

## Zufall und Freiheit im Kontext der Naturwissenschaften Teil II: Exploratives Experimentieren, ideales Experiment und konditionaler Determinismus

*Renatus Ziegler*

### *Zusammenfassung*

Exploratives Experimentieren schafft vielfältige Bedingungen und beobachtet deren Folgen zur systematischen Untersuchung von Ereignismengen hinsichtlich Bedingung-Folge-Verhältnissen. Dabei müssen bestimmende notwendige Bedingungen von begleitenden notwendigen Bedingungen sowie von begleitenden zufälligen Umständen unterschieden werden. Diese werden in konkreten Experimenten vermöge Variation und Kontrolle (Konstanthaltung, Minimierung) von Bedingungen/Umwständen empirisch untersucht. Dafür stehen die von J. S. Mill entwickelten Methoden zur Verfügung: Übereinstimmungsmethode, Differenzenmethode, indirekte Differenzenmethode, Residuenmethode, Variationsmethode. Sie führen zwar nicht zu endgültiger Sicherheit bezüglich eindeutiger Bestimmtheit der Komponenten von Bedingung-Folge-Verhältnissen, geben aber eine solide Grundlage ab für sachgemäße Ideenbildungen im Hinblick auf die Entdeckung von Gesetzen der anorganischen Natur.

Das einzelne ideale naturwissenschaftliche Experiment beruht unter anderem auf ideellen Konzeptionen sowie Prinzipien zur Präparierung der bestimmenden notwendigen und hinreichenden Bedingungen. Der expliziten Herstellung dieser Bedingungen liegen Ursache-Wirkung-Beziehungen zugrunde, die damit der Annahme einer universellen Gültigkeit des konditionalen Determinismus widersprechen; jedes Experiment ist deshalb zugleich ein Beweis der individuellen Autonomie des handelnden Menschen. Die hier aufgewiesenen sieben Phasen eines idealen Experimentes umfassen das differenzierte Ineinanderspiel verschiedener Ursache-Wirkung-Beziehungen mit Bedingung-Folge-Verhältnissen. Die Forderung der Wiederholbarkeit naturwissenschaftlicher Experimente erweist sich im Kern als Forderung nach individuellem und aktuellem Erkenntnisvollzug und nicht als unabdingbares Wesensmerkmal eines Experimentes.

### *Summary*

Explorative experimentation brings about manifold conditions and looks for the respective sequels in order to analyse systematically sets of events with respect to condition-sequel relationships. In this setting one has to differentiate between necessary determinant and necessary concomitant conditions as well as accidental concomitant circumstances. The latter are analysed empirically through variations and control (fixing and minimizing) of conditions/circumstances. For this purpose the following methods, proposed by J. S. Mill, can be applied: the methods of agreement and difference, the indirect method of difference, the methods of residues and concomitant variation. They provide a solid background for the development of object-oriented conceptions leading to the discovery of the laws of inorganic nature. However, they do not lead to the unconstrained determination of the components of condition-sequel relationships.

Among other components, a single ideal experiment within the physical sciences is based on conceptions for experimental settings and preparations of the necessary and sufficient conditions. The explicit preparation of such experiments is based on cause-effect relationships and therefore at odds with the assumption of the universal validity of conditional determinism; thus, each true experiment is a proof of the individual autonomy of the will-power of the human being as experimenter. The seven phases of an individual ideal experimental process presented in this paper encompass a subtle interplay of diverse cause-effect and condition-sequel relationships. It can be shown that the demand for the reproducible character of an experiment is equivalent to the demand for an individual knowledge process and is not an intrinsic property of the experiment itself.

### *Vorbemerkung und Einführung*

Die folgenden Untersuchungen sind eine Fortsetzung der in einem vorangehenden Aufsatz entwickelten Bedingungslehre, das heißt der Prinzipien der Bedingung-Folge-Verhältnisse und der Bedingung-Zufall-Verhältnisse (Teil I: Ziegler 2003). Sie betreffen insbesondere die Methodik des naturwissenschaftlichen Experimentierens, die Struktur eines naturwissenschaftlichen Experimentes sowie das Verhältnis des naturwissenschaftlichen Experimentes zum universellen konditionalen Determinismus und zur Freiheit des menschlichen Handelns. Für den allgemeinen Hintergrund dieser Ausführungen verweise ich auf die Abschnitte 1.1 und 2.1 des Teils I. Auch der vorliegende Teil II hat Wesentliches gewonnen aus gemeinsamen Durcharbeitungen verschiedener Fassungen mit Stephan Baumgartner. – Im Folgenden wird der Ausdruck «Ereignis» im Sinne von physisch-sinnlich wahrnehmbarer Tatsache oder Erscheinung verwendet.

Warum eine solch ausführliche Auseinandersetzung mit dem naturwissenschaftlichen Experiment? Dafür möchte ich drei Gründe anführen: (1) Die Auseinandersetzung mit der experimentellen Methode dient der Bewusstmachung eines grundlegenden methodischen Erkenntnismittels der modernen Naturwissenschaft. (2) Sie dient auch der Abgrenzung der auf Experimenten in diesem Sinne beruhenden Naturwissenschaft von anderen Erkenntnisbereichen. Mit anderen Worten: es sollen die Möglichkeiten und Grenzen der experimentellen Methode möglichst klar offengelegt werden. Was mit den hier entwickelten Methoden sachgerecht untersucht werden kann, gehört der anorganischen Natur an. Was den Bedingungen dieser Erkenntnismethode nicht unterliegt, muss mit anderen Mitteln erkundet werden. (3) Eine detaillierte Auseinandersetzung mit der experimentellen Methode dient der Vorbereitung einer Klärung des Begriffs des Naturgesetzes.

Zunächst wird im Abschnitt 1 das naturwissenschaftliche Experimentieren in seinem Charakter und in seinem Unterschied zum einzelnen naturwissenschaftlichen Experiment dargestellt. Im Vordergrund stehen dabei Typen von bestimmenden Bedingungen bei naturwissenschaftlichen Experimenten sowie diejenigen methodischen Prinzipien, welche die Struktur des naturwissenschaftlichen Experimentierens bestimmen. Im Abschnitt 2 werden anknüpfend an John Stuart Mill eine Reihe von Untersuchungsmethoden dargestellt, anhand welcher die Komponenten eines Bedingung-Folge-Verhältnisses untersucht sowie die im Abschnitt 1 erarbeiteten methodischen Prinzipien konkret umgesetzt werden können. Im Abschnitt 3 wird

die Unvereinbarkeit eines naturwissenschaftlichen Experimentes mit der Annahme des universellen konditionalen Determinismus nachgewiesen. Dies beinhaltet eine Bezugnahme auf die aktive Beteiligung des experimentierenden Individuums. In einer Fortführung und Vertiefung dieser Betrachtungen wird im Abschnitt 4 der Charakter eines einzelnen (idealen) naturwissenschaftlichen Experimentes bis ins Einzelne gehend analysiert und die dabei zu unterscheidenden sieben Phasen im Hinblick auf die beteiligten Ursache-Wirkung-Beziehungen untersucht. Zum Schluss wird im Abschnitt 5 noch die Forderung der Wiederholbarkeit eines naturwissenschaftlichen Experimentes als Ausdruck der Forderung nach einem aktuellen Erkenntnisvollzug nachgewiesen.

Wer sich vor allem für das Verhältnis des naturwissenschaftlichen Experimentes zum Problem des Determinismus und zur menschlichen Freiheit interessiert, gehe direkt von Abschnitt 1 zu Abschnitt 3 über. Die dortigen Überlegungen, ebenso wie Ausführungen in den Abschnitten 4 und 5 zur konkreten Struktur idealer naturwissenschaftlicher Experimente, sind unabhängig von den Explikationen der Experimentalmethode in Abschnitt 2.

### *1 Experiment und naturwissenschaftliches Experimentieren*

#### *1.1 Exploratives Experimentieren*

*Naturwissenschaftliche Experimente* und *naturwissenschaftliches Experimentieren* dienen der Untersuchung von Bedingung-Folge-Verhältnissen und Bedingung-Zufall-Verhältnissen. Man kann *exploratives* und *konfirmatorisches Experimentieren* unterscheiden.<sup>1</sup> Beim Ersteren geht es um das Suchen, Auffinden und systematische Ordnen von notwendigen und hinreichenden Bedingungen für Bedingung-Folge-Verhältnisse bzw. Bedingung-Zufall-Verhältnisse anhand einer Variation möglicher Bedingungen. Bei Letzterem geht es um die Untersuchung von Schlussfolgerungen aus einer eventuell auch nicht-phänomenale Elemente (Atome, Elementarteilchen etc.) enthaltenden Theorie. Dabei wird ein vorgefasstes, auf theoretischen Überlegungen beruhendes, ideelles Bedingung-Folge-Verhältnis oder Bedingung-Zufall-Verhältnis auf seine Wirklichkeitsgemäßheit hin untersucht, also anhand von Variationen der Versuchsbedingungen geprüft, ob die genannten Bedingungen tatsächlich notwendig und hinreichend sind für die behaupteten Folgen bzw. für die konditional zufälligen Ereignisse.

Im Vordergrund dieses Aufsatzes steht der erstere Aspekt, die explorative Natur des Experimentierens. Stellvertretend für die Untersuchung beider Ereignisstrukturen, des Bedingung-Folge-Verhältnisses und des Bedingung-Zufall-Verhältnisses,

---

<sup>1</sup> Nach Fertigstellung der Hauptgedanken dieses Aufsatzes stieß ich auf die gehaltvollen Arbeiten von *Steinle* (1997, 1998), der eine ähnliche Unterscheidung trifft. Damit lässt sich ein interessantes Licht auf die Kontroverse zwischen Newton und Goethe werfen und zeigen, dass die Vorgehensweise Goethes weder ein isoliertes Phänomen war noch in irgendeinem Sinne als ausserwissenschaftlich bezeichnet werden kann – im Gegenteil, sie ist das sachgemäße Mittel zum empirisch gestützten Aufbau einer Wissenschaft, siehe *Steinle* 2002. – Zur Beschäftigung mit den Prinzipien des Experimentierens wurde ich unter anderem auch angeregt durch *Theilmann* 2001 ab.

wird in der Regel im Folgenden nur das Bedingung-Folge-Verhältnis explizit in die Analyse mit einbezogen.

Das Aufstellen von Naturgesetzen oder (eventuell hierarchisch) geordneten Systemen von Bedingung-Folge-Verhältnissen und Bedingung-Zufall-Verhältnissen ist nicht Thema dieses Aufsatzes. Hier geht es nur um Untersuchungen, die eine solche weiter gehende Betrachtung vorbereiten können. Es wird sich im Abschnitt 2 herausstellen, dass durch die empirische (induktive) Methode des explorativen Experimentierens keine abschließende Sicherheit über den konkreten Inhalt von Bedingung-Folge-Verhältnissen bzw. Bedingung-Zufall-Verhältnisse erreichbar ist. Die primäre Aufgabe des Experimentierens ist demnach nicht die endgültige Klärung der konkreten Bestandteile von Bedingung-Folge-Verhältnissen, sondern die Vorbereitung der Begriffsbildung, die Anregung zur Generierung von Hypothesen, die Erarbeitung von Naturgesetzen, insbesondere von regulativen Prinzipien (*conditio relationis* in Ziegler 2003, Tabelle 1), gegebenenfalls in Form von mathematischen Modellen. Auch das systematische explorative Experimentieren ist demnach kein Ersatz für diese gedanklichen Tätigkeiten und führt ohne eine durch konkrete ideelle Kategorien geleitete Begriffsbildung zu keinen sachlich in sich notwendigen Einsichten.

Das primäre Ziel des explorativen naturwissenschaftlichen Experimentierens, das in der Regel eine ganze Serie oder mehrere Serien von Experimenten beinhaltet, ist demnach das aktive Ordnen von Ereignismengen hinsichtlich möglicher und tatsächlicher bestimmender Bedingungen und deren Folgen. Dies umfasst eine Klassifikation der Bedingungen in notwendige und/oder hinreichende Bedingungen sowie in begleitende notwendige Bedingungen und zufällig begleitende Umstände. Wie bereits erwähnt, werden unter Bedingung-Folge-Verhältnissen der Einfachheit halber im Folgenden auch die Beziehungsstrukturen konditional zufälliger Ereignisse im Sinne von Bedingung-Zufall-Verhältnissen verstanden.

### 1.2 Typen von Bedingungen bei Bedingung-Folge-Verhältnissen

Die *notwendigen Bedingungen* können unterschieden werden in *bestimmende* und *begleitende notwendige Bedingungen*.

- (1) Die *bestimmenden Bedingungen* sind diejenigen Bedingungen, deren Einfluss auf die Folgen untersucht werden. Sie umfassen alle *notwendigen* sowie alle *notwendigen und hinreichenden* Bedingungen, ohne deren Dasein und konkrete Bestimmtheit der konkrete Vorgang, die Folge, nicht zustande käme.
- (2) Die *begleitenden notwendigen* Bedingungen sind solche, ohne deren Vorhandensein der Vorgang nicht abliefe, deren konkrete quantitative Bestimmtheit in bestimmten Grenzen nicht wesentlich (bestimmend) für das Geschehen ist.
- (3) Die *begleitenden zufälligen Umstände* sind solche Ereignisse, deren Vorhandensein für den Ablauf des Vorganges nicht notwendig sind, die also auch abwesend sein könnten.

