses ideale „Urmuster“ eines Zufallsexperimentes ist gleichzeitig eines für ein zufälliges Ereignis.

nis. Die für dieses sogenannte Urnen-Experiment natürliche Untersuchungsstruktur ist gegeben durch eine räumlich-zeitlich angemessene Umgebung um Experimentator, Urne und den Ziehungsvorgang, die Gesetze der makroskopischen Physik und einen Feinheitsgrad, der der Wahrnehmung des menschlichen Auges entspricht. Zusätzlich benötigt man eine Hypothese über das Zustandekommen menschlicher Handlungen, etwa (D) oder (W), die in Abschnitt 2.4 formuliert werden. Die Anfangssituation dieses Ereignisses ist beschrieben durch den Experimentator und die neben ihm stehende Urne mit ihrer speziellen Füllung, d.h. ihrer Menge an Kugeln. Die zeitraumbezogene Innovation ist der Ziehungsvorgang, die Endsituation die „gezogene“ Zahl. Das Charakteristikum dieses Ereignisses ist, dass der einen Anfangssituation mehrere mögliche Endsituationen zugeordnet sind. Man kann die bei einer Realisierung des Ereignisses, d.h. hier die bei einer real durchgeführten Ziehung sich ergebende oder die sich realisierende konkrete Endsituation, nicht vorhersagen, sie ist zumindest ungewiss, für einen Beobachter unvorhersehbar. Ob sie nicht nur unvorhersehbar ist, sondern sogar von Natur aus unbestimmt, also eigentlich zufällig, hängt von der Erklärung der wahrgenommenen Zufälligkeit ab, hier von der Vorstellung, wie der Experimentator die Ziehung der Kugel ausführt. Ist man der Auffassung, dass die Arm-, Hand- und Fingerbewegungen des Experimentators bei der Ziehung der Kugel durch seine aktuelle Disposition und die Umweltreize vollständig genau bestimmt sind (Hypothese (D)), ist danach auch die zu ziehende Kugel determiniert. Das bedeutet, das unbedingte Ereignis „Ziehung einer Kugel aus der Urne“ ist nur ungewiss, nur subjektiv zufällig bewertet. Fasst man die genannten Bewegungen des Experimentators bei der Ziehung der Kugel dagegen als eigentlich zufällig auf (Hypothese (W)), so hat auch das unbedingte Ereignis diese Eigenschaft. Die Behandlung dieses Zufallsexperimentes wird an späterer Stelle noch vertieft.

Von den möglichen Endsituationen wird sich bei jeder Kopie dieses Ereignisses eine realisieren, bei hinreichend vielen Kopien werden mehrere verschiedene, irgendwann alle möglichen Endsituationen mindestens einmal als realisierte Endsituationen erscheinen. Man könnte umgangssprachlich kurz und prägnant sagen: „Ein ideales zufälliges Ereignis kann so oder anders ausgehen, und wenn man es oft genug realisiert, wird es auch mal anders ausgehen.“ Das gilt natürlich auch für reale zufällige Ereignisse, deren Endsituation sich noch nicht realisiert hat.

Betrachtet man ein reales, individuelles unbedingtes Ereignis, so setzt seine Klassifizierung als „zufällig“ voraus eine entsprechende Kenntnis über seinen Ablauf aus anderen Quellen, also eine Modell- und Theoriebildung oder die Möglichkeit, hinreichend viele Kopien dieses Ereignisses „ziehen“ zu können, damit man die verschiedenen möglichen Endsituationen als realisierte Endsituationen der Kopien beobachten kann. Geschieht Letzteres, so ist die Zufälligkeit eines Ereignisses empirisch „bewiesen“ oder zumindest gestützt. Denn die Zufälligkeit, charakterisiert durch die verschiedenen Endsituationen, kann prinzipiell immer angezweifelt werden mit dem Hinweis darauf, dass vollständig genau gleiche Anfangssituationen und Innovationen nicht herstellbar sind und/oder mit dem Zweifel an der vollständigen Kenntnis über einwirkende Faktoren, die zur Endsituation führen.

Ein generelles zufälliges Ereignis, ideal oder real, besteht aus individuellen zufälligen Ereignissen.

Will man herausfinden, ob ein einmaliges Ereignis zufällig ist, muss man es mit hinreichend detaillierter Analyse zerlegen, in einen Ereigniskomplex einbetten und dann nach den oben formulierten Kriterien entscheiden.

### **(C) Vergleich der beiden Ereignis-Qualitäten**

Zur Kennzeichnung oder Charakterisierung der beiden Ereignis-Qualitäten, nämlich „Ursache-Wirkung“ einerseits und „zufällig“ andererseits, und somit in Hinsicht auf Möglichkeiten, sie in der Realität zu unterscheiden, sei bemerkt:

- (I)** Jedes reale Ereignis hat, wenn es sich ereignet hat, genau eine Endsituation, auch jedes reale zufällige Ereignis.
- (II)** Ideale Ursache-Wirkungs-Ereignisse haben die gleiche Struktur wie ihre Realisierungen, nämlich zu gegebenem konkreten Paar (Anfangssituation, Innovation) eine vorherbestimmte, d.h. determinierte Endsituation.
- (III)** Ideale zufällige Ereignisse haben eine andere, reichhaltigere Struktur als ihre Realisierungen.

gen: Während letztere nach stattgefundener Realisierung genau eine Endsituation haben, sind bei den idealen zufälligen Ereignissen einem gegebenen konkreten Paar (Anfangssituation, Innovation) mehrere mögliche Endsituationen zugeordnet. Die verschiedenen möglichen Endsituationen realisieren sich eben mit Realisierungen des idealen Ereignisses.

- (IV) Ist ein beobachtetes reales Ereignis ein Ursache-Wirkungs-Ereignis, so hat man mit der Beobachtung auch bis auf Ungenauigkeiten das zugehörige ideale Ereignis erfasst oder beschrieben. Aus der Beobachtung eines einzigen realisierten zufälligen Ereignisses allein kann man aber nicht auf seine Qualität als „zufällig“ schließen, erst recht nicht das ideale zufällige Ereignis mit seinen verschiedenen möglichen Endsituationen erfassen oder beschreiben. Man benötigt stets mehrere, eventuell viele realisierte Kopien.

Aus den Punkten (I) bis (IV) ergibt sich eine prinzipielle Schwierigkeit, aus realisierten zufälligen Ereignissen auf die zugehörigen idealen zu schließen, ja sogar zufällige Ereignisse als zufällig zu entdecken.

## 1.5 Untersuchung und Erklärung realer Ereignisse

Die Untersuchung und Erklärung realer Ereignisse, eventuell mit dem Anspruch, sich einer Deutung anzunähern, ist klar zu unterscheiden von einer minutiösen Beschreibung der Abläufe. Als Beispiel für Letzteres denke man an einen Fernsehkommentator, der dreimal pro Stunde in ein bis zwei Minuten beschreibt, wie sich der deutsche Aktienindex DAX in den jeweils letzten zwanzig Minuten entwickelt hat. Damit wird er das Geschehen minutiös protokollieren, aber unter Umständen wenig dazu sagen, warum die Börse an dem Tag so läuft, wie sie läuft, und was demzufolge aus seiner Sicht für den Rest des Tages und den morgigen zu erwarten ist. Möglicherweise trägt er kaum etwas zum Verständnis des Geschehens bei. Redet der Kommentator sechsmal pro Stunde über die letzten zehn Minuten, wird das Protokoll noch minutiöser, aber das Verständnis wohl noch nebulöser.

Für Erklärungen und Verständnis benötigt man eine Modell- und Theoriebildung, möglichst

empirisch überprüft bzw. gestützt und eventuell auch „lokale“ Informationen zum zu untersuchenden Geschehen. Mehr noch, der suchende und forschende Betrachter muss ein Konzept für seine Untersuchung entwickeln:

- Was interessiert eigentlich am Ereignis, an der Endsituation oder am Vorgang, d.h. was ist das Objekt der Untersuchung bzw. die „Zielvariable“?
- Was sucht man, in welchem Zusammenhang, in welcher Struktur untersucht man dieses Objekt, was will man darüber wissen? Beispiele wären etwa: Die Klassifizierung als deterministisches oder zufälliges Ereignis, das Auffinden oder Überprüfen eines Naturgesetzes, einer Abhängigkeitsstruktur.
- Was ist in Hinsicht auf obige Fragen die passende Untersuchungsstruktur, insbesondere der angemessene Feinheitsgrad der Untersuchung? Ist der Feinheitsgrad zu grob gewählt, so kann man wichtige Informationen verpassen oder verschenken. Ist er zu fein gewählt, besteht die Gefahr, entscheidende Aspekte und Zusammenhänge aus dem Blick zu verlieren und den Vorgang nur noch minutiös zu protokollieren.

Man könnte resümierend sagen: Um von der Natur gute, interessante Antworten zu erhalten, muss man die richtigen Fragen stellen.

Weiter kann man, insbesondere im Falle von Ursache-Wirkungs-Ereignissen, bei entsprechenden Wiederholungsmöglichkeiten eines individuellen oder generellen Ereignisses folgende zwei grundsätzliche Fragen stellen:

Ist ein vollständig bekannter Wirkkomplex gegeben, so soll zum Paar (Anfangssituation, Innovation) die Endsituation vorhergesagt werden. Sind Endsituationen zu Paaren (Anfangssituation, Innovation) gegeben, so soll der Wirkkomplex bestimmt werden, möglichst in Form von Naturgesetzen.

Die Problematik, aus Realisierungen eines zufälligen Ereignisses das zugehörige ideale zu bestimmen, wurde schon am Schluss des vorhergehenden Abschnitts angesprochen.

Ein ideales Ereignis vollzieht sich im Rahmen einer theoretischen Modellbildung, wenn man so will, in einer Idealwelt. Das bedeutet, die Komponenten des Ereignisses sind exakt bestimmbar und ein durch die vorliegende Theoriebildung vollständig bekannter Wirkkomplex wirkt ungestört, d.h. ohne störende Nebeneffekte, ein.

Betrachtet oder untersucht man ein reales Ereignis, liegen ganz andere Verhältnisse, nämlich Schwierigkeiten, vor:

1. Die Komponenten des Ereignisses sind oft nicht exakt bestimmbar oder messbar wegen ihres Eingebundenseins in andere Zusammenhänge. Jedes reale Ereignis ist ein bedingtes. Vor allem kann die vollständige Bestimmung der Innovation Probleme bereiten, insbesondere wenn sie Zufallseinflüssen unterworfen ist. Wenn die Anfangssituation von einem Experimentator gesetzt oder hergestellt wird, ist ihre Erfassung im Allgemeinen leichter als wenn sie als Endsituation eines anderen Ereignisses präsentiert wird. Eine prinzipielle Messungengenauigkeit wird unter Umständen sowieso „stören“, je nach Anforderung an Genauigkeit der Komponenten.
2. Zusammenhängend mit dem ersten Punkt ist die Problematik, aus dem „Gewirr und Gewimmel“ von Ereignissen ein interessierendes Ereignis bzw. einen interessierenden Ereigniskomplex herauszulösen, man denke etwa an Beispiel (7). Schon die Betrachtung und Untersuchung *eines* realen Ereignisses erfordert eine Modellbildung im naturwissenschaftlichen Sinne, nämlich eine Vergrößerung der zu komplexen Realität durch ein „Aus-schneiden oder Isolieren“ eines für die beabsichtigte Untersuchung wesentlichen Teils des Geschehens, danach die Wahl einer passenden Untersuchungsstruktur. Diese Vergrößerung stellt gleichzeitig eine „Idealisierung“ des Geschehens dar. Wird die Vergrößerung unangemessen, also zu grob vorgenommen, führt das im Allgemeinen zu ungenauen oder sogar fehlerhaften Erkenntnissen über das Ereignis und eine mögliche Gesetzmäßigkeit.
3. Die bewusste Vernachlässigung gewisser Effekte als Nebeneffekte hängt wiederum zusammen mit der Problematik, den real wirkenden Wirkkomplex vollständig zu erfassen. Werden real wirkende Faktoren mit ihren Einflüssen, eben den Effekten, nicht in den

Wirkkomplex einbezogen, kann das auch zu ungenauen oder sogar fehlerhaften Erkenntnissen über das Ereignis und eine mögliche Gesetzmäßigkeit hinter dem Ereignis führen, insgesamt zu Irritationen. Es ist dann unter Umständen möglich, dass ein Ereignis als zufällig klassifiziert wird, obwohl es in Wirklichkeit ein Ursache-Wirkungs-Ereignis ist. Dies kann vorkommen, wenn bei vermeintlichen Kopien des Ereignisses verschiedene Endsituationen beobachtet werden, die vermeintlichen Kopien aber gar keine Kopien sind, sondern Wiederholungen in unabhängigen Varianten. Zu solchen Wiederholungen können die vermeintlichen Kopien werden, wenn sich Anfangssituation und/oder Innovation bei den Wiederholungen in Hinsicht auf den fälschlich nicht berücksichtigten Faktor unterscheiden.

