

## Zufall und Freiheit im Kontext der Naturwissenschaften Teil I: Kausalität und Konditionalität

*Renatus Ziegler*

Georg Maier zum 70. Geburtstag gewidmet

### *Zusammenfassung*

Es wird gezeigt, dass sich auf der Grundlage einer sachgemäßen Erkenntniswissenschaft durch eine Klärung fundamentaler Begriffe und methodischer Grenzübergänge im Bereiche des (natur-)wissenschaftlichen Denkens fruchtbare Gesichtspunkte zum tieferen Verständnis dieser Wissenschaft in ihrem Verhältnis zum Menschen gewinnen lassen.

Das Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis sowie das Bedingung-Folge-Verhältnis von Ereignissen ergeben sich als Spezialfälle der Ursache-Wirkung-Beziehung unter der Voraussetzung bestimmter Erkenntnisgrenzen oder -einschränkungen. Lässt sich das Verhältnis von Bedingung und Folge auch umkehren, so hat man es mit wechselseitigen Bedingung-Folge-Verhältnissen zu tun. Darüber hinaus kann man zeitliche und räumliche Bedingung-Folge-Verhältnisse unterscheiden je nach dem, ob die Bedingungen und Folgen im zeitlichen bzw. räumlichen Verhältnis stehen. Dem kausalen Determinismus von Ursache-Wirkung-Beziehungen entspricht der konditionale Determinismus von Bedingung-Folge-Verhältnissen.

Dem Bedingung-Folge-Verhältnis kann das Bedingung-Zufall-Verhältnis an die Seite gestellt werden vermöge der Existenz von konditional zufälligen Ereignissen. Damit eröffnet sich der Bereich des konditionalen Indeterminismus und in einem weiteren Schritt des objektiven Indeterminismus.

Im zweiten und dritten Teil dieser Abhandlung wird genauer auf die Funktion des Experimentes und des Erkenntnisprozesses im Bereich der klassischen und der Quantenphysik eingegangen; in einem vierten Teil geht es um Zufallsprozesse und die Randomisierung als Instrument des Experimentierens.

### *Summary*

It will be shown that on the basis of an unrestricted epistemology an analysis of fundamental concepts and methodological transitions encompassing the realm of the physical sciences leads to fruitful viewpoints for a deeper understanding of such scientific inquiries in their relation to the human being.

The occasion-consequence relationship as well as the condition-sequel relationship of events are special cases of the cause-effect relationship, given some definite limitations of our subjective knowledge. Reversible condition-sequel relationships are called reciprocal. In addition, there are temporal and spatial condition-

sequel relationships according to the temporal or spatial relationship of the conditions and their sequels. The causal determinism of cause-effect relationships has its counterpart in the conditional determinism of condition-sequel relationships.

Side by side with the condition-sequel relationship is the condition-random event relationship on the basis of the existence of conditional random events. This opens up the realm of conditional indeterminism and, in a further step, objective indeterminism.

In a second and third part of this treatise we go more deeply into the structure of the experiment as well as into the process of gaining knowledge in the realm of classical and quantum physics; the fourth part encompasses random processes and randomisation as an experimental technique.

## 1 Einführung

### 1.1 Zielsetzung

Das primäre Anliegen der folgenden Ausführungen ist die Untersuchung von Erkenntnismethoden und deren Übergänge auf der Grundlage der Idee des Erkennens. Im Zentrum steht die Methode der naturwissenschaftlichen Erkenntnis im Bereich der Anorganik. Sie soll in einen größeren Zusammenhang eingebettet werden, um sowohl ihre systematische Herkunft wie ihre Begrenzung einzusehen. Dabei wird deduktiv vorgegangen: vom allgemeinen Erkenntnisprinzip zu speziellen Erkenntnisformen. Was besonders interessiert, sind *Grenzübergänge*, von einer Methode und ihrem Anwendungsgebiet zu anderen Methoden und Gebieten. Was bleibt erhalten, was geht verloren, was wird gewonnen? Dies bedingt eine möglichst scharfe Bestimmung der Methode, ein Setzen von klaren Grenzen – nicht von absoluten Grenzen, sondern von präzisen Wegmarken («Grenzsteine») für Grenzübergänge. Dies erlaubt, die Tragweite bestimmter Methoden auszuloten, deren Voraussetzungen nachzugehen, deren Konsequenzen zu untersuchen sowie deren Überwindung oder Ergänzung ins Auge zu fassen. Es geht an keiner Stelle um Ausgrenzung oder Ausschließung bestimmter Vorgehensweisen, sondern um die Bewusstmachung der jeweiligen Methode als Vorbedingung ihrer bewussten Ausübung und schließlichen Einbettung in größere Zusammenhänge.

Man kann das Ziel dieser Untersuchungen auch mit einer Suche nach den begrifflichen Grundlagen einer *rationalen Phänomenologie* charakterisieren, in dem Sinne, wie Steiner (1886/1924) in Anknüpfung an Goethe in den Kapiteln über die anorganische und organische Natur in den «Grundlinien einer Erkenntnistheorie der Goethe'schen Weltanschauung» eine rationale Anorganik (Absatz 15.20) bzw. eine rationale Organik (Absatz 16.27) fordert.

Mit der vorliegenden Untersuchung werden *erste* Schritte eines solchen umfassenden Programms verwirklicht: es kann selbstverständlich nicht alles eingelöst werden, was vorgesehen ist. Aber ein Anfang soll gemacht und zur Diskussion gestellt werden.

Wichtige Definitionen sind hervorgehoben in Abschnitten, die mit **fettem Schrifttyp** beginnen; die definierten Termini erscheinen dabei *kursiv*. **Zentrale Behauptungen** sowie die **Hauptergebnisse** sind ebenfalls in Abschnitten mit fettem Schrifttyp am Anfang untergebracht, sind jedoch durchgehend kursiv.

### 1.2 Ausblick und Dank

Im zweiten Teil dieser Abhandlung (Ziegler 2003b) steht das naturwissenschaftliche Experiment sowie der Erkenntnisprozess im Bereich der klassischen Physik und der Quantenphysik im Vordergrund. Naturwissenschaftliches Experimentieren beruht unter anderem auf ideellen Konzeptionen (Ideengrundlage für Experimente) sowie Prinzipien zur Präparierung bzw. Kontrolle der bestimmenden notwendigen und hinreichenden Bedingungen. Die explizite Herstellung dieser Bedingungen widerspricht der Annahme einer universellen Gültigkeit des konditionalen Determinismus; jedes Experiment ist deshalb zugleich ein Beweis der individuellen Autonomie des handelnden Menschen.

In der Quantenphysik gibt es neben den Ereignissen, die dem Bedingung-Folge-Verhältnis unterliegen, auch konditional zufällige Ereignisse im Sinne von Bedingung-Zufall-Verhältnissen. Diese geben Anlass zum konditionalen Indeterminismus sowie zu einem Überdenken des Verhältnisses des Messprozesses zur Erkenntnis-situation beim physikalischen Experiment.

Im dritten Teil wird es um Zufallsprozesse und die Randomisierung als technisches Instrument des Experimentierens gehen. Die Randomisierung ist ein Mittel zur Untersuchung von gleichartigen (oder Gruppen gleichartiger) Experimentiereinheiten im Rahmen verschiedener Versuchsanordnungen unter Voraussetzung der Wiederholbarkeit aller in Betracht kommenden Ereignisse sowie des Ausschlusses nicht wiederholbarer, einmaliger Ereignisse. Sie ist demzufolge Resultat einer konditional zufälligen, jedoch kausal bestimmten Einwirkung, nämlich eines unbedingten (autonomen) individuellen Entschlusses und dessen Verwirklichung.

