

Wolfgang Bock (Hrsg.)

Gesetz und Gesetzlichkeit in den Wissenschaften



Wissenschaftliche Buchgesellschaft

Einbandgestaltung: Peter Lohse, Büttelborn.

INHALT

Vorwort.....	VII
<i>Heinz Wismann</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.dhb.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 Kinstner</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 Kinstner*, 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 einzelwissenschaftlichen Vorgehens. Die gesamteuropäischen Möglichkeiten derartiger Zusammenarbeit scheinen bislang noch nicht in ausreichendem Maße genutzt zu werden. Thematisch umschreiben die Beiträge zwei größere Kreise:

Vom Wesen physikalischer Gesetze

I.-O. Stamatescu

16.06.04

Ich habe Feynman's Titel übernommen (FD), allerdings in Original heißt es: „The Character of Physical Law“ (FE). Die Zweideutigkeit dieser Übersetzung ist schon ein Hinweis auf die Problematik.

In folgenden:

1. Der Charakter physikalischer Gesetze
2. Die Frage der Kausalität
3. Die Frage der Induktion
4. Das allgemeine Kausalprinzip
5. Heutige Diskussion
6. Vom Wesen physikalischer Gesetze

Ulrich's Referat war eine exzellente Darstellung des Aufstellens physikalischer Gesetze und der Entwicklung einer Theorie. Die folgende Diskussion kann daran direkt anknüpfen. Das muss man sich immer vergegenwärtigen, allerdings werde ich im folgenden andere Beispiele verwenden, und zwar aus zwei Gründen:

Um Wiederholungen zu vermeiden

Um auf die Allgemeinheit der Problemstellung hinzudeuten.

1. Der Charakter physikalischer Gesetze

Ich beziehe mich hier im Wesentlichen auf Feynman's Buch. Das sind allgemeinverständliche Vorlesungen. Feynman beschreibt als erstes das Gravitationsgesetz, als zugleich fundamentaler und einfacher „Schulbeispiel“. Wir werden sehen, dass die Sachverhalte eigentlich sehr subtil sind.

Das Gravitationsgesetz besagt:

Je zwei Körper ziehen sich an, und zwar mit einer Kraft K , die proportional mit dem Produkt ihrer Massen, M , m , und umgekehrt-proportional mit dem Quadrat ihres Abstandes R ist:

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

Der Proportionalitätsfaktor G ist keine reine Zahl, sondern braucht die Einheiten einer Fläche (Länge in Quadrat). Er ist sehr klein (verglichen mit gewöhnlichen Skalen!): etwa 10^{-64} cm^2 .

Kurze Geschichte: Astronomie -> Physik

Zuerst nur Zusammenfassung der Geschehnisse in adäquatester Form (~Kinematik):

- geozentrische, heliozentrische Systeme; Aristachos (3. B.C.), Ptolemaios (2. B.C.), Kopernikus (14.): Hypothesen
- Tycho Brahe (16.): Messungen und Bewertung der Hypothese, entscheidet für das heliozentrische System
- Kepler (16.): Präzisere Beschreibung der Bahnen (Elypsen), Keplersche Gesetze (für die Bahnen)

Dann Zurückführung auf Ursachen (~Dynamik):

- Galilei (17.): Trägheitsgesetz, Relativität der Bewegung (auch: Äquivalenzprinzip), Beschleunigung
- Newton (17.): Änderung der Geschwindigkeit geschieht nur durch eine Kraft: auch Änderung der Richtung
- Newton, Leibniz: Infinitesimalrechnung, Erklärung der Kreisbewegung unter Gravitationskraft

Bild 1

- Newton: Dynamische Gesetze
- Newton, Descartes, Leibniz: Erhaltungsgesetze (Energie, Impuls)

Bemerkungen:

- das Gravitationsgesetz wird in Rahmen der Gesamtentwicklung der Mechanik etabliert
- die Entwicklung verfolgt den Weg von „wie“ (Kinematik) zum „warum“ (Dynamik); allerdings ist die Reduktion nicht abgeschlossen (wie: Elypse, warum Elypsen: Gravitationskraft, warum Kraft: ?)
- einmal etabliert kann das Gravitationsgesetz viele weitere Phänomene erklären: alle Planetenbahnen, Gezeiten, Fallgesetze, Sternbilder, Galaxien usw.

Zum Charakter:

- Symbolischer Charakter:
das Gesetz wird mit Hilfe von „Symbolen“ ausgedrückt, Zeichen die selber „Knoten“ in einem Netz von:
 - Beziehungen („horizontal“)
 - Referenzen („vertikal“)darstellen → *Symbolische Struktur* (Helmholtz, Hertz, Duhem, Cassirer, ...)

