

Wolfgang Bock (Hrsg.)

Gesetz und Gesetzlichkeit in den Wissenschaften



Wissenschaftliche Buchgesellschaft

Einbandgestaltung: Peter Lojse, Büttelborn.

INHALT

Vorwort.....	VII
<i>Heinz Wisnann</i> Der Begriff des Gesetzes bei Hesiod und den Vorsokratikern.....	1
<i>André Laks</i> Form und Inhalt des platonischen Gesetzes.....	11
<i>Albrecht Dihle</i> Gesetz, Gerechtigkeit und Billigkeit bei Aristoteles.....	23
<i>Wolfgang Bock</i> Das Gesetz in der griechischen Polis und der Ursprung des modernen Gesetzes im hohen Mittelalter.....	39
<i>Stephan Schaefer</i> Gesetz und neues Gesetz bei Thomas von Aquin.....	61
<i>Jürgen Hübner</i> Gesetz und Evangelium bei Luther.....	87
<i>Werner Flach</i> Wissenschaftstheorie als Transzendentalphilosophie.....	107
<i>Daniel Dohrn</i> Gesetz und Geltung in Fichtes Grundlagen des Naturrechts.....	119
<i>Thomas Fiegler</i> Das Gesetz der Gesellschaft.....	135

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig.
Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen,
Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in
und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

© 2006 by Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
Die Herausgabe des Werkes wurde durch
die Vereinsmitglieder der WBG ermöglicht.
Gedruckt auf säurefreiem und alterungsbeständigem Papier
Printed in Germany

Besuchen Sie uns im Internet: www.wbg-darmstadt.de

ISBN 3-534-18439-4

<i>Alexander Riebel</i>	
Die Konstitution der Wirklichkeit in den Wissenschaften.....	157
<i>Ion-Olimpiu Stamatescu</i>	
Vom Wesen physikalischer Gesetze.....	169
<i>Chris Lorenz</i>	
Geschichtswissenschaft und Gesetze: eine zwiespältige Geschichte.....	185
<i>Wolfgang Bock</i>	
Das Gesetz als praktischer Prüfstein juristischer Methodik?.....	199
<i>Heinz Dieter Kinstleiner</i>	
Gesetz und Konkurrenz.....	215
Personenregister.....	240

VORWORT

Der vorliegende Band ist das Zeugnis gemeinsamer, die wissenschaftlichen Disziplinen übergreifender Arbeit an Dimensionen des Gesetzes und der Gesetzlichkeit in den Wissenschaften. Hervorgegangen aus dem Seminar des Kollegiums der FEST (Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft e. V., Heidelberg) im Winter- und Sommersemester 2003/2004 haben zu ihm zahlreiche, teils der FEST seit langen Jahren eng verbundene Wissenschaftler mit Gastvorträgen beigetragen. In dankenswerter Weise haben sich im nachhinein zwei ursprünglich noch nicht beteiligte Wissenschaftler – *Heinz Dieter Kinstleiner*, Frankfurt (Oder) und *Alexander Riebel*, Würzburg – an den Perspektiven dieser Arbeit interessiert gezeigt und mit ihren Beiträgen noch bestehende Lücken geschlossen.

Jedoch hat die wissenschaftliche Moira einem derartigen, vergleichsweise kleinen Band mit einem so umfassenden Thema das Schicksal vorherbestimmt, es nicht annähernd erschöpfen zu können. Auch angesichts vorgegebener räumlicher Begrenzungen konnten an sich aus der Sicht des Herausgebers gebotene Themen nicht behandelt werden. Das gilt sowohl für die Erörterung der Stellung des Gesetzes im römischen und im kanonischen Recht als auch für die Frage nach der philosophischen und wissenschaftlichen Verwendung des Gesetzesbegriffs in der frühen Neuzeit sowie im 19. Jahrhundert, nicht zuletzt jedoch für die Erörterung eines der Zentralthemen der heutigen evangelischen Theologie: Evangelium und Gesetz. Die Liste wäre sicher leicht zu verlängern. Die Beteiligten haben, notwendiger Beschränkungen eingedenk, nur Streiflichter auf einige zentrale Weichenstellungen der Geschichte von Gesetz und Gesetzlichkeit und auf ihre systematische Stellung in einigen Wissenschaften geworfen.

Der Vorteil der immer noch seltenen, aber für Arbeiten aus der FEST charakteristischen Interdisziplinarität liegt darin, dass sich mehrere sowohl von den Erkenntnisinteressen einzelner Wissenschaftsdisziplinen als auch von Philosophie und Wissenschaftstheorie bestimmte rote Fäden durch die Beiträge ziehen. Das Zusammenspiel der Disziplinen der Philosophie, der Rechtswissenschaft, der Theologie, der Geschichte und anderer Sozialwissenschaften sowie der Physik lässt besonders die zwischen ihnen bestehenden Wechselwirkungen auf dem wissenschaftstheoretischen Feld hervortreten und bewirkt auf diese Weise Interdisziplinarität. Dass dabei die Philosophie unter verschiedenen Aspekten zum Hauptträger erkenntnistheoretischer und wissenschaftsmethodischer Einsichten geworden ist, verdankt sich nicht zuletzt der ihr zukommenden systematischen Stellung, sei es zwischen den Wissenschaften, sei es in wissenschaftstheoretischer Perspektive oder sei es als Agent methodenbewusster Reflexion des ein-zelwissenschaftlichen Vorgehens. Die gesamteuropäischen Möglichkeiten derartiger Zusammenarbeit scheinen bislang noch nicht in ausreichendem Maße genutzt zu werden. Thematisch umschreiben die Beiträge zwei größere Kreise:

gegengesetzten Methoden geben kann – die Methoden für die Erkenntnis von Natur und Kultur. Die Begründung des Begriffs der Methode konnte wiederum nur gelingen, weil *Rickert* zwischen Logik und Methode unterschieden hat. Denn die Logik stellte die Untersuchung des Modells des theoretischen Gegenstands überhaupt voran, die darüber Aufschluss gab, dass die Korrelation von logischen und alogischen Momenten in jedem theoretischen Gedanken grundlegend ist. Dass Begriffsbildung selbst ein Umbilden des Gegebenen ist, wird durch die Stufung der Prinzipien sowie durch ihren formalen Charakter bedingt. So konnte schließlich gezeigt werden, dass Gesetzesbegriffe dadurch charakterisiert sind, dass sie die Wirklichkeit nicht konstituieren, sondern umformen, was von erheblicher Bedeutung für das Verständnis des Unterschieds von philosophischer und einzelwissenschaftlicher Begriffsbildung ist. Was aber bedeutet „umformen“? Für *Rickert* ist die Bearbeitung des empirisch Wirklichen die „gültige Auswahl des Wesentlichen und die Zusammenfassung des Zusammengehörigen in einer begrifflichen Darstellung des Wirklichen durch die Wissenschaft“ jeweils unter einem theoretischen Gesichtspunkt und in einer spezifischen Richtung.³⁰ In Bezug auf den Gesetzesbegriff heißt dies, dass dieser als eine funktionale Beziehung zu verstehen ist und somit in seiner Herkunft vom mathematischen Funktionsbegriff unabhängig vom Kausalitätsbegriff ist. Dies zeigt sich auch an *Rickerts* Unterscheidung des Kausalbegriffs in den Natur- und in den Geisteswissenschaften.³¹

ION-OLIMPIU STAMATESCU

Vom Wesen physikalischer Gesetze

Richard Feynman, einer der führenden theoretischen Physiker seiner Zeit, veröffentlicht 1967 ein Buch mit dem Titel „The Character of Physical Law“.¹ Die deutsche Übersetzung des Buchs trägt den Titel „Vom Wesen physikalischer Gesetze“.² Die durch diese Übersetzung erzeugte Zweideutigkeit weist schon auf die in Frage stehende Problematik hin. Was sind physikalische Gesetze, was ist ihre Eigenart, was ist ihr Wesen?