*Beispiele:* (1) Beim *idealen schiefen Wurf* sind die Anfangsgeschwindigkeit, der Anfangsort sowie die Erdbeschleunigung bestimmende Bedingungen, die jeweils notwendig und zusammen hinreichende Bedingungen für eine bestimmte konkrete Wurfbahn

(Parabel) sind. Die Masse des Körpers ist eine begleitende notwendige Bedingung, der Luftwiderstand und die Tageshelligkeit sind begleitende zufällige Umstände. (2) Bei einem *ballistischen schiefen Wurf* ist der Luftwiderstand eine bestimmende notwendige Bedingung für die Charakteristik der ballistischen Flugbahn, ebenso die Form, die Geschwindigkeit, die Eigenbewegung (Rotation) und das Gewicht des Flugkörpers. Der ballistische Wurf kann so aufgefasst (definiert) werden, dass diese Bedingungen für sich genommen notwendig und zusammen mit den drei anderen bestimmenden notwendigen Bedingungen, der Anfangsgeschwindigkeit, dem Anfangsort und der Erdbeschleunigung, hinreichend sind für das Auftreten einer bestimmten ballistischen Wurfbahn. Die Tageshelligkeit bleibt ein begleitender zufälliger Umstand.

Für das explorative naturwissenschaftliche Experimentieren im Sinne einer vergleichenden Untersuchung von Übergängen zwischen unterschiedlichen Experimentalanordnungen kommt den durch das erkennende Subjekt hinzugebrachten ideellen Gesichtspunkten, mit denen dem Feld der Ereignisse begegnet wird, eine mitentscheidende Rolle zu. Solche ideellen Gesichtspunkte sind sowohl von rein hypothetischen Gesichtspunkten zu unterscheiden, bei denen nicht-phänomenale Elemente von Bedeutung sind, als auch von bereits entwickelten, verschiedene Phänomenbereiche umfassenden naturgesetzlichen Zusammenhängen. Hier geht es um ordnende Gesichtspunkte, die direkt Ereignisse und deren Relationen betreffen.

Beim explorativen Erkunden eines bestimmten Ereignisgebietes ist nicht von vornherein klar, welches die bestimmenden notwendigen, welches die begleitenden notwendigen Bedingungen und welches die zufälligen Umstände sind. (So kann zunächst derselbe Ereigniskomplex einmal als idealer schiefer Wurf oder ein anderes Mal als ballistischer schiefer Wurf aufgefasst werden.) Um hier Klarheit hinein zu bringen, bedarf es unter Umständen weitläufiger experimenteller Untersuchungen und dazugehöriger Begriffsbildungen, bis es zur Entdeckung von charakteristischen Bedingung-Folge-Verhältnissen bzw. von Prinzipien für systematische Gliederungen von Systemen von Bedingung-Folge-Verhältnissen kommen kann, welche für den Fortschritt oder das Verständnis der physikalischen Wissenschaften von besonderer Bedeutung sind.

*Beispiele:* Für die klassische Mechanik charakteristische Bedingung-Folge-Verhältnisse sind etwa der (ideale) schiefe Wurf schwerer Körper, die (ideale) Bewegung rollender Körper auf einer schiefen Ebene, die (idealen) Stoß-Vorgänge elastischer Körper, die (freie) Bewegung von schweren Kreiseln etc.<sup>2</sup>

---

2 Für die Zusammenstellung einiger für die Entwicklung der Physik bedeutsamer Experimente, siehe *Ramsauer* (1953). – Die Literatur zur Geschichte und Theorie des Experimentierens und zum Experiment ist erst in den letzten zwei Jahrzehnten sehr gewachsen. Das Werk von *Dingler* (1928) enthält am Ende einen kurzen Abriss zur Geschichte des Experimentes; ansonsten wird dort dafür argumentiert, dass ein empirischer Nachweis einer nichteuklidischen Struktur des Raumes nicht möglich sei. Dingler gehört zu den Vorläufern des methodischen Konstruktivismus in der Physik, einem Gebiet, das heute Protophysik genannt wird (siehe dazu die Übersicht in *Janich* (1998)). Für neuere Untersuchungen und weiterführende Literaturhinweise, siehe stellvertretend die Aufsätze in *Heidelberger/Steinle* (1998), in *Buchwald* (1995) und in *Gooding et al.* (1989).

Daraus ergibt sich, dass im Rahmen des explorativen Experimentierens die Unterscheidung der bestimmenden notwendigen Bedingungen und der begleitenden notwendigen Bedingungen sowie der zufällig begleitenden Umstände nicht von vornherein festlegbar, das heißt nicht aus irgendwelchen vorgegebenen übergeordneten Prinzipien heraus ableitbar ist.

Dagegen ist die Frage, welche Bedingungen bestimmend sind für welche Folgen und welche der bestimmenden Bedingungen nur notwendig, welche notwendig und hinreichend sind, keine Angelegenheit der ordnenden Gesichtspunkte, sondern *Ergebnis* des erkenntnisorientierten Experimentierens.

### 1.3 Methodische Prinzipien des naturwissenschaftlichen Experimentierens

Ein *einzelnes Experiment* besteht aus der Beobachtung derjenigen Folgen, die aus Bedingungen resultieren, die vom experimentierenden Menschen aus möglichst weitgehend selbst bestimmt werden. Das Vorgehen zum Aufsuchen der notwendigen und hinreichenden bestimmenden Bedingungen, der begleitenden notwendigen Bedingungen und der zufälligen Umstände sowie der entsprechenden Folgen im Rahmen des *naturwissenschaftlichen Experimentierens* beruht auf den folgenden grundlegenden methodischen Prinzipien. Die angeführten Aspekte sind nicht als zeitlich aufeinander folgende Maßnahmen gemeint, sondern als systematische Unterscheidungen sich ergänzender methodischer Prinzipien des Experimentierens. Die Umsetzung dieser Prinzipien in eine Reihe konkreter Methoden wird im Abschnitt 2 entwickelt; eine detaillierte Analyse des einzelnen Experimentes folgt in den Abschnitten 3 und 4.

Das grundlegende methodische Prinzip des naturwissenschaftlichen Experimentierens besteht in der *Variation aller Bedingungen* zur Analyse der notwendigen, der notwendigen und hinreichenden bestimmenden Bedingungen sowie der begleitenden notwendigen Bedingungen zur Bestimmung der konkreten Beziehungsstruktur, der *conditio relationis*.

Es kommen folgende konkrete Maßnahmen zur planvollen und exakten Durchführung von Experimenten in Betracht:

- (1) *Variation* einer Teilmenge der notwendigen Bedingungen (*bestimmende notwendige Bedingungen*) unter gleichzeitiger *Kontrolle* der übrigen notwendigen Bedingungen (*begleitende notwendige Bedingungen*);
- (2) Falls eine Kontrolle der begleitenden notwendigen Bedingungen oder einer Teilmenge derselben nicht möglich ist, kann eine *Minimierung des Einflusses der Elemente dieser Teilmenge der begleitenden notwendigen Bedingungen* durchgeführt werden;
- (3) Falls sowohl eine Kontrolle wie eine Minimierung des Einflusses der begleitenden notwendigen Bedingungen oder einer Teilmenge derselben nicht möglich ist, kann eine *randomisierte Zuteilung verschiedener Experimentiereinheiten* auf die durch die Variation der bestimmenden notwendigen Bedingungen entwickelten unterschiedlichen Versuchsanordnungen durchgeführt werden;
- (4) *Kontrolle* oder *Minimierung* des Einflusses von begleitenden zufälligen Umständen;

- (5) Falls eine Kontrolle oder Minimierung des Einflusses von begleitenden zufälligen Umständen nicht möglich ist, können diese entweder *ignoriert* oder eine *Randomisierung* durchgeführt werden (siehe (4)).

Wird die Kontrolle, die Konstanthaltung oder Minimierung der begleitenden notwendigen Bedingungen und der begleitenden zufälligen Umstände auf *unterschiedlichen* Niveaus durchgeführt, so führt die Anwendung dieser methodischen Prinzipien auf ein ganzes Spektrum, ein ganzes Netzwerk von Bedingungen und Folgen, wo es von spezifischen fachwissenschaftlichen Gesichtspunkten und den ins Auge gefassten Folgen abhängt, was man nun jeweils als bestimmende notwendige Bedingungen, was man als begleitende notwendige Bedingungen und was man als begleitende zufällige Umstände auffassen will. Solche Unterscheidungen lassen sich aber auf jeden Fall treffen und damit gewisse Bereiche von Bedingung-Folge-Verhältnissen voneinander abgrenzen; man muss sich nur die Abhängigkeit dieser Entscheidungen von den jeweiligen Gesichtspunkten klar machen, um sie nicht zu verabsolutieren.

*Beispiele:* (1) Die klassische Gesetzmäßigkeit des *idealen freien Falles*, insbesondere die Unabhängigkeit der Fallgeschwindigkeit und -dauer von Gestalt und Gewicht der fallenden Körper (begleitende notwendige Bedingungen), gilt nur im Falle von Körpern großer Dichte mit wenig Luftwiderstand. (2) Die Gesetzmäßigkeit der Bewegung von schweren Körpern auf einer *idealen schiefen Ebene*, insbesondere die Unabhängigkeit der Bewegungsdauer von Gestalt und Gewicht der sich bewegenden Körper, gilt nur im Falle von Körpern großer Dichte und geringem Reibungswiderstand auf einer nicht zu flachen Ebene. – In beiden Fällen sind Dichte und Gestalt des Körpers variierbare und damit kontrollierbare, insbesondere optimierbare Bedingungen (*große* Dichte; Gestalt mit *minimalem* Luft- bzw. Reibungswiderstand); sie gehören hinsichtlich dieser klassischen Gesetzmäßigkeiten zu den begleitenden notwendigen Bedingungen. Luftwiderstand und Reibung auf der schiefen Ebene sind ebenfalls kontrollierbar und minimierbar (*Konstanthaltung* des Luftdrucks, *Minimierung* der Luftdichte; *homogene* und *glatte* Oberfläche der schiefen Ebene), jedoch begleitende zufällige Umstände, da ihr Dasein für den idealen freien Fall bzw. die Bewegung auf der idealen schiefen Ebene nicht notwendig sind. Sie sind natürlich im physikalischen Alltag nicht vernachlässigbar, noch weniger bei Präzisionsexperimenten. Sie machen jedoch mit ihrem Einfluss die klassischen Gesetzmäßigkeiten nicht falsch, sondern erweitern, differenzieren, relativieren und präzisieren sie im Hinblick auf die Vielfalt und die Handhabung der konkreten bestimmenden notwendigen Bedingungen sowie der möglichen begleitenden notwendigen Bedingungen sowie der begleitenden zufälligen Umstände. (3) Bei der Untersuchung des *idealen schiefen* Wurfs unter normalen Laborbedingungen sind die Anfangsgeschwindigkeit, der Anfangsort sowie die Erdbeschleunigung bestimmende notwendige Bedingungen. Die Größe der Geschwindigkeit, die Flugdistanz sowie die Größe, die Form, das Gewicht und die Eigenbewegung des Körpers sind begleitende notwendige Bedingungen, die so eingerichtet werden können (*kleine* Geschwindigkeit, *kurze* Flugdistanz, *kleine* und *runde* Körper mit *großer* Dichte, *kleine* Eigenbewegung), dass weit-

gehend die bestimmenden notwendigen Bedingungen den Vorgang konkret bestimmen. Auch hier ist die Masse des Körpers eine begleitende notwendige Bedingung. Der Luftwiderstand ist ein zufällig begleitender Umstand, der kontrollierbar ist, das heißt er kann konstant gehalten oder minimiert werden.

Auf die genaue begriffliche Bestimmung der Randomisierung, der zufallsbasierten Zuteilung von Experimentiereinheiten und ihre Bedeutung für die Vorbereitung und Durchführung eines Experimentes sowie ihr Verhältnis zum experimentierenden Individuum, kann hier nicht näher eingegangen werden; einige kurze Bemerkungen folgen weiter unten, für eine ausführlichere Untersuchung wird auf den später erscheinenden Teil IV dieser Aufsatzreihe verwiesen.

## *2 Methodische Untersuchung von Bedingung-Folge-Verhältnissen anhand naturwissenschaftlicher Experimente*

### *2.1 Die Mill'schen Methoden*

Die im vorangehenden Abschnitt aufgestellten methodischen Prinzipien geben nur die grundlegenden Maßnahmen wieder, die im methodischen explorativen Experimentieren zu berücksichtigen sind. Ihre Umsetzung in konkrete Untersuchungsmethoden ist ein weiterer Schritt, der nun vollzogen werden soll.

Die methodische Ausarbeitung der Untersuchungen von Bedingung-Folge-Verhältnissen anhand einer systematischen Analyse von Ereignismengen geht auf das Werk «A System of Logic» (1843) von John Stuart Mill zurück.

