



Die „Sammlung Vieweg“ hat sich die Aufgabe gestellt, Wissens- und Forschungsgebiete, Theorien, chemisch-technische Verfahren usw., die im Stadium der Entwicklung stehen, durch zusammenfassende Behandlung unter Beifügung der wichtigsten Literaturangaben weiteren Kreisen bekanntzumachen und ihren **augenblicklichen Entwicklungsstand zu beleuchten**. Sie will dadurch die Orientierung erleichtern und die Richtung zu zeigen suchen, welche die weitere Forschung einzuschlagen hat.

Als Herausgeber der einzelnen Gebiete, auf welche sich die Sammlung Vieweg zunächst erstreckt, sind tätig, und zwar für:

- Physik** (theoretische und praktische, und mathematische Probleme):
Herr Geh. Reg.-Rat Prof. Dr., Dr.-Ing. E. h. **Karl Scheel**, Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Charlottenburg;
- Chemie** (Allgemeine, Organische und Anorganische Chemie, Physikal. Chemie, Elektrochemie, Technische Chemie, Chemie in ihrer Anwendung auf Künste und Gewerbe, Photochemie, Metallurgie, Bergbau):
Herr Prof. Dr. **Bernhard Neumann**, Techn. Hochschule Breslau;
- Technik** (Wasser-, Straßen- und Brückenbau, Maschinen- und Elektrotechnik, Schiffsbau, mechanische, physikalische und wirtschaftliche Probleme der Technik):
Herr Prof. Dr.-Ing. E. h. **Fritz Emde**, Techn. Hochschule Stuttgart.

Neuere und neueste Hefte der „Sammlung Vieweg“

- Heft 31. Dr. Heinrich Faßbender: *Die technischen Grundlagen der Elektromedizin*. Mit 77 Abbildungen. M. 4,—.
- Heft 32/33. Prof. Rudolf Richter: *Elektrische Maschinen mit Wicklungen aus Aluminium, Zink und Eisen*. Mit 51 Abbildungen. M. 6,—.
- Heft 34. Obering. Carl Beckmann: *Haus- und Geschäfts-Telephonanlagen*. Mit 78 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 35. Dr. Aloys Müller: *Theorie der Gezeitenkräfte*. Mit 17 Abb. M. 3,—.
- Heft 36. Prof. Dr. W. Kummer: *Die Wahl der Stromart für größere elektrische Bahnen*. Mit 7 Abbildungen. M. 2,50.
- Heft 37. Dr. Reinhold Rieke: *Die Arbeitsmethoden der Silikatchemie*. 2. Aufl. Mit 4 Abbildungen. M. 3,50.
- Heft 38. Prof. Dr. Albert Einstein: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. (Gemeinverständlich)*. 14. Auflage. (61. bis 65. Tausend.) Mit 4 Figuren. M. 3,—.
- Heft 39/40. Dr. Richard Grammel: *Die hydrodynamischen Grundlagen des Fluges*. Mit 83 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 41/42. Ingenieur Georg Duffing: *Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung*. Mit 23 Abb. M. 4,75.
- Heft 43. Dr. Robert Schwarz: *Feuerfeste und hochfeuerfeste Stoffe*. 2. vermehrte Auflage. Mit 10 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 44. Dr. Iwan Döry: *Einphasenbahnmotoren*. Mit 75 Abbildungen. M. 3,—.

Fortsetzung siehe 3. und 4. Umschlagseite.

Hugo Bergmann

Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik



Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.
Braunschweig 1929

Herausgeber dieses Heftes:
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr.-Ing. e. h. Karl Scheel, Berlin

ISBN 978-3-322-98250-6 ISBN 978-3-322-98943-7 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-98943-7

Alle Rechte vorbehalten

Dem Andenken meines Lehrers

Anton Marty

(1847—1914)

Zum Geleit.

Es ist wohlbekannt, daß die Physik unserer Tage unter dem Einfluß der Tatsachen der Atomphysik an der Durchführbarkeit einer strengen Kausalität ernsthaft zweifelt. Da ist es wohl berechtigt, wenn ein Fachphilosoph, dem man in seltenem Maße Beherrschung der philosophischen Literatur, Selbständigkeit des Denkens und Kenntnis der wesentlichen einschlägigen physikalischen Tatsachen und Erklärungsversuche nachrühmen darf, das Problem analysiert. Möge das Büchlein dazu beitragen, die von den Besten unserer Tage erstrebte Annäherung physikalischer und philosophischer Denkarbeit zu fördern.

Berlin, im März 1929.

A. Einstein.

Vorwort.

Es sei gestattet, einige persönliche Worte dem Texte vorzuschicken. Wer sich die Mühe nähme, die vorliegende Schrift mit meinen früheren, deutsch erschienenen Büchern zu vergleichen, würde einen Widerspruch zwischen meiner heutigen Stellung und der, welche ich früher, insbesondere in meinem Buche über Bolzano, einnahm, feststellen können. Dieser Widerspruch betrifft vor allem das Kausalgesetz. Ich hielt dieses Gesetz damals — Brentano folgend — für unendlich wahrscheinlich, also praktisch sicher. Damit erschien der Angriff Humes gegen die Wissenschaft abgewehrt.

Ich habe aber erkennen müssen, daß sich das Kausalgesetz mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht beweisen läßt, weil die Anwendbarkeit dieses Kalküls auf die Erfahrung selbst nicht ohne weiteres zugestanden werden kann (siehe Abschnitt 22 ff. dieser Schrift). Diese Anwendbarkeit selbst bedarf einer Grundlegung, denn es ist nicht einzusehen, warum in einer völlig dem Zufall preisgegebenen „Welt“ die Gesetze der Wahrscheinlichkeit gelten sollten. Es bedarf also hier einer neuen Hypothese. Worauf soll sie gegründet werden — dies war die Frage.

Mit dieser Überlegung brach für mich die festeste Säule der Brentanoschen Erkenntnistheorie zusammen. Ich sah ein, daß das Kausalgesetz nicht bewiesen werden kann, sondern zugrunde gelegt werden muß, nicht „aus Konvenienz“, sondern als Bedingung der Erfahrung. Den Einwand, daß ja die Erfahrung selbst der Begründung bedürfe, und daß die Ableitung der obersten Voraussetzungen der Erfahrung aus der Möglichkeit der Erfahrung heiße „Aus dem Durste einen Trank bereiten“,

wie Pichler gesagt hat, gebe ich als berechtigt zu. Allein hier stehen wir, wie mir scheint, an der Grenze der Beweisbarkeit.