Es gibt viele exzellente Darstellungen der historischen Entwicklung physikalischer Theorien.³ Derartige Einblicke in den realen Forschungsprozess zeigen zugleich seine Historizität und seine Eindeutigkeit. Man kann verfolgen, wie empirische Beobachtungen und Befunde einerseits sowie theoretische Hypothesen und Analysen andererseits sich miteinander verzahnt entwickeln und wie durch das Herausfiltern kontingenter Aspekte eine eindeutige konzeptuelle Struktur aufgebaut werden kann.

Die physikalische Forschung zielt auf Theorien (*Georges Duhem*) oder abgeschlossene konzeptuelle Systeme (*Werner Heisenberg*). Dabei wäre über diese (konzeptuelle, mathematische, empirische) Abgeschlossenheit noch vieles zu sagen. In einem engeren Sinne verstanden sind physikalische Gesetze zwar Teile von Theorien; sie haben aber eine bestimmte Eigenständigkeit, die sich auch dadurch zeigt, dass sie häufig vor der Entwicklung einer Theorie aufgestellt werden – so das *Coulombsche* Gesetz, das *Plancksche* Strahlungsgesetz etc. In der Tat tragen sie zur Entwicklung der Theorien bei, in die sie schließlich aufgenommen werden.

Das Feststellen physikalischer Gesetze ist ein kreativer, aber kein willkürlicher, sondern ein unter dem Anspruch empirischer und theoretischer Konsistenz stehender Prozess. In gewissem Sinne könnte man sagen, dass wir dadurch versuchen, die Regularitäten und Zusammenhänge, die wir in der Natur beobachten, in unsere Sprache, die die Mathematik mit einbezieht, zu übersetzen. Naturgesetze sind Teil eines Netzes konzeptueller Zusammenhänge und insofern an deren Aufbau beteiligt. Die Erörterung ihrer Natur wird daher allgemeine Fragen der physikalischen Erkenntnis mit einbeziehen. Nachfolgend werden sechs Themen im Mittelpunkt stehen: der Charakter physikalischer Gesetze (I.), die Frage der Kausalität (II.), die Frage der Induktion (III.), das allgemeine Kausal-

¹ *Richard P. Feynman*, *The Character of Physical Law*, Cambridge (MA) 1967.

² *Richard P. Feynman*, *Vom Wesen physikalischer Gesetze*, Frankfurt am Main 1990.

³ Für Bibliographien siehe z. B. *Stephen G. Brush*, *The history of Modern Physics*, New York 1983; *Roderick W. Home*, *The History of Classical Physics*, New York 1984; *Robert S. Cohen* (Hg.), *Physical Sciences and History of Physics*, Dordrecht 1984.

³⁰ Vgl. *Rickert*, 218.

³¹ Vgl. *Flachh*, *Grundzüge der Erkenntnistheorie – Erkenntnistheorie, Logik, Methodenlehre*, aao., 671–674.

prinzip (IV.), Aspekte der aktuellen Diskussion (V.) und das Wesen physikalischer Gesetze (VI.).

I. Der Charakter physikalischer Gesetze

In seinem Buch beschreibt Feynman als erstes das Gravitationsgesetz, das zugleich als fundamentales und einfaches „Schubbeispiel“ dient. Das Gravitationsgesetz besagt: Je zwei Körper ziehen sich an, und zwar mit einer Kraft K , die proportional zum Produkt ihrer Massen (M, m) und umgekehrt proportional zum Quadrat ihres Abstandes R ist:

$$K = G \frac{Mm}{R^2}$$

Der Proportionalitätsfaktor G (die Gravitationskonstante) ist keine reine Zahl, sondern hat die Einheit einer Fläche (Länge im Quadrat). Verglichen mit gewöhnlichen Skalen ist er sehr klein: etwa (10^{-32} cm^2) . Das weist darauf hin, dass die Gravitation eine sehr schwache Kraft ist, die nur beim Vorhandensein großer Massen wichtig wird. Es ist eine Besonderheit der Gravitationskraft, dass sie immer anziehend wirkt; daher gibt es auch keine Abschirmung vor ihr wie etwa vor elektromagnetischen Kräften.

Kurz umrissen, verläuft die Geschichte des Gravitationsgesetzes von der Astronomie zur Physik folgendermaßen. Zuerst finden wir nur eine Zusammenfassung der Beobachtungen in adäquater Form („Kinematik“):

- Geozentrische und heliozentrische Systeme (*Aristarchos*, 3. Jh. v. C.; *Ptolemaios*, 2. Jh. v. C.; *Kopernikus*, 14. Jh.) werden im Umfeld der griechischen Naturphilosophie und der mittelalterlichen, arabischen und indischen Mathematik zur Beschreibung der himmlischen Beobachtungen entwickelt.
- *Tycho Brahe* führt im 16. Jh. Messungen durch und entscheidet sich nach einer Bewertung der verschiedenen Hypothesen für das heliozentrische System.
- Ebenfalls im 16. Jh. kann schon *Johannes Kepler* die Bahnen der Himmelskörper als Ellipsen präziser beschreiben; er stellt die nach ihm benannten „*Keplerschen Gesetze*“ für diese Bahnen auf.

Als zweiter Schritt folgt die Rückführung auf Ursachen („Dynamik“):

- Nachdem *Galileo Galilei* im 17. Jh. das Trägheitsgesetz, die Relativität der Bewegung und die Beschleunigung untersucht hat, führt *Isaac Newton* die Gesetze der Dynamik ein und stellt fest, dass eine Änderung der Geschwindigkeit und ihrer Richtung nur von einer Kraft bewirkt werden kann.

– Unter Einsatz der Infinitesimalrechnung können dann sowohl *Newton* als auch *Leibniz* die Kreisbewegung mit Hilfe der Gravitationskraft erklären: Der Mond fällt in Richtung Erde und läuft gleichzeitig gemäß seiner Trägheit seitlich, so-

dass sich seine Bahn krümmt und die Kreisbahn um die Erde herum entsteht. Das wird aber nicht nur plausibel gemacht, sondern auch genau berechnet, dabei werden auch alle anderen möglichen Bahnen (Ellipsen, Parabeln, Hyperbeln) gefunden.

Festzuhalten bleibt in diesem Zusammenhang: Das Gravitationsgesetz wird im Rahmen der Gesamtentwicklung der Mechanik begründet. Die Entwicklung folgt dem Weg vom „wie“ (Kinematik) zum „warum“ (Dynamik). Erst so kommt es zur entscheidenden Reduktion, der Rückführung vieler Erscheinungen auf wenige Ursachen. Allerdings ist die Reduktion nicht sofort abgeschlossen. Sie führt über verschiedene Fragen: *Wie* bewegen sich die Planeten? Auf geschlossenen, elliptischen Bahnen. *Warum* auf solchen Bahnen? Als Folge der Gravitationskraft. *Wie* kommt die Kraft zustande? Diese Frage bleibt zuerst offen. Einmal etabliert kann schließlich das Gravitationsgesetz viele weitere Phänomene erklären: alle Planetenbahnen, die Gezeiten, die Fallgesetze, die Bildung von Sternen und Galaxien usw.

Ein Naturgesetz wird mit Hilfe von „Symbolen“ ausgedrückt, mit Zeichen, die selbst „Knoten“ in einem Netz von Beziehungen („horizontal“: zwischen den Symbolen oder Konzepten) und Referenzen („vertikal“: des Bezugs von Symbolen oder Konzepten auf Gegenstände) sind.