Ein erstes rudimentäres System von acht Regeln zur Feststellung von «Kausalverhältnissen» wurde etwa 100 Jahre vorher von David Hume aufgestellt.<sup>3</sup> Es war Mill vorbehalten, daraus ein nach vielen Seiten hin durchdachtes System zu machen. In nicht wörtlicher Übersetzung lauten die meines Erachtens wichtigsten Elemente der Hume'schen Regeln für das Verhältnis von «Ursache» und «Wirkung» folgendermaßen: (1) «Ursache» und «Wirkung» sind zeitlich und räumlich benachbart. (2) Die «Ursache» muss zeitlich vor der «Wirkung» sein. (3) Es muss eine konstante Verbindung («constant conjunction») zwischen «Ursache» und «Wirkung» vorhanden sein. (4) Dieselbe «Ursache» führt immer zur selben «Wirkung» und dieselbe «Wirkung» stammt immer von derselben «Ursache» ab. (5) Wenn verschiedene Objekte dieselbe «Wirkung» haben, so muss die «Ursache» allen diesen Objekten gemeinsam sein. (6) Der Grund der Verschiedenheit zweier «Wirkungen» liegt in der Verschiedenheit der «Ursachen» dieser «Wirkungen». (7) Die An- oder Abwesenheit eines Teils der «Ursache» hat immer die An- bzw. Abwesenheit eines Teils der «Wirkung» zur Folge. (8) Ein Objekt, das über eine beliebig lange Zeit vollständig sich selbst gleich bleibt und keine «Wirkung» nach außen hervorbringt, unterliegt der «Wirkung» eines externen Objektes, da es sich nicht selbst erhalten kann.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass verschiedene Mengen von Ereignissen experimentell im Hinblick auf die Geltung eines Bedingung-Folge-Verhältnisses

---

<sup>3</sup> Siehe Hume, «A Treatise of Human Nature» (1739/40), Book I «On the Understanding», Part III «Of knowledge and probability», Section XV «Rules by which to judge of causes and effects» (Hume 1888, S. 173–176).

untersucht werden. Man geht also etwa von den Ereignismengen  $A = (A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$  und  $K = (K_1, K_2, K_3, \dots, K_m)$  aus, bei denen man durch vorbereitendes Experimentieren die Vermutung hat, dass sie in einem Bedingung-Folge-Verhältnis stehen. Dabei ist noch nicht klar, welche Ereignisse von  $A$  die bestimmenden notwendigen, welches die begleitenden notwendigen Bedingungen, welches die zufälligen Umstände sind und welche der Ereignisse von  $K$  zu den tatsächlichen Folgen gehören. Zur Abkürzung der Ausdrucksweise werden hier zwei Ereignismengen als *experimentell assoziiert* bezeichnet, wenn man aufgrund vorbereitender Experimente und Beobachtungen annimmt, dass sie an einem Bedingung-Folge-Verhältnis teilhaben.

Den Auseinandersetzungen dieses Abschnittes liegen folgende Fragen zugrunde: (1) Auf welche Weise und mit welcher Sicherheit kann festgestellt werden, ob zwischen den Elementen der experimentell assoziierten Ereignismengen  $A$  und  $K$  tatsächlich ein Bedingung-Folge-Verhältnis vorliegt? (2) Wie können die notwendigen von den hinreichenden Bedingungen, wie die bestimmenden von den begleitenden notwendigen Bedingungen unterschieden werden und wie können diese Bedingungen von den begleitenden zufälligen Umständen unterschieden werden?

Um das Problem zu vereinfachen, geht man zunächst davon aus, dass Bedingungen und Folgen im Sinne von wohlbestimmten Ereignismengen in einem eindeutigen Verhältnis zueinander stehen: Zu jeder Folge gibt es genau eine Bedingung, mit der sie im Bedingung-Folge-Verhältnis steht. In den Abschnitten 2.7 und 2.8 werden diese Bedingungen wieder fallen gelassen. Dass es zu jeder Bedingung eine wohlbestimmte Folge gibt, ist eine Konsequenz der Definition des Bedingung-Folge-Verhältnisses.<sup>4</sup>

Die vier von *Mill* (1868) in der Überschrift des Kapitels VIII «Of the Four Methods of Experimental Inquiry» angekündigten Methoden zur Untersuchung experimentell assoziierter Ereignismengen im Hinblick auf die Folgen gegebener Bedingungen oder die Bedingungen gegebener Folgen umfassen zwei methodische Grundprinzipien: die *Übereinstimmungsmethode* (method of agreement, first canon of induction) und die *Differenzenmethode* (method of difference, second canon of induction). Führen diese Methoden nicht zum gewünschten Ergebnis oder sind sie nicht oder nur partiell anwendbar, so kommen drei weitere methodische Prinzipien in Betracht, die *indirekte Differenzenmethode* (indirect method of difference, third canon of induction), die *Residuenmethode* (method of residues, fourth canon of induction) sowie die *Variationsmethode*, das heißt die Methode der gemeinsamen Variation von Bedingungen und Folgen (method of concomitant variation, fifth canon of induction). Dabei wird die Residuenmethode als einfache Konsequenz der Differenzenmethode betrachtet, sodass sich zum Schluss vier sich gegenseitig ergänzende

<sup>4</sup> Die folgenden Auseinandersetzungen knüpfen an das Kapitel VIII «Of the Four Methods of Experimental Inquiry» des III. Buches «On Induction» des «A System of Logic» von John Stuart Mill an (*Mill* 1868, S. 425–448). Im Gegensatz zu Mill beziehen sich die obigen Ausführungen nur auf Ereignisse im Rahmen der Untersuchung von Bedingung-Folge-Verhältnissen (inklusive Bedingung-Zufall-Verhältnisse) unter Ausschluss von Veranlassung-Konsequenz-Beziehungen und Ursache-Wirkung-Beziehungen (*Ziegler* 2003). Weiter wird hier weder für die experimentell assoziierten Ereignisse noch für die Bedingung-Folge-Verhältnisse ein zeitliches Verhältnis vorausgesetzt.

Methoden ergeben. Es wird sich allerdings herausstellen, dass die Differenzenmethode die weitreichendste Methode zur Bestimmung von Bedingung-Folge-Verhältnissen ist.

Es bleibt noch anzumerken, dass Mill in den hier referierten Ausführungen explizit keinen Gebrauch von begrifflich-deduktiven Methoden zur Feststellung oder Begründung eines Bedingung-Folge-Verhältnisses macht. Er setzt also insbesondere keine bekannten Naturgesetze – oder wie man heute eher sagen würde: Modelle – voraus zur Sicherung eines Bedingung-Folge-Verhältnisses anhand experimentell assoziierter Ereignismengen: Es geht ausschließlich um die Induktion aus der Erfahrung und nicht um die Deduktion aus vorausgesetzten Begriffssystemen oder Theorien. Dem letzteren Thema sind bei *Mill* (1868) eigene Ausführungen gewidmet, auf die hier nicht eingegangen werden wird.

Im Folgenden wird, wenn nichts anderes gesagt ist, davon ausgegangen, dass es sich bei den möglichen Bedingungen aus den Ereignissen  $A$  um weitgehend experimentell hergestellte Maßnahmen handelt und bei den damit experimentell assoziierten Ereignissen  $K$ , den möglichen Folgen, um direkt beobachtbare Ereignisse.

## 2.2 Die Übereinstimmungsmethode

**Übereinstimmungsmethode für Bedingungen:** Wenn es verschiedene Mengen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(r)}$  von Ereignissen gibt, mit denen dieselbe Ereignismenge  $K$  experimentell assoziiert ist, so sind die allen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(r)}$  gemeinsamen Ereignisse, das heißt die im Durchschnitt der Mengen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(r)}$  liegenden Ereignisse oder eine Teilmenge davon, *notwendige* Bedingungen der Folge  $K$ . Die nicht in diesem Durchschnitt liegenden Ereignisse aus den Mengen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(r)}$  sind *begleitende zufällige Umstände*. – Gibt es umgekehrt verschiedene Mengen  $K^{(1)}, K^{(2)}, \dots, K^{(s)}$  von Ereignissen, mit denen dieselbe Ereignismenge  $A$  experimentell assoziiert ist, so sind die allen  $K^{(1)}, K^{(2)}, \dots, K^{(s)}$  gemeinsamen Ereignisse, das heißt die im Durchschnitt der Ereignismengen  $K^{(1)}, K^{(2)}, \dots, K^{(s)}$  liegenden Ereignisse oder eine Teilmenge davon, *Folgen* der *hinreichenden* Bedingung  $A$ . Die nicht in diesem Durchschnitt liegenden Ereignisse aus den Mengen  $K^{(1)}, K^{(2)}, \dots, K^{(s)}$  sind *begleitende zufällige Umstände*.

In der Übereinstimmungsmethode geht es in erster Linie um den Ausschluss von Ereignissen, die im Rahmen von experimentell assoziierten Ereignismengen als Bedingungen und Folgen in Frage kommen. Die entsprechend ausgeschlossenen Ereignisse sind keine notwendigen Bedingungen und gehören nicht zu den Folgen. Deshalb könnte die Übereinstimmungsmethode genau so gut *Ausschlussmethode* genannt werden, da mit ihr die notwendigen und hinreichenden Bedingungen und deren Folgen nicht eindeutig festgelegt werden können, jedoch geprüft werden kann, welche Ereignisse als Bedingung bzw. Folgen ausgeschlossen werden können, das heißt welche Ereignisse zu den begleitenden zufälligen Umständen gehören.

## 2.3 Die Differenzenmethode

**Differenzenmethode:** Seien  $A = (A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$  und  $A_{(i)} = (A_1, A_2, \dots, A_{i-1}, A_{i+1}, \dots, A_n)$  zwei Ereignismengen, die sich nur im experimentell provozierten Vorhan-

densein bzw. Nicht-Vorhandensein eines einzigen Ereignisses  $A_i$  unterscheiden. Unterscheiden sich die mit den Ereignissen  $A$  und  $A_{(i)}$  experimentell assoziierten Ereignisse  $K = (K_1, K_2, K_3, \dots, K_m)$  und  $K_{(b)} = (K_1, K_2, \dots, K_{b-1}, K_{b+1}, \dots, K_m)$  ebenfalls nur in einem Ereignis  $K_b$ , so kann  $A_i$  selbst *notwendige* und *hinreichende* Bedingung für die Folge  $K_b$  oder notwendiger Teil einer solchen Bedingung sein.

Aus den Voraussetzungen der Differenzenmethode folgt, dass die Ereignisse  $A_{(i)} = (A_1, A_2, \dots, A_{i-1}, A_{i+1}, \dots, A_n)$  kontrollierbar oder zumindest minimierbar sein müssen.

Es kann durch die Differenzenmethode nicht ausgeschlossen werden, dass ein Ereignis  $C \neq A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) zusammen mit  $A_i$  für das Auftreten von  $K_b$  notwendig ist. Das wäre nur dann möglich, wenn man dafür sorgen könnte, dass zwei Ereignissituationen, genauer: Weltsituationen, in *allen* Belangen, außer dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines einzigen Ereignisses gleich sind – was natürlich nicht überprüfbar ist, da nicht *alle* Ereignisse erkenntnismäßig überschaubar sind. Zur weiteren Sicherung des eventuell hinreichenden Charakters des Ereignisses  $A_i$  für das Ereignis  $K_b$  bleibt nur die Option wiederholter Experimente unter denselben experimentell handhabbaren Bedingungen. Kann  $A_i$  ohne Einschränkung willkürlich ins Dasein gerufen werden, bietet dies eine weitgehende (aber keine endgültige) Garantie für den notwendigen und hinreichenden Charakter dieser Bedingung für das Auftreten von  $K_b$ . Durch solche Wiederholungen wird die in der Natur der explorativen experimentellen Methode liegende Unsicherheit nicht prinzipiell beseitigt: es wird jedoch eine erweiterte empirische Grundlage für eine darauf aufbauende sachgemäße Begriffsbildung geschaffen.

Könnte  $A_i$  unter den Bedingungen der Differenzenmethode für das Auftreten von  $K_b$  nur zufällig begleitender Natur sein? Dies wäre dann der Fall, wenn ein  $C \neq A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) nicht nur notwendig, sondern auch hinreichend für das Auftreten von  $K_b$  wäre. Dann würde  $K_b$  auftreten oder nicht auftreten, unabhängig vom Dasein von  $A_i$ . Auch dieser Fall kann nicht ausgeschlossen werden, es sei denn, man fordert für alle  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), dass sie notwendige Bedingungen für das Auftreten des Ereignisses  $K_b$  sind. Verzichtet man auf diese Forderung, so muss man damit leben, dass auch hier nur das wiederholte willkürliche Auftretenlassen von  $A_i$  weitgehend (aber nicht endgültig) darüber Aufschluss geben kann, ob das Vorhandensein von  $A_i$  mit dem Vorhandensein von  $K_b$  konkret (notwendig und hinreichend) verknüpft ist oder nicht. Aber genau das ist die Natur des explorativen Experimentierens: Sie kann die begriffliche Ergänzung der Erfahrung und damit die Einsicht in die innere Notwendigkeit der beobachteten Zusammenhänge nicht ersetzen, sondern nur vorbereiten.

Die Differenzenmethode ist der eigentliche Kern der Mill'schen Kanons der Induktion im Hinblick auf naturwissenschaftliche Experimente. Sie stellt die strengsten Anforderungen und kommt deshalb zu den bestimmtesten Resultaten. Mit der Differenzenmethode wird in erster Linie geprüft, welche Ereignisse nicht weggelassen werden können für das ins Auge gefasste Bedingung-Folge-Verhältnis.

Die Übereinstimmungsmethode sowie die weiter unten besprochenen Methoden sind Methoden zur Vorbereitung von Fragestellungen, die dann genauer mit der Differenzenmethode untersucht werden können.

#### 2.4 Die indirekte Differenzenmethode

In vielen Fällen ist es nicht möglich, die entscheidende Bedingung  $A_i$ , deren Vorhandensein ein bestimmtes Phänomen  $K$  hervorbringt und deren Nichtvorhandensein das Phänomen  $K$  ausschließt, von der Umgebung, vom Kontext ihrer Verknüpfung mit anderen Ereignissen  $A_{(i)} = (A_1, A_2, \dots, A_{i-1}, A_{i+1}, \dots, A_n)$  experimentell zu trennen. In einem solchen Fall ist die Differenzenmethode für  $A_i$  nicht anwendbar. Es können dann nur diejenigen das Ereignis  $A_i$  und damit alle Ereignisse  $A = A_i \cup A_{(i)} = (A_1, A_2, \dots, A_n)$  enthaltenden Ereignismengen untersucht werden, die experimentell mit  $K$  assoziiert sind, und diejenigen  $A_i$  und damit auch  $A$  nicht enthaltenden Ereignismengen, die mit der Abwesenheit von  $K$  experimentell assoziiert sind.