Bestimmte Übergänge bleiben noch außer Betracht: die Charakterisierung des Begriffs der anorganischen Natur im Unterschied zur organischen Natur sowie innerhalb der anorganischen Naturwissenschaften die Unterschiede zwischen Urphänomen, Naturgesetz und Kosmos. Insbesondere wird hier noch nicht auf den Begriff des Naturgesetzes eingegangen, sondern nur auf die Charakterisierung von Bedingung-Folge-Verhältnissen im Zusammenhang mit dem physikalischen Experiment.

Wichtige Anregungen zur begrifflichen Klärung des Experimentalvorganges sowie zur Verfassung des vorliegenden Textes im Allgemeinen erhielt ich von einer gemeinsamen Durcharbeitung verschiedener Fassungen mit Stephan Baumgartner. Einige Teile aus Kapitel 2 sind umgearbeitet entnommen aus *Baumgartner/Ziegler* (unveröffentlicht). Selbstverständlich gehen die stehen gebliebenen Unklarheiten allein auf meine Verantwortung. Anregungen zu einer vertieften Beschäftigung mit dem Zufallsbegriff erhielt ich unter anderem anhand einer Zusammenstellung von Steiners Ausführungen zu den Begriffen Zufall und Notwendigkeit, Chaos, Wahrscheinlichkeit, Statistik in *Ziegler* (2001).

Kommentare, die zu wesentlichen Neubearbeitungen früherer Fassungen beigetragen haben, erhielt ich außerdem von Peter Gschwind, Florian Theilmann und Hanspeter Seipp. Anregungen zur Terminologie und Grammatik der Tabelle 1 kamen von Stephan Baumgartner und Andreas Heertsch.

## 2 Bedingungslehre: Bedingung-Folge-Verhältnis und konditionaler Determinismus

### 2.1 Ursprung und Einschränkungen der Ursachenlehre

Die Grundlage der folgenden Ausführungen ist eine Erkenntnislehre, in welcher dem erkennenden Individuum eine aktive Rolle beim Zustandekommen des Erkennens zukommt, die Erkenntnis jedoch dem Inhalt nach kein Produkt des Individuums ist. Insbesondere ist das tätige Denken mit seinen (reinen) Begriffen und Ideen Teil des Weltinhaltes und zugleich Mittel zur Integration «seiner» Inhalte mit den übrigen Erfahrungsinhalten. Dies wurde erstmals von Rudolf Steiner in seinen Schriften «Einleitungen zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften» (1884–1997), «Wahrheit und Wissenschaft» (1892), «Grundlinien einer Erkenntnistheorie der Goethe'schen Weltanschauung» (1886/1924) und «Die Philosophie der Freiheit» (1894/1918) entwickelt. Da das erkennende Individuum selbst Inhalt der Erkenntnis sein kann und bei einer Selbstaufklärung des erkennenden Wesens auch sein muss, umfasst der Gegenstandsbereich dieser Erkenntnis sowohl physisch-sinnlich als auch geistig Erfahrbares.

Eine der fundamentalsten Konsequenzen dieser Erkenntnislehre ist die Einsicht, dass es keine prinzipiellen Erkenntnisgrenzen gibt: das Denken selbst stellt anhand der individuellen Erfahrung alle Erkenntnisfragen und kann sie demzufolge im Prinzip auch lösen. Individuell mag eine Lösung aus verschiedenen Gründen nicht zustande kommen – dies tut der prinzipiellen Lösbarkeit sämtlicher Erkenntnisfragen keinen Abbruch.

Erkennen heißt in diesem Zusammenhang letztlich, ein physisch-sinnliches oder nichtsinnliches, überphysisches Ereignis in seiner Gesetzmäßigkeit und seiner Einmaligkeit zu durchschauen. Dies bedingt eine Einsicht in den ideellen und reellen Grund seines Daseins, eine Einsicht in seinen wahren Ursprung. In anthroposophisch-geisteswissenschaftlicher Ausdrucksweise geht es um das Erkennen des Zusammenwirkens verschiedener Wesenheiten für das Zustandekommen einer Erscheinung (siehe Maier 2001). In philosophischem Kleide kommen zur Bestimmung solcher Vorgänge in erster Linie die Kategorien Wesen und Erscheinung sowie Ursache und Wirkung in Betracht. Dies lässt sich streng erkenntnisphilosophisch ableiten – dafür ist hier aber nicht der Ort.

Kurz zusammengefasst beinhaltet die *Ursachenlehre* Folgendes (weiteres dazu in Ziegler 2002): Wenn ein Wesen in Erscheinung tritt, wird es zur ideellen und reellen Ursache dieser Erscheinung. Als ideelle Ursache, oder *Formursache*, beinhaltet es die wesentliche Gesetzmäßigkeit der Erscheinung; als reelle Ursache, als *Wirkursache*, die reale Kraftentfaltung oder Wirksamkeit. Hinzu kommt die *Material- oder Stoffursache*, welche das umfasst, worin das Wesen zur Erscheinung kommt, seine Vorbedingungen und Begleitursachen (siehe Tab. 1, S. 184).

Entscheidend für diese auf keinen besonderen Erfahrungsbereich eingeschränkte Ursachenlehre ist, dass in ihrem Sinne jeder Ursache eine Wirkung (Erscheinung, Ereignis) zukommt und jedem Ereignis eine Ursache. Jede Ursache-Wirkung-Kette hat einen absoluten Anfang. Diese Einsicht ist im Wesentlichen äquivalent zur prinzipiellen Lösbarkeit aller Erkenntnisprobleme. Dies ist jedoch nicht zu verwechseln mit der Behauptung des universellen kausalen Determinismus: Jede gegenwärtige

oder zukünftige Wirkung hat ihre konkrete Ursache in Ereignissen der Vergangenheit. Diese Behauptung ist falsch. Wie sich zeigen lässt, wird sie durch jeden freien Akt eines Menschen widerlegt.

Im Folgenden geht es um den Übergang von der Ursache-Wirkung-Beziehung über das Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis zu dem durch verschiedene Faktoren eingeschränkten Bedingung-Folge-Verhältnis. Anschließend wird das Letztere in seiner Tragweite und in seinem Verhältnis zum naturwissenschaftlichen Experiment und zur menschlichen Freiheit ausgelotet (siehe Teil II, Ziegler 2003b).

Ein Ereignis ist gemäß der *Ursachenlehre* genau dann vollständig in seinem Dasein und Sosein durchschaubar, wenn die es hervorbringenden Ursachen bekannt sind, das heißt die ideellen Prinzipien (Formursache), die reell treibenden Kräfte (Wirkursache) sowie die Erscheinungs-Vorbedingungen (Materialursache). Reicht das Erfahrungs- und Erkenntnisvermögen nicht bis hinauf in die Sphäre, welche die Form- und Wirkursachen (real-geistig wirksame Wesen) umfasst, so kann ersatzweise im Bereich der der Erfahrung zugänglichen Ereignisse nach entsprechenden begrifflichen Relationen gesucht werden. Damit tritt man jedoch aus der Sphäre der eigentlichen Ursache-Wirkung-Beziehungen, der *kausalen Beziehung* oder *Kausalität*, in den Bereich der uneigentlichen Ursache-Wirkung-Verhältnisse ein. In dem hier betrachteten ersten Schritt einer Einschränkung der Ursachenlehre wird man zur *Veranlassungslehre* geführt, wo das *Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis* eine zentrale Rolle spielt. Dabei geht es um physisch-sinnliche oder nichtsinnliche oder überphysische Ereignisse, die durch andere Ereignisse ausgelöst oder veranlasst werden, ohne dass die wirkende Ursache offenbar wird. Der zweite Schritt führt zur *Bedingungslehre*, in deren Zentrum das *Bedingung-Folge-Verhältnis* steht. Man kann auch vom Bereich der *konditionalen Verhältnisse* oder der *Konditionalität* sprechen. Hier geht es um physisch-sinnliche Ereignisse, deren Präsenz und Komposition notwendig und hinreichend für das Auftreten anderer physisch-sinnlicher Ereignisse ist.