Diesen symbolischen Charakter physikalischer Erkenntnis haben unter anderen *Helmholtz*, *Hertz*, *Duham* und *Ernst Cassirer* angesprochen. Sie bleibt ein aktuelles Thema.⁴ *Heinrich Hertz* hat vielleicht am präzisesten sowohl den Referenzaspekt als auch den Beziehungsaspekt bezeichnet: „Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denkbaren Folgen der Bilder stets wieder Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.“⁵

Nehmen wir zum Beispiel das Gravitationsgesetz: Es stellt Masse, Abstand und Anziehungskraft von Körpern zueinander in Beziehung. Der Abstand ist einerseits direkt messbar, also mit Beobachtungen verknüpfbar, andererseits ist er als Eigenschaft des Raumes in eine konzeptuelle Beziehungsstruktur eingebunden; das zeigt beispielsweise die Euklidische Geometrie. Für die Massen ist die Referenz mittelbar, wir müssen weiteren Beziehungen heranziehen, um auf den so „abgebildeten Gegenstand“ Masse, der am Ende dieser Kette von Verknüpfungen steht, zu kommen: Trägheitsgesetz, Stoßgesetze (unter Einbeziehung des Galileischen Äquivalenzprinzips) oder Gewicht- und Federkraft, die selbst Spezialfälle einer Kraft sind. Schließlich wird die Gravitationskraft selbst erst durch das Gesetz definiert. Haben wir nun das Gravitationsgesetz aufgestellt, können wir z. B. Planetenbahnen als „denknotwendige Folgen“ errechnen, die selbst

⁴ Siehe z. B. *Massimo Ferrari/Ion-Olimpiu Stamatescu* (Hg.), *Symbol and Physical Knowledge*, Heidelberg/New York 2002.

⁵ *Heinrich Hertz*, *Die Prinzipien der Mechanik*, Leipzig 1894, 1.

dann wieder als „Bilder von naturnotwendigen Folgen“ zu betrachten sind und mit Beobachtungen verglichen werden können.

Eine zentrale Rolle spielt die Mathematik. Exakte Berechnungen finden sich bei *Tycho Brahe*, geometrische Zusammenhänge bei *Kepler*. Weiter bedarf es analytischer Methoden wie der Infinitesimalrechnung und adäquater Symbole und Strukturen (Raum-Zeit-Struktur und ähnliches). Die Mathematik ist zugleich Sprache und Logik; sie erlaubt kontrollierte Schlussfolgerungen: „[...] denn Mathematik ist eben nicht allein eine andere Sprache, Mathematik ist eine Sprache plus Schlussfolgerungen; sie ist gleichsam eine Sprache plus Logik. [...] Sie ist eine gewaltige Sammlung logischer Denkstrukturen. Mit ihrer Hilfe kann man eine Aussage in Beziehung zu einer anderen setzen.“⁶ Eben so wichtig: Die Mathematik erlaubt Verallgemeinerungen: „Ziel der Mathematiker ist, ihre Schlüsse so allgemein wie möglich zu halten. Sage ich zu ihnen: ‚Ich möchte über den ganz gewöhnlichen dreidimensionalen Raum reden‘, erwidern sie: ‚Bitte sehr, hier haben wir die Theoreme über einen Raum von n Dimensionen.‘ ‚Aber‘, wende ich ein, ‚ich brauche doch nur den Fall 3.‘ ‚Nun‘, entgegnen sie, ‚dann setzen Sie eben $n = 3$.‘⁷ So zeigt sich, daß viele ihrer komplizierten Theoreme wesentlich einfacher werden, sobald sie auf einen speziellen Fall angewendet werden. Der Physiker ist stets am speziellen Fall interessiert; der All-gemeinfall läßt ihn kalt. Er redet ganz konkret über eine Sache und nicht abstrakt über alles Mögliche. Er möchte über das Gravitationsgesetz in drei Dimensionen reden, nicht über eine x -beliebige Kraft im Falle von n Dimensionen. Also muß er die Lösungen bis zu einem gewissen Grad reduzieren, die vom Mathematiker ja für einen weiteren Problembereich ausgelegt worden sind – was sich im Endeffekt als sehr nützlich erweist, denn über kurz oder lang kommt der arme Physiker doch stets angekröhen: ‚Verzeihen Sie, daß ich damals nichts von Ihren vier Dimensionen wissen wollte [...]‘.⁸

Naturgesetze zeichnen sich durch ihren hypothetischen Charakter und durch Universalität aus. Ihr hypothetischer Charakter bildet die Grundlage des wissenschaftlichen Vorgehens, sowohl beim Begründen eines Gesetzes als auch bei der Fortentwicklung von Theorien. Hypothesen dürfen keinen reinen Ad-hoc-Charakter haben: Sie müssen eine genuine Reduktion erlauben und alle in ihrem Rahmen einschlägigen Phänomene korrekt erklären.⁹

Schon nach *Aristoteles*, „meinen wir, etwas zu wissen, wenn wir glauben, obwohl die Ursache zu kennen, aufgrund derer ein Ding ist (und zu wissen, daß diese seine Ursache ist), als auch, daß es nicht anders sein kann.“⁹ Notwendigkeit und Universalität sind primäre erkenntnistheoretische Forderungen, die Wissen vor Willkürlichkeit schützen und nachprüfbar machen. Das ermöglicht

⁶ *Feynman*, aao., 73.

⁷ Ebd.

⁸ Ein Beispiel bei *Feynman*, aao., 51f.

⁹ *Aristoteles*, *Analytica posteriora* 12, 71b

auch den Fortschritt in der Wissenschaft. Nur wenn wir die gebildeten Gesetze ernst nehmen, lassen sich aus ihren möglichen Unstimmigkeiten Schlussfolgerungen ziehen. So verlangen wir, dass das Gravitationsgesetz auf die Galaxien anwendbar ist. Aus der mangelnden Übereinstimmung der Beobachtung mit dieser Forderung schließen wir, dass es außer der sichtbaren Materie auch „dunkle Materie“ geben muss. Denn die Gravitationskraft zwischen den Sternen reicht sonst nicht aus, um ihre Bewegungen zu erklären.

Die Notwendigkeit und der hypothetische Charakter von Naturgesetzen sind miteinander verbunden. Die Hypothese erhält durch das Gebot der Notwendigkeit Kraft; der hypothetische Charakter verhindert, dass die Notwendigkeit in Dogmatismus umschlägt. Willkürliche, also Ad-hoc-Einschränkungen der Universalität sind mit dem Vorhandensein eines Naturgesetzes nicht verträglich. Sie weisen darauf hin, dass möglicherweise eine andere Hypothese erforderlich ist.

Zu guter Letzt ist festzuhalten, dass gemeinsam mit der Aussage „die Körper ziehen sich an“ fast zwangsläufig der Begriff der „Gravitationskraft“ als neues Konzept entsteht; dieser entspricht aber nicht unmittelbar einer Beobachtung.

II. Die Frage der Kausalität

Determiniertheit und Zufall werden seit alter Zeit einander entgegengesetzt. Vorwiegend wird der Zufall entweder als nur scheinbar bestehend angesehen, da noch Unwissen vorherrsche, oder ihm wird die Verneinung jeder Erkenntnis-möglichkeit zugeschrieben. So bei *Aristoteles*: „Und daß es kein Wissen vom Akzidentellen geben kann, ist klar; denn alles Wissen handelt von dem, was immer oder doch meistens zutrifft (denn wie könnte man es sonst lernen oder es einem anderen lehren?).“¹⁰ Der Determinismus ist die Grundlage des klassischen physikalischen Weltbildes. Dem entspricht die Vorstellung einer vollständigen, prästabilierten Ordnung bei *Leibniz*.