4. Die Problematik der obigen Punkte 1. bis 3. wird jeweils noch verschärft im Falle, dass sogenannte chaotische Effekte im Spiel sind. Man spricht in den Naturwissenschaften von einem chaotischen Ereignis, wenn eine kleine Variation in (Anfangssituation, Innovation) zu drastischen Variationen in der Endsituation führt, entsprechend mit Bezug auf wirkende Faktoren von chaotischen Effekten. Ist in dem Sinne bei einem zu untersuchenden Ereignis, eventuell auch nur am Rande, also in seiner nahen Umgebung, Chaos im Spiel, so liegt, bildhaft gesprochen, „dicker Nebel“ über dem Geschehen, der Zuordnungen, Messungen, Auswertungen, Analysieren und Strukturieren erschwert. Insbesondere können bei Vorliegen von Chaos die Grenzen zwischen deterministisch und zufällig ablaufendem Geschehen verschwimmen. Unter Umständen ist praktisch, wegen Messproblemen hinsichtlich Genauigkeit und Zeitaufwand, und empirisch wegen der Schwierigkeit der Wiederholbarkeit nicht mehr zu unterscheiden zwischen „chaotisch deterministischem“ und zufälligem Geschehen. In solchen Fällen sollten neben einem soliden empirischen Befund gesicherte theoretische Herleitungen herangezogen werden, um zu einer richtigen Erkenntnis über das Geschehen zu kommen.
5. Da der Mensch Ungewissheit und erst recht eigentlich Zufälliges fürchtet, strebt er bei der Erforschung der Welt nach Sicherheit bzw. Planbarkeit und Vorhersagbarkeit, ja letzteres ist eine entscheidende Motivation für seinen Forscherdrang. Daher möchte er reale Ereignisse möglichst als deterministisch, in der Struktur einer Ursache-Wirkungs-Beziehung,

entdecken können. Das kann zu der „fixen Idee“ führen, zur Annahme des Axioms, alle Ereignisse seien bei hinreichend genauer und sorgfältiger Untersuchung als Ursache-Wirkungs-Ereignisse erklärbar, der Verweis auf den Zufall sei eine Ausrede für Nichtwissen. Bereitet die Erklärung der Ursache-Wirkungs-Beziehung Schwierigkeiten, bietet es sich an, zu einer beobachteten vermeintlichen Wirkung eine vorhergehende Ursache zu finden. Diese zeitlich rückwärts gerichtete Betrachtung birgt die Gefahr, ein „danach“ fälschlicherweise als „deswegen“ zu interpretieren. Handelt es sich um ein in Wahrheit zufälliges Ereignis, so stehen ja auch (Anfangssituation, Innovation) in einer Beziehung zur beobachteten realisierten Endsituation, aber es fehlt zur Ursache-Wirkungs-Beziehung die Eindeutigkeit der korrespondierenden Endsituation. Mit einem hinreichend starken Willen lässt sich immer zu einer beobachteten Endsituation eine vorhergehende vermeintliche Ursache aus dem realen Gewirr und Gewimmel des Geschehens finden. Das belegen zum Beispiel immer wieder Börsen-Experten, die nach einer markanten Kursbewegung der Börse, etwa einem „Crash“ der Kurse, nachträglich Ursachen dafür finden so, dass „es so kommen musste“ , dass es klar war, dass dies eintreffen werde. Bemerkenswert sind solche Äußerungen dann, wenn dieselben Experten kurz vor dem Crash nichts derartiges in Aussicht gestellt hatten, sondern optimistisch für eine weitere Aufwärtsbewegung der Kurse waren. Die hergeholten „Ursachen“ überzeugen in diesem Falle nicht als Erklärung für das Geschehen. Ex-post-Analysen mit nachträglichen Begründungen sind billig und oft unehrlich, sie verraten wenig vom Verständnis des Geschehens. Wertvoll sind hingegen gute Prognosen für zukünftiges Geschehen, wer solche liefert, beweist damit Verständnis. Zur richtigen Einordnung eines Ereignisses als deterministisch oder zufällig sollte deshalb analog eine vorwärts gerichtete Betrachtung bzw. Untersuchung des Ereignisses vorgenommen werden mit der ehrlichen Frage: Was muss bzw. kann als Endsituation sich ergeben? Mit dieser Einstellung werden sich mehr in Wahrheit zufällige Ereignisse als solche auch erkennen lassen, da die Mehrdeutigkeit der Zuordnung (Anfangssituation, Innovation) zur Endsituation leichter erfassbar ist.

Ein Abschnitt über Naturgesetze und Gesetzmäßigkeiten für deterministische und zufällige Ereignisse bzw. Experimente findet sich im 2. Kapitel nach einer ausführlichen Behandlung der zufälligen Ereignisse.



## 2 Zufällige Ereignisse

### 2.1 Eine Annäherung an den Zufall

Die folgenden Überlegungen schließen an die Darstellung in Abschnitt 1.4 (B) und 1.5 Punkt 5 an. Zufall manifestiert sich in Ereignissen, deshalb mache ich eine Definition von Zufall fest an zufälligen Ereignissen.

Als eine Realdefinition eines zufälligen Ereignisses habe ich angegeben: „Ein ideales zufälliges Ereignis kann so oder anders ausgehen, und wenn es sich oft genug realisiert, wird es auch mal anders ausgehen.“ Die realen zufälligen Ereignisse sind als Realisierungen idealer bzw. idealisierter damit ebenfalls erfasst. Gilt obige Aussage für ein Ereignis objektiv in der natürlichen Wirklichkeit, d.h. unabhängig von subjektiven Eindrücken, Kenntnissen und Bewertungen, so spreche ich von einem *eigentlich zufälligen* Ereignis. Gilt die Aussage aber nur auf Grund subjektiver, d.h. menschlicher Eindrücke und Erkenntnisse bzw. Nichtwissen, liegt aber objektiv ein deterministisches Ereignis vor, so nenne ich das interessierende Ereignis *ungewiss* oder *subjektiv zufällig bewertet*. Seriöse Begründungen für das Auftreten der letztgenannten zufälligen Ereignisse habe ich in Abschnitt 1.5 gegeben.

Eine andere mögliche Realdefinition eines zufälligen Ereignisses geht von der klassischen, bekannten Ursache-Wirkungs-Beziehung aus und definiert Zufall in gewisser Weise als komplementär dazu: In Folge der mehreren möglichen Endsituationen bei Realisierung eines zufälligen Ereignisses ist einer realisierten Endsituation, der „Wirkung“, bei gegebener Innovation nicht eine Anfangssituation als „Ursache“ zuzuordnen insofern, als dass diese „Ursache“ auch eine andere „Wirkung“ hätte hervorbringen können. Die Anfangssituation reicht nicht aus, um unter Berücksichtigung von Innovation und Wirkkomplex die Endsituation zu erklären bzw. vorherzubestimmen. In diesem Sinne ist die realisierte Endsituation unverursacht. Die Zuordnung „Ursache-Wirkung“ bzw. die Eigenschaft „unverursacht“ muss in dieser Abhandlung begründet oder gerechtfertigt sein auf der Basis materiell ablaufender Prozesse oder Wechselwirkungen. Prägnant und kurz formuliert: Zufälliges ist unverursacht.

Schließlich sei auf eine umgangssprachlich häufige Verwendung des Begriffes „zufällig“ hingewiesen, die unwissenschaftlich bzw. unsystematisch ist: Dabei wird der Begriff „zufällig“ praktisch gleichwertig eingesetzt zu einem Begriff wie „unerwartet oder überraschend oder unwahrscheinlich“. Oft heißt es: Person A hat zufällig den Hauptgewinn im Lotto erzielt. Aber kaum jemand sagt: „Ich habe diese Woche im Lotto zufällig nichts gewonnen“. Da die Ziehung der Gewinnzahlen im Lotto als zufälliges Ereignis aufgefasst wird, sind somit das Erzielen des Hauptgewinns zum einen und das Nicht-Gewinnen zum anderen beides zufällige Ereignisse. Das zuerst genannte Ereignis hat nur eine viel geringere Wahrscheinlichkeit der Realisierung als das zweite. Das zweite ist die „zu erwartende“ Realisierung, über die sich niemand wundert, wenn sie eintritt. In der Umgangssprache wird das „Zufallen“ von etwas oft nicht „technisch neutral“ verstanden, sondern unter dem Aspekt der Überraschung.

Es sei an dieser Stelle nochmals daran erinnert, dass die bewusste Beobachtung oder Durchführung eines zufälligen Ereignisses, insbesondere wenn es in vielen Kopien realisiert werden kann, auch gerne als Zufallsexperiment bezeichnet wird.

Zufällige Ereignisse sind unmittelbar und charakteristisch verbunden mit dem Begriff der Wahrscheinlichkeit, dem Bindeglied zwischen idealen und realen zufälligen Ereignissen. Jeder einzelnen möglichen Endsituation eines idealen zufälligen Ereignisses haftet eine Wahrscheinlichkeit an, mit der diese konkrete Endsituation sich bei einer Realisierung des idealen Ereignisses ergibt. Die Gesamtheit dieser einzelnen, den möglichen Endsituationen anhaftenden Wahrscheinlichkeiten, heißt die Wahrscheinlichkeitsverteilung des idealen zufälligen Ereignisses oder auch einfach seine Wahrscheinlichkeit. Diese ist somit ein ideales Konstrukt, das durch theoretische Überlegungen bestimmt ist, wie etwa beim Werfen eines „unverfälschten“ Würfels, oder das empirisch gestützt ist dadurch, dass in der Serie von „hinreichend vielen“, sagen wir,  $N$  realisierten Kopien des zufälligen Ereignisses die den realisierten Endsituationen anhaftenden relativen Häufigkeiten näherungsweise gleich den ihnen anhaftenden Wahrscheinlichkeiten sind. Die relative Häufigkeit für eine einzelne Endsituation ist definiert als derjenige Anteil der  $N$  realisierten Kopien, die diese betreffende Endsituation haben, d.h. als Quotient (Anzahl der Kopien mit dieser Endsituation) dividiert durch  $N$ . Die Gesamtheit dieser einzelnen, den realisierten

Endsituationen anhaftenden relativen Häufigkeiten heißt die (relative) Häufigkeitsverteilung. Sie ist bezogen auf die realisierten  $N$  Kopien und ändert sich mit jeder weiteren realisierten Kopie. Die Häufigkeitsverteilung ist ein rein empirisches Konzept und bedarf keiner Anbindung an ein ideales Ereignis bzw. Modell. Die Wahrscheinlichkeit jedoch ist, vom Empirischen herkommend, aufzufassen als Idealwert der Häufigkeitsverteilung und gebunden an das ideale zufällige Ereignis. Sie ist durch die Art des zufälligen Ereignisses oder Zufallsexperimentes von Natur aus bestimmt im Sinne eines Naturgesetzes, aber dem interessierten Beobachter oder Experimentator oft nicht zahlenmäßig bekannt. Der Idealwert oder „Sollwert“ Wahrscheinlichkeit ist in der Realität, d.h. mittels Realisierungen des idealen zufälligen Ereignisses in Form von Kopien, nur fehlerbehaftet beobachtbar, eben als empirisch fassbare Häufigkeitsverteilung. Die ideale Modellierung eines zufälligen Ereignisses einschließlich der exakten Quantifizierung der Wahrscheinlichkeitsverteilung wird desto besser begründet und zuverlässiger, je mehr Argumente von beiden Seiten, der theoretischen und der empirischen, vorliegen.

Das in Abschnitt 1.4 (B) als Urmuster eines Zufallsexperimentes beschriebene Urnen-Experiment schließt bei passender mathematischer Verallgemeinerung formal-anschaulich die Lücke zur Erklärung der bei Realisierung eines zufälligen Ereignisses sich ergebenden eindeutigen Endsituation: Die „Urne“, abgekürzt  $\Omega$ , besteht aus der Menge aller möglichen sogenannten Elementarereignisse  $\omega$ , jedem Elementarereignis  $\omega$  ist durch eine Zuordnungsvorschrift  $X$  eine der möglichen Endsituationen, bezeichnet mit  $X(\omega)$ , zugeordnet. Das Charakteristikum des interessierenden zufälligen Ereignisses ist seine sogenannte Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P_X$ . Im Falle von nur endlich vielen oder höchstens abzählbar unendlich vielen möglichen Endsituationen  $ES_1, ES_2, ES_3, \dots$ , gibt  $P_X(ES_i), i = 1, 2, 3, \dots$ , (das  $P_X$  ausgewertet für jede mögliche Endsituation  $ES_i$ ), an, mit welcher Wahrscheinlichkeit sich bei Realisierung des zufälligen Ereignisses die Endsituation  $ES_i$  ergibt. Formal-anschaulich bedeutet die Realisierung des zufälligen Ereignisses, dass genau ein Elementarereignis  $\omega$  gemäß einer Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P$  aus der Urne gezogen wird, und zwar muss  $P$  der Menge all derjenigen  $\omega$ , für die  $X(\omega) = ES_i$  ist, den Wert  $P_X(ES_i)$  zuweisen. Man kann formal auch direkt die  $ES_1, ES_2, ES_3, \dots$ , als Elementarereignisse, d.h. Elemente der Urne  $\Omega$  ansehen, so dass die Realisierung des zufälligen Ereignisses der Ziehung eines Elementes  $ES_i$  aus der Urne mit der Wahrscheinlichkeit  $P(ES_i) = P_X(ES_i)$

entspricht. Die oben erwähnte Verallgemeinerung des Urnen-Experimentes besteht darin, dass die Wahrscheinlichkeit  $P_X(ES_i)$  dafür, dass die Endsituation  $ES_i$  gezogen wird, irgendeine reelle Zahl zwischen Null und Eins sein kann, insbesondere nicht jedes  $ES_i$  mit gleicher Wahrscheinlichkeit gezogen wird. Sind mehr als abzählbar unendlich viele Endsituationen möglich, z.B. alle reellen Zahlen größer gleich Null und kleiner gleich  $T$ , so sind einige mathematisch-technische Feinheiten bei der Definition der Wahrscheinlichkeitsverteilung zu beachten, die Systematik bleibt aber gleich. Auch bei der letztgenannten Modellierung von  $\Omega$  tritt bei Realisierung des zufälligen Ereignisses die Endsituation  $ES_i$  mit der gleichen Wahrscheinlichkeit ein wie bei der erstgenannten Modellierung von  $\Omega$ . Beim idealen zufälligen Ereignis ist also dem Paar (Anfangssituation, Innovation) nach Berücksichtigung des real wirkenden Wirkkomplexes eindeutig eine Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P_X$  bzw.  $P$ , je nach Modellierung von  $\Omega$ , zugeordnet. Das  $P_X$  bzw.  $P$  steht beim zufälligen Ereignis an Stelle der eindeutig determinierten Endsituation beim Ursache-Wirkungs-Ereignis. Bei der Realisierung des zufälligen Ereignisses ist  $P_X$  bzw.  $P$  der sich ergebenden eindeutigen Endsituation vorgeschaltet, es ist das „Bindeglied zwischen Zufall (= Mehrdeutigkeit) und Notwendigkeit (= Eindeutigkeit)“, um eine tiefsinnige Formulierung von Leibniz aufzugreifen (s. Müller (1994)). Die Zuordnungsvorschrift  $X$ , die jedem  $\omega$  eine Endsituation  $X(\omega)$ , eines der  $ES_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ , zuordnet, heißt Zufallsvariable, sie beschreibt die mit den möglichen  $\omega$ 's variierende Endsituation des idealen zufälligen Ereignisses.