Die neue Physik nun stellt uns vor ein neues Problem: Sie zeigt, daß für die Erfahrung eines Teiles der Physik das Kausalgesetz nicht notwendig sei, sondern daß sie sich begnügen könne mit der Hypothese, daß sich die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Wirklichkeit anwenden lasse und daß sie sich damit begnügen müsse, weil die experimentellen Voraussetzungen für eine Anwendung des Kausalgesetzes prinzipiell nicht gegeben werden können. Mit dieser Frage beschäftigt sich die vorliegende Schrift. Ich habe mich bemüht, der neuen Wendung in der Physik die erkenntnistheoretischen Wege zu ebnen, ohne deswegen zu verkennen, wie groß die Gefahren sind, welche der Forschung drohen, wenn wir auf das Erkenntnisziel der strengen Kausalität Verzicht leisten.

Bei der Wiedergabe der Arbeiten von Heisenberg und Bohr habe ich mich nicht überall genau an den Gedankengang der Autoren gehalten, sondern stellenweise einzelnes interpoliert, wo ich selbst bei der Lektüre mit Schwierigkeiten des Verständnisses gekämpft hatte. Sollten dabei Unrichtigkeiten vorgefallen sein, so trifft natürlich mich die Verantwortung.

Das Verständnis der Probleme der heutigen Physik erschloß mir vielfach die Hilfe meiner Freunde Dr. M. Reiner und Dr. S. Samburski in Jerusalem, denen ich herzlichen Dank sage.

Ich habe das Buch dem Andenken meines Lehrers gewidmet, der sicherlich über manches in diesem Buche Gesagte bedenklich den Kopf schütteln würde, wenn er noch unter den Lebenden weilte. Der Unterschied der Ansichten auch in grundlegenden Fragen der Philosophie kann die Verehrung nicht mindern, die ich für Anton Marty hege, der das Muster eines Menschen, Lehrers und Philosophen war.

Jerusalem (Hebräische Universität), den 9. August 1928.

Hugo Bergmann.

Inhaltsverzeichnis.

| | |
|---|----|
| I. Kausalität | 1 |
| 1. Erkenntnistheoretische Resultate der Entwicklung der Physik seit Beginn des Jahrhunderts: Erkenntnis der transzendentalen Voraussetzungen der Wissenschaft. 2. Reine und empirische Begriffe in der Physik. Anpassung der reinen Begriffe an den jeweiligen Stand der Wissenschaft. 3. Das Kausalgesetz als methodologische Voraussetzung. 4. Können synthetische Voraussetzungen a priori durch andere ersetzt werden? 5. Erste Funktion der Kausalität als transzendente Voraussetzung: Objektivität der Zeitordnung. Leibniz und Kant. 6. Lotze. 7. Ursache und Wirkung nicht durch topologische Struktur unterschieden. Daher die Voraussetzung eines nicht umkehrbaren Vorgangs in der Physik notwendig. 8. Gegenteilige Ansicht von Reichenbach. 9. Gleiche Ursachen — verschiedene Wirkungen? 10. Reichenbachs Lehre von der intransitiven und transitiven Gabel. 11. Beruht auf einer Verwechslung von Teilursache und Gesamtursache. 12. Schluß auf die Vergangenheit sicherer als auf die Zukunft? 13. Zweite Funktion der Kausalität als transzendentaler Voraussetzung. Reichenbachs Lehre vom „Jetzt“. 14. Das „Jetzt“ physikalisch nicht faßbar. | |
| II. Wahrscheinlichkeitszusammenhang | 30 |
| 15. Das statistische Naturgesetz: a) in Übereinstimmung mit dem Kausalgesetz: Gastheorie. 16. b) Im Gegensatz zum Kausalgesetz: radioaktiver Zerfall und Quantensprünge. 17. Anschauungen von Planck, Nernst und Exner. 18. Die Polemik von Born gegen Lasker. 19. Heisenbergs Lehre von der prinzipiellen Undurchführbarkeit einer gleichzeitigen exakten Bestimmung von Ort und Impuls. 20. Die Komplementaritätstheorie von Bohr. 21. Historische Bemerkungen über die Annahme einer Kontingenz in der Natur. 22. Setzt die Wahrscheinlichkeitsrechnung das Kausalgesetz voraus? 23. Die Geltung des Kausalgesetzes ist nicht notwendig für die Wahrscheinlichkeitsrechnung, wohl aber ist deren Anwendbarkeit auf die Wirklichkeit gesondert zu postulieren. 24. Spontanistische Theorie. Das Geschehen ist ein Würfelspiel. 25. Kann das genannte Postulat die Funktionen des Kausalgesetzes ersetzen? 26. Sein synthetischer Charakter. 27. Womit ist das Minus an Voraussetzungen erkauf? 28. Das Wunder ist naturgesetzlich möglich geworden. Bloße pädagogische Bedeutung solcher Argumente. | |

| | |
|---|----|
| III. Teleologie in der Physik? | 59 |
| 29. Einwirkung der Zukunft auf die Vergangenheit? 30. Widerspruch mit der Hypothese vom Wahrscheinlichkeitszusammenhang. 31. Das Hamiltonsche Prinzip. 32. Einwirkung der Zukunft würde die Bestimmtheit der Gegebenheit zerstören. 33. Eindringen der Teleologie in die Physik. | |
| IV. Wahrscheinlichkeitszusammenhang und Willensfreiheit | 68 |
| 34. Macht die neue Physik Platz für die Freiheit? Mißverständliche Interpretation. 35. Lücken in der Kausalität bedeuten noch nicht Freiheit. 36. Postulatorischer Charakter des Kausalgesetzes bzw. des Gesetzes von der Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsrechnung. 37. Abstrakter Charakter der Physik. Vereinbarkeit des methodologischen Determinismus mit der Willensfreiheit. | |

I. Kausalität.

1. 1900 gab Planck den ersten Anstoß zur Quantentheorie, 1905 veröffentlichte Einstein seine erste Abhandlung zur Relativitätstheorie. Es ist also ein Vierteljahrhundert verflossen, seit die Physik ihre neuen Theorienkomplexe, die Relativitätstheorie und die Quantentheorie, entwickelt hat. Beide Theorien haben eine ungemein starke philosophische Bewegung hervorgerufen und wie kaum irgendwelche andere wissenschaftliche Theorien dazu beigetragen, im Streit der Meinungen den Sinn philosophischer Grundbegriffe und den Sinn der wissenschaftlichen Methode überhaupt und der Physik im besonderen klarzustellen.