Hertz (Symbol 39)

- Die Rolle der Mathematik:
 - essentiell (exakte Zusammenhänge: Kepler, analytische Methoden: Infinitesimalrechnung, adäquate Symbole und Strukturen: Raum-Zeit-Struktur, etc.)
 - Mathematik: Sprache und Logik (FD 54); erlaubt Kontrolle der Schlussfolgerungen; erlaubt Verallgemeinerung

FD, 73

- Hypothetischer Charakter / Universeller Charakter

- Der hypothetische Charakter ist die Grundlage des Vorgehens, sowohl beim Etablieren eines Gesetzes als auch beim Fortschritt der Theorien.
- Hypothesen dürfen nicht ad hoc sein: sie müssen eine genuine Reduktion erlauben und sie müssen alle ansprechbare Phänomene erklären (Beispiel, FD 51).
- Schon nach Aristoteles "meinen wir, etwas zu wissen, wenn wir glauben, sowohl 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" (JB 52: Analytica posteriora I 2, 71b). Notwendigkeit und Universalität sind primäre erkenntnistheoretische Forderungen wodurch Wissen vor Beliebigkeit geschützt und nachprüfbar wird. Das ist es auch, was den Fortschritt erlaubt: so weist, z.B., die Anwendung des Gravitationsgesetz auf die Galaxien darauf hin, dass es außer der sichtbaren Materie auch „dunkle Materie“ geben muss, weil die Gravitationskraft zwischen der Sterne nicht ausreicht, um ihre Bewegung zu erklären. Notwendigkeit und hypothetischer Charakter sind verbunden.
- Notieren wir schließlich, dass zusammen mit der Aussage „die Körper ziehen sich an“ fast zwangsläufig der Begriff „Kraft“ hereingebracht wird, welcher der Anziehung das Substrat gibt auf dem der Universalitätsanspruch basieren kann.

2. Die Frage der Kausalität

Determinismus und Zufall – ein altes Begriffenpaar.

Vorwiegende Einstellung: Zufall ist entweder nur scheinbar (Unwissen), oder die Verneinung jeder Erkenntnis (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 einen anderen lehren?)" (M IV 2, 1027a).).

Leibniz: vollständige, prestabilisierte Ordnung – deterministisches Vorgehen.

3 Stufen:

- Klassische Mechanik: Kausalität in Raum und Zeit \leftrightarrow Determinismus.
- Klassischen Statistischen Mechanik: Zufall erscheint auf einer grundlegenden Stufe (Molekulare Chaos-Hypothese), ist jedoch selbst nicht fundamentaler Natur (Poincaré Zyklen, etc).
- Quantentheorie: Zufall ist von fundamentaler Natur (Heisenberg: man kann für das Ereignis „dieses Atom ist soeben zerfallen“ keinen ausreichenden Grund – Leibniz – geben.) -> keine Kausalität in Raum und Zeit.

Schrödinger: Was ist ein Naturgesetz?

- Klassische Physik:
 - Allgemeines Kausalitätspostulat (Deterministisches Verhalten)
 - Klassisches Naturgesetz: „eine mit genügender Sicherheit festgestellte Regelmäßigkeit in Erscheinungsablauf, *sofern sie als notwendig im Sinne des oben genannten Postulats gedacht wird.*“ (SN, 295)
- Dieser Vorstellung wird in der Statischen Mechanik und Quantenmechanik widersprochen:
 - Die Gesetze der Thermodynamik und der Statistischen Mechanik basieren auf der großen Anzahl von Molekülen (i.A.: Freiheitsgrade), sie werden zunehmend unpräzise, wenn diese Anzahl verringert wird. (SN 296)

- 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 (SN 297) fundamentalere, statistische Gesetze verlangt (in der Tat: QED)
 - Die Gesetze der QM haben grundsätzlich einen statistischen Charakter (Heisenberg, Schrödinger, Born, ...)
- (Schrödinger 1929 - SN -, nach Exner 1919) **Naturgesetze im Allgemeinen könnten einen fundamentalen statistischen Charakter haben; Zufall ist die Grundlage der Geschehnisse, Gesetze entstehen nur „im Mittel“** – Gesetz der großen Zahlen (SZ 316 ff)

Interessant ist die Diskussion zwischen Schrödinger und Planck in der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1929 (Antrittsrede Schrödingers und Erwiderung von Planck als Sekretar). Schrödinger spricht von

„einer der brennendsten Fragen, die uns ... heute beschäftigen. ... Es ist die Frage nach der Zweckmäßigkeit des unverbrüchlichen Postulates der Kausalität.“ (SA 304)

Die Frage stellt sich schon in der Stat. Mechanik, wird aber erst mit der QM grundlegend.