Die Wissenschaft des Studiums von Zufallsphänomenen heißt nach Jakob Bernoulli *Stochastik* gemäß seines 1713 erschienenen epochalen Werkes „Ars conjectandi sive stochastice“. Er knüpft mit dieser Wortwahl an das altgriechische „στοχαστική τέχνη“ an, das Sokrates in Platons Dialog Philebos verwendet und dem das Lateinische „Ars conjectandi“ entspricht.

Wie kommt nun die Ziehung eines Elementarereignisses aus der Urne zustande? Man sagt, „die Natur“ ziehe das Elementarereignis oder ein Prinzip „Zufall“ werde aktiv. Ein Mechanismus, sei es ein abstrakt gedachter oder ein technischer, materieller Apparat, der solch ein verallgemeinertes Urnen-Experiment durchführt, also gemäß einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung ein Elementarereignis aus der Urne zieht, heiße *Randomisator*, also „Zufalls-erzeuger“. Als Beispiele eines Randomisators in Form eines technischen, materiellen Apparates

seien genannt das Werfen eines Würfels oder die Apparatur zur Ziehung der Gewinnzahlen im Zahlenlotto. Im Falle eines nur ungewissen, also nur subjektiv zufällig bewerteten Ereignisses, stellt die Natur, d.h. das Geschehen in der natürlichen Wirklichkeit, über materiell ablaufende Prozesse bzw. Wechselwirkungen ein „Elementarereignis“ her. Im Bild des Urnen-Experimentes heißt das, dass ein durch materiell ablaufende Prozesse bzw. Wechselwirkungen determiniertes  $\omega$  „gezogen“ wird. Das Ziehungsergebnis erscheint einem Beobachter wegen der Komplexität des Geschehens zufällig oder unverursacht, in Wahrheit ist es aber determiniert. Wenn das Experiment oft genug in Form von Kopien realisiert wird, drückt die Häufigkeitsverteilung der beobachteten Endsituationen näherungsweise die „Mischung der möglichen Endsituationen“ aus. Diese Mischung, beschrieben durch die Gewichte der einzelnen Endsituationen, wird subjektiv als Wahrscheinlichkeitsverteilung aufgefasst. Im Falle eines eigentlich zufälligen Ereignisses aber zieht die „Natur“ wirklich zufällig oder das Prinzip Zufall wird aktiv. Das bedeutet, dass das gezogene Elementarereignis objektiv unverursacht ist insofern, als es nicht über materiell ablaufende Prozesse bzw. Wechselwirkungen determiniert ist. Die Natur „lässt sich bei ihrer Ziehung nicht in die Karten schauen“, mag man prägnant formulieren. Im Bild des Urnen-Experimentes könnte man formal-anschaulich sagen: „Hinter dem Vorhang zieht die Natur ein Elementarereignis aus der Urne, wenn sie es gezogen hat, zeigt sie es uns.“ Damit bleibt aus Sicht der naturwissenschaftlichen Ursachenforschung ein „weißer Fleck auf der Landkarte“, das Zustandekommen oder die Wirkungsweise des Zufalls ein Geheimnis. Das Erscheinende des Zufalls, die zufälligen Phänomene hingegen, lassen sich mathematisch-naturwissenschaftlich untersuchen, ja bemerkenswerte Gesetzmäßigkeiten lassen sich finden (siehe z.B. Müller (1991), Herkenrath (2002), Herkenrath (2004), Stochastik (Internet)).

Eine analoge Situation in der Physik liegt bei der Gravitation vor: Es ist bis heute nicht gesichert, wie sie zustande kommt, aber das Gravitationsgesetz seit Jahrhunderten bewiesen und bewährt. In gewisser Weise ist das menschliche Denken darauf fixiert, naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen in Form von Ursache-Wirkungs-Beziehungen, möglichst formal gefasst in Naturgesetzen. Ist das auf Grund der empirischen Befunde nicht möglich, scheint der Versuch der Erkenntnis gescheitert, der Sachverhalt zu kompliziert oder das Denkmodell unzureichend zu sein. Der Befund der Zufälligkeit mag, wie es schon Voltaire formuliert hat, als

„asylum ignorantiae“ erscheinen, indem er sagt: „Was wir Zufall nennen, ist nichts anderes und kann nichts anderes sein als die unbekannte Ursache einer bekannten Wirkung“ . Dieses Zitat sowie viele weitere über den Zufall, geäußert von Denkern aller Zeiten, findet sich in einem Aufsatz von P.H. Müller (1994). Die Vorstellung, dass in der natürlichen Wirklichkeit etwas im oben beschriebenen Sinne unverursacht geschieht, stellt für viele Denker ein Ärgernis dar, damit scheint eine ansonsten wohlgeordnete Natur „aus dem Ruder zu laufen“ oder verschmutzt zu sein. Manche Menschen fühlen sich vielleicht in ihrer intellektuellen Eitelkeit gekränkt, da eine Grenze der Erkenntnis, zumindest der Vorhersehbarkeit und Planbarkeit, erfahrbar wird. Der eigentliche Zufall enthält etwas Geheimnisvolles, Unerfassbares, Unerklärliches. Ein prinzipieller Einwand gegen das Akzeptieren des eigentlichen Zufalls wird im Sinne oben angeführten Zitats von Voltaire sein, dass wir *heute* noch zu wenig wissen, eines Tages aber den eigentlichen Zufall als gelüftetes Geheimnis, als überflüssiges Konzept im Archiv der Wissenschaft ablegen können. Die Quantenphysik hat, zumindest nach heutigem Erkenntnisstand, den Durchbruch zur Akzeptanz des in der Natur wirksamen Prinzips „Zufall“ geleistet. Der eigentliche Zufall, den die Quantenphysiker entdeckt haben, wird sicher heute nicht mehr ernsthaft geleugnet. Der prinzipielle Einwand gegen die Akzeptanz des eigentlichen Zufalls zumindest außerhalb der Quantenphysik setzt formal an mit der Reklamation der Berücksichtigung weiterer möglicherweise aktuell unbekannter Faktoren im Wirkkomplex, die auf möglicherweise noch nicht berücksichtigte Eigenschaften von (Anfangssituation, Innovation) zugreifen und so eine eindeutige Endsituation determinieren.

Die Entscheidung, den eigentlichen Zufall anzuerkennen oder eben mit dem Verweis auf den wissenschaftlichen Fortschritt in der Vergangenheit als nur temporär benötigtes „asylum ignorantiae“ anzusehen, muss von jedem getroffen werden im Hinblick auf den Bewertungsmaßstab „An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen“ . Das bedeutet, dass man die Folgerungen, die sich aus der getroffenen Entscheidung ergeben, abgleicht mit den Erfahrungen und Erkenntnissen, die man über das Geschehen in der belebten und unbelebten Natur insgesamt hat.

## 2.2 Die unbelebte Natur als Quelle des Zufalls

Die Quantenphysik hat den Zufall in die Physik einziehen lassen, weil sie ohne dieses Prinzip eine Vielzahl von Phänomenen nicht überzeugend beschreiben oder erklären kann (siehe z.B. Hey und Walters (1998)). So werden z.B. Elektronen als Ladungsverteilung aufgefasst und besitzen demzufolge bezogen auf ein Raum- oder Volumenelement Aufenthaltswahrscheinlichkeiten. Die Beobachtung bzw. Messung eines Elektrons entspricht einer Realisierung seiner Ladungsverteilung, d.h. einer Realisierung des Zufallsexperimentes, das durch diese Ladungsverteilung beschrieben ist. Die Zufallsphänomene der Quantenphysik sind, zumindest nach heutigem Kenntnisstand, eigentlich zufällig, genauer gesagt *objektiv (eigentlich) zufällig*, da sie ohne Zutun eines Subjektes und ohne subjektive Bewertung von Natur aus so eingerichtet sind. Damit ist in der „Quantenwelt“ eine Quelle des objektiven Zufalls installiert, die grundsätzlich nicht ignoriert werden kann, auch hinsichtlich ihrer Ausstrahlung in die makroskopische Welt. Objektiv zufällige Ereignisse aus der Quantenwelt können über Kettenreaktionen in den makroskopischen Bereich vordringen, sind dort wohl im Allgemeinen nicht zu trennen von anderen Störungen oder „Nebenwirkungen“, die auf makroskopischer Ebene stattfinden. Diese Aussagen sollen an Hand einiger Beispiele erläutert werden.

Ein klassisches Beispiel für den objektiven Zufall der Quantenphysik ist der radioaktive Zerfall von Atomen entsprechender radioaktiver Elemente. Die Anzahl der Atome eines radioaktiven Materials, die in einem bestimmten Zeitintervall zerfallen, ist zufällig oder muss nach heutigem Kenntnisstand als zufällig angesehen werden. Wenn man das entsprechende Experiment in Form von  $N$  Kopien wiederholt, erhält man bei jeder Kopie eine andere, zufällige Anzahl zerfallener Atome. Diese bei den einzelnen Realisierungen des Experimentes beobachteten  $N$  Anzahlen schwanken um einen theoretisch durch das Naturgesetz des radioaktiven Zerfalls begründeten „Sollwert“, den zu erwartenden Wert für diese Anzahl bei einmaliger, idealer Realisierung dieses Zufallsexperimentes. Mehr noch, die Wahrscheinlichkeitsverteilung der zufälligen Anzahl zerfallener Atome ist theoretisch hergeleitet aus einem idealen Modell einschließlich einer darin begründeten idealen Wahrscheinlichkeit. Daraus ergibt sich insbesondere der Sollwert. Dieses theoretisch abgeleitete Naturgesetz ist empirisch gesichert durch folgenden Sachverhalt:

Die beobachteten  $N$  Anzahlen, d.h. die Istwerte, sind zu interpretieren als mit Zufallsfehlern überlagerte, wenn man so will, als verschmutzte Sollwerte. Ihr Mittelwert, d.h. (Summe der  $N$  Anzahlen) dividiert durch  $N$ , kommt für große  $N$  dem Sollwert nahe, tendenziell desto besser, je größer  $N$  ist. Diese Eigenschaft ist, falls das Idealmodell passend ist, eine Konsequenz des sogenannten „Gesetzes der großen Zahlen“, eines fundamental wichtigen Gesetzes in der Stochastik (siehe dazu Müller (1991), Stochastik (Internet)). Andererseits gibt diese Näherung eine empirische Begründung für die Modellierung des Sollwertes. Gesetzmäßigkeiten über Messfehler im Sinne von Zufallsfehlern gehören zu den ältesten und wichtigsten Resultaten der Stochastik. Die Bemerkungen zum Sollwert können sinngemäß auf jeden Wert der Wahrscheinlichkeitsverteilung der zufälligen Anzahl zerfallener Atome übertragen werden. Das mathematisch ideale Konzept der Wahrscheinlichkeit lässt sich im Falle der Möglichkeit, beliebig viele Kopien des betreffenden Zufallsexperimentes ziehen zu können, also empirisch begründen oder zumindest stützen.