Es lassen sich drei Stufen der Behandlung der Kausalitätsfrage in der Physik unterscheiden: In der klassischen Mechanik finden wir Kausalität in Raum und Zeit und damit einen vollkommenen Determinismus. In der klassischen Statistischen Mechanik erscheint der Zufall auf einer grundlegenden Stufe – molekularer Chaos-Hypothese, wodurch das Entropiegesetz bewiesen werden kann –, ist jedoch selbst nicht fundamentaler Natur. Er entsteht „de facto“ durch die große Anzahl der Faktoren. In der Quantentheorie ist der Zufall dagegen fundamentaler Natur; man kann etwa für das Ereignis „dieses Atom ist soeben zerfallen“ keinen ausreichenden Grund geben (so *Werner Heisenberg*); somit haben wir keine gesicherte Kausalität in Raum und Zeit.

¹⁰ *Aristoteles*, *Metaphysica* IV 2, 1027a.

Erwin Schrödinger erörtert diese Problematik 1929¹¹ und spricht dabei die Wandlung des Gesetzeskonzepts von der klassischen Physik bis hin zur Quantentheorie an: In der klassischen Physik gilt das allgemeine Kausalitätspostulat, und das klassische Naturgesetz ist „eine mit genügender Sicherheit festgestellte Regelmäßigkeit im Erscheinungsablauf, *sofern sie als notwendig im Sinne des oben genannten Postulats gedacht wird*“.¹² Dieser Vorstellung wird schon in der Statistischen Mechanik und dann erst recht in der Quantenmechanik widersprochen: Die Gesetze der Thermodynamik und der Statistischen Mechanik basieren auf der großen Anzahl von Molekülen und ihrer Freiheitsgrade und werden daher zunehmend unpräzise, wenn diese Anzahl verringert wird.¹³ Die Gesetze der klassischen Elektrodynamik sind zwar völlig deterministisch, die Theorie zeigt aber innere Widersprüche (etwa die unendliche elektromagnetische Masse des Elektrons), deren Lösung möglicherweise fundamentalere, statistische Gesetze verlangt¹⁴, in der Tat kann erst die Quantentheorie der Elektrodynamik in einem bestimmten Sinn eine Lösung dieser Widersprüche erreichen. Die Gesetze der Quantenmechanik haben grundsätzlich statistischen Charakter. Schrödinger folgert daher: Naturgesetze könnten im allgemeinen einen fundamental statistischen Charakter haben; Zufall ist dann die Grundlage der Ereignisse; Gesetze entstehen gleichsam nur „im Mittel“.¹⁵

Auch die Antrittsrede von Schrödinger in der Preußischen Akademie der Wissenschaften im Jahr 1929 und die Erwidernung von Max Planck als deren Sekretär berühren unsere Thematik: Schrödinger sieht eine „der brennendsten Fragen, die uns [...] heute beschäftigen“. „Es ist die Frage nach der Zweckmäßigkeit des unverbrüchlichen Postulates der Kausalität.“¹⁶ Diese Frage habe sich schon in der Statistischen Mechanik gestellt, werde aber erst für die Quantenmechanik grundlegend: „Praktisch hatte man auf die Kausalität schon im Rahmen der klassisch-mechanischen Naturerklärung verzichten müssen. [...] Aber [diese] Wahrscheinlichkeitsauffassung der Naturgesetze [...] verstößt noch nicht wirklich gegen das Kausalitätspostulat. Die Unbestimmtheit entspringt dabei nur aus der praktischen Unmöglichkeit, den Anfangszustand eines aus Billionen von Atomen zusammengesetzten Körpers genau festzustellen. Heute dagegen werden Zweifel an der eindeutigen Bestimmtheit des Naturgeschehens in ganz anderem Sinne laut. Die Schwierigkeit bei der Festlegung des Anfangszustandes soll nicht nur eine praktische, sondern eine prinzipielle sein, sie soll nicht nur für ein kompliziertes Gebilde, sondern schon für das einzelne Atom oder Mole-

kül vorliegen. Da das prinzipiell nicht Beobachtbare für den Naturforscher als Naturforscher nicht existiert, ist der Sinn dieser Meinung: schon der Zustand des Elementargebildes liegt nicht in solcher Weise fest, daß eine ganz bestimmte Einwirkung ein ganz bestimmtes Verhalten des Gebildes nach sich zieht.“¹⁷ Allerdings sagt Schrödinger in leicht positivistischer Andeutung, dies sei eher eine Frage der Zweckmäßigkeit unserer Einstellung: „Es sind wohl kaum Erfahrungstatsachen denkbar, welche eindeutig darüber entscheiden, ob das Naturgeschehen in Wirklichkeit absolut determiniert oder partiell unbestimmt ist, sondern höchstens darüber, ob die eine oder die andere Auffassung einen einfacheren Überblick über das Beobachtete erlaubt.“¹⁸

In seiner Erwidernung präzisiert Planck noch einmal die Reichweite der Frage da, „wir es ja hier mit einer Angelegenheit zu tun haben, die nicht allein die Physik angeht, und die, wenn sie nicht von der Physik befriedigend erledigt wird, sich weit über deren Grenze hinaus vielleicht recht verhängnisvoll auswirken könnte“.¹⁹ Er erkennt den Gesichtspunkt der Zweckmäßigkeit der Beschreibung an, fragt aber nach den Grundlagen der physikalischen Erkenntnis: „Zunächst stimme ich Ihnen darin völlig bei, daß diese Frage im Grunde eine Frage der Zweckmäßigkeit ist. Denn eine jede physikalische Theorie ist ein Gerüst, das sich der Geist des Forschers nach freiem Ermessen [...] zurechtzimmert, und wenn dasselbe seinen Zweck, ein möglichst getreues Abbild der Natur vorzustellen, auch noch so gut erfüllt, so wird man doch niemals beweisen können, daß es keiner Verbesserung fähig wäre. Aber das Gerüst bedarf auf jeden Fall eines festen Grundes, wenn es nicht in der Luft stehen soll, und wenn das Postulat der unverbrüchlichen Kausalität sich nicht mehr wie bisher als Grundlage eignen sollte, so liegt doch zunächst einmal die Gegenfrage nahe, was denn nun für die, akausale²⁰ Physik als Grundlage eingeführt werden soll.“

Obwohl Planck mit der Einführung der Phasenraumquantisierung („Planck-Konstante“²¹) entscheidend zur Quantentheorie beigetragen hat, trägt er – wie auch Albert Einstein²¹ – deren eigentliche Herausforderung nicht mit. In seiner Erwidernung unterscheidet Planck nicht klar zwischen praktischen und prinzipiellen Unmöglichkeiten der Festlegung eines Zustandes. Trotzdem kommt er auf den wichtigsten Punkt: „Und jetzt komme ich mit meinem letzten und stärksten Argument. [...] Hier kann ich mich angenehmerweise auf ein einziges glänzendes Beispiel beschränken, nämlich auf die Resultate Ihrer eigenen Arbeiten. Denn Sie sind es gewesen, der zuerst gezeigt hat, wie die räumzeitlichen Vorgänge in einem atomaren Gebilde in der Tat vollständig determiniert werden

¹¹ Erwin Schrödinger, Was ist ein Naturgesetz? (1929), in: ders., Gesammelte Abhandlungen, Bd. IV, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien 1984.

¹² Schrödinger, aao., 295.

¹³ aao., 296.

¹⁴ aao., 297.

¹⁵ Ebd.

¹⁶ aao., 304.

¹⁷ Ebd.

¹⁸ Ebd.

¹⁹ Max Planck, aao., 306.

²⁰ Ebd.