Folgendes ist, glaube ich, das erkenntnistheoretische Resultat dieser Entwicklung: der Empirismus und Positivismus, welcher alle Wissenschaft, und besonders die Naturwissenschaft auf die Erfahrung allein stützte und glaubte zeigen zu können, daß wir die physikalischen Begriffe aus der Erfahrung herausklauben, die physikalischen Gesetze aus der Erfahrung ablesen, scheiterte. Niemals wie jetzt war es so klar, welche überragende Rolle in der Physik die Deutung der Tatsachen spielt. Obwohl das Einsteinsche Weltbild bekanntlich durch empirische Daten eine starke Stützung erfahren hat, so ist seine Größe doch keineswegs hier zu suchen, sondern in der neuen Deutung, welche es den empirischen Daten gegeben hat. Als der entscheidende Wert des Weltbildes haben sich nicht die Tatsachen erwiesen, sondern die — kantisch zu sprechen — transzendentalen Voraussetzungen, mit welchen die Forscher an die Natur herantreten. Wohl hat die Relativitätstheorie uns gelehrt, deutlicher als wir dies früher konnten, im Aufbau der Physik empirische Elemente von apriorischen zu scheiden, vieles für apriorisch Gehaltene mußte sich die Bewährung durch die Erfahrung gefallen lassen oder erwies

sich, an der Empirie und unseren empirischen Beobachtungsmethoden und -mitteln gemessen, als leer. Aber umgekehrt offenbarte sich in ihrem ganzen Gewicht die Rolle, welche der Definition, der Festsetzung im Aufbau der Wissenschaften, zukommt. „In das Chaos der fließenden Welt wird ein Begriffssystem derart hineindefiniert, daß dieses Chaos als ein geordnetes Fließen erscheint. Geometrie ist dann dasjenige Beziehungsgerippe, welches das so geordnete Chaos trägt“, so umschreibt ein Physiker, Hans Reichenbach, den philosophischen Ertrag der Relativitätstheorie (Philosophie der Raum-Zeit-Lehre, 1928, S. 204). Und Planck sagt ganz allgemein, „daß alles auf den gewählten Ausgangspunkt ankommt; denn aus Nichts wird Nichts, ohne bestimmte Voraussetzungen läßt sich überhaupt nichts folgern“ (Kausalität und Willensfreiheit, S. 12).

Es ist bekannt, daß von hervorragenden Physikern wie Poincaré eine konventionalistische Auffassung der Wissenschaft vertreten wurde. Sie wurde von philosophischer Seite abgelehnt, mit Recht, soweit die Bezeichnung in Betracht kommt, die nur allzu leicht auf den Irrweg des Fiktionalismus führt. Die transzendentalen Voraussetzungen der Wissenschaft sind keine Fiktionen, keine Konventionen. Die Fiktion bedeutet das Ende der Wissenschaft, wenn sie ihr zur Grundlage genommen wird. Aber wenn auch der Ausdruck unrichtig war und zu falschen Schlüssen führen konnte, richtig war der Widerspruch gegen den Empirismus, der im Konventionalismus steckte.

Wissenschaft ist Deutung der Wirklichkeit, nicht Photographie. Als Deutung ist sie an gewisse Voraussetzungen gebunden, die nicht selbst wiederum der Empirie entstammen. Diese Voraussetzungen können verschiedenartig sein, und nach ihrer Art gliedert sich die Wissenschaft. Diese Voraussetzungen sind den Werkzeugen des Arbeiters vergleichbar. Wenn wir nun etwa sehen, daß durch Jahre hindurch in einzelnen Teilen der Physik einander widersprechende Hypothesen vorausgesetzt werden und z. B. die Wellentheorie und die Emissionstheorie des Lichtes nebeneinander bestehen, oder die klassische Physik und die Quantentheorie, so ist solche Entwicklung, die ja immer nur zeitweilig und provisorisch sein wird, geeignet, den Blick zu schärfen für den Unterschied von tran-

szendentaler Voraussetzung und Beobachtungsergebnis — zwischen Werkzeug und Arbeitsertrag. Diese verschiedenen und einander widersprechenden Voraussetzungen als Fiktionen abzutun, wäre deswegen verfehlt, weil die Fiktion eine provisorisch für wahr angenommene falsche Behauptung bedeutet. Die Fiktion trägt also ihren Widerspruch in sich. Wenn dagegen ein Physiker von der Wellenauffassung, der andere von der Korpuskularauffassung des Lichtes ausgeht, so sind beides Voraussetzungen, Werkzeuge. Es sind, wenn man will, verschiedene Sprachen, und so wenig man daraus, daß zwei Sprachen verschiedene Vokabeln haben, schließen darf, sie seien „fiktiv“, so wenig man aber auch sagen darf, sie seien „wahr“, genau so ist es mit den kategoriellen Voraussetzungen, welche der Forscher festsetzt, wenn er ans Werk geht.

2. Nehmen wir die Physik als Ganzes und ihre Abgrenzung gegenüber anderen Wissenschaften zum Beispiel. Planck hat (Physikalische Rundblicke, 1922, S. 34) als das Ziel der Physik in ausgezeichneter Weise bezeichnet die vollständige Loslösung des physikalischen Weltbildes von der Individualität des bildenden Geistes, die Emanzipierung von den antlropomorphen Elementen. Das heißt: Es ist Aufgabe der Physik, eine Welt aufzubauen, welche bewußtseinsfremd ist und in welcher das Bewußtsein ausgelöscht ist. Dies ist die transzendente Voraussetzung der Physik (vgl. meine Abhandlung „Über einige philosophische Argumente gegen die Relativitätstheorie“ in den Kantstudien 1928).