Die Frage nach einer Fortwirkung des quantenphysikalischen Zufalls in den makroskopischen Bereich hinein sollte nicht vorschnell mit einem generellen Verweis auf die Ausmittlung vieler, möglichst voneinander unabhängiger Zufallsschwankungen abgetan werden. Für sehr viele Phänomene bzw. Ereignisse im makroskopischen Bereich wird das sicher richtig sein. Lässt man z.B. einen Stein aus 2 Metern Höhe zu Boden fallen, so wird das Versuchsergebnis, nämlich die benötigte Zeit bis zum Aufprall am Boden, zumindest in erster, zweiter und dritter Näherung nicht von quantenphysikalischen Effekten abhängen, sondern eher von Störfaktoren auf makroskopischer Ebene wie Luftwiderstand. Innerhalb der Untersuchungsstruktur der makroskopischen Physik erscheinen diese Effekte ohnehin nicht. Erst recht stellt sich die Frage nach der Meßgenauigkeit des Ergebnisses. Ich gebe aber folgendes zu bedenken:

- Rein prinzipiell können Zufallseinflüsse, die in der natürlichen Wirklichkeit auf irgendeiner Ebene wirksam sind, nicht rückstandslos verschwinden.
- Eine Ausmittlung von Zufallseinflüssen im Falle sehr vieler Quellen, etwa Elementarteilchen, findet den Erkenntnissen der Stochastik gemäß nur unter gewissen Voraussetzungen statt. Die in der Stochastik sogenannten Ergodensätze behandeln diese Thematik (siehe



Müller (1991)). Es gibt ohne entsprechende Voraussetzungen auch das, was ich „divergierende Kettenreaktionen“ nenne. Diese würden sich ausmitteln, wenn man das solche Kettenreaktionen beinhaltende Zufallsexperiment in vielen Kopien wiederholen würde. Das ist aber unter Umständen gar nicht gegeben. Als Beispiel denke ich an folgenden Prozess: Ein Quant könne zwei mögliche Zustände A und B annehmen, jeden mit positiver Wahrscheinlichkeit. Geht es auf A, löse es eine Kettenreaktion  $K_1$  aus, die auf makroskopischer Ebene etwa zum Ausfall eines elektronischen Bauteils in einer technischen Anlage führe. Wird Zustand B angenommen, werde die technische Anlage nicht gestört. Auf makroskopischer Ebene beobachtet man entweder den Ausfall oder die weitere Funktionsfähigkeit der Anlage, beide Situationen jeweils unverursacht, weil objektiv zufällig. Kettenreaktionen im großen Umfang sind ja etwa auch aus Kernkraftwerken bekannt.

- Generell erhebt sich die Frage, wie natürliche Schwankungen bei auf makroskopischer Ebene zu beobachtenden Größen zustande kommen, etwa Stromstärken. Als erstes denkt man natürlich an Störeffekte aus der Umgebung, verursacht durch beteiligte Materialien und selbstverständlich und nicht zu vergessen an Ungenauigkeiten der Messapparatur für die interessierende Größe. Es erscheint hier wieder eine Störgröße, die von mehreren Faktoren gespeist wird. Der genaue Wert einer zu messenden Größe und damit ihre Fortwirkung auf andere Ereignisse, wird oft ungewiss sein, zumindest bei sehr hoher Genauigkeitsanforderung. Ob er auch objektiv zufällig beeinflusst ist, weil letztlich der quantenphysikalische Zufall Einfluss hat, ist für weitere Fortwirkungen dieser Größe uninteressant, bleibt aber ein interessantes Erkenntnisproblem, das im Allgemeinen vielleicht nicht zu klären ist.
- Ein weiterer wichtiger Punkt für das Auftreten zufälliger Phänomene auf makroskopischer Ebene sind „zufällige Mutationen des Erbguts“ in der Evolution der Lebewesen (siehe Lücke (2008), Monod (1971)). Die entsprechenden Fachwissenschaftler müssten versuchen, das Zustandekommen solcher Mutationen zu analysieren, so weit es geht, insbesondere um zu klären, ob dabei quantenphysikalische Effekte wirken.

## 2.3 Naturgesetze und Gesetzmäßigkeiten

Basierend und bezogen auf Ereignisse werden Naturgesetze und Gesetzmäßigkeiten gefunden und formuliert. Dabei ist eine gewisse Wiederholbarkeit dieser Ereignisse vorausgesetzt, am besten in Form von Kopien, einmal, um die Möglichkeit ihrer Entdeckung zu haben, zum anderen, um sie überprüfen zu können. Unter einem Naturgesetz verstehe ich eine präzise Aussage, wie etwa das konkrete Fallgesetz für physikalische Körper, unter einer Gesetzmäßigkeit eine allgemeiner gültige Aussage, z.B. der Art „Zwischen zwei ruhenden physikalischen Körpern besteht eine Anziehungskraft“. Solche Naturgesetze und Gesetzmäßigkeiten können für deterministische Ereignisse formuliert sein, wie etwa die Sätze der klassischen Physik, oder für zufällige Ereignisse, wie Sätze der Quantenphysik, oder der Stochastik, man spricht dann von stochastischen Naturgesetzen oder Gesetzmäßigkeiten.

Ein Beispiel für ein Naturgesetz aus der Stochastik ist die Aussage: Seien  $X_1, \dots, X_n$  die Variablen (Veränderlichen), die die Auskommen von  $n$  Kopien eines Zufallsexperimentes beschreiben. Ihre möglichen Werte, die sie annehmen können, seien reelle Zahlen, ihr (gemeinsamer) zu erwartender Wert sei  $\mu$ . Dann ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Variablen  $\bar{X}_n = \frac{1}{n} (X_1 + \dots + X_n)$ , d.h. des Durchschnitts, näherungsweise eine  $N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ -Normalverteilung, d.h. der zu erwartende Wert von  $\bar{X}_n$  ist  $\mu$ , die Varianz (Maßzahl für die Streuung der Werte von  $\bar{X}_n$ ) ist  $\frac{\sigma^2}{n}$  und die Verteilung insgesamt näherungsweise eine Normalverteilung. Diese Annäherung an eine Normalverteilung wird um so besser, je größer  $n$ , die Anzahl der einbezogenen Variablen, ist.

Ein Beispiel für eine Gesetzmäßigkeit aus der Stochastik ist die Aussage: Ein Messfehler  $X$  (in Form einer Variablen), der sich als Summe vieler, voneinander unabhängiger Beiträge (jeweils mit endlicher Varianz) ergibt, ist (näherungsweise) normalverteilt.

Diese beiden Aussagen folgen aus dem sogenannten Zentralen Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitstheorie (siehe Müller (1991), Stochastik (Internet)).

Fundamental wichtig ist die Erkenntnis: Naturgesetze sind formuliert für ein ideales Modell bzw. ein ideales Ereignis und auf Basis einer Theorie bewiesen. Sie ordnen einer diesem Ereignis an-

haftenden interessierenden Zielvariablen einen Wert zu, einen in Hinsicht auf Realisierungen dieses Ereignisses sogenannten Sollwert. Dieser Sollwert ist bei deterministischen idealen Ereignissen genau ein Element einer Menge von Werten, die ihrer Dimension nach überhaupt als Sollwerte in Frage kommen, in vielen Fällen eine reelle Zahl, oft angereichert mit einer Dimension oder Maßeinheit (z.B. Meter, Sekunde, Kilogramm). Bei zufälligen idealen Ereignissen ist der Sollwert eine Zufallsvariable bzw. somit eine ganze Wahrscheinlichkeitsverteilung über einer Menge von möglichen Werten, oft angereichert mit einer Dimension, die die interessierende Zielvariable annehmen kann, z.B. eben eine Normalverteilung. Entsprechende Gesetzmäßigkeiten folgen aus Naturgesetzen durch Ausdehnung auf allgemeinere Modelle bzw. Ereignisse.

In der natürlichen Wirklichkeit oder Realität kann man immer nur dem idealen Modell bzw. Ereignis, auf das sich ein Naturgesetz bezieht, möglichst nahe kommende Kopien realisieren. Dementsprechend und zusätzlich auf Grund prinzipieller Ungenauigkeiten bei jedem Messverfahren der interessierenden Zielvariablen können bzw. werden die real gemessenen Werte bei realisierten Kopien des idealen Ereignisses um den Sollwert herum schwanken. Das gilt für deterministische so wie auch für zufällige Ereignisse. Bei letzteren benötigt man ohnehin mehrere oder zahlreiche Realisierungen des Ereignisses, um den Sollwert in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung empirisch erfassen zu können. Was man konkret auf der Grundlage von  $n$  realisierten Kopien erfasst, ist eine relative Häufigkeitsverteilung über die möglichen Werte der interessierenden Zielvariablen. Diese Häufigkeitsverteilung sollte der Wahrscheinlichkeitsverteilung, die den Sollwert darstellt, nahe kommen, je größer  $n$  ist, desto besser.

Die im Falle eines deterministischen Naturgesetzes bei den Realisierungen des zugehörigen idealen Ereignisses beobachteten Schwankungen der gemessenen Ist-Werte der Zielvariablen um den Sollwert herum ändern nichts an der deterministischen Natur des idealen Ereignisses und somit des Naturgesetzes. Denn das Naturgesetz und somit auch die Qualifikation des Ereignisses als deterministisch beziehen sich auf das ideale Ereignis. Anders gesagt: Der entscheidende Unterschied zwischen deterministischem und stochastischem Naturgesetz besteht darin, ob mehrere verschiedene Werte der Zielvariablen möglich sind bezogen auf das ideale Modell oder seine Realisierungen. Analog gilt bei einem stochastischen Naturgesetz: Eine auf

Basis von  $n$  realisierten Kopien des zugehörigen Ereignisses ermittelte relative Häufigkeitsverteilung der gemessenen Ist-Werte, die von der Sollwert-Verteilung abweicht, widerspricht nicht ohne weiteres dem Naturgesetz, d.h. der Richtigkeit des Sollwertes. Für beide Fälle von Naturgesetzen, deterministische und stochastische, gilt allerdings: Wenn die empirisch ermittelten Messwerte, d.h. die gemessenen Ist-Werte bei realisierten Kopien, auffällig und basierend auf einer sehr großen Anzahl von Kopien vom Sollwert abweichen, dann sollte das Anlass sein, die Herleitung des Naturgesetzes auf ihre Richtigkeit hin zu überprüfen. Das ist die Vorgehensweise der der Empirie verpflichteten Wissenschaften. Zusätzlich bieten solche empirischen Daten bei gegebenen experimentellen Möglichkeiten eine Orientierung zur Herleitung des Naturgesetzes bezogen auf das ideale Modell.

## 2.4 Die belebte Natur als Quelle von Zufall

Ein uraltes und immer wiederkehrendes Thema in der Philosophie ist die Frage nach dem Zustandekommen menschlicher Handlungen. Noch allgemeiner untersucht die Verhaltensforschung das Zustandekommen von Handlungen von Lebewesen. Da das Geschehen in unserer Erfahrungswelt von solchen Handlungen durchsetzt ist, hängt das Verständnis und die Bewertung von Ereignissen ganz wesentlich von einer Antwort auf die oben formulierte Frage ab. Insbesondere erweist sich das als entscheidend für eine Klassifikation in „deterministisch bzw. zufällig“. In meinen Betrachtungen grenze ich mich hier im wesentlichen auf menschliche Handlungen ein. Vorstellungen und Modelle über das Zustandekommen menschlicher Handlungen sind solche über menschliche Entscheidungsprozesse. Sie sind somit eng verknüpft mit den Themen:

- Was ist der menschliche Geist bzw. das Verhältnis Geist zu Gehirn oder Körper?
- Hat der Mensch für seine Entscheidungen Auswahlmöglichkeiten, eine gewisse Willens- und Entscheidungsfreiheit, oder sind seine Entscheidungen determiniert?

Ich möchte hier diese existenzielle Thematik nur anrühren, insoweit es für die Klassifikation „deterministisch oder zufällig“ von Ereignissen bzw. das Verständnis von Zufall wichtig ist, auch

das Thema „Willensfreiheit“ nicht vertiefen. Als generelle Referenz zu dieser Thematik sei gegeben der Sammelband von Heilinger (2007), der 22 einzelne Aufsätze enthält. Insbesondere möchte ich daraus mit Blick auf das hier abzuhandelnde Thema hervorheben den Aufsatz von Heisenberg (2007).

Die folgenden Betrachtungen betreffen die Welt der Phänomene oder des Erscheinenden, gehen dort aber bis zur Grenze des Metaphysischen. Wesentliche Fragen zum Selbstverständnis des Menschen müssen vor einem metaphysischen Hintergrund oder auf einer solchen Grundlage behandelt werden. Antworten darauf fallen demzufolge individuell verschieden aus, sie unterliegen nicht mehr naturwissenschaftlichen Kriterien. Gleichwohl sollte die Suche nach solchen Antworten zuerst den Bereich der Naturwissenschaften berücksichtigen, d.h. naturwissenschaftliche Erkenntnisse nicht außer Acht lassen. Eine spezielle Einstellung zur Metaphysik besteht in der Leugnung ihrer Ernsthaftigkeit und Bedeutung für die menschliche Existenz, wenn man so will, in der Wahl des Primats der Naturwissenschaften für die Erkenntnis. Die Frage nach den „zulässigen“ Erkenntnisbereichen und ihrem Verhältnis zueinander bzw. Antworten dazu nehmen Weichenstellungen vor für Erklärungsmöglichkeiten und Verständnis menschlichen Denkens und Handelns. Heisenberg (2007, S. 46) schreibt dazu: „Die Naturgesetze sind nicht die Natur. Unser persönliches Dasein ist ein existenzielles Ereignis, ein Einzelfall. ... Unsere Wahrnehmungen und Gefühle, unsere Gedanken und Erinnerungen, unser Bewusstsein und unsere Freiheit sind zunächst solche singulären Lebensmomente. Sie gibt es einfach, wie es diesen Baum und jenen Bach, diese Wolke oder den Abendstern gibt. Das ist der metaphysische Hintergrund, vor dem sich das Dasein abspielt. Untrennbar davon, aber doch erst in zweiter Linie, können wir unser Dasein reflektieren, unsere Erfahrungen in Begriffe fassen, darüber nachdenken, miteinander reden und schließlich auch Wissenschaft betreiben“ .