²¹ Entsprechend will auch die berühmte Arbeit von Einstein, Podolsky, und Rosen von 1935 zeigen, dass die Quantenmechanik keine vollständige Theorie sein kann.

können, allerdings nur unter der Voraussetzung, daß man als Elemente derselben nicht wie bisher die Bewegungen der Massenpunkte, sondern die Materiewellen ansieht, und wie die rätselhaften diskreten Eigenwerte der Energie des Gebildes mit absoluter Genauigkeit aus den von Ihnen aufgestellten Differentialgleichungen zusätzlich der natürlichen Randbedingungen sich berechnen lassen, wobei die Frage nach dem physikalischen Sinn der Materiewellen zunächst noch ganz offen bleiben kann.²²

In einer Vorlesung aus dem Jahr 1929 formuliert *Werner Heisenberg* diesen Sachverhalt so²³: Kausalität gibt es in dem Sinne, „daß ein mathematisches Schema der Quantentheorie existiert“, nur kann dieses Schema „nicht als einfache Verknüpfung von Dingen in Raum und Zeit“ interpretiert werden.²⁴ So wird die Frage der Gesetzmäßigkeit von der der raumzeitlichen Beschreibbarkeit gelöst; die Frage des Kausalprinzips überschreitet den Kreis der raum-zeitlichen Verursachung. Das Kausalprinzip in diesem allgemeinen Sinne bleibt in der Tat die Grundlage unserer Kenntnisse über die Natur und damit auch der Naturgesetze.

III. Die Frage der Induktion und die „Befestigung unseres Wissens“

Das von *David Hume* begründete Modell der Erfahrung und der erkenntnistheoretischen Skepsis beinhaltet drei Aussagen: Erstens gilt die Skepsis der Annahme, Ereignisse seien kausal miteinander verbunden. Zweitens wird damit eine Kritik der Induktion verbunden. Drittens weist *Hume* darauf hin, dass wir Kausalität als solche – gleichsam ihrem Wesen nach – nie beobachten können. Die Fragen der Kausalität und der Induktion sind eng miteinander verbunden. Sie enden gewissermaßen in der Frage nach der Befestigung unseres Wissens. In der Wissenschaftslehre haben besonders *Immanuel Kant* und *Karl Popper* interessante Antworten entwickelt, die hier exemplarisch erwähnt werden sollen.²⁵

Der *Kantsche* Ansatz rekurriert auf die Eigenschaften unseres Verstandes. Sehr vereinfacht gesagt, sind die von uns erstellten Gesetze kausal, weil wir

²² A&O, 307.

²³ *Werner Heisenberg*, Physikalische Prinzipien der Quantentheorie, Mannheim 1958.

²⁴ Kausalität als Bedingung für raum-zeitliche Entwicklungen gilt weiterhin im Sinne der Relativitätstheorie als das Verbot, Kommunikation über raumartige Abstände (mit Überlichtgeschwindigkeit) zu erreichen. Das impliziert eine Lokalität von Wechselwirkungen: also keine Fernwirkung! – eine Forderung, die allerdings erst von der Quantenfeldtheorie erfüllt wird. Kausalität im Sinne einer deterministischen Entwicklung aller messbaren Eigenschaften gibt es nicht; damit existieren prinzipiell auch keine festgelegten Teilchenbahnen. Sowohl *Planck* als auch *Einstein* empfanden diesen indeterministischen Charakter nie als zufriedenstellend.

²⁵ Für den u. a. von *Werner Flach* entwickelten Ansatz ist zu verweisen auf den in diesem Band veröffentlichten Beitrag sowie auf *dens*, Grundzüge der Erkenntnistheorie. Erkenntnistheorie, Logik, Methodologie, Würzburg 1994 (Anmerkung des Hg.).

kausal denken. Das konstitutive Apriori war immer ein Problem für die Rezeption des *Kantschen* Ansatzes in den Naturwissenschaften. Am Beispiel der Raum-Zeit-Kausalität: Wenn wir nur kausal denken können, wie können wir dann Theorien mit fundamentalen statistischen Gesetzen zur Beschreibung nichtkausaler Vorgänge entwickeln und ernst nehmen (Quantentheorie)? Ähnlich verhält es sich mit der raumzeitlichen Struktur, die nicht-euklidisch sein kann. *Hans Reichenbach* sieht in *Kants* Apriori lediglich eine „canonization of common-sense“.²⁶ Es werden unterschiedliche Lösungen dieses Problems angeboten. So interpretiert *Heimholz* die Formen der Anschauung als nur allgemeine Ordnungen des Neben- und Nacheinanders; allerdings sind diese Ordnungen nicht durchgängig durchzuhalten, da Simultaneität zum Beispiel nicht eindeutig ist, was sich an *Einsteins* Spezieller Relativitätstheorie zeigt. *Ernst Cassirer* rettet zwar das allgemeine Kausalprinzip; dies geschieht aber auf Kosten der Anschauung.

Nach *Karl Popper* können wir weder außerhalb von uns noch in uns eine absolute Befestigung unseres Wissens finden. Wir benötigen aber auch keine: Wir bilden falsifizierbare Hypothesen und vertrauen diesen um so mehr, je besser sie bestimmte Kriterien erfüllen (empirische Adäquatheit, innere Konsistenz, Verträglichkeit mit anderen Hypothesen). Das entspricht weitgehend der normalen Prozedur in den Naturwissenschaften: So gibt es kein Naturgesetz, das nicht immer wieder auf Abweichungen, Erweiterungen oder Präzisierungen geprüft wird.²⁷

IV. Das allgemeine Kausalprinzip

Das allgemeine Kausalprinzip ist ein Grundthema der Wissenschaftsphilosophie. Sehr gut beleuchtet die Problematik *Ernst Cassirer*.²⁸ Er ordnet die Grundtypen physikalischer Aussagen in eine Hierarchie, beginnend bei den Maßausagen über die Gesetzesausagen bis hin zu den Prinzipienausagen; diese Hierarchie gipfelt im allgemeinen Kausalsatz. Unter Berufung auf *Bertrand Russells* „Typentheorie“ betont *Cassirer* die begrifflichen Sprünge zwischen den verschiedenen Klassen.²⁹ Schon die Maßausagen enthalten eine Verdichtung von Erkenntnissen und sind selbst theoretisch geformt. Die Gesetzesausagen sind generell; sie stellen gegenüber den Maßausagen einen Sprung

²⁶ *Hans Reichenbach*, The Theory of Relativity and A Priori Knowledge, Berkeley 1965, 73.

²⁷ So werden zur Zeit in Reaktion auf die Fragen der dunklen Materie auch Experimente zum Gravitationsgesetz durchgeführt.

²⁸ *Ernst Cassirer*, Zur modernen Physik (1935), Darmstadt 1987.

²⁹ Da er allerdings an der physikalischen Urteilsbildung und nicht an der physikalischen Begriffsbildung selbst interessiert ist, bespricht *Cassirer* die letztere nur kurz und verweist unter anderem auf *Rudolph Carnap* und *Hermann Weyl*.

dar, denn sie formen das „hier – so“ in ein „wenn – so“, um³⁰ Schließlich sind die Prinzipien-Aussagen universell: Sie geben eine Orientierungshilfe bei der Suche nach Gesetzen; für ihre Aufstellung spielt die Heuristik eine große Rolle. Die unterschiedlichen Charaktere und Rollen dieser drei Klassen von Aussagen sowie die zwischen ihnen liegenden „Erkenntnisbrünge“ bezeugen nach *Cassirer* das Wirken einer „geistigen Energie“.³¹

Waren jedoch all diese Aussagen letzten Endes noch empirisch begründet, so ist der nächste Schritt hin zum allgemeinen Kausalsatz, „ein Sprung ins Nichts“. Er „kann nur als ‚transzendente Aussage‘ verstanden werden, die sich nicht sowohl auf Gegenstände als vielmehr auf unsere Erkenntnis von Gegenständen überhaupt bezieht“.³² „Das Suchen nach immer allgemeineren Gesetzen ist ein Grundzug, ein regulatives Prinzip unseres Denkens. Eben dieses regulative Prinzip, und nichts anderes, ist das, was wir Kausalgesetz nennen. In diesem Sinne ist es ein a priori gegebenes, ein transzendentales Gesetz: denn ein Beweis desselben aus der Erfahrung ist nicht möglich. Aber auf der anderen Seite gilt, daß wir für seine Anwendbarkeit keine andere Bürgschaft als seinen Erfolg haben. Wir könnten in einer Welt leben, in der jedes Atom von jedem anderen verschieden wäre; in ihr wäre keinerlei Regelmäßigkeit zu finden und unsere Denkfähigkeit müßte ruhen. Aber der Forscher rechnet nicht mit einer solchen Welt; er vertraut auf die Begreifbarkeit der Naturscheinungen, und jeder einzelne Induktionsschluß wäre hinfällig, wenn ihm nicht dieses allgemeine Vertrauen zugrunde läge. ‚Hier gilt nur der eine Rat: Vertraue und handle! – das Unzulängliche wird dann Ereignis‘.“³³