Ist nun diese Voraussetzung wahr, ist die Welt bewußtseinsfremd? So zu fragen, hieße den Sinn der transzendentalen Voraussetzung vollständig verkennen. Der Physiker selbst, der erkenntnistheoretisch denkt und sein eigenes Tun versteht, wird dies nicht behaupten wollen. Vielmehr ist dies die Sprache, die er als Physiker zu sprechen hat. Aber die Welt der Physik ist eine Welt der Deutung, d. h. der Abstraktion¹⁾, und wir müssen von der Physik verlangen, daß die Abstraktion innerhalb ihrer Begriffsmittel rein durchgeführt wird. Wenn freilich das begriffliche Werkzeug zum Dogma werden sollte, so müßten wir an seine transzendente Herkunft erinnern. Wir müssen die transzendentalen

¹⁾ Vgl. hierüber die Ausführungen in Kap. IV.

Voraussetzungen ebensosehr dagegen schützen, daß sie zum Dogma werden¹⁾, zur positiven Behauptung, wie dagegen, daß sie der Empirie zum Raube werden und als leer hingestellt werden deswegen, weil sie einer gewissen Empirie mit Recht als leer erscheinen. Ein Beispiel:

Die „zeitfolgeunbestimmten Ereignisse“ (so nennt sie Reichenbach, Philosophie der Raum-Zeit-Lehre, S. 168) entstehen durch den Vergleich zweier Zeitreihen in verschiedenen Raumpunkten. Die Tatsache, daß unsere schnellsten Boten, die Lichtsignale, immerhin nur eine endliche, wenn auch noch so große Geschwindigkeit besitzen, daß wir also Uhren an verschiedenen Stellen der Welt nur durch Signale aufeinander abstellen können, welche selbst zur Zurücklegung ihres Weges Zeit brauchen, bringt es mit sich, daß, wenn wir die Zeit in P' von P aus regulieren, einem Punkte ereignis in P' eine Ereignisstrecke in P zugeordnet erscheint, deren sämtliche Punkte in bezug auf jenes Punkte ereignis zeitfolgeunbestimmt sind. Denken wir uns, daß unsere schnellsten Boten immer schneller laufen, so wird die Unbestimmtheit immer kleiner, und im Falle unendlicher Geschwindigkeit erscheint wiederum ein Punkte ereignis einem Punkte ereignis zugeordnet und die klassische Zeitauffassung wieder hergestellt.

Das aber heißt: die alte Zeitauffassung ist zur Grenze geworden, die wir nicht erreichen können, weil wir die Zeit mit Objekten messen. Die Grenze, die uns hier gezogen ist, entstammt also der Methodik der Physik. Innerhalb dieser Methodik ist der Begriff der absoluten Gleichzeitigkeit „leer“, d. h. physikalisch, mit Objekten, nicht realisierbar; aber er ist deswegen nicht sinnlos geworden, denn er gibt ein Ziel an, das nicht sinnlos wird, auch wenn es vom Standpunkte der Physik unerreichbar und imaginär bleibt.

Der Philosoph, der an die physikalischen Methoden nicht gebunden ist, dessen Aufgabe es nicht ist, eine objektive bewußtseinsfremde Welt der Dinge aufzubauen, sondern dieser Welt, die doch nur eine künstliche, methodische Abstraktion ist, ihren Platz im Gesamtgebiet des Wissens anzuweisen, die bewußtseinsfremde Welt

¹⁾ Vgl. die ausgezeichneten Darlegungen bei Brunschvicg, *L'expérience humaine et la causalité*, S. 533 f.

gewissermaßen wiederum in das Bewußtsein zurückzunehmen, ist an die Grenzen der physikalischen Begriffsbildung nicht gebunden, und er wird verhindern müssen, daß Begriffe, die für den Physiker leer geworden sind in dem Sinne, daß sie nicht physikalisch, d. h. durch objektive Begriffe realisierbar sind, deswegen einfach über Bord geworfen werden, obwohl sie gerade auch dem Physiker als Grenzbegriffe, als Wissenschaftsideale methodisch von ungeheurem Werte sind. Der „reine“ Begriff wird dadurch nicht leer, daß er dem Physiker, der ihn nur im empirischen Gewande kennt und gebraucht, als leer erscheint. Es ist gerade Aufgabe des Philosophen, die Legitimität des reinen Begriffs festzuhalten und ihn dadurch zu retten, nicht zum wenigsten für die Physik selbst, die ihn morgen, wenn die Empirie weiter fortgeschritten sein wird, brauchen wird, um sich, im Hinblick auf den reinen Begriff, neue empirische Begriffswerkzeuge zu schmieden. In unübertrefflicher Weise hat Natorp in seinen „Logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften“, S 392 ff., die unmittelbar nach den ersten Veröffentlichungen von Einstein und Minkowski erschienen, den reinen Sinn von Raum und Zeit geklärt, das relative Recht der Physik bestätigt und das absolute Recht der Philosophie verteidigt und dadurch der Philosophie und Physik einen größeren Dienst erwiesen als diejenigen Philosophen, welche, reine und empirisch-physikalische Begriffe identifizierend oder verwechselnd, gegen die Relativitätstheorie ankämpften, weil sie für ihre Messungen nicht den absoluten Raum und die absolute Zeit selbst unmittelbar zugrunde legte. In der richtigen Verbindung des Reinen und des Empirischen, der Choresis und Metexis von Idee und Wirklichkeit, liegt der Schlüssel zur Lösung der philosophischen Schwierigkeiten der neuen Physik.