Man beachte, dass sowohl die Ursache-Wirkung-Beziehung wie das Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis und das Bedingung-Folge-Verhältnis rein funktionale Beziehungen sind, die von vornherein weder ausschließlich temporaler noch ausschließlich lokaler Natur sein müssen. Insbesondere lässt sich aus Ursache-Wirkung-Beziehungen, Veranlassung-Konsequenz-Verhältnissen und Bedingung-Folge-Verhältnissen von Ereignissen nicht notwendigerweise auf ein zeitliches Verhältnis dieser Ereignisse schließen.

## 2.2 Veranlassungslehre: Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis

Es soll nun das Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis genauer betrachtet werden (siehe Tab. 1, S. 184). Auf das Bedingung-Folge-Verhältnis wird im Abschnitt 2.3 näher eingegangen. Da es sich bei Veranlassung-Konsequenz-Verhältnissen um Spezialfälle von Ursache-Wirkung-Verhältnissen handelt, kann nur vom Gesichtspunkt der Ursachenlehre aus beurteilt werden, was Veranlassung-Konsequenz-Verhältnisse genau umfassen und was nicht. Betrachtet man Ereignisse innerhalb eines bestimmten Daseinsbereiches, etwa der physisch-sinnlichen und seelischen Wahrnehmungen, so lassen sich dort die effektiven Ursachen im Sinne geistiger Kräftewirkungen nicht

auffinden; zudem wird die Materialursache nur bezüglich ihrer physisch-sinnlichen und/oder seelischen Anteile offenbar (*conditio materialis*). Die Formursache dagegen ist dank ihres ideellen Charakters dem reinen Denken im Prinzip zugänglich, im Sinne eines die Konsequenz, das Geformte (*consequens*) bedingenden Faktors (*conditio formalis*). Vermöge des eingeschränkten Charakters des zur Verfügung stehenden Erfahrungshorizontes wird sie jedoch nicht so ohne weiteres in ihrem vollen Umfange erfasst werden können, sondern in der Regel nur hinsichtlich bestimmter ausgewählter und untergeordneter Aspekte. Zudem muss sie, auch wenn sie vollumfänglich *gedacht* werden kann, aus den genannten Gründen hypothetisch bleiben: ihre Wirklichkeitsgemäßheit ist durch keine rein physisch-sinnliche oder seelische Wahrnehmung erfassbar.

*Beispiel:* Eine Kugel rollt auf dem Boden auf mich zu. Ich ergreife sie und werfe sie in einem schiefen Wurf zurück. Falls es sich dabei um einen individuellen freien Akt handelt, ist dies eine Erscheinung meines Ich. Dieses Ich kann charakterisiert werden als ein sich selbst und anderes verwirklichendes Prinzip (Formursache), dessen Hingabekraft den Handlungsprozess (Wirkung) reell bedingt und bewirkt (Wirkursache). Die auf mich zurollende Kugel ist die Veranlassung des Handlungsaktes (Teil der Stoffursache), der Wurf der eigentliche Akt (Ursache und Wirkung) und der Flug das unmittelbare Ergebnis (Auswirkung der Wirkung). Somit handelt es sich für mich um ein voll durchschaubares Ursache-Wirkung-Verhältnis. – Von außen, von einem diesen Akt nicht selbst vollziehenden Menschen aus betrachtet lassen sich jedoch nur die Veranlassung (auf mich zurollende Kugel) und die Konsequenz (Wurf) sowie die sich aus dieser Konsequenz weiter ergebenden Auswirkungen (Flugbahn, Aufprall etc.) konstatieren. Die Vorgänge zwischen Veranlassung und Konsequenz (Handlungsentschluss, Motivbildung [moralische Intuition], Motivverwirklichung [moralische Phantasie und moralische Technik]) sind vom Gesichtspunkt des physisch-sinnlichen oder seelisch erfassbaren Geschehens aus nicht unmittelbar zugänglich. – Es besteht hier allerdings die Möglichkeit, dass durch eine Mitteilung an eine diesen Akt nicht vollziehende Person die zugrunde liegenden Prinzipien explizit offenbar gemacht werden könne. Damit wird die *causa formalis*, die Formursache, vollumfänglich zugänglich im Sinne eines konstitutiven Prinzips, eines bedingenden Faktors (*conditio formalis*) – nicht jedoch deren Wirklichkeitsgemäßheit, da die Wirkursache auf diese Weise nicht vermittelt werden kann.

Es gehört zur Charakteristik von Veranlassung-Konsequenz-Verhältnissen, dass die Veranlassung (*conditio occasionalis*) zwar notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung zum Eintreten der Konsequenz (*consequens*) ist. Die Konsequenz wäre also nicht eingetreten, falls die Veranlassung nicht vorhanden gewesen wäre, oder umgekehrt: falls die Konsequenz eingetreten ist, muss auch die Veranlassung eingetreten sein. Die Veranlassung allein hätte aber nicht notwendigerweise die entsprechende Konsequenz nach sich ziehen müssen.

Damit lässt sich die allgemeine Form des Veranlassung-Konsequenz-Verhältnisses folgendermaßen festhalten – wobei zu beachten ist, dass keine expliziten Annahmen über den Charakter der Ereignisse getroffen werden; es kann sich also um physisch-sinnliche oder nichtsinnliche, überphysische Ereignisse handeln.

**Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis:**

- (1) Ein Ereignis *X* heißt *notwendige Bedingung* für ein Ereignis *Y*, wenn *Y* ohne *X* nicht erscheint.
- (2) Ein Ereignis *X* heißt *hinreichende Bedingung* für ein Ereignis *Y*, wenn gilt: immer wenn *X* erscheint, erscheint auch *Y*, mit anderen Worten, wenn das Dasein von *X* notwendig das Dasein von *Y* zur Folge hat.
- (3) Wenn *X* für das Ereignis *Y* notwendig, aber nicht hinreichend ist, so heißt *X* die *Veranlassung* von *Y* und *Y* die *Konsequenz* dieser Veranlassung und die Ereignisse *X* und *Y* stehen im *Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis*.
- (4) Die Konsequenz ist ein Geformtes, eine Erscheinung einer auf sich selbst beruhenden Gesetzmäßigkeit (Formbedingung, *conditio formalis*), die durch die Veranlassung (*conditio occasionalis*) angeregt und durch die Randbedingung (*conditio continens*) modifiziert, aber nicht bestimmt wird.

Der Übergang von der Ursache-Wirkung-Beziehung zum Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis ist eine Art Projektion der Ersteren auf einen eingeschränkten Erfahrungsbereich, in welchem insbesondere die Wirkursache nicht zugänglich ist.