SA 304

Allerdings ist es eher die Frage der Zweckmäßigkeit unserer Einstellung

SA 305

In seiner Erwiderung präzisiert Planck noch einmal die Reichweite der Frage:

SA 306

Er erkennt den Gesichtspunkt der Zweckmäßigkeit der Beschreibung an, fragt aber nach den Grundgesetzen:

SA 306

Obwohl Planck mit der Einführung der „Phasenraumquantisierung“ („Plankkonstante“) zur Quantentheorie entscheidend beigetragen hat, hat er, so wie Einstein, deren eigentliche Herausforderung nie mitgetragen (so ist etwa auch die berühmte Arbeit von Einstein, Podolsky und Rosen, 1935, darauf gerichtet zu zeigen, dass die Quantenmechanik keine vollständige Theorie sein kann). In seiner Erwiderung unterscheidet Planck nicht klar zwischen praktischen und prinzipiellen Unmöglichkeiten der Festlegung eines Zustandes. Trotzdem kommt er auf dem wichtigsten Punkt:

SA 307

Das ist auch die Position Heisenbergs (PQ 48): Kausalität trifft nur in dem Sinne zu, „dass ein mathematisches Schema der Quantentheorie existiert,“ aber „dieses Schema [kann] nicht als einfache Verknüpfung von Dingen in Raum und Zeit gedeutet werden“.¹

¹ Kausalität als Bedingung für die raum-zeitlichen Entwicklungen gilt weiterhin im Sinne der Relativitätstheorie als das Verbot, Kommunikation über raum-artigen Abständen (mit Überlichtgeschwindigkeit) aufzustellen. Das impliziert die Lokalität der Wechselwirkungen (also keine Fernwirkung), eine Forderung, welche allerdings erst

So erweist sich die Frage des Kausalbegriffs als eine tiefere Angelegenheit, als nur die von raum-zeitlichen Verursachungsfolgen. Bevor wir das angehen, besprechen wir kurz die damit verbundene Frage der Induktion.

3. Die Frage der Induktion und der „Befestigung unseres Wissens“

Die Hume'sche Skepsis enthält 3 Aussagen:

Als erstes finden wir die Skepsis bezüglich der Kausalität, dann die damit verbundene Kritik der Induktion. In diesen Kritiken ist aber zugleich ein dritter Punkt angesprochen, wenn Hume darauf hinweist, dass wir Kausalität als solche (in ihrem Wesen, so zu sagen) nie beobachten. Auf diesen Aspekt werden wir noch einmal im letzten Abschnitt zurückkommen.

Die Fragen der Kausalität und der Induktion sind eng verbunden. Sie enden gewissermaßen in der Frage nach der *Befestigung unseres Wissens*. Es gibt dafür verschiedene Lösungsansätze:

1. Der Kant'sche Ansatz impliziert die Eigenschaften unseres Verstandes: vereinfacht gesagt, sind z.B., die Gesetze, die wir erstellen, kausal, weil wir kausal denken. Das konstitutive a priori war immer ein Problempunkt in der Rezeption des Kant'schen Ansatzes in den Naturwissenschaften. Ein Beispiel ist die Raum-Zeit-Kausalität selbst. Wenn wir nur kausal denken können, wie können wir dann Theorien mit fundamentalen statistischen Gesetze entwickeln? Ähnlich verhält es sich mit der raumzeitlichen Struktur. Reichenbach: Canonization of common-sense. Lösungen:

- Helmholtz (Formen der Anschauung als allgemeine Ordnungen); nicht durchgängig.
- Cassirer: rettet das allgemeine Kausalprinzip, auf Kosten der Anschauung.

2. Der Ansatz von Peirce: ein effektives a priori entsteht durch unsere tägliche Erfahrungen, darf nicht absolutisiert werden, sonst: kein echter Fortschritt möglich.

NZ 144 (E1)

Statt dessen: intersubjektiver, evolutionärer Prozess.

NZ 145 (E3)

Grundlage: die wissenschaftliche Methode, (PP 164, 166).

3. Der Ansatz Popper's ist, dass wir wohl keine absolute Befestigung unserer Wissen finden können, weder außerhalb von uns noch in uns, dass wir aber auch keine benötigen: wir bilden falsifizierbaren Hypothesen und vertrauen diesen um so mehr, um so besser sie bestimmte Kriterien erfüllen (empirische Adäquatheit, innere Konsistent, Verträglichkeit mit anderen Hypothesen, etc). Das ist in der Tat die normale Prozedur in den Naturwissenschaften: es gibt kein Naturgesetz, das nicht immer wieder auf Abweichungen, Erweiterungen, Präzisierungen etc geprüft wird – es werden, z.B. zur Zeit Experimente zum Gravitationsgesetz durchgeführt, als Reaktion auf die Frage der Dunklen Materie etc.

in der Quantenfeldtheorie erfüllt wird. Kausalität im Sinne einer deterministischen Entwicklung aller messbaren Eigenschaften gilt nicht mehr, damit existiert prinzipiell auch keine Bahn.