Ein amerikanischer Experimentalphysiker, der kürzlich ein Buch über die Logik der modernen Physik schrieb, P. W. Bridgeman (*The Logic of Modern Physics*, New York 1927), stellt es als das hohe Verdienst Einsteins hin, daß er den Physiker gelehrt hat, seine Begriffe statt durch den begrifflichen Inhalt durch die physikalischen Operationen zu definieren, durch welche er realisiert wird. Der Philosoph wird dieses Verdienst gern anerkennen. Aber wenn Bridgeman erklärt, der Begriff sei syn-

onym mit den entsprechenden Operationen (also etwa die Zeit mit der Zeitmessung), so wird der Philosoph darauf hinweisen, daß diese Identifizierung des Begriffs mit den physikalischen Operationen eine neue Art von Nominalismus darstellen würde, welche den physikalischen Fortschritt selbst schwer hemmen müßte, weil sie die sinnvolle Entwicklung des Begriffs entsprechend dem Fortschritt der empirischen Möglichkeiten zerstören würde. Denn diese Entwicklung, welche eine Reihe von Operationen, welche momentan zur Definition eines physikalischen Begriffs dient, immer wieder durch eine andere ersetzt, geschieht im Hinblick auf den reinen Begriff, der jenem empirischen zugrunde lag und daher die konkrete Forschung vorwärtstriebe. Aufgabe des Philosophen ist es, am reinen Begriff festzuhalten, zugleich aber der Physik jene Elastizität und Lockerung des empirischen Begriffs freizugeben, welche durch den momentanen Stand der Empirie gefordert wird.

3. Die neueste Entwicklung der Physik verlangt eine derartige Auflockerung des Begriffs der Kausalität. Wieweit kann eine solche freigegeben werden? Dies ist die Frage, die uns zu beschäftigen haben wird. Ehe wir an sie herantreten, sei im Sinne der obigen Ausführungen die reine Bedeutung des Kausalbegriffs und Kausalgesetzes auseinandergesetzt. Erst wenn wir sie klar gestellt haben, können wir die Frage beantworten, wieweit Konzessionen an die Empirie gemacht werden können.

Brentano definierte das Kausalgesetz folgendermaßen (Versuch über die Erkenntnis, S. 108): „Bei jedem Werden ist das Werdende mit einem Vorbestehenden wie Wirkung mit Ursache verknüpft, mit anderen Worten, ein Vorbestehendes determiniert das, was wird.“ Man hat vielfach (so Benno Kohn, Untersuchungen über das Causalproblem, 1881, S. 35; so auch Brunschvicg, *L'expérience humaine*, S. 526) eine Doppelformulierung des Kausalgesetzes verlangt. So fügt Kohn zu dem Kausalgesetz, das er ungefähr so formuliert wie Brentano, ein Kausalprinzip, welches aussagt, daß gleiche Ursachen stets gleiche Wirkungen nach sich ziehen (so auch Maxwell, Substanz und Bewegung). Mir scheint ein solcher Zusatz nicht notwendig, da die eindeutige Zuordnung schon im Begriffe des Determinierens liegt. Wenn auf ein a einmal

ein b und einmal ein c folgt, wie dies jetzt die Anhänger des statistischen Naturgesetzes annehmen, so wird man a wohl nicht mehr Ursache von b nennen dürfen. Die von Kohn „Kausalprinzip“ genannte Behauptung ist allerdings weniger umfassend als das allgemeine Kausalgesetz, und so könnte jemand an ihr festhalten wollen, ohne das allgemeine Kausalgesetz zu akzeptieren. Dies ist die Stellung Reichenbachs, der das allgemeine Kausalgesetz „Determinationsform der Kausalhypothese“ nennt und verwirft, während er an der „Implikationsform der Kausalhypothese“ (Wenn A ist, so ist B) festhält. (Die Kausalstruktur der Welt, Sitzungsberichte der Bayr. Akad., Math.-Nat., 1925, S. 133 f.)

Die Frage, um die seit Hume in der Philosophie gerungen wird, ist: einen Beweis für die Gültigkeit des Kausalgesetzes zu erbringen. Diese Bemühungen sind mißglückt. Es ist nicht gelungen, Hume zu widerlegen und das Kausalgesetz nachzuweisen. Aber in dem Ringen um die Widerlegung Humes hat sich der Wissenschaft der Begriff des „Beweises“ der obersten Grundsätze selbst geklärt, und wichtiger als die mißlungene formelle Widerlegung der Humeschen Einwände ist die Erkenntnis der Natur der obersten Wissenschaftsgrundsätze selbst, welche die Philosophie gewann. Es wurde erkannt, daß das Problem eines „Beweises“ der obersten Grundsätze selbst falsch gestellt ist. Nur auf dem Standpunkt der vorkritischen Philosophie war eine solche Problemstellung möglich: Die Wissenschaft galt als Abbildung der Wirklichkeit, und die Frage, welche Hume stellte, war in dieser Zeit berechtigt. Ist denn nun, wurde gefragt, die Wirklichkeit tatsächlich so, daß in ihr das Kausalgesetz gilt? Und auf diese Frage war keine Antwort möglich. Erst durch die kopernikanische Drehung Kants wurde erkannt, daß der Wissenschaftsprozess eine Deutung jenes X ist, das aller Deutung zugrunde liegt und nur uneigentlich mit Wirklichkeit oder Welt bezeichnet werden könnte, da diese Begriffe selbst schon Deutungen sind; diese Deutung ist aber an gewisse Voraussetzungen gebunden, welche sie sich selbst gibt, „Synthetische Urteile a priori“, welche den Rahmen bestimmen, innerhalb dessen die Erscheinungen gedeutet und bestimmt werden sollen, das kategorielle Werkzeug, mit welchem wir an die Erscheinungen herantreten. Die Allgemeingültigkeit des Kausal-

gesetzes ist also kein logisch beweisbarer Satz, sondern spricht unseren Entschluß aus, „alle Mittel anzuwenden, um jede gegebene Tatsache als eine gesetzmäßig bedingte aufzufassen, und, solange uns die Ermittlung ihrer gesetzlichen Bedingtheit nicht gelungen ist, diese Umstände nicht als Beweis für die Widerlegung des Kausalgesetzes, sondern als Zeichen für das Vorhandensein einer ungelösten Aufgabe zu betrachten“ (H. Gomperz, Problem der Willensfreiheit, S. 15 f.). Das Kausalgesetz als solche oberste kategorielle Voraussetzung kann weder bewiesen noch widerlegt werden. Die Erfahrung ist dazu nicht imstande, weil jeder nicht nachgewiesene Kausalzusammenhang nur eine noch ungelöste Aufgabe bedeutet, und keine Widerlegung. Mit Recht spricht darum Ehrhardt (Zeitschrift für Philosophie 1909, S. 223) von der methodologischen Allgemeingültigkeit der Kausalität, die darin besteht, daß, wenn wir einmal nicht in der Lage sind, eine Veränderung aus ihren Ursachen zu erklären, wir immer nur schließen, daß es uns bisher nicht gelungen ist, die Ursache aufzufinden. Wir können dies deswegen tun, weil wir Ausnahmen vom Kausalitätsgesetz niemals nachweisen können.