Mit *Cassirer* ist also zu vermerken: Die empirische Validität ergibt sich aus dem Erfolg des einen methodischen Postulat folgenden wissenschaftlichen Vorgehens; Grundlage dessen ist eine fundamentale Übereinstimmung zwischen uns und der Welt. *Cassirer* fragt nun, ob das Kausalitätspostulat noch gilt oder ob es von der modernen Physik mit Erfolg angegriffen wird. Er stellt diese Frage unter einem doppelten Aspekt: erstens unter dem der logischen Vereinbarkeit von Kausalität und Wahrscheinlichkeit und zweitens unter dem der Anwendbarkeit des Kausalsatzes, die es ermöglicht, „Erscheinungen zu buchstabieren, um sie als Erfahrungen lesen zu können“.³⁴

Zum ersten Punkt verweist *Cassirer* wie schon die Quantentheoretiker darauf, dass schon die klassische Physik ein Konzept von Wahrscheinlichkeit kennt

³⁰ *Cassirer* zitiert den Physiker *Maxwell*, der in diesem Übergang den „wesentlichen Sinn und den Gehalt des allgemeinen Kausalprinzips“ stellt.

³¹ *Cassirer*, aO., 191.

³² AaO., 195.

³³ AaO., 200. *Cassirer* paraphrasiert und zitiert hier *Hermann von Helmholtz*, Handbuch der Physiologischen Optik, 2. Aufl., Hamburg/Leipzig 1896, II, 591 ff. (mit Anleihe von *Goethe* – Faust II, Epilog, leicht verändert).

³⁴ *Cassirer*, aO., 151 (unter Hinweis auf *Immanuel Kant*).

– zum Beispiel im Zusammenhang des Entropiegesetzes, das bekanntlich auf dem *Boltzmannschen* „Stoßzahlgesetz“, also auf einer Wahrscheinlichkeitsaussage bezüglich des Teilchenverhaltens beruht. Freilich liegt es in der klassischen Physik nahe, das Zufallsprinzip in einem Paradigma „kleine Ursache, große Wirkung“ zu verorten. So wird eine Relation zwischen Gesetzlichkeit und Zufall hergestellt, es erscheint aber, als ob der Zufall auf die mangelnde Kenntnis beispielsweise der Anfangsbedingungen zu reduzieren wäre.³⁵ Dieser Gedanke bietet dann einen Rahmen dafür, den statistischen Charakter der Quantenmechanik begrifflich zu erfassen. Auf dieser Grundlage konnte *Schrödinger* annehmen, die eigentliche Natur der physikalischen Gesetze sei statistisch.

Der zweite Punkt betrifft die Tatsache, dass in der Quantenmechanik prinzipiell keine ausreichenden Gründe für bestimmte Ereignisse angegeben werden können. Die Quantentheoretiker benennen präzise die Unmöglichkeit, Kausalität und raum-zeitliche Beschreibung in Einklang zu bringen.³⁶ *Cassirer* stimmt dem zu: „Die ‚Krise der Kausalität‘, die durch die Quantenmechanik herbeigeführt worden ist, besteht freilich, und sie ist ernst genug. Aber sie ist keine Krise des reinen Kausalbegriffs, sondern eine ‚Krise der Anschauung‘; sie zeigt uns, daß wir diesen Begriff nicht länger in der gewohnten Weise auf die Anschauung der ‚reinen Zeit‘ beziehen und in dieser ‚schematisieren‘ dürfen. [...] Wir können die Kausalität nicht mehr in derselben Weise wie in der klassischen Physik mit der Raum-Zeitbeschreibung verbinden, geschweige denn daß wir sie in dieser letzteren aufgehen lassen können.“³⁷

Wir finden hier die Klarstellung *Plancks* in seiner Entgegnung auf *Schrödingers* wieder: Kausalität bedeutet, dass wir präzise Theorien entwickeln können, die sich in der Beschreibung der Natur bewähren. Kausalität als regulatives Prinzip unseres Denkens ist weiterhin mit einem hypothetischen Ansatz verträglich. Sie ist insofern für das Suchen von Naturgesetzen charakteristisch und

³⁵ In der Tat finden wir hier ein Gebiet, in dem sich der Unterschied zwischen praktischer und prinzipieller Unmöglichkeit vermischt, eine Situation, die häufig im Zusammenhang mit der Beschreibung klassischer Phänomene anzutreffen ist (auch z. B. im Rahmen der sogenannten deterministischen Chaos-Theorie). Dass diese Verwischung den praktischen Unmöglichkeiten einen prinzipiellen, qualitativen Charakter verleiht, ist besonders einseitig für eine moderne Kosmologie, in der endliche Zahlen etwa für das Alter, den Teilcheninhalt oder für das Ausmaß des Universums angegeben werden. So geht die praktische Aussage, dass wir, um die mangelnde Kenntnis aufzuheben und Vorhersagbarkeit zu erreichen, so viele bits an Information brauchen, wie es Teilchen im Universum gibt, prinzipiellen Charakter.

³⁶ Dieser Sachlage entspricht in dem Formalismus der Theorie, daß zwar ein mathematisches Schema der Quantentheorie existiert, daß dieses Schema aber nicht als einfache Verknüpfung von Dingen in Raum und Zeit gedeutet werden kann. *Heisenberg*, aO., 48.

³⁷ *Cassirer*, aO., 315.

wird durch seinen Erfolg bestätigt. *Einstein* bezeichnete es als das größte Wunder, dass die Welt verständlich sei. Vielleicht hat *Charles Sanders Peirce* dies am poetischsten ausgedrückt: „Das Ziel einer Theorie ist, etwas verständlich zu machen. Das Ziel der Philosophie ist, alles verständlich zu machen. Die Philosophie postuliert somit, dass die Naturvorgänge verständlich sind. Postuliert sage ich, nicht: nimmt an. Es mag sich anders verhalten; aber nur soweit es sich so verhält, kann die Philosophie ihren Zweck erfüllen. Sie ist daher gehalten, sich nach dieser Annahme zu richten, sei sie nun wahr oder nicht. Sie ist eine verzweigte Hoffnung. Aber soweit der Naturprozess verständlich ist, ist der Naturprozess mit dem Vernunftprozess identisch.“³⁸

V. Zur aktuellen Diskussion

Das Verständnis der Naturgesetze ist ein Hauptthema der gegenwärtigen natur- und wissenschaftsphilosophischen Diskussion. Diese muss auch den Entwicklungen der Physik Rechnung tragen, auf die daher hier hinzuweisen ist.

Die Physik als Wissenschaft erfuhr im 19. Jahrhundert eine erste „Vollendung“. Das zeigt die allgemeine Bezeichnung als „klassische Physik“. Im Zentrum standen die Mechanik, der Elektromagnetismus, die Thermodynamik und die Statistische Mechanik. Diese Phase steht für ein kausales, deterministisches Bild der physikalischen Welt, auch wenn dieses Bild in der Physik selbst nicht so vollkommen passte, wie es oft scheinen mag.³⁹ Die Physik des 20. Jahrhunderts knüpft an diesen Rahmen an, muss ihn aber an bestimmten, wichtigen Stellen durchbrechen – gezwungen durch erforderliche Lösungen für verschiedene Probleme der klassischen Physik. Wie *Feynman* bemerkt, lässt sich immer schwer einschätzen, wie bedeutsam ein Widerspruch ist, solange man seine

³⁸ *Charles Sanders Peirce*, Die Architektonik von Theorien (1890), in: *ders.*, Naturordnung und Zeichenprozess, Frankfurt am Main 1991, 133.