Vor einer weiteren Analyse des Zustandekommens menschlicher Handlungen nehme ich eine unscharfe Sortierung für diese vor:

- (i) Reflexe, z.B. das Wegspringen vor einer Gefahr,
- (ii) unbewusste Handlungen, z.B. die Bewegung eines Arms,

(iii) bewusste Handlungen, z.B. das Einschalten eines Radios,

(iv) entschiedene Handlungen, z.B. den Kauf einer Aktie an einem bestimmten Tag.

Handlungen der drei ersten Sorten können eventuell auch allgemein von Lebewesen vorgenommen werden. Das Zustandekommen menschlicher Handlungen ist zu betrachten differenziert nach solchen Sorten. Von Menschen ergriffene Handlungen setze ich hinsichtlich ihrer Klassifikation „determiniert oder zufällig“ gleichwertig zu den diesen Handlungen zugrunde liegenden Entscheidungen, selbst wenn diese Entscheidungen im Falle der Sorten (i) und (ii) unbewusst getroffen werden. Es wäre widerspüchlich zu der in dieser Arbeit aufgebauten Systematik, eine menschliche Handlung deshalb als determiniert anzusehen, weil sie als Ursache die zugrunde liegende eindeutige Entscheidung für diese Handlung hätte. Das würde die Ereigniskette, die zur Handlung als Endsituation führt, beliebig abschneiden. Die getroffene Entscheidung ist Endsituation eines Entscheidungsprozesses, der sich als Ereignis so darstellt: Anfangssituation ist das Zur-Kennntnis-nehmen der Entscheidungssituation, die Innovation die Wahrnehmung und Bewertung aller relevanten Umstände oder Faktoren für die Entscheidung, die Endsituation eben die getroffene Entscheidung.

Die Frage, ob eine menschliche Handlung determiniert ist, ist die, ob die zugrunde liegende Entscheidung determiniert ist. Gemäß Rahmen und Prinzipien der Untersuchung ist eine menschliche Entscheidung determiniert, wenn sie aus Anfangssituation und Innovation mit dem individuellen Menschen als Wirkkomplex durch materiell ablaufende Prozesse oder Wechselwirkungen eindeutig bestimmt, sozusagen vorprogrammiert ist. Die Frage, wie der Mensch Entscheidungen trifft, ist heute strittig. Es gibt z.B. Hirnforscher, die im gerade beschriebenen Sinne alle menschlichen Entscheidungen und damit ergriffene Handlungen für determiniert halten. Ich bezeichne diese Annahme oder Arbeitshypothese als *Hypothese (D)*, D für „determiniert“. Es ist eine Hypothese, da die Annahme nicht bewiesen ist.

Nach meinem Verständnis hat der Mensch, zumindest in sehr vielen Situationen, für eine zu treffende Entscheidung eine wirkliche oder eigentliche Möglichkeit der Wahl zwischen verschiedenen Alternativen, passend zu den verschiedenen möglichen Endsituationen beim zufälligen

Ereignis. Danach läßt sich bei der Durchführung oder Realisierung des Entscheidungsprozesses die real getroffene Entscheidung im Allgemeinen auch nicht durch genaue und immer genauere Auswertung aller Umstände und Faktoren im oben beschriebenen Sinne materiell determinieren. Sie wird vom Menschen formal mittels einer im Allgemeinen nicht quantifizierbaren Wahrscheinlichkeitsverteilung über die möglichen Alternativen ausgewählt oder eben realisiert. Diese Annahme oder Arbeitshypothese über das Zustandekommen menschlicher Entscheidungen bezeichne ich als *Hypothese (W)*, W für „Wahl“ . Es handelt sich hierbei ebenfalls um eine Hypothese, da die Annahme nicht bewiesen ist.

Der entscheidende Punkt ist, dass gemäß Hypothese (W) zumindest sehr viele Entscheidungen des Menschen nicht im oben beschriebenen Sinne determiniert sind. Hängt man der Hypothese (W) an, so stellt sich die Frage, mit welchen Argumenten man sie stützen und wie man sich ihre geistige bzw. technische oder physiologische Umsetzung vorstellen kann. Wichtige Erkenntnisse und Argumente dazu bietet Heisenberg (2007).

Die Möglichkeit einer Wahl zwischen verschiedenen Handlungsalternativen als Gegensatz zu einer materiell determinierten Entscheidung wird nach meiner Vorstellung realisiert, d.h. in die Wirklichkeit umgesetzt, mittels autonomer geistiger Fähigkeiten oder mittels eines Randomisators im Gehirn. Es können auch diese beiden Faktoren gleichzeitig wirken.

Die autonomen geistigen Fähigkeiten sind Teil des Bewusstseins des Menschen, charakteristisch für seine Person, für sein „Ich“ . Mit dem Adjektiv „autonom“ möchte ich zum Ausdruck bringen, dass diese Fähigkeiten ihn instandsetzen, Denkprozesse auszuführen, die nicht als materielle Kettenreaktion zwangsläufig im Gehirn ablaufen, ausgelöst und gesteuert nur durch äußere Einflüsse und innere Zustände. Der Mensch setzt sie ein, um zwischen verschiedenen Handlungsalternativen abzuwägen, ihre Vor- und Nachteile und ihre Konsequenzen zu bedenken, sie nach seinen individuellen, persönlichen Werten und Maßstäben zu bewerten und so eine Entscheidung zu treffen, eventuell auch, um den Randomisator einzuschalten. Es bleibt die Frage, wo im Menschen diese geistigen Fähigkeiten verortet sind, wie sie zustande kommen und insbesondere wie ihre Wechselwirkung mit dem Gehirn bzw. dem materiell erfassbaren

Wahrnehmungs-, Gefühls- und Denkkapparat ist. Die Annahme dieser Fähigkeiten entspricht der Lebenserfahrung und dem Selbstverständnis zumindest sehr vieler Menschen, auch Religionen setzen sie voraus, denn Begriffe wie Verantwortung und Schuld basieren darauf. Es stellt sich weiter die Frage, wie ohne diese das Gewissen des Menschen mit seinen Werten und Maßstäben ausgebildet werden sollte, warum bzw. wodurch er befähigt sein sollte, nach dem Sinn zu fragen, auch und gerade nach dem Sinn seiner eigenen Existenz, woher er kommt und wohin er geht. Da die Naturwissenschaften hinsichtlich ihres Gegenstandes und ihrer Methodik auf Materielles eingegrenzt sind, wird man diese autonomen geistigen Fähigkeiten mit den naturwissenschaftlichen Methoden nicht erfassen, ergründen und erklären können, insbesondere auch nicht ihre Wechselwirkungen mit dem physiologisch bzw. physikalisch erfassbaren Teil des Menschen. In ähnlicher Weise stößt man damit an eine Grenze, wenn man den Unterschied zwischen Lebewesen und toter Materie verstehen will bzw. wie Leben in die Materie kommt. Leugnet man autonome geistige Fähigkeiten, weil man glaubt, sie mit den Naturwissenschaften nicht vereinbaren zu können, so stellt sich die Frage, auf welcher Ebene man Nicht-Materielles überhaupt als existent akzeptiert.

Akzeptiert man autonome geistige Fähigkeiten des Menschen und ihren Einsatz zur Entscheidung zwischen verschiedenen Handlungsalternativen, so impliziert das: Eine so zustande gekommene Entscheidung und damit auch Handlung ist auf der Ebene der Phänomene nach den Kriterien der Naturwissenschaften, also durch materiell ablaufende Prozesse oder Wechselwirkungen, unverursacht, somit nicht determiniert, sondern *eigentlich zufällig*. Ich bezeichne solch eine Handlung als *subjektiv zufällig erzeugt*. Phänomenologisch hätte auch eine andere Handlung ergriffen werden können, der Mensch hatte die Wahl und hat sich so entschieden. Würden die autonomen geistigen Fähigkeiten bei jeder anstehenden Entscheidung die zu ergreifende Handlung determinieren, so wäre das Konzept der „autonomen geistigen Fähigkeiten“ überflüssig, menschliche Handlungen höchstens subjektiv zufällig bewertet, also nur ungewiss.

Autonome geistige Fähigkeiten sind sicher auch wirksam in Lernprozessen. Der Mensch erschließt sich denkerisch Neues, er erkennt Zusammenhänge, er erweitert, vertieft und verfeinert seine Empfindungen, seine Werte und Maßstäbe, somit sein Gewissen, seine Vorstellungen über



„Gott und die Welt“, er erlernt neue Fähigkeiten, z.B. eine Fremdsprache. Durch eine passende Zusammenstellung oder Komposition kann eine neue Qualität entstehen, die interessante Frage ist, wie das zustandekommt. So empfindet der Mensch ein gutes Essen oder Getränk als mehr als die Ansammlung der zugehörigen Materialien, ein schön gemaltes Bild in gleicher Weise, ein Buch ist mehr als die Ansammlung der Buchstaben, ein Musikstück mehr als die Gesamtheit der Noten bzw. Töne. Es stellt sich auch die Frage, wie im Menschen ästhetische Begriffe wie „schön-hässlich“, ethische wie „gut-böse“ oder ideale, abstrakte mathematische Begriffe entstehen. Schließlich lernt er auch, mit seiner Umwelt zu seinem Überleben und zu seinem Vorteil zurechtzukommen, nicht zuletzt durch das Ausprobieren verschiedener Alternativen. Dazu hat ihn meiner Vorstellung nach die Natur mit einem Randomisator im Gehirn ausgerüstet. Dessen kann er sich mit seinen autonomen geistigen Fähigkeiten bedienen oder „er schaltet“ ihn unbewusst ein bzw. der Randomisator wird in vielerlei Situationen unbewusst tätig. Nach heutigem Stand der Wissenschaft spielt ein zeitweises zufälliges Ausprobieren zwischen verschiedenen Alternativen eine wichtige Rolle bei Lern- und Entwicklungsprozessen. Das ist auch nicht als ein planloses oder unintelligentes Verhalten zu sehen, sondern als eine intelligente Strategie. Man betrachte eine beliebig lange Serie von Versuchen oder Situationen, in denen der Mensch jeweils die Wahl zwischen verschiedenen vorteilhaften Alternativen hat. Würde er nach relativ wenigen Versuchen für die Zukunft immer nur noch die nach bisheriger Erfahrung vorteilhafteste Alternative ergreifen, liefe er Gefahr, die objektiv vorteilhafteste Alternative zu verpassen, d.h. nie herauszufinden. Wählt er im Laufe seiner Versuchsserie immer wieder einmal nach bisheriger Erfahrung nicht so vorteilhafte Alternativen, mag er „etwas verspielen“, bewahrt sich damit aber die Chance, die objektiv vorteilhafteste Alternative zu finden. Heisenberg (2007, S. 50) spricht in diesem Zusammenhang vom „Verhalten *um zu* oder vom *operanten* Verhalten“ . Er ergänzt: „Darunter fallen die verschiedensten Formen des Suches und Ausprobierens. Operantes Verhalten gehört zu den elementarsten Grundlagen des Verhaltens überhaupt“ . Die Evolutionsbiologie hebt auch zufällige Mutationen als Vehikel der Evolution hervor, Neues von „besserer Qualität“ als bisher Bekanntes kann eventuell nur so zustandekommen (siehe Lüke (2008), Monod (1971)).

Ist das Gehirn mit einem Randomisator ausgerüstet, kann der menschliche Geist sich seiner bedienen, wenn er sich zwischen verschiedenen Alternativen auf anderem Wege nicht zu entscheiden weiß, wenn er im obigen Sinne etwas besseres Neues sucht oder der Randomisator ist sozusagen automatisch tätig bei Entscheidungen der Sorten (ii) und (iii). Als Beispiele für die zuletzt genannte Art der Wirksamkeit des Randomisators möchte ich anführen: Das plan- und absichtslose Ziehen einer Kugel aus einer Urne kommt nach meiner Auffassung so zustande, analog die Wahl bzw. Herstellung der Ausgangssituation für den Fall des Würfels beim Würfelexperiment, des weiteren die Ausgestaltung der Anfangssituation der Ziehung der Gewinnzahlen beim Zahlenlotto; d.h. wie genau werden die 49 Bälle auf das Tablett gelegt, wie lange werden die Bälle in der Trommel gemischt, bzw. wann werden sie gezogen usw. Auch Handlungen der Art, ob bzw. wie lange morgens jemand die Zeitung liest, wo er sie aufschlägt, welche Überschrift ihm ins Auge fällt, wie lange er liest oder wie intensiv abhängig von möglichen Ablenkungen durch Gespräche, Musik oder Geräusche. Weiter nenne ich Handlungen wie das Einschalten eines Radios als „Geräuschkulisse“ oder die Wahl zwischen Kaffee oder Tee als Getränk zum Frühstück. Es ist aber möglich, dass die scheinbar banale Entscheidung, morgens im Bad das Radio einzuschalten oder nicht, wichtige Konsequenzen nach sich zieht: Wegen einer bestimmten Nachricht, die jemand auf diese Weise hört, fährt er 30 Minuten später zur Arbeit als geplant und trifft so eine Person, die sein zukünftiges Leben verändert. Analog zu den Entscheidungen, die mittels autonomer geistiger Fähigkeiten getroffen werden, ist beim Konzept des Randomisators zu bemerken: Wenn er seinem Anspruch genügen soll, so darf er kein Pseudo-Randomisator sein, sondern muss es im eigentlichen Sinne sein. Das bedeutet, dass die Handlung, zu der er führt, nicht letztlich durch materiell ablaufende Prozesse oder Wechselwirkungen determiniert ist, sondern der Randomisator „autonom arbeitet“. Wenn die Natur den quantenphysikalischen Zufall als eigentlichen objektiven Zufall aufweist, dann sollte auch ein „eigentlicher Randomisator“ im Gehirn des Menschen möglich sein. Handlungen, die durch seinen Einsatz zustandekommen, wären dann *subjektiv zufällig erzeugt*, da die Betätigung des Randomisators durch den Menschen von dieser Qualität ist.