4. Das allgemeine Kausalprinzip

Cassirer diskutiert als Grundtypen physikalischer Aussagen: a) die *Maßaussagen*, b) die *Gesetzesaussagen* und c) die *Prinzipien-Aussagen*, eine Hierarchie, die im d) *allgemeinen Kausalsatz* gipfelt. Unter Berufung auf Bertrands Russells "Typentheorie" versucht hier Cassirer, die Struktur dieser Hierarchie zu untersuchen, wobei er klar die begrifflichen Sprünge zwischen den verschiedenen Klassen hervorhebt.²

Schon die Maßaussagen entsprechen einer Verdichtung von Erkenntnissen und sind selbst theoretisch "geladen". Die Gesetzesaussagen sind "generell" und stellen demgegenüber einen Sprung dar, denn sie formen das "hier - so" in ein "wenn - so" um. Cassirer zitiert hierzu Maxwell, der *in diesem Übergang* selbst den "wesentlichen Sinn und das Gehalt des allgemeinen Kausalprinzips" sieht. Schließlich sind die Prinzipien-Aussagen "universell", sie geben eine Art Orientierungshilfe, nach Gesetzen zu suchen und in ihrer Aufstellung spielt die Heuristik eine große Rolle.

Es sind die unterschiedlichen Charakteren und Rollen dieser drei Klassen von Aussagen, und die zwischen ihnen notwendige "Sprünge", die für Cassirer das klare Wirken einer "geistigen Energie" (ZMP 191) bedeutet. Waren allerdings alle diese Aussagen schließlich doch *empirisch bestimmt*, so ist der weitere Sprung zum "allgemeinen Kausalsatz" "ein Sprung ins Nichts...Sie kann nur als 'transzendente Aussage' verstanden werden, die sich nicht sowohl auf Gegenstände als vielmehr auf unsere Erkenntnis von Gegenständen überhaupt bezieht." (ZMP 195)

"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 Denktätigkeit müßte ruhen. Aber der Forscher rechnet nicht mit einer solchen Welt; er vertraut auf die Begreifbarkeit der Naturerscheinungen, 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'."³

Vermerken wir also mit Cassirer dass sich hier die "empirische Validation" als Frage des Erfolgs einer auf einem Postulat basierenden Prozedur, und ihre Grundlage als Frage einer fundamentalen Übereinstimmung zwischen uns und die Welt stellt. So kann Cassirer jetzt die Frage stellen, ob dieses Postulat noch gilt oder durch die moderne Physik angetastet erscheint. Er stellt diese Frage in zwei Rahmen: den der logischen Übereinstimmung zwischen Kausalität und Wahrscheinlichkeit und den der faktischen Anwendbarkeit des Kausalsatzes dafür, "Erscheinungen zu buchstabieren, um sie als Erfahrungen lesen zu können."⁴

² 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.

³ ZMP 200 (das Zitat am Ende ist von Helmholtz, Handbuch der Physiologischen Optik, 2. Aufl. 1896, II, 591 ff).

⁴ I. Kant, KRV, 2. Aufl., S. 25 (zitiert in ZMP, S. 151)

Zum ersten Punkt bemerkt Cassirer ebenfalls, dass schon die klassische Physik ein Konzept von Wahrscheinlichkeit kennt, etwa in dem Entropiegesetz, das bekanntlich auf dem Boltzmannsche "Stoßzahlgesetz" basiert - letzteres aber ist eine Wahrscheinlichkeitsaussage. Freilich ist es in der klassischen Physik naheliegend, zu versuchen, das Zufallsprinzip in einem "kleine Ursachen, große Wirkungen" - Paradigma entstehen zu lassen. Damit wird klarerweise eine Relation zwischen Gesetzlichkeit und Zufall erschaffen, andererseits sieht es aber so aus, als wenn hier Zufall auf mangelnde Kenntnis reduzierbar wäre (etwa über die Anfangsbedingungen).⁵ Damit ist der Rahmen vorbereitet, in dem der statistische Charakter der Quantenmechanik begrifflich aufgearbeitet werden kann, so daß z.B. Schrödinger vorschlagen konnte, dass die eigentliche Natur der physikalischen Gesetze statistisch wäre.

Der zweite Punkt betrifft die Tatsache, dass in der Quantenmechanik *prinzipiell* keine ausreichenden Gründe für bestimmte Ereignisse gegeben werden können. Das wird von den Quantentheoretikern sehr präzise als die Unmöglichkeit ausgedrückt, Kausalität und raum-zeitliche Beschreibung in Einklang zu bringen⁶. Diese Haltung übernimmt Cassirer: "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." (ZMP 315)

Wir erkennen hier die Klarstellung Plancks in der Diskussion mit Schrödinger. Kausalität, als „regulatives Prinzip unseres Denkens“ ist verträglich auch mit einem evolutionären (Peirce) oder hypothetischen Ansatz (Popper), sie charakterisiert die Suche nach Naturgesetzen und kann nur durch ihren Erfolg bestätigt werden. Einstein nannte es „das größte Wunder“ (dass die Welt verständlich ist). Wahrscheinlich drückt das Peirce am poetischsten aus:

"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 verzweifelte Hoffnung. Aber soweit der Naturprozess verständlich ist, ist der Naturprozess mit der Vernunftprozess identisch.“ (NZ 133)

5. Die heutige Diskussion

⁵ In der Tat betreten wir hiermit das Gebiet des Verwischens des Unterschieds zwischen praktischen und prinzipiellen Unmöglichkeiten, 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 um so einsichtiger in einer modernen Kosmologie, wo endliche Zahlen etwa für das Alter, den Teilcheninhalt oder für das Ausmaß des Universums angegeben werden. So gewinnt die *praktische* Aussage, daß wir etwa so viele "bits" an Information brauchen, wie Teilchen im Universum sind, um die mangelnde Kenntnis aufzuheben und wieder Voraussagbarkeit zu erreichen, *prinzipiellen* Charakter.