URSACHENLEHRE: Ursache-Wirkung-Beziehung, kausale Beziehung, Kausalität				
<i>causa materialis</i> Stoff- oder Materialursache, Material-Notwendigkeit		<i>causa efficiens</i> Wirkursache, Real- Notwendigkeit	<i>causa formalis</i> Formursache, Ideal-Notwendigkeit, konstitutives Prinzip	<i>effectus</i> Wirkung, Erscheinung Geschöpftes, Gewirktes
<i>causa occasionalis</i> Veranlassungs- ursache, Vorbedingung Ursache	<i>causa continens</i> Modifizierende Ursache, begleitende			

↓ Beschränkung auf Ereignisse außerhalb der Sphäre der Wirkursachen ↓

VERANLASSUNGSLEHRE: Veranlassung-Konsequenz-Beziehung, okkasionales Verhältnis, Okkasionalität				
<i>conditio materialis</i>		<i>conditio continens</i> Modifikation, Randbedingung, Begleitbedingung	<i>conditio formalis</i> Formbedingung, Ideal-Notwendigkeit, konstitutives Prinzip	<i>consequens</i> Konsequenz, Materiale Folge, Geformtes, Gestaltetes
<i>conditio occasionalis</i> Veranlassung; notwendige, nicht hinreichende Bedingung				

↓ Beschränkung auf physisch-sinnlich erfahrbare Ereignisse ↓

BEDINGUNGSLEHRE: Bedingung-Folge-Verhältnis, konditionales Verhältnis, Konditionalität				
<i>conditio materialis</i>		<i>conditio continens</i> Modifikation, Randbedingung, Begleitbedingung	<i>conditio relationalis</i> Relationale Bestimmung: formale Verknüpfung der Bedingungen, relationale Struktur, (mathematisches) Modell, regulatives Prinzip	<i>eventus</i> Formale Folge, Reguliertes, Geregeltes
<i>conditio facta</i> Faktische Bedingung; notwendige und hinreichende faktische Bedingung				

Tab. 1: Faktoren von Ursache-Wirkung-Beziehungen, Veranlassung-Konsequenz-Verhältnissen und Bedingung-Folge-Verhältnissen. (Man beachte: Die lateinischen Termini dieser Tabelle sind nicht alle historisch verbürgt, sie dienen hier, ergänzend zu den deutschen Ausdrücken, einer prägnanten Bezeichnung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten der entsprechenden Begriffe.)

### 2.3 Bedingung-Folge-Verhältnis

Die Untersuchung von Veranlassungen und deren Konsequenzen bringt die Frage mit sich, ob es nicht auch Veranlassungen geben kann, die nicht nur notwendig, sondern auch hinreichend für eine Konsequenz sein können. Beschränkt man sich auf physisch-sinnliche Ereignisse, so ist dies tatsächlich der Fall. Ein solches Verhältnis von physisch-sinnlichen Ereignissen wird Bedingung-Folge-Verhältnis genannt.

Die allgemeine Form des Bedingung-Folge-Verhältnisses lässt sich folgendermaßen festhalten – wobei hier die Einschränkung des betrachteten Ereignisbereiches auf physisch-sinnliche Ereignisse wesentlich ist.

#### **Bedingung-Folge-Verhältnis:**

- (1) Ein Ereignis  $X$  heißt *notwendige Bedingung* für ein Ereignis  $Y$ , wenn  $Y$  ohne  $X$  nicht erscheint.
- (2) Ein Ereignis  $X$  heißt *hinreichende Bedingung* für ein Ereignis  $Y$ , wenn gilt: immer wenn  $X$  erscheint, erscheint auch  $Y$ , mit anderen Worten, wenn das Dasein von  $X$  notwendig das Dasein von  $Y$  zur Folge hat.
- (3) Das Ereignis  $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$  mit den Teilereignissen  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  heißt *Bedingung* des Ereignisses  $Y = (Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m)$ , wenn jedes  $X_i$  notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung ist für  $Y$  und wenn die Gesamtheit  $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$  der Teilereignisse  $X_i$  hinreichende Bedingung ist für  $Y$ . Das Ereignis  $Y$  heißt dann Folge von  $X$  und die Ereignisse  $X$  und  $Y$  stehen im *Bedingung-Folge-Verhältnis*.
- (4) Die Ereignisse  $X$  und  $Y$  stehen im *wechselseitigen Bedingung-Folge-Verhältnis*, wenn sowohl  $Y$  die Folge von  $X$  wie  $X$  die Folge von  $Y$  ist. In diesem Falle hat das Dasein des einen Ereignisses das Dasein des anderen Ereignisses zur Folge und umgekehrt.

Gemäß Definition können die einzelnen Teilereignisse  $X_i$  einer Bedingung  $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$  für ein Ereignis  $Y$  keine hinreichende Bedingungen sein. Im Weiteren folgt aus dieser Definition, dass bei konkreten Beispielen (siehe dazu den nächsten Abschnitt) nur die tatsächlich notwendigen und hinreichenden Bedingungen explizit aufgezählt werden müssen und *nicht* diejenigen Ereignisse, die keine Bedingungen sind.

Der entscheidende Unterschied des Bedingung-Folge-Verhältnisses zum Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis liegt in der Tatsache, dass die entsprechende Formbedingung (*conditio relationalis*) nicht mehr im Sinne einer auf sich selbst beruhenden ideellen Notwendigkeit auftaucht (siehe Tab. 1). Welche Folge aufgrund bestimmter Bedingungen eintritt, ist aus den Bedingungen nicht ableitbar im Sinne eines Durchschauens des notwendigen und hinreichenden Zusammenhangs. Mit anderen Worten: das zwischen Bedingung und Folge herrschende notwendige und hinreichende Verhältnis ist rein formaler, regulativer Natur und nicht inhaltlicher, konstitutiver Natur. Dieser Zusammenhang ist ein bloßes Relationengefüge aus den beteiligten Ereignissen, kein selbständiges gesetzmäßiges Prinzip.

Aufgrund des hinreichenden Charakters der Bedingungen für das Eintreten eines Bedingung-Folge-Verhältnisses von Ereignissen liegt es nahe, die (bewusstseinsmä-



ßige) Abwesenheit der nur geistig erfassbaren Wirkursachen überhaupt zu ignorieren. Die Einschränkung des Erfahrungsbereiches auf physisch-sinnliche Ereignisse ist jedoch Ausdruck subjektiver Erkenntnisgrenzen und damit im Prinzip überwindbar. Ist man sich dieser Tatsache nicht bewusst, verleugnet oder ignoriert man sie, so wird man Bedingung-Folge-Verhältnisse für die eigentlichen Ursache-Wirkung-Beziehungen halten und damit den durch die subjektiven Erkenntnisgrenzen bedingten Erkenntnisansatz verabsolutieren.

In diesem Sinne ist die Ersetzung von *Ursache-Wirkung-Beziehungen* durch *Bedingung-Folge-Verhältnisse* eine Folge der Tatsache subjektiver Erkenntnisgrenzen. Im Rahmen von Bedingung-Folge-Verhältnissen knüpft man an einen Komplex von physisch-sinnlichen Ereignissen an und bringt diese in eine bestimmte systematische Ordnung vermöge konsequenter Beobachtung, Experiment und (meist mathematischer) Gedankenverbindungen, innerhalb welcher die bedingenden und bedingten Faktoren voneinander unterschieden werden.