Ereignisketten, in die Menschen eingreifen, sind von subjektiv zufällig erzeugten Handlungen und somit auch Ereignissen durchsetzt. Demzufolge sehe ich gemäß meiner hier entwickelten

Systematik den Menschen und allgemein Lebewesen als Quelle für eigentlich zufällige Ereignisse, genauer für subjektiv zufällig erzeugte Ereignisse. Die Dreiheit Lebewesen, Zufall und Lernen bzw. Evolution passt zusammen. Die Analyse und Erklärung solcher Zusammenhänge im Bereich „Gehirn-Bewusstsein-Geist“ bereitet eine prinzipielle Schwierigkeit, da sie mit Mitteln eben daraus vorgenommen wird: Der menschliche Geist muss sich selbst analysieren, das denkende Subjekt ist gleichzeitig Objekt.

Als Versuch der Herstellung einer Beziehung zur physikalischen Wirklichkeit möchte ich anführen: Die autonomen geistigen Fähigkeiten einschließlich des Bewusstseins könnten verortet sein in zusätzlichen Dimensionen zu den drei Raumdimensionen unserer Erfahrungswelt, in denen das Materielle angesiedelt ist. Ganz generell sei bemerkt, dass die Physik ein systematisch errichtetes Gebäude aus Modell- und Theoriebildungen darstellt, das zur naturwissenschaftlichen Erkenntnis und Analyse vieler Phänomene enorm mächtig und fruchtbar ist, aber andererseits die Wirklichkeit nicht vollständig und 1 - 1 abbildet. Heisenberg (2007, S. 43) spricht von der Physik als einer „Abstraktion“ .

## 2.5 Bewertung von Ereignissen in Abhängigkeit der Zeit

Bei der Bewertung von Ereignissen als „determiniert bzw. ungewiss bzw. zufällig“ in Abhängigkeit von einem Zeitpunkt sind einige wichtige Gesichtspunkte zu bedenken.

Zunächst einmal kann man eine oberflächliche zeitpunktbezogene Bewertung vornehmen: Bezogen auf einen als Gegenwart definierten aktuellen Bewertungszeitpunkt mögen alle vergangenen Ereignisse als determiniert erscheinen, da sie eben genau eine Endsituation haben. Die Endsituationen wird man auch nicht als „ungewiss“ bezeichnen, da dieser Begriff immer in die Zukunft gerichtet ist, sondern nur möglicherweise als „unbekannt“.

Analog sind bei der gleichen Systematik der Betrachtung alle gegenwärtig ablaufenden und zukünftigen Ereignisse prinzipiell ungewiss oder sogar zufällig. Das ergibt sich aus unvorhersehbaren Verkettungen und Kreuzungen des interessierenden Ereignisses mit anderen ungewis-

sen oder zufälligen Ereignissen, wobei letztere insbesondere ja dann ins Spiel kommen, wenn menschliche Entscheidungen Einfluss nehmen. Diese oberflächliche zeitpunktbezogene Bewertung liefert keine interessanten Ergebnisse oder Informationen, sie scheint nicht angemessen.

In welcher Weise bzw. inwieweit kann man nun die Bewertung von einem gegenwärtigen Bewertungszeitpunkt lösen? Nach meinem Verständnis gibt es in der Vergangenheit viele ungewisse und zufällige Ereignisse, d.h. ich bewerte sie so ohne Bezug auf einen Zeitpunkt. Für ideale Ereignisse stellt sich wegen ihrer Zeitungebundenheit diese Problematik gar nicht: Sie werden im Rahmen einer idealen Modellbildung formuliert und betrachtet, sind prinzipiell nicht einmal an eine Realisierung gebunden. In der Vergangenheit realisierte ungewisse bzw. zufällige ideale Ereignisse werden ebenfalls als solche bewertet. Zur Bewertung anderer realer vergangener Ereignisse verfährt man analog. Zu dem realen Ereignis wird ein idealisiertes Ereignis modelliert, bezüglich dessen das reale Ereignis eine Realisierung darstellt. Bewertet wird dann wiederum ohne Bezug auf einen Zeitpunkt das modellierte, d.h. das idealisierte Ereignis auf Basis einer Untersuchungsstruktur. Die Zuordnung eines modellierten idealisierten Ereignisses ist desto leichter, je häufiger bzw. leichter das zu betrachtende Ereignis wiederholbar ist, auch in der Vergangenheit schon beobachtet wurde.

Bei der Bewertung gegenwärtig ablaufender und möglicher zukünftiger Ereignisse geht man in gleicher Weise vor, dass man zu einem solchen Ereignis ein idealisiertes modelliert, das dann bewertet wird. Das Problem, im weitesten Sinne eine Prognose für ein zukünftiges Ereignis zu stellen, besteht darin, dass im Gewirr und Gewimmel der Ereignisse in Folge unvorhersehbarer Verkettungen und Kreuzungen des interessierenden Ereignisses gar nicht absehbar ist, inwieweit bzw. mit welcher Genauigkeit das modellierte Ereignis überhaupt zur Realisierung kommt. Für konkrete Prognosen über die Endsituation des interessierenden Ereignisses gilt das umso mehr. Das hängt natürlich von der Sensitivität des Ereignisses gegenüber Variationen in der Anfangssituation und der Innovation ab. In der Realität werden Anfangssituation und Innovation eines Ereignisses sowieso nur näherungsweise, d.h. bis auf eine gewisse Genauigkeit, getroffen. Zu große Abweichungen in diesen Bedingungen führen zu einem anderen Ereignis. Prinzipiell hat zwar die Bewertung eines Ereignisses den Charakter einer „Wenn-dann-Aussage“, d.h. wenn

eine bestimmte Bedingung erfüllt ist, hier eine Kombination von (Anfangssituation, Innovation) vorliegt, dann gilt etwas für die Endsituation, praktisch ergibt sich aber für reale Ereignisse aus einer möglichen Ungenauigkeit von (Anfangssituation, Innovation) ein Problem. Bei vergangenen realen Ereignissen sind Anfangssituation und Innovation oft rekonstruierbar, so dass die Modellierung des idealisierten Ereignisses zuverlässiger ist.

Ein deterministisches allgemeines Ereignis, das z.B. mittels der Gesetze der klassischen Mechanik beschrieben werden kann, bleibt auch in Zukunft ein solches und so beschreibbar, jedenfalls solange diese Erde in einem Zustand ist, dass diese Gesetze noch gelten. Die Naturgesetze bleiben erhalten, das Ereignis bleibt in der „Wenn-dann-Form“ beschreib- und vorhersagbar, die prinzipielle Ungewissheit bei seinen Realisierungen besteht in der Unvorhersehbarkeit der Kombinationen (Anfangssituation, Innovation), die sich einstellen. Lassen sich diese beherrschen, so hat man ein Experiment im engeren Sinne, d.h. ein Experimentator kann die gewünschte Kombination (Anfangssituation, Innovation) einrichten.

Generell gilt für zukünftige Ereignisse: Der Grad der Unsicherheit über die sich ergebende Endsituation eines Ereignisses ist sehr verschieden, je nach Ereignis und seiner Umgebung. Er kann unter Umständen formalisiert werden mittels einer Wahrscheinlichkeit über die möglichen Endsituationen. Ist der Unsicherheitsgrad gering, so wird die Wahrscheinlichkeit stark konzentriert sein über wenigen möglichen Endsituationen, ist der Unsicherheitsgrad hoch, wird die Wahrscheinlichkeit stark streuen über viele mögliche Endsituationen. Unter Umständen ist die Gesamtheit der möglichen Endsituationen auch kaum überschaubar, z.B. wenn chaotische Effekte im Spiel sind.

Zukünftige Ereignisse sind in der Zukunft liegende Realisierungen idealer Ereignisse bzw. idealisierter oder sie sind „konzipiert“ von der Natur oder vom Menschen. Als Beispiele für von der Natur konzipierte Ereignisse führe ich an: Das Wetter an einem bestimmten Tag in der Zukunft an einem bestimmten Ort, das Zu-Boden-Fallen eines Apfels, der heute am Baum hängt und den niemand abpflückt, das Verhalten eines Vulkans bis zu einem zukünftigen Zeitpunkt, bricht er aus oder bleibt er ruhig. Als Beispiele für vom Menschen konzipierte Ereignisse führe ich an:

Zwei alte Freunde A und B verabreden am 1. Juli, dass A am 1. September B in seinem Haus besucht, Person C plant, dem Nachbarn, der im Urlaub das Haus hütet, zu Weihnachten eine Flasche Cognac zu schenken. Wie sind solche Ereignisse zu bewerten?

Konzipierte Ereignisse liegen ihrer Natur nach stets in der Zukunft. Das beinhaltet der Begriff „konzipiert“ . Ereignisketten führen vom Zeitpunkt der Betrachtung bzw. der Konzipierung zu solch einem Ereignis hin. Irgendwann im Laufe der Zeit erfahren die konzipierten Ereignisse eine Realisierung, sie sind in dieser oder jener Form eingetreten, sie sind eventuell so eingetreten, wie es jemand beabsichtigt hatte, oder eben nicht. Da die Bewertung vergangener Ereignisse schon geklärt ist, wird man konzipierte Ereignisse bezogen auf den aktuellen Zeitpunkt ihrer Betrachtung bewerten, zu dem sie noch in der Zukunft liegen.

Für die Bewertung des Wetters an einem zukünftigen Tag wird man ein idealisiertes physikalisches Modell mit einer bestimmten Untersuchungsstruktur zugrunde legen, gemäß dem sich das Wetter entwickeln soll. Bezogen auf irgendeinen Zeitpunkt wird zukünftiges Wetter immer zumindest ungewiss sein wegen der unvorhersehbaren Verkettungen und Kreuzungen, die Einfluss nehmen, gegebenenfalls auch eigentlich zufällig, wenn man zufällige Innovationen, erzeugt etwa durch menschliche Entscheidungen, in die Untersuchungsstruktur einbezieht.

Für die zukünftige Entwicklung des Vulkans gilt Analoges. Zum überreifen Apfel: Die Erfahrung zeigt, dass das Zu-Boden-Fallen des Apfels determiniert ist. Das wird zudem durch dabei wirksame physikalische Prozesse erklärt. Ungewiss, je nach Untersuchungsstruktur auch eigentlich zufällig, ist der Zeitpunkt des Zu-Boden-Fallens. Letzteres kommt zustande durch Ereignisketten, die eben den jeweiligen Charakter aufweisen. Die beiden genannten, von Menschen konzipierten Ereignisse wird man der hier vorgestellten Systematik nach als eigentlich zufällig bewerten, da die Ereignisketten, die nach Konzept zum Besuch bzw. zum Überreichen des Geschenkes führen sollen, gespickt sind mit ungewissen und eigentlich zufälligen Verkettungen und Kreuzungen, jedenfalls unter Hypothese ( $W$ ), da viele menschliche Entscheidungen Einfluss nehmen.

## 2.6 Interpretation von Ereignissen

Die Interpretation von Ereignissen, d.h. die Analyse und Erklärung ihres Zustandekommens und danach ihre Bewertung als deterministisch oder zufällig hängt von der zugrunde gelegten Untersuchungsstruktur ab.

Diese ist in vielen Fällen in natürlicher Weise vorgegeben: Eine Betrachtung der Ereignisse aus naturwissenschaftlicher Sicht erfordert nach den Erkenntnissen der Physik auf der makroskopischen Ebene als Untersuchungsstruktur das Gesetzeswerk der klassischen Mechanik bzw. bei entsprechenden wirksamen Geschwindigkeiten das der relativistischen Physik und auf mikrophysikalischer Ebene das der Quantenphysik. Prinzipiell stellt sich die Frage, wie „scharf“ die Grenzen dazwischen in der natürlichen Wirklichkeit gezogen sind, insbesondere ob bzw. inwieweit quantenphysikalische Effekte auf makroskopische Ereignisse Einfluss ausüben können. Wie bereits ausgeführt, reicht meines Erachtens ein pauschaler Hinweis auf das Ausmitteln der einzelnen Zufallseffekte über sehr viele beteiligte Elementarteilchen nicht aus, um den auf quantenphysikalischer Ebene konstatierten Zufall außerhalb dieser Ebene wieder „aus der Welt zu schaffen“. Andererseits ist klar, dass alle menschlichen Analysen, Beschreibungen und insbesondere Messungen nur näherungsweise richtig sind. Die hieraus resultierenden Ungenauigkeiten werden bei makroskopischen Ereignissen mögliche quantenphysikalisch bedingte Einflüsse überdecken, sie sind von höherer Größenordnung. Bei hoch komplexem Geschehen, wie z.B. dem Ablauf des Wetters, gibt es Probleme der geeigneten Modellierung des realen Phänomens eben zu seiner naturwissenschaftlichen Untersuchung.