Dies kann mit einer Methode geschehen, die ein Spezialfall sowohl der Differenzenmethode als auch der Übereinstimmungsmethode ist. Wegen ihrer Bedeutung für das (indirekte) Erkennen nicht unmittelbar sinnlich erfahrbarer Ereignisse soll sie hier als eigene Methode hervorgehoben werden.

**Indirekte Differenzenmethode:** Es sei  $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$  eine Ereignismenge, aus der  $A_i$  nicht isolierbar ist, das heißt, es kann keine Ereignismenge hergestellt oder beobachtet werden, die  $A_i$  nicht enthält und die sich in allen übrigen Ereignissen nicht von  $A$  unterscheidet. Wenn es verschiedene Mengen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(r)}$  von Ereignissen gibt, mit denen die Ereignismenge  $K$  experimentell assoziiert ist und die genau ein Ereignis  $A_i$  und damit auch die Gesamtheit der Ereignisse  $A$  gemeinsam haben und wenn es verschiedene Mengen  $A_{(i)}^{(1)}, A_{(i)}^{(2)}, \dots, A_{(i)}^{(s)}$  von Ereignissen gibt, die mit dem Nicht-Auftreten der Ereignismenge  $K$  experimentell assoziiert sind und die nichts anderes gemeinsam haben als die Abwesenheit des Ereignisses  $A_i$ , und damit auch die Abwesenheit aller Ereignisse  $A$ , so sind die Ereignisse  $A$  oder eine Teilmenge derselben *notwendige* Bedingungen für die Folge  $K$ .

*Beispiele zur indirekten Differenzenmethode:* (1) Das Magnetfeld eines Permanentmagneten mit der Folge, eisenhaltige Körper anzuziehen, kann nicht von den übrigen Ereignissen des festen magnetischen Stoffes isoliert werden. Es ist eine Materialeigenschaft, und ein Verlust oder eine Änderung desselben hätte auch eine Veränderung anderer Ereignisse dieses Materials zur Konsequenz. Anhand der indirekten Differenzenmethode kann festgestellt werden, dass zu den notwendigen Begleitbedingungen ( $A_{(i)}$ ) eines permanenten Magnetfeldes ( $A_i$ ), das sich in der Anziehung eisenhaltiger Körper äußert ( $K$ ), die kristalline Struktur sowie das Vorhandensein von Eisen, Kobalt oder Nickel gehören (falls man von den Metallen der seltenen Erden absieht). Also sind die Ereignisse  $A$  notwendige Bedingungen der Folge  $K$ . (2) Die Anisotropie des Brechungsindex ( $A_i$ ) von Kalkspat, die sich in der optischen Verdoppelung eines Vorbildes manifestiert ( $K$ ), kann ebenfalls nicht isoliert von der kristallinen Erscheinungsform dieses Stoffes ( $A_{(i)}$ ) beobachtet werden. Vermöge der indirekten Differenzenmethode kann festgestellt werden, dass die kristalline Struktur ( $A_{(i)}$ ) zusammen mit der Anisotropie des Brechungsindex ( $A_i$ ), das heißt alle Ereignisse  $A$ , notwendige Bedingungen von doppelte Abbilder ( $K$ ) induzierenden Körpern sind. (3) Die Masse ( $A_i$ ) des Wurfkörpers  $A$  im Falle eines idealen oder ballistischen schiefen Wurfes ist von diesem Körper und seinen übrigen Ereignissen ( $A_{(i)}$ ) wie Volumen, Gestalt, Dichte, Oberflächenbeschaffenheit etc. nicht zu trennen. Ihr Einfluss

kann nur indirekt durch die gleichzeitige Veränderung einiger anderer Ereignisse des Wurfkörpers  $A$  untersucht werden, etwa durch den Ersatz des Wurfkörpers durch Materialien derselben Form und desselben Volumens, jedoch von anderer Dichte und Oberflächenbeschaffenheit.

Man beachte, dass die indirekte Differenzenmethode nicht äquivalent ist zur (direkten) Differenzenmethode. Sie ist eine Ausdehnung der Übereinstimmungsmethode auf die Anwesenheit und die Abwesenheit eines Ereignisses  $A_i$  im Verband mit gewissen anderen Ereignissen  $A_{(i)}$ . Es kann jedoch gemäß Voraussetzung nicht untersucht werden, was passiert, wenn das Ereignis  $A_i$  unter sonst gleichen Umständen allein an- oder abwesend ist. Es kann mit der (direkten) Differenzenmethode eben nur untersucht werden, was geschieht, wenn das gesamte  $A$  anwesend oder abwesend ist.

Die indirekte Differenzenmethode ist (neben der Variationsmethode) eine geeignete Methode zur Bearbeitung von begleitenden notwendigen Bedingungen im Rahmen von Bedingung-Folge-Verhältnissen.

Darüber hinaus zeigen die ersten beiden Beispiele, dass mit der indirekten Differenzenmethode nicht unmittelbar sinnlich manifeste Tatsachen so experimentell gehandhabt werden können, wie wenn es sinnliche Ereignisse wären. Dies bedeutet, dass sich diese Tatsachen im Rahmen von Bedingung-Folge-Verhältnissen so verhalten, wie wenn sie rein physisch-sinnlicher Natur wären.<sup>5</sup> Zusammen mit den physisch-sinnlichen Ereignissen bilden sie den Bereich der *physischen* Ereignisse.

### 2.5 Die Residuenmethode

Die Residuenmethode ist eine einfache Konsequenz der Differenzenmethode. Falls durch die Differenzenmethode bestimmte experimentell assoziierte Ereignisse als Bedingungen und Folgen nachgewiesen wurden, so können diese bei weiteren experimentell assoziierten Ereignissen «abgezogen» werden und für die übrig gebliebenen assoziierten Ereignisse gefolgert werden, dass diese an einem Bedingung-Folge-Verhältnis teilhaben.

---

5 Dies ist eine methodisch berechnete Form des Überschreitens der unmittelbar sinnlich gegebenen Welt. Was zu diesem Schritt berechtigt, ist die Beibehaltung der Erkenntnismethode: das explorative Experimentieren im Hinblick auf die Strukturierung von Ereignissen gemäß Bedingung-Folge-Verhältnissen. So heißt es in *Steiner* (1894/1918, Kapitel VII: Zusatz zur Neuauflage 1918): «Störend für die unbefangene Beobachtung des hier dargestellten Verhältnisses zwischen Wahrnehmung und denkend erarbeiteten Begriff kann auch werden, wenn im Gebiete der physikalischen Erfahrung sich die Nötigung ergibt, gar nicht von unmittelbar anschaulich-wahrnehmbaren Elementen, sondern von unanschaulichen Größen wie elektrischen oder magnetischen Kraftlinien usw. zu sprechen. Es kann *scheinen*, als ob die Wirklichkeits-elemente, von denen die Physik spricht, weder mit dem Wahrnehmbaren noch mit dem im tätigen Denken erarbeiteten Begriff etwas zu tun hätten. Doch beruhte eine solche Meinung auf einer Selbsttäuschung. Zunächst kommt es darauf an, dass *alles* in der Physik Erarbeitete, insofern es nicht unberechtigte Hypothesen darstellt, die ausgeschlossen bleiben sollten, durch Wahrnehmung und Begriff gewonnen ist. Was scheinbar unanschaulicher Inhalt ist, das wird aus einem richtigen Erkenntnisinstinkt des Physikers heraus durchaus in das Feld versetzt, auf dem die Wahrnehmungen liegen, und es wird in Begriffen gedacht, mit denen man sich auf diesem Felde betätigt. Die Kraftstärken im elektrischen und magnetischen Felde usw. werden, *dem Wesen nach*, nicht durch einen anderen Erkenntnisvorgang gewonnen als durch denjenigen, der sich zwischen Wahrnehmung und Begriff abspielt.»

**Residuenmethode:** Wenn es verschiedene Mengen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(r)}$  von Ereignissen gibt, mit denen die Ereignismengen  $K^{(1)}, K^{(2)}, \dots, K^{(s)}$  experimentell assoziiert sind, und wenn bekannt ist, dass (bei geeigneter Nummerierung der Ereignismengen) die ersten  $m$  ( $m < r$ ) Ereignismengen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(m)}$  notwendige und hinreichende Bedingungen für die ersten  $n$  ( $n < s$ ) Ereignisse  $K^{(1)}, K^{(2)}, \dots, K^{(n)}$  sind, dann sind die übrigen Ereignisse  $A^{(m+1)}, A^{(m+2)}, \dots, A^{(r)}$  notwendige Bedingungen der Folgen  $K^{(n+1)}, K^{(n+2)}, \dots, K^{(s)}$ .

*Beispiele zur Residuenmethode:* (1) Bei der Untersuchung des ballistischen Wurfes kann das beim idealen Wurf entwickelte Bedingung-Folge-Verhältnis zur Anwendung gebracht und damit die Natur der übrigen Bedingungen und deren Folgen näher untersucht werden. (2) Entsprechendes gilt für die Untersuchung der nicht-idealen schiefen Ebene auf der Grundlage der idealen (roll- und gleitreibungsfreien) schiefen Ebene. (3) Die Störungsrechnung in der Astronomie beruht auf der Berechnung derjenigen Terme, die übrig bleiben, wenn die bekannten Bedingung-Folge-Verhältnisse «abgezogen» werden.

## 2.6 Die Variationsmethode

Mit der Variationsmethode können Ereignisse untersucht werden, die experimentell nicht eliminierbar, jedoch zumindest direkt oder indirekt beeinflussbar sind. Die Variationsmethode kann als ein Sonderfall der indirekten Differenzenmethode aufgefasst werden: Mit ihr werden aus ihrem Verband mit anderen Ereignissen nicht herauslösbare Ereignisse untersucht. Während mit der indirekten Differenzenmethode das Auftreten und das Nichtauftreten eines ganzen Ereignisverbandes hinsichtlich der Folgen analysiert werden, nutzt die Variationsmethode eine gegebenenfalls vorhandene direkte oder indirekte Variierbarkeit eines einzelnen Ereignisses. Die Variationsmethode ist ebenfalls nicht hinreichend zur eindeutigen Bestimmung aller Komponenten eines Bedingung-Folge-Verhältnisses.

**Variationsmethode:** Falls die Ereignismengen  $A = (A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$  und  $K = (K_1, K_2, K_3, \dots, K_m)$  experimentell miteinander assoziiert sind und wenn eine experimentelle Variation einer Teilmenge  $A'$  von  $A$  eine Variation einer Teilmenge  $K'$  von  $K$  zur Konsequenz hat, wobei die übrigen Komponenten von  $A$  und  $K$  invariant bleiben, dann ist  $A'$  oder eine Teilmenge davon *hinreichende* Bedingung von  $K'$ . Falls die Variation von  $A'$  nicht experimentell induziert ist, also nur beobachtet werden kann, so kann erstens  $K'$  auch eine *notwendige* Bedingung von  $A'$  sein (Umkehrung des Bedingung-Folge-Verhältnisses) oder zweitens der Variation von  $A'$  und  $K'$  eine beiden gemeinsame Bedingung  $C$  zugrunde liegen.

Im letzteren Falle heißt  $C$  *Störgröße* oder *Confounder*. Bei einer zunächst nur beobachteten gemeinsamen Variation kann eine weitere Untersuchung der Frage, welcher der beiden in der Variationsmethode zuletzt genannten Fälle tatsächlich zutrifft, nur bei experimenteller Verfügbarkeit von  $C$  sachgemäß ins Auge gefasst werden.

*Beispiele zur Variationsmethode:* (1) Die Ausdehnung von Körpern durch Erwärmung kann nur durch die Variationsmethode untersucht werden, da Wärme nicht von Körpern eliminierbar ist: Sie ist ein nicht eliminierbares Ereignis des Ma-

terials (Materialeigenschaft). Da die Wärmezufuhr experimentell variiert werden kann und entsprechend der Körper (in den meisten Fällen) mit Ausdehnung bzw. mit Schrumpfung reagiert, ist zumindest klar, dass die Erwärmung die Bedingung der Ausdehnung ist und nicht umgekehrt. (2) Falls man davon ausgeht, dass die Reibung auf der schiefen Ebene oder der Luftwiderstand nicht eliminierbare Ereignisse sind, so können sie immer noch mit der Variationsmethode untersucht werden. Dabei ist zu beachten, dass durch eine experimentelle Variation der Reibung oder des Luftwiderstandes zumindest geklärt werden kann, was Bedingung und was Folge ist. (3) Der Einfluss des Mondes auf die Erde ist nicht eliminierbar. Anhand der Gezeiten kann jedoch sein Einfluss untersucht werden. Streng genommen muss dabei – solange *nur* die Variationsmethode zur Anwendung kommt – offen bleiben, welches die Bedingungen und welches die Folgen sind, da eine experimentelle Beeinflussung der Stellung des Mondes nicht im Bereich der Möglichkeiten der Physik liegt. (4) Der in der Variationsmethode zuletzt genannte Fall tritt auf, und kann aufgeklärt werden, wenn die beobachtete Variation von  $A'$  und  $K'$  durch eine mit beiden Ereignismengen  $A'$  und  $K'$  *experimentell* assoziierte Ereignismenge  $C$  hervorgerufen werden kann. Als Beispiel diene die Beobachtung, dass mit einer *Steigerung der Erwärmung* des Eisenkerns einer stromdurchflossenen Spule eine *Verstärkung der Anziehungskraft* auf eisenhaltige Körper einhergeht. Der eine Vorgang ist offensichtlich nicht die Bedingung des anderen und umgekehrt. Für beide Ereignisse ist die Erhöhung des Stromflusses das notwendige und hinreichende Ereignis, was durch ein Experiment gemäß der Differenzenmethode festgestellt werden kann.