Im Einzelnen geschieht der Übergang von Ursache-Wirkung-Beziehungen zu Bedingung-Folge-Verhältnissen durch folgende Schritte (Tab. 1): die effektive Ursache (Wirkursache, *causa efficiens*) oder Real-Notwendigkeit ist nicht mehr präsent und wird ersetzt durch die notwendige und hinreichende faktische Bedingung (*conditio facta*); diese bildet einen Aspekt der Materialursache (*conditio materialis*), deren anderer Aspekt die den Vorgang modifizierende Randbedingung (*conditio continens*) ist. Die Formursache (*causa formalis*) oder Ideal-Notwendigkeit wird eingeschränkt zur Verknüpfungsbedingung (*conditio relationalis*) in Form einer relationalen Struktur, meist, aber nicht notwendigerweise, in der Form eines mathematischen Modells.

Ist die Sphäre der Ursachen aus Gründen der individuellen Erkenntnisgrenzen nicht zugänglich oder will man einen bestimmten Erfahrungsbereich (hier die physisch-sinnliche Erscheinungswelt) so weit wie möglich aus sich heraus erkennen, so muss anstelle der Ursache-Wirkung-Beziehung das Veranlassung-Konsequenz-Verhältnis oder das Bedingung-Folge-Verhältnis herangezogen werden.

#### 2.4 Unterarten des Bedingung-Folge-Verhältnisses

Man beachte, dass es sich beim Bedingung-Folge-Verhältnis um ein rein *konditionales Verhältnis* handelt, da weder von wirkenden Ursachen noch von zeitlicher Abfolge die Rede ist. Eine weitere Differenzierung wird im folgenden Schritt eingeführt.

**Räumliches oder zeitliches Bedingung-Folge-Verhältnis:** Es seien *X* und *Y* im Bedingung-Folge-Verhältnis, das heißt *X* ist die *Bedingung* von *Y* und *Y* ist die *Folge* von *X*.

- (1) Wenn das Dasein von *X* das Dasein von *Y* ausschließt, das heißt, wenn *X* und *Y* im *Zeitverhältnis* stehen, so handelt es sich um ein *zeitliches Bedingung-Folge-Verhältnis*; das Ereignis *X* heißt dann die *Vorbedingung* des Ereignisses *Y*, und *Y* die *Nachfolge* von *X*.
- (2) Wenn *X* und *Y* sich in ihrem Dasein nicht ausschließen, das heißt wenn *X* und *Y* im *Raumesverhältnis* stehen, dann handelt es sich um ein *räumliches Bedingung-Folge-Verhältnis*; das Ereignis *X* heißt dann *gegenwärtige Bedingung* des Ereignisses *Y*, und *Y* ist die *gegenwärtige Folge* von *X*.

Die Bestimmung des zeitlichen Bedingung-Folge-Verhältnisses beinhaltet die wohl bekannte Tatsache, dass eine zeitliche Abfolge zweier Ereignisse weder eine Ursache-Wirkung-Beziehung noch eine Bedingung-Folge-Beziehung impliziert. Zur zeitlichen Abfolge zweier Ereignisse kommt beim zeitlichen Bedingung-Folge-Verhältnis noch die Forderung hinzu, dass das Auftreten des einen Ereignisses notwendig das Auftreten des anderen Ereignisses zur Folge hat. Dadurch lässt sich  $X$  als *früheres* oder *vorangehendes Ereignis* und  $Y$  als *späteres* oder *nachfolgendes Ereignis* bestimmen.

*Beispiel:* Zeitliche Verhältnisse von Ereignissen sind nicht notwendigerweise kausale oder konditionale Verhältnisse: Falls die Ereignisse «Der Hahn kräht» und «Die Sonne geht auf» in einem zeitlichen Verhältnis stehen, so stehen sie nicht notwendigerweise auch im Verhältnis von Bedingung und Folge oder im Verhältnis von Ursache und Wirkung, denn die Sonne muss nicht aufgehen, sobald der Hahn kräht, und schon gar nicht, *weil* der Hahn kräht. Auch die Umkehrung «Die Sonne geht auf» und «Der Hahn kräht» *kann*, muss aber nicht in einem kausalen oder konditionalen Verhältnis stehen.

Beim zeitlichen Bedingung-Folge-Verhältnis müssen gemäß Definition des allgemeinen Bedingung-Folge-Verhältnisses zwei Fälle unterschieden werden, das *wechselseitige zeitliche Bedingung-Folge-Verhältnis* und das *einseitige zeitliche Bedingung-Folge-Verhältnis*.

*Konkretes Beispiel für ein einseitiges zeitliches Bedingung-Folge-Verhältnis:* Beim horizontalen *freien* Wurf sind die horizontale Wurfrichtung (horizontale Geschwindigkeit  $v_0$  zum Zeitpunkt  $t = 0$ , Ort zum Zeitpunkt  $t$ :  $x(t) = v_0 t$ ), der über dem Boden befindliche Anfangsort ( $h_0 > 0$  zum Zeitpunkt  $t = 0$ ) sowie das Verhältnis zur Erde (Schwere der Masse des Körpers, Fallhöhe zur Zeit  $t$ :  $y(t) = h_0 - gt^2/2$ ) jeweils notwendige und einzeln nicht hinreichende Bedingungen. Die gesamten notwendigen Bedingungen sind jedoch zusammen hinreichend für die Folge, eine Bewegung in horizontaler und zugleich vertikaler Richtung. Als Form der Flugbahn ergibt sich mathematisch nach der Elimination des Parameters  $t$  eine Parabel mit der Gleichung  $y = h_0 - (g/2v_0^2)x^2$ . – Indem hier der Luftwiderstand nicht explizit unter den notwendigen Bedingungen auftaucht, handelt es sich per conditionem bei diesem Beispiel um einen *freien* und keinen ballistischen Wurf.

*Weitere Beispiele, die im Sinne von einseitigen zeitlichen Bedingung-Folge-Verhältnissen strukturiert werden können:* (1) Zeitentwicklungen oder Zustandsänderungen von gleichförmigen oder beschleunigten nichtperiodischen (oder quasiperiodischen) Bewegungen, wie parabolische oder hyperbolische Kometenbahnen sowie alle Wurfbahnen von fliegenden Objekten. Bei einem zum Beispiel in einer parabolischen oder ballistischen Kurve fliegenden Körper ist der Bewegungszustand zu jedem Zeitpunkt jeweils eine notwendige (aber nicht hinreichende) einseitige zeitliche Bedingung jedes Zustandes zu einem späteren Zeitpunkt. Die Umkehrung gilt nicht: Der Bewegungszustand  $X$  zu einem bestimmten Zeitpunkt ist nicht notwendige Bedingung für einen Zustand  $Z$  zu einem früheren Zeitpunkt, da dieser Zustand  $Z$  bei nicht periodischen Vorgängen für immer vorbei ist und nicht wieder eintritt. Als weitere notwendige Bedingungen kommen hier in Betracht: das Verhältnis des Körpers zur Erde sowie im letzteren Fall das Verhältnis des Körpers zum Luft-

widerstand. (2) Zu diesem Typ von Bedingung-Folge-Verhältnissen gehört auch der Übergang einer beschleunigten Bewegung eines Objektes in eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit, zum Beispiel der Anstoß einer kreisförmigen Scheibe (auf einer horizontalen, reibungsfreien Unterlage) durch eine Feder und die sich daran anschließende Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit. Denn der Anstoß der Scheibe, eine beschleunigte Bewegung (siehe dazu weiter unten: Beispiele zu wechselseitigen räumlichen Bedingung-Folge-Verhältnissen), steht in einem *einseitigen* zeitlichen konditionalen Verhältnis zum nachfolgenden Zustand der konstanten Geschwindigkeit, da letzterer keine Rückbedingung für den ersteren ist. (Im übrigen ist der Anstoß in keinem bestimmten Sinne die Ursache der nachfolgenden Bewegung; er versetzt nur die kreisförmige Scheibe in einen Zustand, der es der Scheibe erlaubt, «selbständig» weiter zu gleiten. Der Anstoß ist *Vorbedingung*, nicht aktuelle Wirkursache des weiteren Verhaltens dieser Scheibe.