⁶ "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." (PQ 48).

Die heutige Diskussion ist durch zwei Entwicklungen beeinflusst:

Erstens muss sie der Entwicklung der Physik Rechnung tragen.

Erinnern wir uns, dass die Physik als Wissenschaft im XIX. Jahrhundert eine erste „Vollendung“ erfährt, was man allgemein als „klassische Physik“ bezeichnet, und welche durch die Mechanik, den Elektromagnetismus, die Thermodynamik und die Statistische Mechanik gegeben ist. Dieses theoretische Schema unterstützt ein kausales, deterministisches Bild der physikalischen Welt – obwohl dieses Bild in der Physik selbst nicht so vollkommen ist, wie es häufig präsentiert wird.⁷

Die Physik des XX. Jh. knüpft an diesen Rahmen an, den sie jedoch an bestimmten, wichtigen Stellen brechen muss, gezwungen durch die sich abzeichnenden Lösungen der verschiedenen Probleme der klassischen Physik (es ist immer schwer, wie Feynmann bemerkt, einzuschätzen, wie grundlegend ein Widerspruch ist, so lange man die Richtung seiner Lösung nicht sieht). So werden um die Schwelle dieses Jahrhunderts für die Beschreibung der Bewegung elektromagnetischer Felder (des Lichts) und für die Thermodynamik/Statistische Mechanik der Ankopplung des Lichts an die Materie (die Strahlungsgesetze) Lösungen gefunden, die bestimmten Prinzipien der klassischen Physik widersprechen.

Im Anschluss an eine vorangehende Reihe theoretischer und experimenteller Untersuchungen entwickelt Einstein 1905 die *Spezielle Relativitätstheorie*, in der Bewegung und raumzeitliche Symmetrien neu definiert werden, mit Rücksicht auf die lokale (von Punkt zu Punkt) Fortpflanzung elektromagnetischer Felder, einschließlich des Lichts, und im Widerspruch zu der Simultaneitätsannahme des Galileischen *Relativitätsprinzips* (die Existenz einer universellen, absoluten Uhr). In der *Allgemeinen Relativitätstheorie* nimmt Einstein zehn Jahre später in letzter Konsequenz die Frage der Relativität der Bewegung auf und identifiziert, in Übernahme des Galileischen *Äquivalenzprinzips*, den Proportionalitätsfaktor zwischen Kraft und Beschleunigung im Newtonschen Gesetz (die „träge Masse“) mit der Quelle des Gravitationsfeldes (die „schwere Masse“). Dadurch erscheint das Gravitationsfeld als Eigenschaft des raumzeitlichen Kontinuums, das damit eine Krümmung aufweisen kann, welche Gravitationskräfte erzeugt. Die Gravitation wird somit in das Konzept von Raum-Zeit selbst integriert.

Ebenso führt Planck 1899, um das theoretisch widersinnige und empirisch falsche Verhalten das die klassischen Strahlungsgesetze bei kleinen Wellenlängen zeigen („Ultraviolett katastrophe“), zu korrigieren, den Wirkungsquant ein, womit ein diskontinuierlicher Charakter der Lichtabstrahlung und -absorption durch die Atome festgesetzt wird. Die dann durch Bohr, Heisenberg, Schrödinger und andere entwickelte Quantenmechanik erweist sich als eine allgemeine Theorie, die vor allem bei kleinen Abständen neuartige Phänomene voraussagt, wo-

⁷ 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 von der in der klassischen, Maxwell'schen Elektrodynamik erkannten Abweichung von den raumzeitlichen, „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 Punktteilchens, oder das Paradoxon der Ununterscheidbarkeit für Teilchen, deren Bahnen verfolgt werden können – und die damit doch durchgehend identifiziert werden können). Diese Diskussion erstreckte sich über Jahrzehnte hinweg, unterstützt durch immer neue Erkenntnisse und wichtige Tests – wie die Michelson-, Thompson-, Rutherford-, Kaufmann- etc. Experimente.

mit auch andere, unbeantwortete Fragen der klassischen Physik – etwa die Stabilität der Materie (warum die Atome – und damit die Welt – überhaupt bestehen können!) – gelöst werden.⁸