Andererseits aber wäre ein apriorischer Beweis des Kausalgesetzes nur möglich durch Zurückführung desselben auf rein analytische Urteile der Logik, und eine solche Zurückführung gelingt eben, wie Hume sah, nicht. Es handelt sich hier eben um eine Hypothese, welche der Erfahrung zugrunde gelegt wird.

4. Kant hat die sämtlichen synthetischen Urteile a priori, welche der Naturwissenschaft zugrunde liegen und sie erst möglich machen, „die Bedingungen a priori von der Möglichkeit der Erfahrung“, welche „zugleich die Quellen sind, aus denen die allgemeinen Naturgesetze hergeleitet werden müssen“ (Prolegomena, § 17), unter dem Namen der reinen Naturwissenschaft zusammengefaßt. „Die Naturgesetze, die in ihr zugrunde liegen, werden a priori erkannt und sind nicht bloße Erfahrungsgesetze“ (Metaph. Anfangsgr. d. Naturwissenschaft). Das Kausalgesetz ist in diesem Sinne ein Satz der reinen Naturwissenschaft. Wenn nun in letzterer Zeit aus dem Lager der Naturwissenschaft selbst Angriffe gegen das Kausalgesetz erhoben worden sind, wenn gesagt worden ist,

daß das Kausalgesetz in seiner Strenge und Eindeutigkeit aufgehört habe, eine Bedeutung für die Naturwissenschaften zu besitzen, und daß es ersetzt werden müsse durch ein viel lockereres Gesetz, welches nicht mehr die Eindeutigkeit des einzelnen Falles verlange, sondern sich mit einer Regelmäßigkeit statistischer Art, mit einer Gesetzmäßigkeit des Durchschnitts begnüge, so müssen wir uns die allgemeine Frage vorlegen: nachdem ein Satz der reinen Naturwissenschaft (oder überhaupt ein synthetisches Urteil a priori) weder formal logisch bewiesen noch durch Erfahrung bewiesen oder widerlegt werden kann, welchen Weg zu einer solchen Ersetzung (Del Negro: „Novellierung“) gibt es dennoch?

Auf dem Standpunkt der Kantischen Philosophie in strenger Wortbedeutung hat diese Frage keinen Sinn. Die synthetischen Urteile a priori sind bei Kant ein für allemal fixiert. Allein dies scheint der wesentlichste Fortschritt, welchen auf diesem Gebiete die Philosophie gemacht hat, daß das starre System der synthetischen Urteile a priori beweglich gemacht wurde, ohne daß der Grundgedanke Kants — Wissenschaft ist Deutung der Wirklichkeit, welche durch gewisse kategorielle Voraussetzungen bedingt ist — preisgegeben wurde. Es wurde erkannt, daß die Entwicklung der Wissenschaft nicht nur darin besteht, mehr und mehr Tatsachen a posteriori in einem von vornherein für immer feststehenden Rahmen aufzufangen, sondern daß dieser Rahmen selbst erweiterungs- und entwicklungsfähig ist, und daß gerade diese Entwicklung der synthetischen Grundsätze a priori den wesentlichen Fortschritt der Wissenschaft bedeutet.

Wie nun wird ein solcher Grundsatz a priori aufgelockert? Ich sage nicht „widerlegt“, da eine Widerlegung in strengem Sinne so wenig möglich ist wie ein Beweis. Ich sehe zwei Möglichkeiten dafür, daß ein synthetischer Grundsatz a priori aufgegeben oder modifiziert wird: a) wenn gezeigt werden kann, daß die empirischen Daten seine Anwendung nicht gestatten. Verlören wir alle die Fähigkeit, uns zu bewegen, so würden wir wahrscheinlich gewisse Prinzipien, die wir heute unserem physikalischen Aufbau zugrunde legen, fallen lassen. Sie würden vielleicht für uns unanwendbar geworden sein. Würden uns unsere physikalischen Apparate nicht gestatten, die Identität gewisser physikalischer

Größen festzuhalten oder festzustellen, so hätte es keinen Sinn, auf sie das Kausalgesetz anzuwenden, das von der Determiniertheit des Geschehens bei Wiederkehr identischer Ereignisse spricht usw. Wir werden weiterhin sehen, wie Heisenberg und Bohr von hier aus die Leerheit des Kausalgesetzes für die Atomphysik zu beweisen suchen. b) Man könnte sich auch denken, daß die Wissenschaft zur Ordnung der Erfahrungsdaten zunächst einen Grundsatz zugrunde legt, der mehr fordert als notwendig ist, und daß sie daher, sobald sie dies einmal erkannt hat, die weitreichende Forderung dieses Grundsatzes aufgibt und sich nach dem Grundsatz *entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* mit einem Grundsatz *a priori* begnügt, der weniger postuliert als der ursprüngliche. So nimmt eine Naturauffassung, welche aussagt, daß alle Naturtatsachen kausal erklärt werden können, weniger in bezug auf die Gesetzmäßigkeit der Natur an, als eine Auffassung, welche zur Erklärung der Naturtatsachen Kausalität und Teleologie heranzieht. Man wird sich also nach dem genannten Grundsatz damit begnügen müssen, bloße Kausalität zugrunde zu legen — vorausgesetzt natürlich, daß dies für die Erklärung der Naturtatsachen wirklich hinreicht. So werden wir sehen, daß aus derselben Erwägung heraus verlangt wird, an Stelle des eindeutigen strengen Notwendigkeitszusammenhanges zwischen Ursache und Wirkung einen bloßen Wahrscheinlichkeitszusammenhang anzunehmen, da dies für die Erklärung weiter Naturgebiete oder sogar der gesamten Natur ausreichen soll.

Mit diesen beiden Kriterien also werden wir an die Prüfung der gegen die Hypothese der Kausalität in der jüngsten Physik vorgebrachten Einwände zu schreiten haben.