In allen diesen Fällen von nichtperiodischen Bewegungen sind die früheren Ereignisse die Bedingungen der späteren, in dem Sinne, dass sie diesen vorangehen müssen und die Letzteren ohne diese nicht erscheinen.

*Beispiele für wechselseitige zeitliche Bedingung-Folge-Verhältnisse:* (1) Streng periodische Bewegungen, wie zum Beispiel die ideale Pendelbewegung. Seien  $X$  und  $Y$  zwei beliebige, nicht identische Zustände (quantifiziert: Orts- und Impulsvektor) eines regelmäßig schwingenden idealen Pendels, dann ist  $X$  die Vorbedingung für den Zustand  $Y$  und  $Y$  die Vorbedingung für den Zustand  $X$ , da aufgrund der Periodizität beide Zustände immer wieder angenommen werden. (Umgekehrt könnte die ideale Pendelbewegung gerade durch dieses Verhältnis bestimmt werden.) (2) In guter Näherung (das heißt in nicht zu langen Zeiträumen) sind auch die Planetenbewegungen streng periodische Bewegung und damit Beispiele für wechselseitige zeitliche Bedingung-Folge-Verhältnisse.

Hier stellt sich die Frage, ob es überhaupt im strengen Sinne periodische Bewegungen gibt, das heißt, ob der Fall eines wechselseitigen zeitlichen Bedingung-Folge-Verhältnisses überhaupt in der Natur vorkommt, ob diese Begriffsbildung wirklichkeitsgemäß ist. Diese Frage soll hier offen gelassen werden.

Beim räumlichen Bedingung-Folge-Verhältnis müssen ebenfalls zwei Fälle unterschieden werden: das *einseitige räumliche Bedingung-Folge-Verhältnis* und das *wechselseitige räumliche Bedingung-Folge-Verhältnis*.

*Beispiele für wechselseitige räumliche Bedingung-Folge-Verhältnisse:* (1) Der in den Beispielen für einseitige zeitliche Bedingung-Folge-Verhältnisse diskutierte Anstoßvorgang einer kreisförmigen Scheibe durch eine Feder auf reibungsfreier Unterlage ist ein wechselseitiges räumliches Bedingung-Folge-Verhältnis, denn genau während dieses Vorganges ist das Verhalten der Feder die gegenwärtige räumliche Bedingung für das Verhalten der Scheibe als Folge dieser Bedingung und umgekehrt das Verhalten der Scheibe die gegenwärtige räumliche Bedingung für das Verhalten der Feder als Folge dieser Bedingung. Zudem ist klar, dass jede Verhaltensänderung des einen Körpers Folgen für das Verhalten des anderen Körpers hat und umgekehrt. (2) Zwei um den gemeinsamen Schwerpunkt rotierende, durch eine elastische Feder gekoppelte, reibungsfrei horizontal gelagerte Kreisscheiben, bei denen die Feder-

kraft die Rolle der Zentripetalkraft inne hat, stehen in einem wechselseitigen räumlichen Bedingung-Folge-Verhältnis. (3) Die beiden in einer *räumlichen* Beziehung stehenden Körper einer Bewegung zweier Planeten umeinander stehen ebenfalls in einem *wechselseitigen* räumlichen Bedingung-Folge-Verhältnis. Wie beim vorigen Beispiel (2) induziert die Bewegungsqualität (Bedingung) des einen eine bestimmte Bewegungsqualität des anderen (Folge) und umgekehrt. (4) Ganz allgemein kann für die Physik für zwei im Raumverhältnis stehende Körper die *relative Beschleunigung* folgendermaßen bestimmt werden: Zwei Körper sind genau dann in einer relativ zueinander beschleunigten Bewegung, wenn es einen dritten Körper – Referenzkörper genannt – gibt (der durch den beobachtenden Menschen repräsentiert werden kann, aber nicht muss), sodass gilt: der eine Körper bewegt sich relativ zum Referenzkörper genau dann, wenn sich auch der andere Körper relativ zum Referenzobjekt bewegt. Da gemäß Voraussetzung die relativ zueinander beschleunigten Körper in einem räumlichen Verhältnis zueinander stehen, sind sie damit in einem wechselseitigen räumlichen Bedingung-Folge-Verhältnis. Dies bedeutet, dass das Verhalten des einen Körpers sowohl die gegenwärtige Bedingung wie zugleich die gegenwärtige Folge des Verhaltens des anderen Körpers ist. (5) Sämtliche *Gesetze der Statik starrer und elastischer Körper* gehören in den Bereich der wechselseitigen räumlichen Bedingung-Folge-Verhältnisse. Als Beispiel sei auf das Hebel-Gesetz hingewiesen: Kraft mal Kraftarm = Last mal Lastarm.

Die bisherigen konkreten Beispiele für zeitliche sowie für wechselseitige räumliche Bedingung-Folge-Verhältnisse stammen ausschließlich aus der Dynamik oder Statik starrer Körper, also aus dem Gebiet der Mechanik. Das Bedingung-Folge-Verhältnis lässt sich jedoch auch auf andere Gebiete der klassischen Physik anwenden. Prinzipiell kann es gar keine anderen konditionalen Verhältnisse geben als die genannten einseitigen und wechselseitigen, räumlichen oder zeitlichen Bedingung-Folge-Verhältnisse.

Offen geblieben ist bisher nur das einseitige räumliche Bedingung-Folge-Verhältnis zweier Ereignisse  $X, Y$  im Raumverhältnis, wo das eine Ereignis  $Y$  die gegenwärtige Folge von  $X$  ist, nicht aber umgekehrt auch  $X$  die gegenwärtige Folge von  $Y$ . Den Hinweis auf Phänomene der geometrischen Optik als einseitige räumliche Bedingung-Folge-Verhältnisse verdanke ich Hanspeter Seipp. Weitere durchgearbeitete Beispiele zur geometrischen Optik findet man in *Maier* (1986) und *Seipp* (2002).

*Beispiele für einseitige räumliche Bedingung-Folge-Verhältnisse:* (1) Wenn ein Lichtbereich von einer Lichtquelle durch eine Blende so gebündelt wird, dass eine scharfe Licht-Schatten-Grenze entsteht und sich im Bereich dieser Grenze ein durchsichtiges Prisma befindet, so erscheint auf einer weißen Projektionsfläche auf einer der der Lichtquelle abgewandten Seiten des Prismas ein farbiger Saum im Übergangsbereich von Licht und Schatten. (2) Wenn ein Lichtbereich von einer Lichtquelle durch eine genügend kleine Lochblende gebündelt wird und sich im gebündelten Lichtbereich eine scharfe Kante befindet, so erscheint auf einer weißen Projektionsfläche auf der der Lichtquelle abgewandten Seite dieser Kante ein Beugungsmuster vom Typ «dunkle Streifen auf hellem Bereich» (Grundanordnung I in *Seipp* 2002, Abschnitt 2.3) – In beiden Fällen umfassen die im Einzelnen notwendi-

gen und zusammen hinreichenden Bedingungen die Lichtquelle, die Bündelung des Lichtbereiches dieser Lichtquelle zu einem durch scharfe Licht-Schatten-Grenzen ausgezeichneten Lichtbereich sowie ein weiteres Objekt im gebündelten Lichtbereich (scharfe Kante bzw. Prisma) und schließlich die Projektionsfläche. Die Folge ist das Beugungsmuster bzw. der farbige Saum. Ersteres steht mit Letzterem in einem *räumlichen* Verhältnis: es sind keinerlei zeitliche Abläufe zu beobachten oder in irgendeiner Weise relevant. Das konditionale Verhältnis ist einseitig, da die Folge keine notwendige Bedingung für das Eintreten irgendeiner der erstgenannten notwendigen Bedingungen ist, sie vielmehr nur dann auftritt, wenn die ersteren Bedingungen erfüllt sind. Falls jedoch nur eine der Bedingungen da ist, muss die Folge nicht auch da sein.