### 2.7 Vielfachheit von Bedingungen

Es muss noch die Reichweite der vorangehend geschilderten Methoden für den bisher ausgeschlossenen Fall mehrerer Bedingungen ein- und derselben Folge entwickelt werden.<sup>6</sup>

*Annahme: Es gibt mehrere Bedingungen für eine Folge.* Im Sinne einer Erweiterung der vorangehenden Untersuchungen werden jetzt als Folgen auch Ereignisse zugelassen, die mit mehreren anderen hinreichenden Bedingungen (Ereignissen) in einem Bedingung-Folge-Verhältnis stehen können.

*Beispiele:* (1) Eine auf einer Fläche ruhende Eisenkugel kann durch verschiedene Bedingungen in Bewegung versetzt werden: durch einen Stoß mit einem anderen Körper, durch ein Magnetfeld, durch Luftströmungen etc. (2) Die Erwärmung und damit die Ausdehnung eines festen kristallinen Eisenstücks kann durch die Sonne, durch einen Ofen, durch Stromdurchfluss, durch Reibung etc. hervorgerufen werden. Jeder dieser Vorgänge hat seinen eigenen Charakter, teilt aber mit den übrigen die Eigenschaft, dass sie dasselbe Ergebnis (Erwärmung, Ausdehnung) hinsichtlich des Eisenstücks bedingen können.

<sup>6</sup> Die Auseinandersetzungen in den Abschnitten 2.7 und 2.8 knüpfen teilweise an das Kapitel X «Of Plurality of Causes and of the Intermixture of Effects» des III. Buches «On Induction» von Mills «A System of Logic» an (Mill 1868, S. 482–506).

Die Möglichkeit verschiedener hinreichender Bedingungen bedeutet, dass ein gegebenes Ereignis  $K$  durch ein Ereignis  $A_1$ , aber auch durch andere Ereignisse (oder Ereignismengen)  $A_2, A_3, \dots$  hinreichend bedingt sein kann. Diese Tatsache macht die *Übereinstimmungsmethode* unbrauchbar, sowohl was den Ausschluss zufälliger Umstände wie den Einschluss notwendiger Bedingungen betrifft. Denn erstens braucht ein Ereignis  $A_1$ , das verschiedenen Mengen von notwendigen und hinreichenden Bedingungen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(n)}$  für die Folge  $K$  gemeinsam ist, keine notwendige Bedingung für  $K$  zu sein, denn die notwendigen Bedingungen von  $K$  könnten alle außerhalb des Durchschnitts von  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(n)}$  liegen, falls in den Bedingung-Folge-Verhältnissen der einzelnen  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(n)}$  mit der Folge  $K$  die notwendigen Bedingungen jeweils andere sind. Zweitens sind aus denselben Gründen die nicht im Durchschnitt von  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(n)}$  liegenden Ereignisse nicht notwendigerweise bloß zufällig begleitende Umstände.

Damit wird das Konzept notwendiger Bedingungen unbrauchbar, da es im Falle verschiedener hinreichender Bedingungen für eine bestimmte Folge kein Ereignis mehr geben muss, das mit dem Auftreten der Folge ebenfalls auftreten muss und das Bestandteil jeder hinreichenden Bedingung ist. Ein gewisser Nutzen kommt der Übereinstimmungsmethode nur noch bei sehr häufig variiertem Wiederholung zu: dadurch können mögliche Bedingungen eines Ereignisses entdeckt und mit der Differenzenmethode weiter untersucht werden.

Die *Differenzenmethode* ist weiterhin anwendbar, führt also bei sachgerechter Verwendung nach wie vor zu weitgehend (aber nicht endgültig) eindeutigen Ergebnissen hinsichtlich hinreichenden Bedingungen und deren Folgen. Denn durch die Festhaltung (Kontrolle) aller übrigen überschaubaren Ereignisse außer einem einzigen, dessen Vorhandensein oder Nichtvorhandensein experimentell provoziert wird, ist es anhand einer wiederholten Durchführung des Experimentes möglich, mit großer Sicherheit hinreichende Bedingungen für bestimmte Folgen zu identifizieren.

Die *indirekte Differenzenmethode* ist, *mutatis mutandis*, ebenfalls in dieser neuen Situation anwendbar, da sie mit dem Prinzip des Aus- und Einschlusses eines bedingenden Ereignisses arbeitet. Es sei also auf der einen Seite festgestellt, dass das Ereignis  $K$  durch die Ereignismengen  $A^{(1)}$  oder  $A^{(2)}$  oder ... oder  $A^{(r)}$  mit dem gemeinsamen Ereignis  $A_i$  sowie den Begleitereignissen  $A_{(i)} = (A_1, A_2, \dots, A_{i-1}, A_{i+1}, \dots, A_n)$  bedingt ist. Falls sich umgekehrt bei der Untersuchung von mit der Abwesenheit von  $K$  experimentell assoziierten Ereignissen  $A_{(i)}^{(1)}, A_{(i)}^{(2)}, \dots, A_{(i)}^{(s)}$  herausstellt, dass  $A_i$  und damit auch  $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$  nicht anwesend ist, so kann  $A$  oder eine Teilmenge davon eine hinreichende Bedingung für die Folge  $K$  sein.

Da die *Residuenmethode* bloß eine Anwendung der direkten und/oder indirekten Differenzenmethode ist, muss sie hier nicht separat betrachtet werden. Es bleibt die *Variationsmethode*: sie ist nur brauchbar bei expliziter experimentell induzierter Variation. Andernfalls können nur durch vielfältig variierte Wiederholungen Fortschritte im Aufspüren von Bedingung-Folge-Verhältnissen gemacht werden.

### 2.8 Quantitative Vermischung der Folgen

In den Abschnitten 2.2 bis 2.5 wurde davon ausgegangen, dass Ereignisse, insbesondere die Folgen, nicht notwendigerweise in quantitativer Weise erfasst werden müssen. Es handelte sich in erster Linie um die Feststellung des Daseins oder Nichtdaseins bestimmter Ereignisse und mit diesen verknüpfter anderer Ereignisse.

In diesem Abschnitt wird nun kein wesentlich neuer Fall aufgegriffen, sondern die Konsequenzen aufgezeigt, wenn einerseits die quantitative Erfassung der Folgen im Vordergrund steht und andererseits mehrere Bedingungen für einen solchen quantitativen Effekt in Frage kommen. Zu den bereits dargestellten Schwierigkeiten bei der Analyse von Ereignismengen hinsichtlich der Bestimmung konkreter Bedingungen für konkrete Folgen gesellt sich hier eine weitere Schwierigkeit: Die Unterscheidbarkeit der möglichen Bedingungen bleibt zwar bestehen, aber die Folgen derselben vermischen sich auf nicht mehr auflösbare Weise zu einem einzigen Phänomen. Mit anderen Worten, die gemäß Definition des Bedingung-Folge-Verhältnisses garantierte *prinzipielle* Eindeutigkeit der Folgen ist *faktisch* nicht mehr gegeben. Dies bedeutet, dass sich die jeweiligen Folgen vermöge ihres quantitativen Charakters zu einer phänomenal nicht mehr reduzierbaren Summe aufaddieren.

*Beispiel:* (1) Quantitative Untersuchung der Erwärmung eines kristallinen Eisenstücks unter Stromdurchfluss: Können die Einflüsse der Zusammensetzung des Eisens, des Sonnenlichtes und der Raumtemperatur nur unzureichend kontrolliert werden, so sind die Anteile der jeweiligen Einflüsse auf das Endresultat an Letzterem nicht unmittelbar ablesbar. (2) Quantitative Untersuchung der Bruchfestigkeit und Elastizität von gebranntem Ton in Abhängigkeit von dem Brennintervall (Brenndauer) und der Brenntemperatur: Die systematische Untersuchung des Einflusses verschiedener Temperaturstufen und Brennintervalle kommt zu keinem bestimmten Ergebnis, wenn die untersuchten Tonstücke nicht alle exakt gleich sind. Das sind sie aber in der Regel nicht: Variationen in der mineralischen Zusammensetzung und im Wasser- und Gasgehalt haben einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die Endresultate, die Bruchfestigkeit und die Elastizität des gebrannten Tons. Welcher Anteil den jeweiligen Bedingungen an den im Prinzip exakt messbaren Werten der Endresultate zukommt, ist nicht rekonstruierbar.

In diesem Falle treten auch bei der Differenzenmethode größere Schwierigkeiten bei der Bestimmung von Bedingungen und deren Folgen auf, ganz zu schweigen von den übrigen Methoden zur Evaluierung von Bedingung-Folge-Verhältnissen. Der entscheidende Punkt ist hier, dass man in diesem Falle mit der Differenzenmethode keine Möglichkeit mehr hat, die beteiligten Bedingungen unabhängig voneinander hinsichtlich ihres Einflusses qualitativ zu unterscheiden. Man kann aufgrund der Untersuchung von Ereignismengen nur wissen, welche Bedingungen welchen quantitativen Anteil an den Folgen haben. Die Konsequenzen einer Weglassung oder Hinzufügung eines (möglicherweise) bedingenden Ereignisses könnte jedoch auch auf andere Bedingungen zurückgehen, da an dem quantitativen Wert der Folge nicht ablesbar ist, von welchen und wie vielen Bedingungen er herkommt.

Spätestens an dieser Stelle tritt die Statistik in ihre Rechte. Durch den Kunstgriff der *Randomisierung* gemäß Ronald Aylmer Fisher (1926, 1935) können  $n$  Versuchs-

einheiten so auf mehrere Gruppen, die sich nur durch verschiedene Versuchsbedingungen unterscheiden (im einfachsten Falle durch die Anwesenheit oder Abwesenheit eines Ereignisses), verteilt werden, dass ihnen alle übrigen Eigenschaften mit derselben Wahrscheinlichkeit zukommen. In diesem Sinne spricht man dann von einer (statistischen) Vergleichbarkeit dieser Gruppen von Versuchseinheiten hinsichtlich aller übrigen Bedingungen außer der von vornherein festgelegten Versuchsbedingungen. Auf dieser Grundlage lässt sich dann der gegebenenfalls vorhandene statistisch geschätzte relative Effekt bezüglich der verschiedenen Gruppen von Versuchseinheiten mit bestimmbarer Fehlerwahrscheinlichkeit auf die im voraus festgelegten unterschiedlichen Versuchsanordnungen zurückführen. Darauf wird in der IV. Folge dieser Aufsatzreihe näher eingegangen werden.

*Beispiele:* (1) Die für viele Zwecke hinreichend exakte Bestimmung der Erwärmung von Eisen unter Stromdurchfluss unter den im obigen Beispiel (1) genannten Bedingungen beruht auf einer randomisierten Verteilung von  $n$  Eisenstücken auf so viele Gruppen, wie Versuche zu verschiedenen Tages- und Nachtzeiten vorgesehen sind. (2) Untersuchung von drei verschiedenen Brenntemperaturen und zwei Brennintervallen: Die  $n$  gleichartigen Tonstücke werden auf  $3 \times 2$  Gruppen randomisiert. – Auf dieser Grundlage lässt sich dann der allenfalls vorhandene statistisch geschätzte relative Effekt bezüglich den verschiedenen Gruppen von Versuchseinheiten mit bestimmbarer Fehlerwahrscheinlichkeit auf die im voraus festgelegten unterschiedlichen Versuchsansätze bzw. Brennintervalle und Brenntemperaturen zurückführen.

### 2.9 Fazit

Damit sind die methodischen Mittel zur experimentellen Untersuchung von auf irgendeine Weise assoziierten Ereignismengen im Hinblick auf Bedingung-Folge-Verhältnisse erschöpft. Selbstverständlich wird hier nicht behauptet, dass Ereignisse nur im Verhältnis von Bedingung und Folge stehen können. Im Gegenteil, dies macht nur einen Teil der Gesamtwirklichkeit aus (Ziegler 2003). Falls man sich aber den auf diese Art strukturierten Weltbereich erarbeiten will, so sind die hier vorgestellten Methoden sachgemäß.

Aus dem Gesichtspunkt einer eindeutigen Bestimmung von Bedingungen und Folgen im Rahmen der Analyse von Ereignismengen, die dem Prinzip der Bedingung-Folge-Verhältnisse unterliegen, haben die obigen Untersuchungen ein weitgehend negatives Resultat ergeben. Allerdings ist dies nicht verwunderlich, denn das primäre Anliegen dieser Ausführungen ist die Erkundung der Grenzen und Möglichkeiten des explorativen Experimentierens, und das kann seiner Natur nach zu keinen Ergebnissen führen, die denselben Grad an Sicherheit haben wie ideelle Zusammenhänge.

Aus dem Gesichtspunkt der experimentellen Vielfalt, des phantasievollen explorativen Experimentierens, ist das Ergebnis der vorangehenden Betrachtungen positiv und fruchtbar: Werden alle vorhandenen Möglichkeiten ausgeschöpft, so kann ein reiches Feld an Erfahrungen geschaffen werden, das eine solide Grundlage für differenzierte ideell-begriffliche Untersuchungen im Hinblick auf die Entdeckung von Gesetzen der anorganischen Natur bietet.