In der klassischen Mechanik verlaufen die Prozesse völlig deterministisch – bis auf solche Phänomene, wo die Verstärkung kleiner Unsicherheiten durch nichtlineare Verknüpfungen *effektiv* zu chaotischem Verhalten führen kann.⁹ Dieser Aspekt geht in der Quantenmechanik verloren: Kausalität trifft nur in dem Sinne zu, „dass ein mathematisches Schema der Quantentheorie existiert,“ aber „dieses Schema [kann] nicht als einfache Verknüpfung von Dingen in Raum und Zeit gedeutet werden“.¹⁰

Die Allgemeine Relativitätstheorie bietet die Möglichkeit, Modelle für Raum-Zeit und Gravitation zu entwickeln. Andererseits haben wir erreicht, die Wechselwirkungen, die die Struktur der Materie determinieren, im Rahmen von Quantenfeldtheorien zu beschreiben: *das Standardmodell der fundamentalen Wechselwirkungen*. Aus der Allgemeinen Relativitätstheorie und aus dem Standardmodell ergibt sich ein Bild des Kosmos – *das Standardmodell der Kosmologie* –, das erstaunliche Erfolge in der Erklärung von Beobachtungen aufweist. Allerdings ist dieses kosmologische Modell nur als „effektive Theorie (Modell)“ zu verstehen, es stellt eine einfache Zusammensetzung zweier Theorien dar (des quantenfeldtheoretischen Standardmodells der fundamentalen Wechselwirkungen einerseits, und der Allgemeinen Relativitätstheorie andererseits), die nicht unabhängig sein können, weil bei sehr kleinen Abständen zu erwarten ist, dass Quanteneffekte die raumzeitliche Struktur beeinflussen. Daher wird eine einheitliche Theorie gesucht, und diese Frage bestimmt die aktuelle physikalische Forschung.

Parallel zu dieser Entwicklung tritt im letzten Drittel des XX. Jh. eine verstärkte Beschäftigung mit der Frage der Komplexität als Grundlage für das Verstehen von Phänomenen auf, in denen nichtlineare Kopplungen und/oder viele Freiheitsgrade auftreten. Die Synergetik, z.B., „entdeckt allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Strukturbildung, der Selbstorganisation und der Evolution komplexer Systeme“.¹¹ Während die Basis dieser Modelle strikt klassisch (nicht-

⁸ In der Quantentheorie wird die Korrelation zwischen den Werten, die eine physikalische Größe zu verschiedenen Zeiten annehmen kann, nicht mehr durch eine einfache, kausale Kette gegeben (eine stetige „Bahn“ zwischen zwei Ereignissen, ein Grundbegriff der klassischen Mechanik), sondern durch eine Überlagerung von sprunghaften Pfaden (Zufallsketten) mit oszillierenden Gewichten: stetige Bahnen, so wie auch andere klassische Begriffe entstehen dann unter bestimmten Bedingungen dynamisch, als effektives, aber nicht fundamentales Verhalten. Das Bilden dieser Überlagerung von un stetigen Pfaden ist eine der möglichen Formulierungen der Quantentheorie. Eine andere, äquivalente Beschreibung wird durch die Beschreibung physikalischer Systemen mit Hilfe von Operatoren und von Zuständen in einen Hilbertraum erreicht, die also beliebig superponiert werden können und aus denen Wahrscheinlichkeiten für die Beobachtung verschiedener Werte errechnet werden können. Die Äquivalenz der verschiedenen Formulierungen impliziert eine Übersetzbarkeit der Begriffe, und in allen tritt ein irreduzibler Zufallscharakter auf, der in der klassischen Mechanik nur als eventueller Mangel an genauer Kenntnis auftrat.

⁹ Dieser Determinismus hat auch einen teleologischen Aspekt, denn wenn eine eindeutige Bahn existiert, ist es egal, ob wir die Entwicklung vom Anfangspunkt in die Zukunft errechnen oder vom Endpunkt her zurück bestimmen. Der teleologische Aspekt ist besonders klar in der Formulierung der Mechanik mit Hilfe des Wirkungsprinzips, das die Bahnen als Optima im Sinne der Minimierung einer globalen, bahnabhängigen Größe (der Wirkung) bestimmt. Er hat keine weitere Bedeutung und entspricht der Leibnizschen Vorstellung einer perfekten, deterministischen Welt.

¹⁰ (PQ 48). Kausalität als Bedingung für die raum-zeitlichen Entwicklungen gilt weiterhin im Sinne der Relativitätstheorie als das Verbot, Kommunikation über raum-artigen Abständen (mit Überlichtgeschwindigkeit) aufzustellen. Das impliziert die Lokalität der Wechselwirkungen (also keine Fernwirkung), eine Forderung, welche allerdings erst in der Quantenfeldtheorie erfüllt wird. Kausalität im Sinne einer deterministischen Entwicklung aller messbaren Eigenschaften gilt nicht mehr, damit existiert prinzipiell auch keine Bahn. Sowohl für Planck als auch für Einstein war dieser indeterministische Charakter nie zufriedenstellend.