### 2.5 Konditionaler Determinismus, konditionaler Zufall und Indeterminismus

Das Prinzip des allgemeinen konditionalen Determinismus oder der nach einer Seite hin offenen *Bedingung-Folge-Kette* lässt sich folgendermaßen festhalten. Ereignisse werden hier auf physisch-sinnliche Tatsachen eingeschränkt.

**Universeller konditionaler Determinismus:** *Physisch-sinnliche Ereignisse sind Folgen eines oder mehrerer bestimmter anderer physisch-sinnlicher Ereignisse im Sinne von Bedingung-Folge-Verhältnissen.*

Wenn dies zuträfe, so wären alle Ereignisse Folgen anderer Ereignisse. Damit gäbe es keine nicht durch andere Ereignisse (Erscheinungen) bedingten Ereignisse, und damit wäre die Kette von in Form des Bedingung-Folge-Verhältnisses verknüpften Ereignissen «nach hinten» prinzipiell offen. Eine Offenheit «nach vorne» kann daraus nicht abgeleitet werden: Aus der Tatsache, dass gewisse Ereignisse Folgen anderer Ereignisse sind, kann nicht geschlossen werden, dass sie deshalb auch notwendige und hinreichende Bedingungen anderer Ereignisse sein müssen. Sie *können* dies sein, aber müssen es nicht – allein in diesem Sinne gibt es eine gewisse Offenheit oder Unbestimmtheit «nach vorne».

Von den Folgen zu den Bedingungen zurückzugehen ist nur solange sachgemäß, als es einen zumindest im Prinzip *wahrnehmbaren* und nicht bloß rein hypothetischen Grund für die Bedingtheit einer vorliegenden Tatsache gibt. Falls man *rein hypothetische* Bedingungen im Rahmen von Bedingung-Folge-Verhältnissen zulässt, gerät man ohne Ausweg in einen unendlichen Regress von Bedingungen von Bedingungen etc.

Der universelle konditionale Determinismus ist aufgrund mindestens zweier Tatsachen falsch: Es gibt *konditional zufällige Ereignisse* und physisch-sinnlich *objektiv zufällige Ereignisse* (siehe unten).

Die chaotischen Phänomene im Bereich der klassischen makroskopischen Physik (das heißt der noch nicht durch Quantenphänomene erweiterten Physik) stehen nicht im Widerspruch zum universellen konditionalen Determinismus. Denn die so genannte empfindliche Abhängigkeit gewisser deterministischer Vorgänge, zum Beispiel des mechanischen Bewegungsablaufes eines Doppelpendels unter Laborbedingungen, von den Anfangsbedingungen (Ort und Geschwindigkeit der Pendelkomponenten) ist eine Konsequenz eines bewusst eingeschränkten Erkenntnis-

blicks (subjektive Erkenntnisgrenzen): es werden aus praktischen (mess- und re- chentechnischen) Gründen weder die genauen Anfangsbedingungen in Betracht ge- zogen noch die den Lauf der Bewegung mitbestimmenden Ereignisse (das heißt die nicht kontrollierten oder nicht kontrollierbaren bestimmenden Bedingungen, wie zum Beispiel die Temperatur- und Druckschwankungen und Luftturbulenzen sowie die nicht eliminierten oder nicht eliminierbaren bestimmenden Bedingungen wie zum Beispiel Staubablagerungen auf den Pendelkomponenten und leichte Ver- schmutzungen der Lager etc.). Man spricht in der Physik deswegen konsequenter- weise von einem *deterministischen Chaos*. Man sagt auch: solche Vorgänge sind zwar determiniert, aber nicht exakt (voraus-)berechenbar (zum Chaosbegriff siehe auch Ziegler 2003a).

Geht man davon aus, dass es im Gesamtbereich der Physik, insbesondere bei den Quantenphänomenen, so etwas wie echte Regellosigkeit oder irreduzibel zufällige Ereignisse tatsächlich gibt, so liegt folgende Definition nahe. Charakteristisch für die Zufälligkeit solcher Ereignisse ist, dass sie durch wohl bestimmte experimentel- le Bedingungen «erzwungen» werden können. Mit anderen Worten, es handelt sich um bestimmte Ereignisse, die aufgrund bestimmter Bedingungen notwendigerweise *auftreten müssen*, bei denen aber durch solche Bedingungen grundsätzlich nicht festlegbar ist, wo bzw. wann sie genau eintreten werden.

**Konditionaler Zufall:** Physisch-sinnliche Ereignisse  $Y = (Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m)$  heißen *konditional zufällig*, falls gilt:

- (1) Es gibt Ereignisse  $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ , die notwendig und hinreichend sind für eine Teilmenge  $Y'$  von  $Y$ , also für  $Y' \subset Y$ ;
- (2) Es gibt *keine* Ereignisse  $X' \supset X$ , welche das Ereignis  $Y$  in allen betrachteten Ei- genschaften vollständig bestimmen, das heißt für die Teilmenge  $Y'' = Y - Y'$  mit  $Y'' \subset Y$  und  $Y' \cup Y'' = Y$  gibt es kein Bedingung-Folge-Verhältnis mit  $X'$  als Bedingung und  $Y''$  als Folge.

In diesem Falle stehen  $X$  und  $Y$  in einem *Bedingung-Zufall-Verhältnis*.

*Beispiele:* (1) Beim radioaktiven Zerfall stehen die individuellen Zerfallsereig- nisse, registriert durch Messinstrumente verschiedenster Art, in einem konditional zufälligen Verhältnis zu den Präparierungen des radioaktiven Systems. Mit anderen Worten: die wohl bestimmte Präparation eines radioaktiven Systems mit klar defi- nierten bestimmenden und begleitenden Bedingungen  $X$  (Quelle, Zähler, Geometrie der Versuchsanordnung, spezifische Materie zwischen Quelle und Zähler etc.) liefert für ein einzelnes Zerfallsereignis  $Y$  zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Beginn der Präparation keine eindeutige und hinreichende Bestimmung bezüglich aller Eigen- schaften von  $Y$ . Es besteht *keine* Unbestimmtheit sowohl bezüglich des Eintretens eines individuellen Ereignisses wie auch bezüglich gewisser Eigenschaften desselben: es handelt sich um ein radioaktives Ereignis mit wohl bestimmten Eigenschaften, nämlich einem sicheren Zerfall zu irgendeinem Zeitpunkt, je nach Präparation mit  $\alpha$ -,  $\beta$ - oder  $\gamma$ -Charakter, mit irgendeiner Raumesrichtung sowie mit bestimmter Energie ( $Y' \subset Y$ ). Was für ein solches Ereignis unbestimmt bleibt, ist der konkrete