*Zusammenfassung:* Die Differenzenmethode dient zur Untersuchung der notwendigen und hinreichenden Bedingungen sowie der Folgen bei experimentell verfügbaren Ereignismengen, die der Struktur von Bedingung-Folge-Verhältnissen unterliegen. Je nach Sachverhalt und experimenteller Zugänglichkeit der zu untersuchenden Ereignisse muss diese Methode ergänzt werden durch die Übereinstimmungsmethode, die indirekte Differenzenmethode, die Residuenmethode sowie die Variationsmethode. Dadurch lassen sich weitgehend (wenn auch nicht endgültig) die bestimmenden notwendigen Bedingungen von den begleitenden notwendigen Bedingungen und letztere von den zufällig begleitenden Umständen differenzieren.

### *3 Naturwissenschaftliches Experiment, Ursache-Wirkung-Beziehung und konditionaler Determinismus*

Im Vordergrund der bisherigen Betrachtungen stand das naturwissenschaftliche Experimentieren hinsichtlich einer Exploration von Bedingung-Folge-Verhältnissen. Im Folgenden steht das einzelne naturwissenschaftliche Experiment im Fokus der Betrachtung. Es wird davon ausgegangen, dass die notwendigen und hinreichenden Bedingungen zur Durchführung eines Experimentes weitgehend ausgeleuchtet wurden und jetzt die Aufmerksamkeit auf ein einzelnes, voll bewusst durchgeführtes Experiment gelenkt werden kann. Dieses nimmt die Form eines *idealen Experimentes* an, das am (vorläufigen) Ende einer wissenschaftlichen Exkursion steht und wie in einem Brennpunkt die entscheidenden Elemente und Zusammenhänge eines physikalischen Bereiches zusammenfasst.

Die *explizite Kontrolle* (Konstanthaltung oder Minimierung) gewisser begleitender notwendiger Bedingungen und die *geführte Variation* der bestimmenden notwendigen Bedingungen hinsichtlich ihres Daseins und ihres konkreten Charakters sind nur dann möglich, wenn diese Bedingungen selbst nicht Folgen von nicht durch das experimentierende Individuum explizit variierten, kontrollierten (konstant gehalten oder minimierten) oder kontrollierbaren Bedingungen sind. Andernfalls handelte es sich nicht um ein Experiment, sondern um die Beobachtung (und bestenfalls Erkenntnis) eines ohne das Zutun des experimentierenden Individuums ablaufenden Naturprozesses.<sup>7</sup>

Mit anderen Worten: Explizite Kontrolle und geführte Variation durch das experimentierende Individuum lassen sich nicht allein aufgrund von Bedingung-Folge-Verhältnisse realisieren, sondern nur vermöge des Einbezugs von Ursache-Wirkung-Beziehungen. Aus der Perspektive des experimentierenden Individuums bedeutet dies konkret, dass die Anfangsbedingungen eines Experimentes durch die Wirkungen einer ursächlich bestimmten Aktion zustande kommen müssen: die *Bedingungen*

---

<sup>7</sup> Für *Helmholtz* (1879) liegt die Überzeugungskraft des Experimentes gerade in der Tatsache, dass «die Kette der Ursachen durch unser Selbstbewusstsein hindurchläuft. Ein Glied dieser Ursachen, unseren Willensimpuls, kennen wir aus innerer Anschauung und wissen, durch welche Motive er zu Stande gekommen ist. Von ihm aus beginnt dann, als von einem uns bekannten Anfangsglied und zu einem uns bekannten Zeitpunkt, die Kette der physischen Ursachen zu wirken, die in dem Erfolg des Versuches ausläuft.» (S. 39)

eines Experimentes im Sinne der Realisierung eines konkreten Bedingung-Folge-Verhältnisses sind *Wirkungen* einer Ursache-Wirkung-Beziehung.<sup>8</sup> Die hierfür notwendige Formursache wird durch das experimentierende Individuum vermittelt im Sinne einer dem Experiment zugrunde gelegten Idee; die Wirkursache dieser den ganzen Experimentiervorgang auslösenden Ursache-Wirkung-Beziehung hat ihren Quell ebenfalls im experimentierenden Individuum. Eine genaue Analyse des einzelnen Experimentes hinsichtlich der verschiedenen beteiligten Ursache-Wirkung-Beziehungen sowie Bedingung-Folge-Verhältnisse folgt weiter unten im Abschnitt 4.

Man beachte, dass die Bestimmung eines Experimentalprozesses als eines durch eine Ursache-Wirkung-Beziehung in Gang gesetzten Prozesses streng genommen nur dem experimentierenden Individuum zusteht. Jedem anderen Individuum sind weder die Formursache noch die Wirkursache unmittelbar gewahrt. Für Außenstehende kann demzufolge dieser Vorgang allenfalls als eine Veranlassung-Konsequenz-Beziehung aufgefasst werden (Ziegler 2003, Abschnitt 2.2), oder er muss als objektiver Zufall interpretiert werden.

Nebenbei sei bemerkt, dass die randomisierte Zuteilung von Experimentiereinheiten auf unterschiedliche Versuchsanordnungen im Falle von gewissen nicht kontrollierbaren oder minimierbaren begleitenden notwendigen Bedingungen oder begleitenden zufälligen Umständen ebenfalls auf einem Prozess beruht, der prinzipiell nicht allein durch Bedingung-Folge-Verhältnisse hergestellt werden kann und demzufolge einer Ursache-Wirkung-Beziehung bedarf.

Mit der Tatsache, dass die Ausgangsbedingungen für Experimente nicht allein dem Bedingung-Folge-Verhältnis unterliegen, sondern Ausdruck einer durch das experimentierende Individuum initiierten Ursache-Wirkung-Beziehung sind, steht und fällt die Ausführbarkeit von Experimenten und damit das *Prinzip des Experimentierens als Instrument der naturwissenschaftlichen Forschung*. Lässt man dieses Prinzip fallen, das heißt erachtet es als nicht durchführbar, könnte man nur noch den Ablauf von Naturprozessen passiv beobachten, beschreiben und gegebenenfalls in ihren Gesetzmäßigkeiten erkennen. Experimente hätten dann aber in der Forschung keinen Platz mehr, sie wären prinzipiell unmöglich.

#### *Naturwissenschaftliches Experiment*

- (1) *Gesichtspunkt des experimentierenden Individuums*: Ein *naturwissenschaftliches Experiment* beinhaltet die durch das experimentierende Individuum realisierte Ursache-Wirkung-Beziehung und die dadurch ermöglichte explizite Präparation, Variation und Kontrolle (Konstanthaltung oder Minimierung) von physisch-sinnlichen Bedingungen und die Beobachtung der entsprechenden physisch-sinnlichen Folgen.
- (2) *Gesichtspunkt des zuschauenden Individuums*: Ein *naturwissenschaftliches Experiment* beinhaltet notwendigerweise objektiv zufällige Ereignisse, die mit anderen Ereignissen zusammen in einer Veranlassung-Konsequenz-Beziehung stehen können.

---

<sup>8</sup> Zum Verhältnis von Ursache und Wirkung, siehe Ziegler (2003), Abschnitt 2.

Wie oben ausgeführt, ist die explizite Kontrolle (Konstanthaltung oder Minimierung) bzw. die geführte Variation von bestimmenden notwendigen Bedingungen nicht vereinbar mit der ausschließlichen Gültigkeit von Bedingung-Folge-Verhältnissen und damit nicht vereinbar mit dem universellen konditionalen Determinismus.

*Unvereinbarkeit von naturwissenschaftlichen Experimenten und universellem konditionalem Determinismus: Falls der konditionale Determinismus universell gültig ist, kann es keine naturwissenschaftlichen Experimente geben. Falls es naturwissenschaftliche Experimente gibt, ist der universelle konditionale Determinismus ungültig.*

Geht man davon aus, dass es Experimente gibt, dass sie also nach allen Regeln der Kunst tatsächlich durchgeführt werden können und damit das Prinzip des Experimentes als Instrument der naturwissenschaftlichen Forschung realisierbar ist, so kann der konditionale Determinismus nicht zutreffen.<sup>9</sup>

Das naturwissenschaftliche Experiment widerlegt in diesem Sinne den universellen Erkenntnisanspruch der klassischen physikalischen Wissenschaften: alle Verhältnisse von Ereignissen untereinander seien im Sinne von Bedingung-Folge-Verhältnissen zu analysieren.

Natürlich wurde dieser Erkenntnisanspruch bereits durch die Entdeckung individueller Quantenereignisse erschüttert, denn auch konditional zufällige Ereignisse sind mit dem konditionalen Determinismus unvereinbar (Ziegler 2003, Abschnitt 2.5). Ein Experiment als Weltereignis ist jedoch aus der Perspektive eines das Experiment nicht selbst vollziehenden Individuums kein konditional zufälliges, sondern ein objektiv zufälliges Ereignis und widerlegt in diesem Sinne auch den durch die Quantenphysik erweiterten universellen Erkenntnisanspruch: Alle Ereignisse seien entweder im Sinne von Bedingung-Folge-Verhältnissen oder im Sinne von Bedingung-Zufall-Verhältnissen zu analysieren.

*Unvereinbarkeit von naturwissenschaftlichen Experimenten und universellem konditionalem Indeterminismus: Falls der konditionale Indeterminismus universell gültig ist, kann es keine naturwissenschaftlichen Experimente geben. Falls es naturwissenschaftliche Experimente gibt, ist der universelle konditionale Indeterminismus ungültig.*

#### 4 Charakter des idealen naturwissenschaftlichen Experimentes

##### 4.1 Bestimmung des idealen naturwissenschaftlichen Experimentes

Die Realisierung eines Experimentes ist gleichbedeutend mit der Aktualisierung eines bestimmten Bedingung-Folge-Verhältnisses. Das Ergebnis einer Serie von Experimenten ist ein ganzes Netzwerk von Ereigniszusammenhängen, von Bedingungs-

---

<sup>9</sup> Die Bedeutung einer freien menschlichen Handlung für die Bildung des Ursachenbegriffs im Sinne der Ursache-Wirkung-Beziehung wird auch von Krüger (1992) hervorgehoben. Zudem wird darauf hingewiesen, dass dies unweigerlich die Akzeptanz des Indeterminismus zur Folge hat. Die Demonstration dieses Zusammenhangs fällt allerdings etwas vage aus. Zudem scheint bei Krüger der Freiheitsbegriff nicht viel mehr als die Wahlfreiheit zu umfassen.

Folge-Verhältnissen. Die Erkundung und Strukturierung dieses Netzwerkes ist das eigentliche Ziel der anorganischen Naturerkenntnis. Diese umfasst insbesondere auch die Bildung einer *begrifflichen* Synthese der Ergebnisse einzelner Experimente (regulative Prinzipien, *conditio relationis*, siehe Ziegler 2003, Tab. 1) oder des ganzen Netzwerkes von Experimenten und Ereigniszusammenhängen. Das alles ist jedoch nicht Thema der nachfolgenden Untersuchungen.

Mit Hilfe der oben und in Abschnitt 2, Teil I (Ziegler 2003) entwickelten Begriffe können die *wesentlichen Charaktereigenschaften eines idealen Experimentes im Sinne einer willentlichen Realisierung eines Bedingung-Folge-Verhältnisses aus der Perspektive des experimentierenden Individuums* folgendermaßen näher bestimmt werden.<sup>10</sup> Wie bereits erwähnt, geht es um das ideale Experiment im Sinne eines mit größtmöglicher Bewusstheit durchgeführten Handlungsgeschehens. Es steht nicht die suchende Vorbereitung im Sinne des explorativen Experimentierens im Vordergrund, sondern die souveräne Realisierung eines bereits in seinen Einzelheiten bekannten Bedingung-Folge-Verhältnisses.

Jedem Experiment geht eine Phase der *gedanklichen Konzeption* voraus, die sich auf Ergebnisse vorangehender Experimente und daran anschließende ideelle Überlegungen stützt.

Die auf die Konzeption folgenden Schritte umfassen die Vorbereitungsphase, in welcher die bestimmenden und begleitenden notwendigen Bedingungen voneinander differenziert und die begleitenden notwendigen Bedingungen sowie die zufällig begleitenden Umstände unter Kontrolle gebracht werden. Daran schließen sich die Phasen der Aktivierung sowie des eigentlichen Prozesses des Experimentes an, danach folgt der Abschluss, die geregelte Beendigung des Experiments sowie die Einordnung des Ergebnisses in den aktuellen Wissens- und Erkenntnisstand.

Die *Variation der Bedingungen* wird nicht als Bestandteil *eines* Experimentes im engeren Sinne betrachtet, sondern als ein Element des explorativen Experimentierens, einer ganzen Serie von Experimenten im hier gemeinten Sinne. Man muss also zwischen der oben (Abschnitt 1 und 2) besprochenen *Methode des Experimentierens* und dem *naturwissenschaftlichen Experiment* im engeren Sinne unterscheiden. Letzteres ist im Folgenden Gegenstand der Untersuchung. Werden ausgewählte Bedingungen *eines* bestimmten Experimentes variiert, so bedeutet dies, dass *dieses* Experiment erst zum Abschluss gebracht werden und in seinem Ergebnis in das bisher Bekannte eingeordnet werden muss; dann werden neue Bedingungen präpariert, kontrolliert etc., mit anderen Begriffen, es wird ein neues Experiment konzipiert und aufgebaut.