¹¹ H. Haken und H. Knyazeva, „Synergetik; zwischen Reduktionismus und Holismus“, *Phil.Nat.* 37 (2000) 13.

relativistisch, nicht-quantentheoretisch) bleibt, haben sie einen neuen theoretischen Rahmen geschaffen, in dem man nicht nur die konkrete Struktur der Welt, sondern auch ihr Werden, ihre Evolution, angehen kann. Auch wenn sie nur vereinfachte Beschreibungen ermöglichen, haben diese Modelle erstaunliche Ähnlichkeiten zwischen Phänomenen ganz unterschiedlicher Natur (Festkörperphysik, Geophysik, Biologie etc.) entdeckt, was das Bilden von Strukturen betrifft: Selbstorganisation, Phasenübergänge, Instabilität und Ordnung.

Zweitens, wird die heutige Diskussion durch die allgemeine erkenntnistheoretische und naturphilosophische Entwicklungen beeinflusst. Einen gewissen Überblick kann z.B. der Band 37, Nummer 2, (2000) der *Philosophia Naturalis* geben, der der Frage der Naturgesetze gewidmet ist. Wir treffen hier wieder die Diskussion „mit“ Kant an (in der schon Cassirer, Weyl, Reichenbach etc verschiedene Richtungen vorgezeichnet hatten), die sprachanalytische Diskussion, die Frage der Modellierung u.s.w., aber auch die direkte wissenschaftstheoretische Betrachtung. Zur Illustration:

- | | |
|---|---|
| Olaf Müller | „Kantische Antworten auf die moderne Physik <i>oder</i> Sollen wir Kants Apriori mit Michael Friedman relativieren?“(jain) |
| Gerhard Vollmer | „Kandidaten für Naturgesetze“
„Was sind und warum gelten Naturgesetze?“ (keine abschließend Antwort, Merkmale und Gründe erarbeiten) |
| Michael Hampe | „Gesetz, Natur, Geltung – Historische Anmerkungen“ (geordnete Welt -> gesetzmäßige Natur, göttlichen Willen -> menschliche Verstand) |
| Andreas Bartels | „The Idea which we call Power. Naturgesetze und Dispositionen.“ |
| Andreas Hüttemann | „Natur und Labor. Über die Grenzen der Gültigkeit von Naturgesetzen“ (Dispositionen erklären warum man aus dem Labor raus kann) |
| Manfred Stöckler | „Strukturgesetze und materiale Gesetze“ (etwa unwiderlegbare Analytik vs falsifizierbare Hypothesen) |
| Paul Weingartner | „Sind die physikalischen Gesetze auf unserem Universum beschränkt?“ (nein: die Symmetriegruppe der Natur ist nicht leer) |
| Friedrich W. Hehl und Christian Heinike | „Über die Riemann-Einstein-Struktur der Raumzeit und ihre mögliche Gültigkeitsgrenzen“ (die Stellung des Raumzeit-Konzepts) |
| Achim Müller | „Naturgesetzlichkeiten – Chemie lediglich ein Bereich zwischen Physik und biologischem Geschehen?“ |
| Bertold Schweitzer | „Naturgesetze in der Biologie?“ (jain) |
| Martin Carrier | „Menschliches Verhalten und psychologische Gesetze“ (Ceteris-paribus-Gesetze) |
| Christoph Lütge | „Naturgesetze in der Ökonomie?“ (eher ja) |

- 4) Schließlich werden die Naturgesetze mathematisch ausgedrückt, wobei die Mathematik einerseits die adäquaten Symbole liefert (induktiver Aspekt) und andererseits die logische Struktur sichert (analytischer Aspekt).

Eine letzte Frage betrifft das „Wesen“ physikalischer Gesetze. Bezüglich der Frage, *wie* Gesetze ausgedrückt werden habe wir schon gemerkt, dass physikalische Gesetze (wie alle physikalischen Aussagen) mit Hilfe von Symbolen ausgedrückt werden, in Rahmen einer symbolischen Struktur von Beziehungen und Referenzen. *Was* drücken sie aber aus? Die Gesetze drücken eine Hypothese über einen Zusammenhang „hinter der beobachteten Phänomene“ aus. Das ist zwangsläufig, denn nur so können sie einen Erkenntnisgewinn vorbringen. Damit werden sie aber automatisch auf eine andere Ebene als die Phänomene gestellt. Z.B., die Gravitation: die Planetenbewegungen sind beobachtbare Phänomene. Ihre Bahnen sind zwar Abstraktionen, aber immer noch „direkt“ beobachtbar als die Reihe aller Stellungen, die der Planet annehmen kann. Was aber ist die Gravitationskraft? Im Rahmen der Newton'schen Physik haben wir keine Möglichkeit, sie zu beobachten, außer durch ihre Effekte, und in sofern die Gravitationskraft essentieller Teil des Gravitationsgesetzes ist, haben wir keinen Zugriff auf „dessen Wesen“ (Newton versucht deshalb der Raum als Organ Gottes hier einzuführen, um diese Kluft aufzuheben). Möglicherweise wird dieses Problem zu einem späteren Zeitpunkt erleichtert, so wird in der ART die Gravitation als Raum-Zeit-Krümmung in ihrem Wesen wieder greifbar. Dasselbe trifft für die elektromagnetischen Felder zu. Das ist aber immer nur ein Schritt. Die Verknüpfungen, z.B., die in den Einsteinschen Gleichungen oder in den Maxwell'schen Gleichungen vorkommen, entsprechen wieder einem „dahinter liegenden“ Zusammenhang auf dessen „Wesen“ wir zunächst keinen Zugriff haben.