³⁹ Schon zur Zeit seiner Entstehung war man sich einer Reihe von Problemen wohl bewusst, etwa der Rolle des Zufalls, die sich in der statistischen Mechanik zeigt (die selbst eines der schönsten Beispiele von gelungener Reduktion einer makroskopischen, effektiven Theorie, der Thermodynamik, auf mikroskopische Zusammenhänge darstellt), oder der in der klassischen *Maxwellschen* Elektrodynamik erkannten Abweichung von den raum-zeitlichen, „Galileischen“ Eigenschaften der (durch *Lagrange*, *Hamilton* u. a. vervollständigten) *Newtonschen* klassischen Mechanik. Darüber hinaus zeichneten sich auch innere Widersprüche in diesen Theorien ab, wie etwa im Grundbegriff des Teilchens (die physikalisch widersinnige, unendliche elektromagnetische Energie eines geladenen Punktelchens, oder das Paradoxon der Ununterscheidbarkeit von Teilchen, deren Bahnen verfolgt werden können – und die damit doch durchgehend identifiziert werden können). Diese Diskussion erstreckte sich über Jahrzehnte, unterstützt durch immer neue Erkenntnisse und wichtige Tests – wie u. a. die *Michelson*-, *Thompson*-, *Rutherford*- und *Kaufmann*-Experimente.

mögliche Lösung nicht sieht. Die klassische Physik musste lange mit diesen Widersprüchen leben, bevor sich ihr grundsätzlicher Charakter zeigte.

Erst an der Schwelle des 20. Jahrhunderts werden für die Beschreibung der Bewegung elektromagnetischer Felder und des Lichts sowie für die thermodynamische und statistisch-mechanische Beschreibung der Anknüpfung des Lichts an die Materie (die Strahlungsgesetze) Lösungen gefunden, die bestimmten Prinzipien der klassischen Physik widersprechen. Auf der Basis dieser Erkenntnisse entstehen zwei große Wissensstränge, die Theorien des Raumes und der Zeit (Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorien) und die Theorien der Materie und der Strahlung (Quantenmechanik und Quantenfeldtheorien). Darüber hinaus werden in direkter Anknüpfung an die klassische Physik Theorien komplexer Systeme entwickelt, die über die Beschreibung rein mechanischer Vorgänge hinaus von Interesse sind, so im Bereich der Kognitionswissenschaft und der Evolutionsforschung.

Die zwei erwähnten Wissensstränge der Physik fundamentaler Phänomene sind bis heute getrennt geblieben. Die größte Herausforderung der heutigen Physik liegt darin, sie wieder zu vereinen. Zwar steht die Quantenfeldtheorie im Einklang mit der speziellen Relativitätstheorie; letztere ist aber keine Theorie von Raum und Zeit wie die Allgemeine Relativitätstheorie, sondern nur eine Theorie der Ereignisse in der flachen Raum-Zeit. Eine Vereinigung der Quanten- und der Allgemeinen Relativitätstheorie ist aber unerlässlich, wenn wir etwa die Entwicklung und Struktur des Universums beschreiben wollen. Die heutige Kosmologie muss sich auf eine nicht vereinheitlichte Überlagerung dieser beiden theoretischen Schemata stützen, und enthält daher unkontrollierte Näherungen. Darüber hinaus sind Fragen der erkenntnistheoretischen Interpretation dieser Theorien heute noch so aktuell wie vor 100 Jahren; das zeigt sich zum Beispiel an Theorem der Dekohärenz für den Zusammenhang zwischen quantentheoretischen und klassischen Beobachtungen.

Die erkenntnistheoretische und naturphilosophische Diskussion stellt sich auf vielfältige Weise den Herausforderungen der modernen Physik.⁴⁰ Das schließt

⁴⁰ Einige rezente Titel hierzu: *Jerrold L. Aronson/Rom Harré/Eileen Cornell Way*, Realism rescued, Chicago 1995; *David Papineau* (Hg.), The Philosophy of Science, Oxford 1996; *Erhard Scheibe*, Die Reduktion physikalischer Theorien I u. II, Berlin 1997; *Christian Norris*, Quantum Theory and the Flight from Realism, London 2000. Siehe auch den Artikel von *Werner Flich* in diesem Band. Ausichtsvoll erscheint im allgemeinen das Gespräch zwischen subtileren realistischen und idealistischen Einstellungen, die schließlich nicht so weit voneinander entfernt sein müssen, wenn man den symbolischen Charakter jeder Erkenntnis richtig einschätzt. Dagegen haben konsequente konstruktivistische oder empiristische Ansätze das Problem, dass sie den Erkenntnisfortschritt nicht beschreiben können – das betrifft auch solche Betrachtungen, die die Physik auf ein „patchwork of models“ (*Nancy Cartwright*) reduzieren, und um so mehr einige

auch das Problem der Naturgesetze und der Struktur physikalischer Theorien mit ein.⁴¹

VI. Vom Wesen physikalischer Gesetze

Ich habe versucht, den Rahmen zu umreißen, innerhalb dessen sich die Frage nach den physikalischen Naturgesetzen stellt. Erkenntnistheoretisch ist dieses Problem mit der Frage des Kausalprinzips und der „Verständlichkeit der Welt“, und damit auch mit der Frage der Induktion und der „Befestigung unseres Wissens“ verbunden. Das impliziert, dass man eine Methode und Kriterien zur Entwicklung von Theorien braucht. *Peirce* nennt dies „die wissenschaftliche Methode“, die als einzige „eine Unterscheidung zwischen einem wahren und einem falschen Weg bietet“.⁴²

Dementsprechend müssen Naturgesetze wissenschaftstheoretischen Kriterien gerecht werden:

- (1) Die empirische und die analytische Konsistenz sollen im Prinzip alle Fälle erfassen, die das Gesetz behandeln kann. Es darf keine Ad-hoc-Gestaltungen oder -Einschränkungen geben. Unvermeidbare Näherungen in der Anwendung sollen möglichst gut definiert und kontrollierbar sein. Eventuell kann das durch einen Vergleich der Methoden und der Näherungsvorgänge erreicht werden.
- (2) Das Gesetz soll eine genuine Reduktion darstellen. Es darf nicht nur eine Tabelle oder eine Sammlung von Regelmäßigkeitsbeobachtungen wiedergeben, sondern soll diese verallgemeinern und soweit möglich auf (wenige) Gründe zurückführen.
- (3) Gesetze sollen in größere theoretische Strukturen eingebaut werden können. Das impliziert die Möglichkeit von Korrektur und Entwicklung. Entwicklungen zeigen eine bestimmte Art von Kontinuität – hypothetisch vorwärts und analytisch rückwärts, so zwischen *Newtons* Mechanik und *Einsteins* Spezieller Relativitätstheorie oder zwischen klassischer und quantentheoretischer Beschreibung.⁴³
- (4) Naturgesetze sollen sich mathematisch ausdrücken lassen. Dabei liefert die Mathematik einerseits die adäquaten Symbole (induktiver Aspekt) und sichert andererseits die logische Struktur (analytischer Aspekt).

relativistische Ansätze, die dazu neigen, den realen Forschungsprozess mit dem Erkenntnisprozess zu verwechseln.

⁴¹ Den Fragen der Naturgesetze ist z. B. Heft 2 der *Philosophia Naturalis* 37 (2000) gewidmet. Es enthält auch wissenschaftstheoretische Beiträge etwa zu Fragen der Modellierung sowie zum Unterschied von Naturgesetzen und materialen Gesetzen.