5. Es ist nunmehr unsere Aufgabe, zu untersuchen, welche Funktionen diese Hypothese innerhalb der wissenschaftlichen Arbeit erfüllt. Nur wenn wir diese Funktionen kennen, sind wir überhaupt in den Stand gesetzt, zu fragen, ob die Hypothese der strengen Kausalität durch eine andere, lockerere ersetzt werden kann. Erst dann können wir entscheiden, welche Aufgaben der früheren Grundlegung auch die neue Grundlegung übernehmen kann, ob und wie weit sie also ebenfalls zur Fundierung der Wissenschaft geeignet ist.

Die Kausalität hat innerhalb der Wissenschaft zwei Funktionen zu erfüllen: 1. Die Funktion der Bestimmung der gegenseitigen Zeitlage der Ereignisse. 2. Die Funktion, die wissenschaftliche Bearbeitung der Empfindung dahin zu lenken, daß eine Voraussage der Zukunft möglich sei.

Auf die Funktion der Zeitbestimmung durch Kausalität hat wohl als erster Leibniz hingewiesen. In den „Metaphysischen Anfangsgründen der Mathematik“ (Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie, übersetzt von Buchenau, 1904, Bd. 1, S. 53) schreibt er: „Wenn von zwei Elementen, die nicht zugleich sind, das eine den Grund des anderen einschließt, so wird jenes als vorangehend, dieses als folgend angesehen. Mein früherer Zustand schließt den Grund für das Dasein des späteren ein. Und da, wegen der Verknüpfung aller Dinge, der frühere Zustand in mir auch den früheren Zustand der anderen Dinge in sich schließt, so enthält er auch den Grund für den späteren Zustand der anderen Dinge, und ist somit früher als sie. Alle existierenden Elemente lassen sich daher nach dem Verhältnis der Gleichzeitigkeit, oder des Vor- und Nacheinander ordnen.“

Zu dieser Stelle bei Leibniz¹⁾ bemerkt Cassirer erläuternd: „Diese Versuche einer Definition von Raum und Zeit sind charakteristisch für das allgemeine methodische Ideal, das Leibniz vor Augen hat. Wenn sonst zumeist die Bestimmungen des Raumes und der Zeit als unmittelbar erste anschauliche Gewißheit, die Begriffe dagegen als abgeleitetes Ergebnis gelten, tritt hier das umgekehrte Verhältnis ein. Insbesondere wird hervorgehoben, daß die Entscheidung darüber, ob zwei Inhalte einander objektiv folgen oder vorangehen, die Vergleichung dieser Inhalte unter dem Gesichtspunkt von Ursache und Wirkung voraussetzt: Wir entscheiden somit erst mit Hilfe eines rein begrifflichen Prinzips über die tatsächliche Ordnung der einzelnen Elemente in der Zeitreihe.“

¹⁾ Vgl. auch Posch, Theorie der Zeitvorstellung (Viert. f. w. Phil. **23**, 308); Bergmann, Das phil. Werk B. Bolzanos, S. 148; Reichenbach, Die Bewegungslehre bei Newton, Leibniz und Huyghens (Kantstudien **29**, 421 f.).

Die hier angeführte Erläuterung der kurzen Worte Leibniz' durch Cassirer hebt erst ins rechte Licht, was bei Leibniz angedeutet war, was aber nachher mit voller Klarheit und mit größerer Ausführlichkeit von Kant in der zweiten Analogie der Kritik der reinen Vernunft auseinandergesetzt wird.

Für Kant ist die Kausalität Voraussetzung für die objektive Angabe der Zeitfolge aus folgendem Grunde: Das Mannigfaltige der Erscheinung wird von uns jederzeit sukzessive wahrgenommen, ohne Rücksicht darauf, ob im Gegenstande selbst Aufeinanderfolge herrscht oder Gleichzeitigkeit. Ob wir nun die Teile eines Hauses nacheinander wahrnehmen oder etwa die verschiedenen Lagen eines Schiffes, welches den Fluß hinabgleitet — immer folgen die Wahrnehmungen subjektiv aufeinander. Die Aufgabe der Wissenschaft ist es, aus dieser subjektiven Aufeinanderfolge eine Bestimmung der objektiven Zeitlage zu machen. Nun kann aber die Zeit an sich selbst nicht wahrgenommen werden, und man kann also die Stellung der Ereignisse in der Zeit nicht etwa nach ihrem Verhältnis gegen die absolute Zeit bestimmen, da diese kein Gegenstand der Wahrnehmung ist. Es müssen also „die Erscheinungen ihre Stellen in der Zeit selbst bestimmen und dieselbe in der Zeitordnung notwendig machen, d. i. dasjenige, das da folgt, oder geschieht, muß nach einer allgemeinen Regel auf das, was im vorigen Zustand enthalten war, folgen, woraus eine Reihe der Erscheinungen wird, die vermittelt des Verstandes eben dieselbe Ordnung und stetigen Zusammenhang in der Reihe möglicher Wahrnehmungen hervorbringt und notwendig macht“. Es muß also „das Verhältnis zwischen den beiden Zuständen (die in der Wahrnehmung einander folgen) so gedacht werden, daß dadurch als notwendig bestimmt wird, welcher derselben vorher, welcher nachher und nicht umgekehrt müsse gesetzt werden.“ Der Begriff, welcher es uns ermöglicht, ein Ereignis in der objektiven Zeitfolge als früher, ein anderes als später festzulegen, ist der der Ursache und Wirkung. Wir legen also ein gewisses spezielles Kausalitätsgesetz, nach dem A die Ursache von B , B die Ursache von C usw. ist, der Erfahrung zugrunde, zunächst versuchsweise und dann mit immer größerer Gewißheit, und diese hypothetische Zugrundelegung des Kausalgesetzes $ABC \dots$ ermöglicht es uns, die

objektive Zeitfolge der Ereignisse $ABC \dots$ festzulegen. Durch Vermehrung der einzelnen Kausalgesetze, welche wir der Erfahrung zugrunde legen, streben wir dahin zu gelangen, zu jeder vorgegebenen Naturerscheinung Y ihr vorhergehendes X und ihr folgendes Z festzusetzen, so daß keine einzige Naturerscheinung isoliert bleibt. Die logische Reihenfolge in der wissenschaftlichen Arbeit ist also: Zunächst hypothetisch angenommenes Kausalgesetz, dann auf Grund dieses Kausalgesetzes Festsetzung der Reihenfolge in der Abfolge der Erscheinungen. Diese Festsetzung könnte nicht erfolgen, wenn nicht die durchgängige ursächliche Verknüpfung der Erscheinungen vorausgesetzt wäre (vgl. Cassirer, Leibniz' System, S. 282).