---

<sup>10</sup> In einer Analyse des Experimentes unter dem Gesichtspunkt der Handlungstheorie kommt Janich (1998) ebenfalls auf sieben Phasen eines Experimentes, die allerdings nicht identisch sind mit den hier dargestellten Phasen. Hon (1998) fasst das Experiment als eine Art formales Argument auf, bei dem anhand bestimmter Prämissen bestimmte Konsequenzen provoziert werden; er gliedert das experimentelle Geschehen unter dem Gesichtspunkt möglicher Fehlerquellen in vier Bereiche: Hintergrundtheorie, Annahmen über das Funktionieren der Messapparate, Registrierung der Beobachtung, begriffliche Schlussfolgerungen.

Experimente im Bereiche der Quantenphysik beschäftigen sich in der Regel mit Bedingung-Folge-Verhältnissen und darin eingebetteten Bedingung-Zufall-Verhältnissen. Wie bereits erwähnt, ist der Einfachheit halber hier nur von Bedingung-Folge-Verhältnissen die Rede. Die hier gemachten Unterscheidungen treffen jedoch *mutatis mutandis* auch auf Bedingung-Zufall-Verhältnisse zu.

Das Prinzip der randomisierten Zuteilung verschiedener Experimentiereinheiten muss an dieser Stelle nicht näher besprochen werden. Denn dieses Prinzip betrifft die Behandlung *verschiedener* Experimentiereinheiten bei *mehreren* Versuchsanordnungen, falls eine Teilmenge der begleitenden notwendigen Bedingungen oder der begleitenden zufälligen Umstände in ihrem Einfluss nicht kontrollierbar oder minimierbar ist, gehört also zum Bereich des Experimentierens und nicht zum einzelnen Experiment.

Für Experimente im oben definierten Sinne gibt es jeweils nur *eine* Experimentiereinheit und *eine* Versuchsanordnung. Dies bedeutet insbesondere, dass auch die Vervielfachung von Experimentiereinheiten in einem einzelnen experimentellen Durchgang (z. B. der gleichzeitige schiefe Wurf mehrerer Gegenstände durch einen geeigneten Mechanismus) bereits als Bestandteil des Experimentierens und nicht als ein einzelnes naturwissenschaftliches Experiment angesehen wird. Dies geschieht aus dem hier vertretenen Gesichtspunkt heraus, dass die Wiederholung, die Replikation eines Experimentes kein wesentlicher Bestandteil der Gesetzmäßigkeit des naturwissenschaftlichen Experimentes ist (siehe dazu Abschnitt 5).

#### 4.2 Beispiele von idealen naturwissenschaftlichen Experimenten

Zur direkten Illustration der sieben Phasen eines Experimentes (siehe Abschnitt 4.3) wird zunächst ein Beispiel aus der Mechanik herangezogen. Die dort eingeführten Differenzierungen lassen sich im Wesentlichen auch auf Experimente aus anderen Bereichen der Physik und der Chemie übertragen. Zur Demonstration dieser Tatsache dient ein Beispiel aus der experimentellen Kristallographie.

(1) Es soll ein *reibungsfreier horizontaler Stoßvorgang* mit Hilfe einer gespannten Feder unter Laborbedingungen untersucht werden. (2) Die *Vorbereitung* des Experimentes besteht in der Bereitstellung der bestimmenden notwendigen und hinreichenden Bedingungen; hier sind dies die horizontale Unterlage der Wurfbahn, die Spannung einer Feder mit Haltevorrichtung sowie die Positionierung eines Wurfkörpers (polierte flache kreisförmige Scheibe) direkt vor der Feder auf der Ebene der Wurf- oder Laufbahn. Die *Kontrolle* einer Teilmenge von begleitenden notwendigen Bedingungen und begleitenden zufälligen Umständen umfasst die Konstanthaltung der Temperatur bzw. des Luftdrucks. Zudem kann eine *Minimierung* des Einflusses weiterer begleitender zufälliger Umstände durchgeführt werden, wie etwa die Präparation einer reibungsfreien horizontalen Laufbahn (zum Beispiel: Druckluft strömt durch regelmäßig verteilte feine Löcher einer waagrechten, planen und polierten Metalloberfläche) sowie die Herstellung einer schwingungsfreien Lagerung der Experimentalanordnung. (3) Der *Entschluss* und dessen Realisierung (Aktivierung) ist verantwortlich für die In-Gang-Setzung des Experimentes. (4) Die *Aktivierung* des Experimentes, die konkrete Auslösung der bestimmenden notwendigen und hinrei-

chenden Bedingungen (*Primärbedingungen*) besteht in der Öffnung der Haltevorrichtung der gespannten Feder. (5) Die Folge dieser Öffnung ist die Entspannung der Feder und damit das *Eintreten der Primärbedingungen*, die den beschleunigten Stoß der Scheibe zur Folge haben. Ist der Entspannungsvorgang der Feder abgeschlossen, bewegt sich die Scheibe mit der am Ende des Beschleunigungsvorganges erreichten Geschwindigkeit gleichförmig weiter (falls der Reibungswiderstand nahe bei Null ist). (6) Im Rahmen der geplanten *Beendigung des Experimentes* wird die Scheibe aufgehalten. (7) Zum Schluss wird das Ergebnis dieses Experimentes im Sinne einer Aktualisierung eines konkreten Bedingung-Folge-Verhältnisses in den aktuellen Erkenntnisstand *integriert*. – Mögliche *Variationen des Experimentes*, die zu einer Serie von Experimenten führen, umfassen Schiefstellungen der Wurfebene sowohl längs wie quer zur ursprünglichen Bahn, Veränderungen des Reibungswiderstandes vermöge einer Veränderung des Luftdruckes in der Wurfebene, Veränderungen der Anfangsgeschwindigkeit etc.

In der experimentellen *Kristallbildung* gehört die Bereitstellung der gesättigten Mutterlauge sowie des Kristallkeimes zu den Vorbereitungen des Experimentes, zu den bestimmenden notwendigen Bedingungen. Die Reinhaltung der Mutterlauge gehört zur Kontrolle der begleitenden notwendigen Bedingungen, ebenso die Kontrolle der Temperatur und des Druckes. Der Konfrontation des Keimes mit der Mutterlauge, etwa durch Versenkung des Keimes in die Mutterlauge, liegt ein Entschluss zugrunde – eine individuelle Handlung, welche zur Aktivierung des Versuchs führt. Der Keim selbst bildet *einen* notwendigen Anlass für die Kristallbildung in der gesättigten Mutterlauge. Die Letztere bildet zusammen mit dem Keim die bestimmenden notwendigen und hinreichenden Bedingungen der Kristallbildung, des Kristallwachstums. Die Lösungsgenossen wirken dabei modifizierend auf die konkrete Morphologie, ebenso die spezifischen Druck- und Temperaturverhältnisse. Zudem kann je nach Situation die konkrete Gestalt des umgebenden Gesteins (oder des Gefäßes) zu den begleitenden notwendigen Bedingungen oder zu den begleitenden zufälligen Umständen gerechnet werden. Die einzelnen Stadien des Wachstums bis zum Erreichen eines Gleichgewichtsverhältnisses zwischen Mutterlauge und Kristallkörper stehen im zeitlichen Bedingung-Folge-Verhältnis zu den bestimmenden notwendigen Bedingungen. Der wachsende Kristall steht im wechselseitigen räumlichen Bedingung-Folge-Verhältnis mit der Mutterlauge. Der Abschluss des Experimentes kann etwa durch die Trennung von Kristall und Mutterlauge vollzogen werden. Bei der Integration des Versuchsergebnisses in bereits erkannte Versuchsanordnungen kann sich herausstellen, wie das Spektrum der Versuchsergebnisse aussieht, wenn weitere bestimmende notwendige Bedingungen variiert werden. – Mögliche Variationen der Experimentalanordnung umfassen verschiedene Gestalten von Kristallisationskeimen, Zugabe verschiedener Lösungsgenossen, Veränderungen in den Temperatur- und Druckverhältnissen.

#### *4.3 Sieben Phasen des idealen naturwissenschaftlichen Experimentes*

Die einzelnen Phasen eines idealen Experimentes lassen sich *aus der Perspektive des experimentierenden Individuums* folgendermaßen begrifflich genauer charakterisieren (siehe Tab. 1).

Phasen eines Experimentes	Begriffliche Charakterisierung	Ursache-Wirkung-Beziehung und/oder Bedingung-Folge-Verhältnis	Beispiel: horizontaler freier Wurf
<b>Experiment</b>			
1. Konzeption	Gedanklicher Entwurf, Idee des Experimentes und Vorstellung für dessen Realisierung	Ursache-Wirkung-Beziehung; Konzeption als unbedingtes Ereignis	Horizontaler reibungsfreier Wurf einer kreisförmigen Scheibe mit Federauslösung
<b>2. Vorbereitung</b>			
Präparation	Präparierung (Zurückhaltung) der bestimmenden notwendigen und hinreichenden Bedingungen: <i>Primärbedingungen</i>	Ursache-Wirkung-Beziehung und Bedingung-Folge-Verhältnisse	Spannung der Feder und Anbringung einer Halterung für die Feder; Positionierung der Scheibe; Präparation der horizontalen Unterlage
Kontrolle	Kontrolle von begleitenden notwendigen Bedingungen und von begleitenden zufälligen Umständen	Ursache-Wirkung-Beziehung und Bedingung-Folge-Verhältnisse	Konstante Temperatur bzw. gleichmäßiger Luftdruck
Minimierung	Minimierung von nicht kontrollierbaren begleitenden notwendigen Bedingungen und/ oder begleitenden zufälligen Umständen	Ursache-Wirkung-Beziehung und Bedingung-Folge-Verhältnisse	Minimierung der Reibung der Kreisscheibe mit der horizontalen Unterlage; Minimierung der Fremdschwingungen durch stabile Lagerung
Ignorierung	Ignorierung der übrigen begleitenden notwendigen Bedingungen sowie der übrigen begleitenden zufälligen Umstände		Ignorierung der Masse der Scheibe, der Lichtverhältnisse sowie der den Versuch begleitenden Planetenkonstellationen
3. Entschluss	Individueller Willensakt (Ursache) bringt Aktivierungsbedingungen (Wirkung) hervor	Ursache-Wirkung-Beziehung; die Aktivierungsbedingungen bilden ein unbedingtes Ereignis	Entschluss zum Entfernen der Federhalterung, Ausführung des Entschlusses
4. Aktivierung	Aktivierungsbedingungen (Auslösung) der notwendigen und hinreichenden Primärbedingungen (Folge)	<i>Einsseitiges</i> Aktivierungsbedingungen-Folge(= Primärbedingungen)-Verhältnis; <i>zeitliches</i> Bedingung-Folge-Verhältnis	Entfernen der Federhalterung (Bedingung) hat die Kraftentfaltung der Feder zur Folge
5. Prozess und Folge	Notwendige und hinreichende Primärbedingungen und Folgen der Primärbedingungen. Weitere Folgen der Folgen	Einseitige oder wechselseitige Bedingung-Folge-Verhältnisse	Beschleunigung der Scheibe durch die Federkraft, anschließend gleichförmige Weiterbewegung
6. Abschluss	Von außen kommende Ereignisse, die keine Folgen bisheriger Ereignisse sind	Die Ereignisse, die den Abschluss herbeiführen, sind unbedingte Ereignisse (Ursache-Wirkung-Beziehung)	Aufhaltung und/oder Entfernung der Scheibe aus der horizontalen Bahn
7. Integration	Begriffliche Einordnung des Versuchsergebnisses, das heißt des konkreten Bedingung-Folge-Verhältnisses, in den Bestand der bisher bekannten konditionalen Verhältnisse	Ursache-Wirkung-Beziehung; Begriffliche Integration als unbedingtes Ereignis	Vergleich des horizontalen reibungsfreien Wurfes mit schiefen Würfen, ballistischen Würfen und Würfen im Vakuum
<b>Serie von Experimenten</b>			
Variation	Vorbereitung, Aktivierung und Durchführung neuer Bedingungen	Ursache-Wirkung-Beziehung und Bedingung-Folge-Verhältnisse	Veränderung der Schiefe der Wurfbahn
Durchführung	Prozess mit neuen bestimmenden notwendigen Bedingungen	Einseitige und wechselseitige Bedingung-Folge-Verhältnisse	Verhalten verschiedener Scheiben bei unterschiedlicher Schiefe der Wurfbahn
Randomisierung	Zufallsbasierte Zuteilung verschiedener Experimentiereinheiten auf unterschiedliche Versuchsanordnungen	Die randomisierte Zuteilung beruht auf einer Ursache-Wirkung-Beziehung vermöge eines individuellen Entschlusses	Zufallsbasierte Zuteilung verschiedener Scheiben auf Experimentalanordnungen mit verschiedener Schiefe der Wurfbahn

Tab. 1: Sieben Phasen eines naturwissenschaftlichen Experimentes aus der Perspektive des experimentierenden Individuums und dessen Fortsetzung zu einer Serie von Experimenten