Das ist unabhängig davon, ob wir von einer realistischen oder idealistischen Einstellung ausgehen. Dieser Unterschied betrifft den ontologischen Status dieses „Wesens des Gesetzes“, während die Frage des Zugriffs eine erkenntnistheoretische Frage ist. Der Aspekt, der hier betont werden soll, ist, dass in jeder Hypothese über ein Naturgesetz ein Element hineinkommt, das als solches vorher nicht beobachtbar oder irgendwie „gegeben“ war. Das gehört, so zu sagen, zur Natur der Naturgesetze.

FE	R.P. Feynman, „The Character of Physical Law“, MIT Press 1967
FD	id., „Vom Wesen physikalischer Gesetze“, Piper 1990
SG	E. Schrödinger, Gesammelte Abhandlungen, IV, Österr. Akad. Der Wiss. 1984
SN, SZ, SA	E. Schrödinger, „Was ist ein Naturgesetz“, „Das Gesetz der Zufälle“, „Antrittsrede und Erwiderung“, in SG.
NZ	C.S. Peirce, Naturordnung und Zeichenprozess, Frankfurt/M 1991
PP	C.S. Peirce, Schriften zum Pragmatismus und Pragmatizismus, Frankfurt/M
ZMP	E. Cassirer, Zur Modernen Physik, Darmstadt 1987
PQ	W. Heisenberg, Physikalische Prinzipien der Quantentheorie, Mannheim 1958

- Michael Drieschner „Naturwissenschaft a priori: Die Strenge des kantischen Anspruchs oder Karl Popper ein Idealist?“ (gegen Konstruktivismus: Widerständigkeit der Natur. „Wir konstruieren uns die Wirklichkeit selbst. Aber was wir so konstruiert haben ist *die* Wirklichkeit.“)
- Brigitte Falkenburg „Kants Naturbegriff und die Begründung der modernen Physik“ (gegen neukantianischem „Konstruktivismus“. Empirische Bedingungen der Möglichkeit von Naturerkenntnis. Kantsche Antworten revidierbedürftig, Methode OK.)
- Holger Lyre „Kann moderne Physik a priori begründbar sein?“ (Apriorism ohne Dogmatism)
- Peter Mittelstaedt „Apriorische Strukturen der Quantenmechanik“ (teilweise in der Logik)

Diese Diskussion gibt natürlich den deutschsprachlichen Dialograum wider. Allerdings ist etwa die Diskussion mit Relativismus, Sociology of Science u.a. nicht besonders interessant. Die Diskussion mit einem „Empirismus“ à la Nancy's Cartwright „Patchwork of models“, führt auch nicht weiter, weil diese Betrachtungen den Erkenntnisprozess nicht beschreiben können. In der Tat scheint sich die Diskussion im Wesentlichen zwischen subtileren realistischen und idealistischen Einstellungen abzuspielden, die schließlich gar nicht so entfernt sein müssen, wenn man den *symbolischen Charakter* jeder Erkenntnis richtig deutet.

6. Vom Wesen physikalischer Gesetze

Ich habe versucht, den Rahmen zu skizzieren, in dem man die Frage nach der Naturgesetzen stellt.

Wir haben gesehen, dass dieses Problem erkenntnistheoretisch mit der Frage des Kausalprinzips und der „Verständlichkeit der Welt“, und damit auch mit der Frage der Induktion und der „Befestigung unseres Wissens“ verbunden ist. 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.“ (PP 168)

Vom wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkt müssen Naturgesetze einige wichtige Kriterien erfüllen:

- 1) Die empirische und die analytische Konsistenz sollen so weit als möglich gelten, im Prinzip für alle Fälle, die das Gesetz behandeln kann (also: nicht ad-hoc entwickelt oder beschränkt)
- 2) Das Gesetz soll eine genuine Reduktion darstellen: sie darf nicht nur eine Tabelle, eine Sammlung von Regelmäßigkeitsbeobachtungen sein, sondern soll diese auf wenige Gründe zurückführen.
- 3) Gesetze sollen fähig sein, in gesamte theoretische Strukturen eingebaut zu werden. Das impliziert auch die Möglichkeit von Korrekturen und Entwicklungen zugleich mit dem Anspruch, eine bestimmte Art von Kontinuität in dieser Entwicklung zu zeigen (Newton -> Einstein; Dekohärenz; etc).