genaue Zeitpunkt seines Eintretens sowie die konkrete genaue Richtung der individuellen Trajektorien ( $Y \subset Y$ ). Damit handelt es sich beim Verhältnis der präparierenden Bedingungen  $X$  zu einem radioaktiven Zerfallsereignis  $Y$  nicht um ein Bedingung-Folge-Verhältnis, da die Bedingungen  $X$  für das konkrete Ereignis  $Y$  nicht hinreichend sind, sondern um ein Bedingung-Zufall-Verhältnis. (2) Entsprechendes gilt für eine monochromatisch präparierte Photonenquelle schwacher Intensität. Das Auftreten und einige charakteristische Eigenschaften des durch einen Detektor registrierten Ereignisses («Auftreffen eines Photons») sind durch die Präparationen eindeutig festgelegt, nicht aber der exakte Zeitpunkt und der Ort des individuellen Photonen-Ereignisses. (3) In einem Ein-Spalt-Experiment mit einem monochromatisch präparierten Elektronenstrahl schwacher Intensität sind die Einzelereignisse auf dem Projektionsschirm hinter dem Spalt bezüglich ausgewählten Eigenschaften durch die Präparationsbedingungen eindeutig festgelegt; es handelt sich um Elektronen-Ereignisse (im Gegensatz zu Photonen- oder  $\alpha$ -Teilchen-Ereignissen) mit bestimmter Wellenlänge bzw. Geschwindigkeit. Eine Bestimmtheit der Lokalisation ist unter diesen Bedingungen jedoch nicht erreichbar: der genaue Ort des Ereignisses auf dem Projektionsschirm ist nicht bestimmt. – Anmerkung: Wenn im obigen Falle (1) des radioaktiven Zerfalls die Bestimmung des konkreten Zeitpunktes des Ereignisses nicht in Betracht gezogen wird, wenn also unter  $Y$  ein Zufallsereignis bestimmter Art ( $\alpha$ -,  $\beta$ - oder  $\gamma$ -Teilchen) und Energie, aber ohne festgelegten Zeitpunkt verstanden wird, so stehen  $X$  (siehe oben) und  $Y$  im einseitigen zeitlichen Bedingung-Folge-Verhältnis.

Wegen der Existenz konditional zufälliger Ereignisse muss der universelle konditionale Determinismus zum *universellen konditionalen Indeterminismus* erweitert werden.

*Universeller konditionaler Indeterminismus: Physisch-sinnliche Ereignisse sind entweder Folgen eines oder mehrerer bestimmter anderer physisch-sinnlicher Ereignisse im Sinne von Bedingung-Folge-Verhältnissen oder sind konditional zufällig und damit Bestandteile von Bedingung-Zufall-Verhältnissen.*

Von den konditional zufälligen Ereignissen sind solche Ereignisse zu unterscheiden, die in allen ihren Eigenschaften durch kein anderes Ereignis bedingt sind. Solche Ereignisse heißen (physisch-sinnlich) *objektiv zufällig*.

**Objektiver Zufall:** Ein Ereignis  $Y$  heißt (physisch-sinnlich) objektiv zufällig, wenn gilt:  $Y$  ist durch kein anderes Ereignis  $X$  konditional bedingt, das heißt,  $X$  und  $Y$  stehen weder in einem Bedingung-Zufall-Verhältnis noch in einem Bedingung-Folge-Verhältnis.

Beispiele für objektive Zufälle werden im Kapitel 3 vorgestellt. Interessanterweise handelt es sich dabei gerade um die Durchführung von naturwissenschaftlichen Experimenten, das heißt um die konkrete Präparierung von Bedingung-Folge-Verhältnissen oder Bedingung-Zufall-Verhältnissen. Man beachte: zwischen konditional zufälligen Ereignissen und objektiv zufälligen Ereignissen gibt es noch weitere Formen zufälliger Ereignisse, die jedoch für den hier untersuchten Kontext nicht weiter von Belang sind und deshalb an dieser Stelle nicht weiter entwickelt werden. Falls die veranlassenden Ereignisse und die Konsequenzen physisch-sinnlicher Natur

sind, gehören etwa die Veranlassung-Konsequenz-Beziehungen zu den objektiv zufälligen Ereignissen.

Die Existenz objektiv zufälliger Ereignisse hat den *objektiven Indeterminismus* zur Folge.

**Objektiver Indeterminismus:** *Physisch-sinnliche Ereignisse sind entweder Folgen eines oder mehrerer bestimmter anderer physisch-sinnlicher Ereignisse im Sinne von Bedingung-Folge-Verhältnissen oder sind konditional zufällig und damit Bestandteile von Bedingung-Zufall-Verhältnissen oder sind objektiv zufällig, also in ihrem Auftreten sowie in ihren konkreten Eigenschaften nicht durch bestimmte andere physisch-sinnliche Ereignisse im Sinne von Bedingung-Folge-Verhältnissen oder von Bedingung-Zufall-Verhältnissen bedingt.*

Man beachte: in beiden Fällen wird hier offen gelassen, ob es nicht andere als physisch-sinnliche Ereignis-Ebenen gibt, von denen aus sich die konditionale und objektive Zufälligkeit in eine wohl bestimmte Kausalität auflöst.

Von den in Abschnitt 2.1 entwickelten Gesichtspunkten aus muss jedoch davon ausgegangen werden, dass sich konditional zufällige oder objektiv zufällige physisch-sinnliche Ereignisse prinzipiell in den Bereich der Wirkungen von Ursache-Wirkung-Beziehungen einbetten lassen – auch wenn die konkrete erkenntnismäßige Erreichung dieses Ziels vielleicht noch weit entfernt sein mag.

#### Literatur

- Baumgartner, S., Ziegler, R.: Grundbegriffe der Physik. Unter besonderer Berücksichtigung der Mechanik. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Maier, G. (1986): Optik der Bilder. Dürna.
- Ders. (2001): Wirksamwerden von Fähigkeiten in der Gemeinschaft individueller Wesen. Das Goetheanum 45/2001, S. 817–819.
- Seipp, H. (2002): Die Grundversuchsarrangements für die Lichtbeugung an Kanten. Elemente d. N. 76, S. 35–50.
- Steiner, R. (1884–1897): Einleitungen zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften. Dornach, GA 1.
- Ders. (1886/1924): Grundlinien einer Erkenntnistheorie der Goethe'schen Weltanschauung. Dornach, GA 2.
- Ders. (1892): Wahrheit und Wissenschaft. Dornach, GA 3.
- Ders. (1894/1918): Die Philosophie der Freiheit. Dornach, GA 4.
- Ziegler, R. (2001): Rudolf Steiner zur Statistik. Mathematisch-Physikalische Korrespondenz 205, S. 3–34.
- Ders. (2002): Ursachenlehre, Zufall und Notwendigkeit, Teil 1. Mathematisch-Physikalische Korrespondenz 211, S. 3–12.
- Ders. (2003a): Ursachenlehre, Zufall und Notwendigkeit, Teil 2. Mathematisch-Physikalische Korrespondenz 212 (im Druck).
- Ders. (2003b): Zufall und Freiheit im Kontext der Naturwissenschaften, Teil II: Experiment und konditionaler Determinismus. Elemente d. N. 79 (eingereicht).

Dr. Renatus Ziegler  
Gotthelfweg 4  
CH-4144 Arlesheim  
ziegler@hiscia.ch