Schließlich kommt in Abläufe der unbelebten Natur noch eine ganz spezielle Komponente, falls Lebewesen, insbesondere der Mensch Einfluss nimmt bzw. eingreift. Eine Möglichkeit, menschliche Einflüsse auf das Geschehen in der unbelebten Natur zu beschreiben, liegt darin, den Menschen als Ganzes und somit insbesondere als Verursacher oder Ursachensetzer zu sehen, d.h. eine von ihm durchgeführte Handlung ist von seiner Entscheidung dafür verursacht und

somit determiniert. Der Prozess des Zustandekommens dieser Entscheidung im Menschen wird in diesem Falle nicht weiter analysiert, insbesondere nicht, ob der Mensch gerade diese Entscheidung zwanghaft ergriffen hat oder ob er eine Auswahl unter mehreren Möglichkeiten hatte. Dieser Ansatz unterscheidet sich von einer konsequenten naturwissenschaftlichen Betrachtung, die auch den Menschen als Teil der Natur in ihre Untersuchung und Analyse einbezieht, indem sie das Zustandekommen der menschlichen Entscheidung analysiert. Diese naturwissenschaftliche Analyse führt an einen ganz entscheidenden kritischen Punkt: Fasst man den Menschen vollständig, d.h. ausschließlich und umfassend, als die Gesamtheit seiner Materieteile auf, die schlussendlich nach den Gesetzen der Physik wechselwirken, so versteht man sein Denken, seine Entscheidungen und sein gesamtes Verhalten als Ergebnis der materiellen Prozesse und Wechselwirkungen, die in ihm unter dem Einfluss wahrgenommener Reize ablaufen. Er wird damit als biochemische Maschine oder Automat aufgefasst. Seine Entscheidungen und Handlungen sind determiniert bis auf mögliche eigentlich zufällige Einflüsse, die durch das Wirken quantenphysikalischer Effekte auftreten können oder eben durch einen von Natur aus in ihm angelegten Randomisator. Schaltet man diese Einflüsse auch noch aus, die quantenphysikalischen Effekte mit dem pauschalen Hinweis der Ausmittlung zufälliger quantenphysikalischer Effekte, den Randomisator, weil er nicht „bewiesen“ ist, so sind alle menschlichen Handlungen materiell determiniert. Das bedeutet dann die Annahme der in Abschnitt 2.4 formulierten Hypothese (*D*) und ist äquivalent zu dem oben formulierten Modell des Menschen insgesamt als Verursacher.

Der alternative Ansatz billigt dem Menschen autonome geistige Fähigkeiten sowie einen Randomisator zu, d.h. die Möglichkeit nicht-materiell determinierter Entscheidungen und Handlungen. Dies bedeutet die Annahme der Hypothese (*W*) aus Abschnitt 2.4.

Wesentlich bei der zugrunde gelegten Untersuchungsstruktur für Ereignisse ist eben ein Modell bzw. eine Hypothese über das Zustandekommen menschlicher Entscheidungen und Handlungen. Denn die Ereignisketten, mit denen wir in der uns umgebenden natürlichen Wirklichkeit befasst sind, sind ja mit menschlichen Handlungen durchsetzt.

Als Anwendung der oben formulierten „Richtlinien“ der Bewertung diskutiere ich die in Ab-



schnitt 1.1 aufgelisteten Beispiele:

- (1) Hier muss man zunächst einmal klären bzw. vorgeben, welcher Aspekt an diesem Experiment bzw. dem zugehörigen idealisierten Ereignis interessiert: Mögliche Aspekte sind:
  - (a) die Zeit, die der Apfel bis zum Aufschlag auf der Erde benötigt,
  - (b) der Zeitpunkt des Zu-Boden-Fallens des Apfels, der von den Wetterverhältnissen, bis dahin abhängt und dem Reifezustand des Apfels bei Beginn der Beobachtung.Fall (a) wird man als deterministisches Ereignis gemäß den Gesetzen der klassischen Mechanik auffassen. Geringfügige Abweichungen der Messergebnisse bei möglichst gleichwertigen Wiederholungen des Experimentes wird man als natürliche Schwankungen um den theoretisch festgelegten Sollwert auffassen. Diese Schwankungen wird man erklären durch eben nicht-identische Versuchsbedingungen und naturgemäß gegebene Ungenauigkeiten bei der Zeitmessung.  
Fall (b) stellt ein zumindest ungewisses Ereignis dar, da die Wetterverhältnisse und der Reifezustand des Apfels von dieser Art sind, sogar ein eigentlich zufälliges, wenn man bei der Modellierung des Wetters eigentlich zufällige Einflüsse einbezieht.
- (2) Dieses klassische Experiment der Physik liefert ein typisches Beispiel für ein zugehöriges deterministisches ideales Ereignis. Der interessante Aspekt daran ist die benötigte Zeit bis zum Aufschlag des Steins auf den Boden. Diese hat gemäß den Gesetzen der klassischen Mechanik für das ideale Ereignis einen exakten Sollwert. Geringfügige Abweichungen der Messwerte bei realisierten Kopien dieses idealen Ereignisses erklären sich wiederum durch nicht vollständig gleiche Versuchsbedingungen und vor allem naturgemäß gegebene Ungenauigkeiten bei der Zeitmessung.
- (3) Dieses Zufallsexperiment ist bereits in dem Abschnitt 2.1 und 2.4 diskutiert. Unter der Hypothese ( $D$ ) handelt es sich bei der Ziehung der Kugel aus der Urne um ein ungewisses Ereignis, unter der Hypothese ( $W$ ) um ein subjektiv zufällig erzeugtes.
- (4) Das Würfelexperiment entspricht strukturell einem Urnen-Experiment: Der Experimentator schüttelt den Würfel im Becher und gibt ihn irgendwann dem freien Fall preis. Im Moment der Freigabe des Würfels hat dieser bestimmte Orts- und Impulskoordinaten, der

Boden, auf den er fallen wird, eine bestimmte Beschaffenheit, insgesamt hat somit der Vorgang des freien Falls des Würfels ganz bestimmte Anfangsbedingungen. Die Gesetze der klassischen Mechanik führen zu einem Auskommen des Experimentes in der Form, dass eine bestimmte Seite des Würfels bzw. die darauf gezeichnete Augenzahl oben liegt. Chaotische Effekte sind dabei zu bedenken insofern, als eine kleine Variation in den Anfangsbedingungen zu einem anderen der nur sechs möglichen Auskommen führen kann. Die „unendlich vielen“ möglichen Anfangsbedingungen dieses Experimentes entsprechen „unendlich vielen“ Kugeln in einer Urne, aus der der Experimentator „zufällig“ eine zieht oder auswählt. Die Bewertung dieses Würfelexperimentes erfolgt daher genauso wie die des Urnen-Experimentes. Je nach Annahme der Hypothese ( $D$ ) oder ( $W$ ) gelangt man zu einem unterschiedlichen Ergebnis.

- (5) Das Auskommen dieses Ereignisses, der tägliche Schlusskurs einer bestimmten Aktie an der Frankfurter Börse ist das Ergebnis sehr vieler menschlicher Entscheidungen, diese Aktie zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. Preis zu kaufen, nicht zu kaufen oder zu verkaufen. Bei all diesen Entscheidungen der Marktteilnehmer spielen unüberschaubar viele Informationen, Eindrücke, subjektive Erwartungen und Stimmungen eine Rolle. Hängt man der Hypothese ( $W$ ) für das Zustandekommen menschlicher Entscheidungen an, wird man das Auskommen bzw. Ereignis als subjektiv zufällig erzeugt bewerten. Hängt man Hypothese ( $D$ ) an, so ist das Auskommen zwar ungewiss, aber durch ein unüberschaubar komplexes „Räderwerk“ determiniert.
- (6) Das Ergebnis ist gleichartig zum Ereignis (5): Unübersehbar viele Ereignisketten, durchsetzt mit menschlichen Entscheidungen, führen in der Summe zu einem konkreten Ergebnis dieses Experimentes bzw. Ereignisses. Unter Annahme der Hypothese ( $D$ ) ist es ungewiss, für subjektiv erzeugten Zufallseinfluss gibt es keine Begründung. Unter Annahme der Hypothese ( $W$ ) wird man es als subjektiv zufällig erzeugt ansehen.
- (7) Unter der Hypothese ( $W$ ) ist dieses Ereignis als subjektiv zufällig erzeugt zu bewerten. Sehr viele Entscheidungen der beiden Beteiligten, die jeweils anders hätten ausfallen können, haben zu diesem Zusammentreffen geführt bzw. waren dafür erforderlich: Zuerst die Entscheidung für eine Reise nach Nordamerika einschließlich der Wahl eines ge-

wissen Zeitraums, die Entscheidung, gerade an diesem Tag diese Strecke durch die Rocky Mountains zu fahren, gerade auf diesem Parkplatz anzuhalten und manches mehr. Unter Umständen hätte einer der Freunde den Zeitpunkt des Zusammentreffens verpasst, wenn er nicht am Morgen während des Frühstücks im Hotel unbeabsichtigt, weil abgelenkt durch einen Zeitungsartikel, die Kaffeetasse umgestoßen hätte. Das veranlasste ihn, die verschmutzte Hose gegen eine andere zu wechseln, so dass er zwanzig Minuten später als beabsichtigt die Fahrt antrat. Gerade das war aber für das Zusammentreffen erforderlich. Es ist klar, dass man bei genauerer Betrachtung der Abläufe bis zu dem Zusammentreffen noch viele gleichartige Ereignisse bei beiden Beteiligten wird auffinden können, die Einfluss auf das Zustandekommen des Treffens haben.

Betrachtet man nun die interessierenden Ereignisketten von ihrer Endsituation her, nämlich dem Zusammentreffen, so kann man „Gründe“ dafür benennen, scheinbare Ursachen, dass es zustande kam. Unter der Hypothese (*D*) ist sogar das Umstoßen der Kaffeetasse vorprogrammiert.

Betrachtet man diese Ereignisketten aber von ihrem Anfang her, so stellt man unter der Hypothese (*W*) fest: Es hätte an vielen Stellen Möglichkeiten für andere Entscheidungen oder Auswahlen von Handlungen geben können, die das Zusammentreffen vermieden hätten. Je feiner man den Feinheitsgrad der Betrachtung der Abläufe wählt, desto mehr Möglichkeiten für andere Entscheidungen und Auswahlen erkennt man, die ein Zusammentreffen ausgeschlossen hätten. Zu einem komplementären, wenn man so will, gegenteiligen Ergebnis kommt man bei einem feineren Feinheitsgrad der Betrachtung, wenn man die interessierenden Ereignisketten von ihrer Endsituation ausgehend betrachtet: Die detailliertere Betrachtungsweise liefert immer mehr scheinbare Ursachen für die schlußendliche „Wirkung“, nämlich das Zusammentreffen. Dieses erscheint irgendwann fast zwangsläufig zu sein.

Gemäß den Ausführungen in Kapitel 1 halte ich für die Qualifizierungen von Ereignissen als „deterministisch oder zufällig“ die Betrachtung vom Anfang der Ereignisketten her für geboten.

- (8) Unter der Hypothese (*D*) hat der junge Mann keine Wahl, vor die Dose zu treten oder es sein zu lassen, unter Hypothese (*W*) wird man ihm eine Wahlmöglichkeit zwischen

den beiden Alternativen zubilligen, so dass seine Handlung subjektiv zufällig erzeugt ist. In jedem Fall lösen beide der möglichen Handlungen Ereignisketten aus, insbesondere im Falle eines Tritts vor die Dose eine Ereigniskette, die für andere Menschen ernste Konsequenzen haben kann.

- (9) Unter der Hypothese ( $D$ ) ist das Verhalten des jungen Mannes durch Erziehung und Vorgeschichte vorprogrammiert, d.h. determiniert. Die ergriffene Handlung zeigt, dass er „nicht anders kann als zu helfen“ . Unter der Hypothese ( $W$ ) stellt man sich vor, dass er abwägt, was er vorziehen soll. Er hätte die Möglichkeit, sich selbst zu schützen und nicht einzugreifen, entscheidet sich aber aus moralischen Gründen für ein Eingreifen unter Einsatz seiner Gesundheit.
- (10) Der gemessene Ist-Wert- $W_I$  des Experimentes in Form einer bestimmten Länge kommt modellmäßig zustande durch eine additive Überlagerung eines Sollwertes  $W_S$  durch einen Fehlerterm  $\varepsilon$ . Das bedeutet die Darstellung

$$W_I = W_S + \varepsilon.$$

Der Fehlerterm  $\varepsilon$  wird insgesamt erzeugt von folgenden Ungenauigkeiten:

- Abweichungen der realen Versuchsbedingungen von den idealen,
- Ungenauigkeiten der Versuchssapparatur und der beteiligten Materialien,
- Ungenauigkeiten der Messapparatur,
- Ungenauigkeit des Ablesens der Messapparatur.