⁴² *Charles Sanders Peirce*, Die Festlegung einer Überzeugung (1877), in: *ders.*, Schriften zum Pragmatismus und Pragmatizismus, Frankfurt am Main 1991, 168.

⁴³ Dazu die schon erwähnten Studien zum Phänomen der Dekohärenz.

Sprechen wir von physikalischen Naturgesetzen, so kann das viele Arten von Aussagen erfassen. So unterscheiden sich beispielsweise die *Keplerschen* Bahngesetze und das *Newtonsche* Gravitationsgesetz erheblich in ihrer erkenntnisgenetrischen Bedeutung. Zwar sind zunächst in Naturgesetzen einfach Verallgemeinerungen zu sehen. Das spornit die Neugierde aber erst an: „Gesetzmäßigkeit gehört par excellence zu dem, was nach Begründung verlangt.“⁴⁴ So gesehen erschöpfen sich die *Keplerschen* Gesetze erst in den *Newtonschen*.

Wie alle physikalischen Aussagen sind physikalische Gesetze mit Hilfe von Symbolen auszudrücken und zwar im Rahmen einer symbolischen Struktur von Beziehungen und Referenzen. Was aber drücken sie aus? In der hier vertretenen Sichtweise beinhalten Gesetze eine oder mehrere Hypothesen über Zusammenhänge hinter den beobachteten Phänomenen. Das ist notwendig. Denn nur so können sie einen Erkenntnisgewinn enthalten und das Wissen voranbringen. Damit stehen sie aber automatisch auf einer anderen Ebene als der einer Beschreibung der Phänomene, in denen diese Zusammenhänge zu finden sind.

Nehmen wir die Gravitation. Planetenbewegungen sind beobachtbare Phänomene. Die Bahnen sind zwar Abstraktionen, aber immer noch direkt beobachtbar: Eine Bahn ist die Reihe aller Stellungen, die ein Planet in Laufe der Zeit einnehmen kann. Die Hypothese einer Gravitationskraft mit den angegebenen Eigenschaften reduziert alle diese Beobachtungen auf sehr wenige Gründe und führt damit zu einem enormen Zuwachs an Erkenntnis. Was aber ist nun die Gravitationskraft? Im Rahmen der *Newtonschen* Physik können wir sie nicht beobachten, außer an ihren Effekten. Insofern die Gravitationskraft essentieller Teil des Gravitationsgesetzes ist, haben wir keinen Zugriff auf dessen Wesen (*Newton* versucht daher, den Raum als Organ Gottes einzuführen, um diese Kluft aufzuheben). Vielleicht wird dieses Problem in Zukunft gelöst oder zumindest erleichtert. So wird in der Allgemeinen Relativitätstheorie die Gravitation als Raum-Zeit-Krümmung in ihrem Wesen wieder greifbarer, weil wir sie direkt mit dem Phänomen der Raumkrümmung identifizieren können. Ähnliches gilt für die elektromagnetischen Kraftfelder. Darin läge jeweils nur ein Schritt. Verknüpfungen, zum Beispiel die der *Einsteinschen* oder der *Maxwellschen* Gleichungen, entsprechen wieder einem hinter den Phänomenen liegenden Zusammenhang, auf dessen Wesen selbst wir zunächst keinen Zugriff haben können.

Diese Einsicht in die Funktion naturwissenschaftlicher Gesetze ist unabhängig von einer realistischen oder idealistischen Einstellung, denn sie betrifft die Frage der Erkenntnisgewinnung. Es kommt darauf an, dass jede Hypothese in einem Naturgesetz ein Element enthält, das als solches vorher nicht direkt beobachtbar oder irgendwie gegeben war. Dieses Element wird selbstverständlich auch aufgrund eines methodischen Konzepts eingeführt. Es wird nicht willkür-

⁴⁴ *Peirce*, Naturordnung und Zeichenprozess, 145.

lich gefunden, sondern steht unter dem Anspruch, im Einklang mit bisherigen, aber auch mit zukünftigen Beobachtungen stehen zu können. Auch muss es in die allgemeine theoretische Struktur hineinpassen und kann zugleich gestaltend auf diese Struktur wirken. Seine Einführung und Bestätigung lässt uns etwas Weitergehendes über die Natur erkennen. Trotzdem entspricht seine Einführung einem Sprung – im Sinne *Cassirers*. Deshalb können wir von einem Zielen auf etwas hinter den Phänomenen sprechen. Dies gehört sozusagen zur Natur eines Naturgesetzes.

CHRIS LORENZ

Geschichtswissenschaft und Gesetze: eine zwiespältige Geschichte

1. Einleitung

Die Frage, wie es anno 2005 um den Gesetzesbegriff in der Geschichtswissenschaft steht, ist – wie die meisten interessanten Fragen – nicht einfach zu beantworten. Zu ihrer Klärung schicke ich eine wissenschaftshistorische Beobachtung voran. Sie bezieht sich auf die Ursprünge der ‚modernen‘ Geschichtswissenschaft um 1800. Betrachtet man die Geschichte der Geschichtswissenschaft von diesen Ursprüngen her, also beginnend mit *Niebuhr*, *Ranke* und anderen, dann ist leicht festzustellen, dass diese Wissenschaft sich in *einer unmittelbaren Opposition* zu allen generalisierenden Wissenschaftszweigen definiert hat. Befürworter des Historismus seit *Ranke* haben ihre Konzeption der Geschichtswissenschaft sowohl gegen alle Geschichtsphilosophie abgesetzt als auch gegen das Konzept der gesetzmäßigen Naturwissenschaften. Geschichtsphilosophie wurde vom Historismus meistens als ‚theoretisch‘ und als ‚spekulativ‘ abqualifiziert, sofern Theorie und Spekulation nicht unmittelbar miteinander identifiziert wurden. Konzeptionen der Naturwissenschaften wurden in der Geschichtswissenschaft meistens als ‚materialistisch‘, ‚deterministisch‘ und später als ‚positivistisch‘ abqualifiziert. *Droysen* und *Dilthey* haben in der Folge diese Intuitionen *Rankes* philosophisch ausgearbeitet und versucht, diesen schroffen Gegensatz zwischen der historistischen Konzeption der Geschichtswissenschaft und den Typen generalisierender, gesetzmäßiger Wissenschaften zu rechtfertigen. Auch komparative Verfahren gerieten aus der Sicht des Historismus in den allgemeinen Verdacht einer ‚gesetzmäßigen‘ Wissenschaft.¹

¹ Vgl. für das Spannungsverhältnis zwischen historistischer Tradition und komparativem Ansatz *Reinhold Bichler*, Die theoretische Einschätzung des Vergleichens in der Geschichtswissenschaft, in: *Franz Hampf/Lingomar Weiler* (Hg.), Vergleichende Geschichtswissenschaft, Darmstadt 1978, 188. *Bichler* macht überaus deutlich, dass die Abweisung des komparativen Ansatzes im Historismus von der Angst vor dem Positivismus genährt wird: Es bestehe nämlich die „Gefahr“, dass Vergleiche zur Entdeckung von „Gesetzen“ führen könnten. Vgl. darüber hinaus *Theodor Schieder*, Möglichkeiten und Grenzen vergleichender Methoden in der Geschichtswissenschaft, in: *Historische Zeitschrift* 200 (1965), 529 (552), der traditionsgetreu sein Augenmerk mehr auf die Grenzen als auf die Möglichkeiten richtet. Auch *Hans-Georg Gadamer* zeigt sich dem Vergleich gegenüber skeptisch. Zu *Dilthey*s vergleichenden Ansätzen merkt er an: „Hier liegt einer der fragwürdigsten Punkte seiner Theorie. Das Wesen des Vergleichens setzt die Ungebundenheit der erkennenden Subjektivität, die über das eine wie das andere ver-