- (1) In der Phase der *gedanklich-ideellen Konzeption* wird das Experiment in seiner Struktur entworfen und geplant. In vielen Fällen beruht eine solche Konzeption auf einem mehr oder weniger umfangreichen Netz von begrifflichen Überlegungen. Dieser komplexe Prozess schließt den Weg der gedanklichen Konzeption von der Idee bis zu konkreten Vorstellungen der Ausführung eines Experimentes mit ein; er umfasst die Wahl der möglichen Versuchsbedingungen sowie die Beschaffung der notwendigen Materialien. Die einzelnen Phasen des Konzeptionsprozesses gehören im engeren Sinne nicht zum Thema der gegenwärtigen Untersuchungen des Experimentalvorgangs. Sie sollen hier jedoch explizit hervorgehoben werden, da sie dem ganzen Experimentalvorgang zugrunde liegen und ihn in seiner Konkretheit bestimmen. Die genauere Präzisierung muss im Rahmen einer Untersuchung eines autonomen Willensaktes eines Menschen und dessen Verwirklichung geschehen.
- (2) Die *Vorbereitungsphase* hat das Ziel, die bestimmenden Bedingungen des intendierten Bedingung-Folge-Verhältnisses im Aktivierungsvorgang kontrolliert herstellen zu können, sodass vollkommen klar ist, was für bestimmende notwendige Bedingungen bei der Durchführung des eigentlichen Experimentalprozesses anwesend sind. Das Gelingen der Vorbereitung steht und fällt mit dem Präparieren der bestimmenden notwendigen Bedingungen, den *Primärbedingungen* sowie der Kontrolle der begleitenden notwendigen Bedingungen und der begleitenden zufälligen Umstände, den *Sekundärbedingungen*. Dies bedeutet, dass die Primärbedingungen in ihrem Drang zum Dasein (je nach dem Gegenstand der Untersuchung) so gehemmt, zurückgehalten oder still gelegt werden müssen, dass eine präzise steuerbare *Aktivierung* jederzeit möglich ist. Darüber hinaus müssen die «störenden» Bedingungen, das heißt die Sekundärbedingungen, in ihrer Variation kontrolliert und gegebenenfalls gedämpft, abgeschirmt oder minimiert werden. Die übrigen begleitenden notwendigen Bedingungen sowie begleitenden zufälligen Umstände können ignoriert werden. Selbstverständlich ist die ganze Vorbereitungsphase wiederum ein in sich gegliederter komplexer Vorgang, der weiter unterteilt werden könnte in kleinere Experimente etc. Dies würde aber an den hier entwickelten begrifflichen Charakteristiken der wesentlichen Komponenten eines Experimentes nichts ändern, diese könnten auch auf die Teilprozesse der Vorbereitung angewendet werden.  
*Beispiel:* Die Vorbereitung und die eigentliche Aktivierung sowie der nachfolgend beschriebene Experimentalprozess können je nach Situation zeitlich und räumlich weit auseinander liegen. So braucht die experimentelle Untersuchung der Lichtverhältnisse in der Umgebung der Sonne bei einer Sonnenfinsternis eine lange Vorbereitungsphase, einschließlich einer Expedition, während die eigentliche Durchführung des Versuches höchstens wenige Minuten dauert.
- (3) Die Aktivierung des Versuchs besteht in der Auslösung der primären bestimmenden notwendigen und hinreichenden Bedingungen, das heißt der Primärbedingungen. Diese Auslösung geschieht nicht von selbst, sonst handelte es sich eben um kein naturwissenschaftliches Experiment, sondern um die Beobachtung eines unbeeinflussbaren zeitlichen Ablaufs von Naturprozessen. Des-

halb bedarf es zum Dasein der Auslösung, das heißt der Aktivierungsbedingungen eines unbedingten, also durch kein physisch-sinnliches Ereignis bedingten Vorganges, eines *Entschlusses* des experimentierenden Individuums. Dieser Vorgang, von der Initiierung (Ursache) bis zur Ausführung (Wirkung), ist eine echte Ursache-Wirkung-Beziehung. Die Wirkung fällt mit den Aktivierungsbedingungen, das heißt mit den Auslösefaktoren der primären bestimmenden Bedingungen, zusammen.

- (4) Bei dem eigentlichen *Aktivierungsvorgang* selbst kann es sich nur um ein einseitiges zeitliches Bedingung-Folge-Verhältnis handeln, da die Folge (das Eintreten der Primärbedingungen) vor dem Eintreten der Aktivierungsbedingungen per Konstruktion (Präparation) noch nicht präsent ist, also kein wechselseitiges Verhältnis vorhanden sein kann. Die *Aktivierungsbedingungen* sind die Wirkungen des Entschlusses (Ursache).  
Zusammenfassend gilt: *der Aktivierungsvorgang hebt das Experiment aus dem bloß ablaufenden Naturgeschehen heraus und macht es erst zu einem Ereignis, das allein auf den autonom handelnden Menschen zurückzuführen ist. Mit der Aktivierung steht und fällt das eigentliche Experiment.*
- (5) Die Phase des eigentlichen *Prozesses* und der *Folgen* des Experimentes beginnt mit dem Eintreten der Primärbedingungen als Folge der Auslösung (Aktivierungsbedingungen). Sie bringt nun gegebenenfalls ein komplexes Zusammenspiel verschiedenster Bedingung-Folge-Verhältnisse in Gang, deren Folgen wiederum Bedingungen weiterer solcher Vorgänge sind. Hier kommen prinzipiell alle Arten von Bedingung-Folge-Verhältnissen in Betracht. Der Prozess mündet in Ereignisse, welche die eigentlichen *Folgen* der Primär- und Sekundärbedingungen sind.
- (6) Der geregelte *Abschluss* eines naturwissenschaftlichen Experimentes bringt dieses zu einem bewusst gesteuerten Ende. (Falls der betrachtete Vorgang von alleine zu Ende geht, etwa vermöge Reibung, so gehört zumindest das Auf-, Um- oder Wegräumen zum Abschlussvorgang.) In der Regel werden hier Vorgänge aufgehalten und Bedingungen so geändert, dass gewisse Folgen nicht mehr eintreten. Kurz: Es geschehen eine ganze Menge von Eingriffen, die als unbedingte Ereignisse gekennzeichnet werden müssen, die also keine Folgen anderer Ereignisse der physisch-sinnlichen Ebene sind. Es handelt sich natürlich wiederum um Wirkungen von Entschlüssen des experimentierenden Individuums.
- (7) Nach Abschluss des Experimentes wird dessen Ergebnis, das heißt die präzise erfassten Bedingungen und Folge, festgehalten und mit den Ergebnissen aus anderen Experimenten zusammengehalten und verglichen. Die Integration des experimentell entwickelten Erkenntnisergebnisses in den bisherigen Erkenntnis- und Wissensstand bezüglich konditionaler Verhältnisse führt zu individuellen Einsichten in erweiterte Zusammenhänge sowie zu Ideen und Perspektiven für weitere Experimente.

**Naturwissenschaftliches Experiment:** Ein naturwissenschaftliches Experiment im Sinne einer willentlichen Realisierung eines Bedingung-Folge-Verhältnisses hat vom

Gesichtspunkt des experimentierenden Individuums aus sieben hauptsächliche Phasen: die *ideelle Konzeption* der Struktur des Experimentes, die *Vorbereitung* der Experimentalanordnung, den *Entschluss* zur Auslösung des Experimentes, die *Aktivierung* der Primärbedingungen, den *eigentlichen Prozess und die Folgen* des Experimentes, den *Abschluss* des Experimentes sowie die *Integration* des experimentellen Erkenntnisergebnisses in den bereits erarbeiteten Erkenntnisstand bezüglich konditionalen Verhältnissen. – Der Übergang zu einer Serie von Experimenten, zum Experimentieren, wird durch eine *Variation* der Experimentalbedingungen ermöglicht.

Zusammenfassend gilt: *In einem naturwissenschaftlichen Experiment wird ein Bedingung-Folge-Verhältnis auf der Grundlage autonomer Willensakte des experimentierenden Individuums realisiert.*

##### *5 Wiederholbarkeit von Experimenten und die Aktualität des Erkennens*

An ein naturwissenschaftliches Experiment kann die Forderung der Wiederholbarkeit gestellt werden. Dies bedeutet, dass die Bedingungen, unter welchen das Experiment durchgeführt wurde, sowie die dabei erzielten Resultate (Folgen) von dem experimentierenden Individuum *A* genau durchschaut und dementsprechend bekannt gegeben werden müssen, damit ein anderes experimentierendes Individuum *B* das Experiment wiederholen kann. Streng genommen handelt es sich bei einer solchen Wiederholung nicht um eine Bestätigung oder Absicherung der Erkenntnis für das Individuum *A*, denn dieses weiß bestenfalls ja, was es getan hat, sondern um eine aktuelle Bestätigung für Individuum *B* (und nicht Kontrolle für *A*), dass der von *A* im aktuellen Erkenntnisvorgang entwickelte und dann überlieferte Zusammenhang der Bedingungen und Folgen *tatsächlich* im vorliegenden Fall auch für *B* besteht. Für *B* ist dieser Zusammenhang nur dann *Erkenntnisinhalt*, wenn es das Experiment (nach-)vollzieht. Andernfalls kann es auf Treu und Glauben hin das schriftlich oder mündlich überlieferte Ergebnis für wahr halten, es einfach nur zur Kenntnis nehmen oder es rein gedanklich zu *verstehen* und in seine bereits vorhandenen Kenntnisse einzubetten versuchen.

Im Weiteren gehört zu einer sachgemäßen, das heißt den Fortschritt der Erkenntnis fördernden Wiederholung eines Experimentes die *Variation* von Bedingungen, um herauszufinden, aus welchem Umfeld von Bedingung-Folge-Verhältnissen die Bedingungen und Folgen des überlieferten Experimentes entnommen sind. Dies kann gegebenenfalls zu ganz neuen Zusammenhängen und Einsichten führen, die weit über die überlieferten Zusammenhänge hinausgehen.

Damit erweist sich die Forderung nach der Wiederholbarkeit für ein Experiment als äquivalent zur Forderung nach individuellem und vorurteilslosem Erkenntnisvollzug. Mit anderen Worten: die Forderung der Wiederholbarkeit ist keine Forderung an das Experiment, sondern an die individuelle Aktualität des Erkennens.

Hält man diese Einsicht mit dem Ergebnis der Untersuchungen des Abschnittes 4.3 zusammen, so ergibt sich die folgende Tatsache:

*Naturwissenschaftliches Experiment als vorurteilsloser Erkenntnisvollzug und individuelle Handlung: Naturwissenschaftliche Experimente beruhen im Idealfall*

*auf autonomer Motivbildung und freier Tat und damit einbergehender individueller Erkenntnis der in Gang gesetzten Folgen.*

### *Literatur*

- Buchwald, J. Z.* (Hg.) (1995): *Scientific Practice: Theories and Stories of doing Physics*. Chicago.
- Fisher, R. A.* (1926): The arrangement of field experiments. *Journal of the Ministry of Agriculture*, Band 33, S. 503–513.
- Fisher, R. A.* (1935): *The Design of Experiments*. London (New York, 12. Aufl. 1954).
- Dingler, H.* (1928): *Das Experiment: Sein Wesen und seine Geschichte*. München.
- Gooding D., Pinch, T., Schaffer, S.* (Hg.) (1989): *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*. Cambridge.
- Heidelberger, M., Steinle, F.* (Hg.) (1998): *Experimental Essays – Versuche zum Experiment*. Baden-Baden.
- Helmholtz, Hermann von* (1879): *Die Tatsachen in der Wahrnehmung*. Berlin (zitiert gemäß Nachdruck: Darmstadt 1959).
- Hon, G.* (1998): «If this be error»: Probing experiment with error. In: *Heidelberger/Steinle: Experimental Essays – Versuche zum Experiment*. Baden-Baden, S. 227–248.
- Hume, D.* (1888): *A Treatise of Human Nature*. Hg. von L. A. Selby-Bigge; zweite Aufl. hg. von P. H. Nidditch, Oxford 1978.
- Janich, P.* (1998): Was macht experimentelle Resultate empiriehaltig? Die methodisch-kulturalistische Theorie des Experimentes. In: *Heidelberger/Steinle: Experimental Essays – Versuche zum Experiment*. Baden-Baden, S. 93–112.
- Krüger, L.* (1992): Kausalität und Freiheit – Ein Beispiel für den Zusammenhang von Metaphysik und Lebenspraxis. *Neue Hefte für Philosophie*, Heft 32/33, S. 1–14.
- Mill, J. S.* (1868): *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive, Being a Connected View of the Principles of Evidence and the Methods of Scientific Investigation*, Bd. I. London (7. Aufl.).
- Raumsauer, C.* (1953): *Grundversuche der Physik in historischer Darstellung*. Erster Band: Von den Fallgesetzen bis zu den elektrischen Wellen. Berlin-Göttingen-Heidelberg.
- Steiner, R.* (1894/1918): *Die Philosophie der Freiheit*, Dornach, GA 4.
- Steinle, F.* (1997): Entering new fields: Exploratory uses of experimentation. *Philosophy of Science*, Bd. 64 (Supplement Proceedings), S65–S74.
- Steinle, F.* (1998): Exploratives vs. theoriebestimmtes Experimentieren: Ampères erste Arbeiten zum Elektromagnetismus. In: *Heidelberger/Steinle: Experimental Essays – Versuche zum Experiment*. Baden-Baden, S. 272–297.
- Steinle, F.* (2002): «Das nächste ans Nächste reihen»: Goethe, Newton und das Experiment. *Philosophia Naturalis*, Bd. 39 (1), S. 141–172.
- Theilmann, F.* (2001a): Druck und Fließen. *Erziehungskunst*, Bd. 65, Heft 7/8, S. 843–850.
- Theilmann, F.* (2001b): Auf Galileis Spuren? Physik treiben an der schiefen Ebene. *Lehrerrundbrief*, Nr. 72, S. 25–39.
- Ziegler, R.* (2003): Zufall und Freiheit im Kontext der Naturwissenschaften, Teil I: Kausalität und Konditionalität. *Elemente d. N.* 78, S. 178–193.

*Dr. Renatus Ziegler*  
*Gottbelfweg 4*  
*CH-4144 Arlesheim*  
*ziegler@hisica.ch*