Der zu erwartende Wert des Fehlerterms sollte gleich Null sein, empirisch müsste sich das darin niederschlagen, dass nach vielen gezogenen Kopien  $K_1, \dots, K_n$  des Experimentes die gemessenen Ist-Werte  $W_I^1, \dots, W_I^n$  ein arithmetisches Mittel  $\overline{W}_I = \frac{1}{n} (W_I^1 + \dots + W_I^n)$  haben, das dem Sollwert  $W_S$  nahe kommt. Die oben aufgeführten Abweichungen und Ungenauigkeiten wiederum werden möglicherweise beeinflusst durch quantenphysikalische Effekte (siehe die Diskussion am Ende des Abschnitts 2.2) und gewiss durch menschliche Handlungen. Diese sind im Spiel bei der Einrichtung der Versuchsbedingungen, beim Zusammenbau der Versuchs- und Messapparatur, der Auswahl der dabei verwandten Materialien mit möglichen „Verunreinigungen“ , beim Ablesen der Messapparatur. Bei dieser

Betrachtung berücksichtigt man lange Ereignisketten, angefangen mit der Auswahl der Materialien für Versuchs- und Messapparatur, endend mit dem Ablesen der Messapparatur, d.h. der Feststellung des Ergebnisses. Das bedeutet, dass man das Experiment selbst als bedingtes Ereignis, eingebettet in einen Ereigniskomplex, ansieht. Verkürzt man die Betrachtung auf den Ablauf des Experimentes alleine, d.h. sieht man das Experiment als unbedingtes Ereignis an, so nimmt man Versuchs- und Messapparatur, ebenso die Versuchsbedingungen als fest vorgegeben hin und blendet das Ablesen der Messapparatur aus. Unter diesen Vorgaben läuft unter Umständen das Experiment unter einer makroskopischen Untersuchungsstruktur determiniert ab.

Dieses Beispiel zeigt sehr deutlich die Abhängigkeit der Bewertung von der Untersuchungsstruktur, bestehend aus Umgebung, Wirkkomplex und insbesondere einer Hypothese über das Zustandekommen menschlicher Handlungen.

Unter Vernachlässigung quantenphysikalischer Effekte kann das unbedingte Ereignis determiniert sein, das bedingte ist immer mindestens ungewiss. Unter der Hypothese ( $W$ ) und/oder der Wirksamkeit quantenphysikalischer Effekte wird man das bedingte Ereignis als eigentlich zufällig bewerten.

## Resümee

Das Thema „Zufall“ hat die Menschen zu allen Zeiten auf- und angeregt (siehe Müller (1994), Herkenrath (1998)). Erfahrungen mit ungewissen Ereignissen, d.h. solchen, die subjektiv als zufällig bewertet werden, sind offensichtlich und allgemein anerkannt.

Ob bzw. in welcher Form eigentlich zufällige Ereignisse konzipiert werden müssen, ist bis heute strittig. Die Quantenphysik hat, zumindest nach heutigem Kenntnisstand, gezeigt, dass auf Ebene der Quanten solche eigentlich zufälligen Ereignisse vorkommen (siehe Hey u. Walters (1998)). Diese eigentlich zufälligen Ereignisse nenne ich objektiv zufällige, da sie von keinem Betrachter abhängen. Mögliche Ausstrahlungen von Quanteneffekten auf die makroskopische Ebene habe ich diskutiert.

Unter der in Abschnitt 2.4 formulierten Hypothese (*W*) für das Zustandekommen menschlicher Entscheidungen sind viele daraus folgende Handlungen auf der Ebene der Phänomene nach naturwissenschaftlichen Kriterien ebenfalls als eigentlich zufällig anzusehen. Da diese von einem Subjekt ausgeführt werden, nenne ich sie subjektiv zufällig erzeugt in Unterscheidung zu den objektiv zufälligen Ereignissen. Akzeptiert man diese Hypothese (*W*), so sind zufällige Ereignisse in unserer Welt allgegenwärtig, da diese mit Ereignisketten durchsetzt ist, in denen subjektiv zufällig erzeugte Handlungen vorkommen.

Unter der Hypothese (*D*) (siehe Abschnitt 2.4) scheinen zufällige Ereignisse eine Randerscheinung zu sein. Außerhalb der Quantenwelt gibt es nur eine Möglichkeit für das Auftreten des eigentlichen Zufalls: Zufällige Quanteneffekte dringen auf die makroskopische Ebene vor, z.B. über divergierende Kettenreaktionen oder Mutationen im Erbgut. Allerdings können auch solche Effekte durch ihren Eingriff in Ereignisketten und sich daraus wieder abspaltende Ereignisketten eine Lawine von eigentlich, d.h. objektiv zufälligen Ereignissen, auslösen.

Die größte Quelle für den Zufall in der Welt sind somit der Mensch und allgemein Lebewesen. Das passt zur Evolution der Lebewesen (siehe Lüke (2008), Monod (1971)). Diese Entwicklung und die Resultate der Stochastik sprechen dafür, dass „Zufall“ in ein (natur-) wissenschaftliches Weltbild integriert werden kann.

## Literatur

Bernoulli, J.I. (1713) *Ars conjectandi* Basel, repr. Brüssel 1968.

Cusanus, Nicolaus: *De docta ignorantia, De coniecturis*.

Heilinger, J.C. (Hg.), (2007), *Naturgeschichte der Freiheit*, De Gruyter, Berlin.

Heisenberg, M. (2007), *Naturalisierung der Freiheit aus Sicht der Verhaltensforschung*, in: Heilinger, J.C.: *Naturgeschichte der Freiheit*, De Gruyter, Berlin.

Herkenrath, U., (1998), *Gott würfeld nicht - Oder doch?*, Renovatio-Zeitschrift für das interdisziplinäre Gespräch **54**, 17-29.

Herkenrath, U., (2002), *Die ausgezählte Welt?* Stimmen der Zeit **220**, 127-138.

Herkenrath, U., (2004), *Stochastics: The science of modelling, measuring and mastering randomness and uncertainty*, in: E. von Collani (Hg.), Proceedings of the Millennial Symposium 'Defining the Science Stochastics', Lemgo, 23-35.

Herkenrath, U., (2005), *Hatte Cusanus schon einen Wahrscheinlichkeitsbegriff?*, Mitteilungen und Forschungsberichte der Cusanus-Gesellschaft **29**, 111-125.

Hey, T. und Walters, P., (1998), *Das Quantenuniversum*, Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg.

Lüke, U., (2008) *Plan Gottes oder alles nur (dummer) Zufall?* in: B. Schwarz-Boenneke (Hg.), *Weiß der Glaube - Glaubt das Wissen?*, Akademie des Bistums Mainz.

Monod, J., (1971), *Zufall und Notwendigkeit*, Piper München.

Müller, P.H., (Hg.), (1991), *Lexikon der Stochastik*, Berlin

Müller, P.H., (1994), *Zufall oder Notwendigkeit?*, In: Almanach, Band VII, 137-144, Deutscher Hochschulverband.

Stochastik, in Wikipedia (Internet).

Prof. Dr. Ulrich Herkenrath  
Fakultät für Mathematik  
der Universität Duisburg-Essen  
Forsthausweg 2  
47057 Duisburg  
FON: +49(203)379-2690  
FAX: +49(203)379-5194

IN DER SCHRIFTENREIHE DER FAKULTÄT FÜR MATHEMATIK ZULETZT ERSCHIENENE BEITRÄGE:

- Nr.729: RÖSCH, A.; STEINIG, S.: A priori estimates for a state-constrained elliptic optimal control problem, 2011
- Nr.730: YURKO, V.A.: On the solvability of the inverse problem for non-self-adjoint pencils of Sturm-Liouville operators on the half-line, 2011
- Nr.731: YURKO, V.A.: Spectral analysis of singular Sturm-Liouville differential pencils, 2011
- Nr.732: IGNATYEV, M.Y.: On the solutions of an integrable boundary-value problem for the KDV equation on the semi-axis, 2011
- Nr.733: FREILING, G.; YURKO, V.A.: An algorithm for the reconstruction of singular differential pencils from the Weyl function, 2011
- Nr.734: FEDOSEEV, A.: Higher-order differential equations on the half-line having a singularity in an interior point, 2011
- Nr.735: MURESAN, M.: Some remarks on the brachistochrone problem, 2011
- Nr.736: NEFF, P.; PAULY, D.; WITSCH, K.-J.: An elementary extension of Korn's first inequality to  $H(\text{Curl})$  motivated by gradient plasticity with plastic spin, 2011
- Nr.737: NEFF, P.; PAULY, D.; WITSCH, K.-J.: Maxwell meets Korn: A new coercive inequality for tensor fields in  $\mathbb{R}^N \times \mathbb{N}$  with square-integrable exterior derivative, 2011
- Nr.738: LEWINTAN, P.: The „wrong minimal surface equation“ does not have the Bernstein property, 2011
- Nr.739: GONSKA, H.; HEILMANN, M.; LUPAS, A.; RASA, I.: On the composition of positive linear operators III: A non-trivial decomposition of the Bernstein operator - Technical report, 2011
- Nr.740: GONSKA, H.; PRESTIN, J.; TACHEV, G.; ZHOU, D.X.: Simultaneous approximation by Bernstein operators in Hölder norms, 2011
- Nr.741: GONSKA, H.; RASA, I.: On infinite products of positive linear operators reproducing linear functions, 2011
- Nr.742: GONSKA, H.; PRESTIN, J.; TACHEV, G.: New estimate on Hölder approximation by Bernstein operators, 2011
- Nr.743: ACU, A.M.; GONSKA, H.; RASA, I.; RUSU, M.D.; TACHEV, G.: Five notes on Grüss type inequalities in approximation theory - 2010/11 -, 2011
- Nr.744: TÖRNER, G.; TÖRNER, A.: Underqualified math teachers or out-of-field teaching in mathematics - a neglectable field of action? -, 2012
- Nr.745: BUTERIN, S.: Inverse problems for non-selfadjoint Sturm-Liouville operators with Dirichlet boundary conditions, 2012
- Nr.746: YURKO, V.: Reconverging non-selfadjoint Sturm-Liouville operators with nonseparated boundary conditions, 2012
- Nr.747: YURKO, V.: Spectral analysis for differential operators on star-type graphs, 2012
- Nr.748: YURKO, V.: Higher order differential operators on noncompact star-type graphs, 2012
- Nr.749: YURKO, V.: A procedure for the reconstruction of arbitrary order differential operators on noncompact trees, 2012
- Nr.750: YURKO, V.: Recovering non-selfadjoint differential pencils with nonseparated boundary conditions, 2012
- Nr.751: FREILING, G.; YURKO, V.A.: Recovering Sturm-Liouville differential operators with a constant delay, 2012
- Nr.752: BONDARENKO, N.; FREILING, G.; URAZBOEV, G.: Integration of the matrix KdV equation with self-consistent source, 2012
- Nr.753: NEFF, P.; PAULY, D.; WITSCH, K.-J.: Poincaré meets Korn via Maxwell: Extending Korn's first inequality to incompatible tensor fields, 2012
- Nr.754: BIRSAN, M.; NEFF, P.: Existence theorems in the geometrically non-linear 6-parametric theory of elastic plates, 2012



- Nr. 755: YURKO, V.A.: On Ambarzumyan-type theorems, 2012
- Nr. 756: LANKEIT, J., NEFF, P., PAULY, D.: uniqueness of integrable solutions to  $\nabla \cdot \zeta = G \cdot \zeta; |\zeta|_{\Gamma} = 0$  for integrable tensor-coefficients  $G$  and applications to elasticity, 2012
- Nr. 757: YURKO, V.A.: Recovering Variable Order Differential Operators on Spatial Networks from the Weyl-type matrices, 2013
- Nr. 758: YURKO, V.A.: Differential Pencils on Graphs with a Cycle, 2013
- Nr. 759: BUTERIN, S.A., YURKO, V.A.: On recovering differential pencils of the second order on a finite interval, 2013
- Nr. 760: FREILING, G., YURKO, V.A.: On non-selfadjoint differential pencils with Nonseparated boundary conditions, 2013
- Nr. 761: BİRSAN, M., NEFF, P.: Existence of minimizers in the geometrically non-linear 6-parameter resultant shell theory with drilling rotations, 2013
- Nr. 762: BİRSAN, M., NEFF, P., LANKEIT, J.: Sum of squared logarithms - An inequality relating positive definite matrices and their matrix logarithm, 2013
- Nr. 763: Neff, P., Pauly, D., Witsch, K.-J.: On an Extension of Korn's First Inequality to Incompatible Tensor Fields on Domains of Arbitrary Dimensions, 2013
- Nr. 764: Neff, P., Nakatsukasa, Y., Fischle, A.: The unitary polar factor  $Q = U_p$  minimizes  $\| \text{Log}(Q^* Z) \|^2$  and  $\| \text{sym}^* \text{Log}(Q^* Z) \|^2$  in the spectral norm in any dimension and the Frobenius matrix norm in three dimensions, 2013
- Nr. 765: NEFF, P., Pompe, W.: Counterexamples in the theory of coerciveness for linear elliptic systems related to generalizations of Korn's second inequality, 2013
- Nr. 766: Zufall - Eine Randerscheinung in unserer Welt oder Allgegenwärtig?, 2013