6. Es sei noch von nachkantischen Autoren Lotze angeführt, der in dem der Zeit gewidmeten Kapitel seiner *Metaphysik* (Ausg. von Misch, S. 284) ausführt: „Nur in dem Inhalt des Geschehenden selbst, nicht in einer außer ihm vorhandenen Form, in die es hineinfiel, kann der Grund seiner sukzessiven Ordnung und zugleich der Grund seiner Sukzession liegen... Was wir vergangen nennen, betrachten wir zunächst als die Bedingung, ohne welche das Gegenwärtige nicht ist, und in diesem sehen wir die notwendige Bedingung des Künftigen; dieses einseitige Abhängigkeitsverhältnis, abgetrennt von dem Inhalt, der in ihm steht, und ausgedehnt über alle Fälle, die es seinem Sinne nach zuläßt, führt auf die Vorstellung der unendlichen Zeit, in welcher jeder Punkt der Vergangenheit den Durchgangspunkt zu Gegenwart und Zukunft, nicht aber diese den Durchgangspunkt zu jenem bilden.“

Das Kausalverhältnis also, behaupten wir im Sinne Kants, ist von uns den Ereignissen zum Zwecke der Ermöglichung ihrer Ordnung in der Zeit zugrunde gelegt. Es wird den Ereignissen untergelegt. Keineswegs können wir den Ereignissen selbst ihre Zeitfolge entnehmen, weder in der Weise, daß uns eine absolute Zeit gegeben wäre, die wir zur Datierung benutzen könnten, noch auch in der Weise, daß sich den Ereignissen selbst irgendwie ansehen ließe, welches früher und welches später, welches Ursache und welches Wirkung ist. Die subjektive Folge der Wahrnehmungen darf im Sinne des Wissenschaftsideals der Physik,

welches das Bewußtsein ausschaltet, nicht herangezogen werden; wo man sich auf sie beruft, ist dies ein Zeichen zurückgebliebener Entwicklung (siehe oben und Kap. IV).

Vielmehr ist das Verfahren so, daß wir einen sichtbaren Vertreter der absoluten Zeitfolge bestimmen, fast möchte man sagen, ernennen, z. B. die Bewegung des Fixsternhimmels um die Erde, damit er für uns die „Uhr“ (nicht für Zeitmessung, sondern Bestimmung der Zeitfolge) sei, an der wir dann die Zeitfolge aller anderen Ereignisse und infolgedessen auch ihre Verknüpfung als Ursache und Wirkung ablesen.

7. Die Ursache–Wirkung–Beziehung selbst ist vollkommen symmetrisch. Was von der Ursache gilt, gilt von der Wirkung, mit einziger Ausnahme dessen, daß die Ursache früher, die Wirkung später ist. Infolgedessen kann das Ursache–Wirkung–Verhältnis von uns als Mittel der objektiven Zeitbestimmung verwendet werden, vorausgesetzt, daß durch ein zugrunde gelegtes Kausalgesetz festgesetzt würde, was wir als Ursache und was wir als Wirkung betrachten wollen. Dagegen gibt es keine topologische Struktur, welche die Ursache von der Wirkung unterscheiden lassen würde. Mit anderen Worten: Wenn wir vor uns eine Kausalrelation $U—W$ haben, so können wir in keiner Weise die Richtung von U nach W vor der umgekehrten Richtung auszeichnen, wenn wir nicht schon eine „Uhr“ zugrunde legen, welche uns sagt, was früher (und also Ursache) und was später (und also Wirkung) ist. Diese „Uhr“ könnte zunächst darin bestehen, daß wir für jedes einzelne Kausalverhältnis besonders aussprechen, was Ursache und was Wirkung ist, also den Zeitverlauf in jede einzelne Kausalrelation hineindeuten. Jedoch geschieht es in einfacherer Weise dadurch, daß wir für eine große Gruppe von Erscheinungen einen Prozeß festsetzen, für welchen wir die Kette der Ursachen und Wirkungen festlegen: $U—W—X—Y—Z$. Dann dient uns dieser Prozeß dazu, die Zeitfolge innerhalb der Erscheinungsgruppe zu bestimmen. Es wird also für die betreffende Erscheinungsgruppe, und schließlich für die gesamte Natur, ein Prozeß in der Natur als nicht-umkehrbar ausgezeichnet, das heißt nichts anderes, als daß festgelegt wird, was innerhalb des ganzen

Verlaufs Ursache und was Wirkung ist. Dann beziehen wir alle anderen Kausalverhältnisse auf ihn und erfahren dadurch für sie, was Ursache und was Wirkung ist: Dasjenige ist Ursache, was, gemessen an dem zugrunde gelegten nicht-umkehrbaren Vorgang, früher ist.

Denken wir zur Erläuterung, es sei uns ein Film gegeben, auf welchem ein Stein zur Erde fliegt, ein Bach vom Berge herunterfließt usw. Wir wüßten nicht, wie wir den Film aufrollen sollen. Wird der Film in einer Richtung aufgerollt, so scheint sich der Stein zu erheben, der Bach fließt den Berg hinauf; wird er in der anderen Weise aufgerollt, so sehen wir das Gegenteil. Um nun die Aufrollung des Films, d. h. die Richtung Vergangenheit-Zukunft festzulegen, müssen wir ein Kausalgesetz zugrunde legen, und zwar brauchen wir nicht ein besonderes für den Stein und ein besonderes für das Wasser, vielmehr genügt es, ein Kausalgesetz willkürlich festzusetzen, z. B.: Das Wasser fließt bergab, dann ist uns die Richtung aller anderen Kausalverhältnisse auf dem Film erfahrungsgemäß gegeben, wir erfahren, was Ursache und was Wirkung ist. Aber ein Kausalvorgang muß willkürlich festgesetzt werden. Am Anfang ist also die Willkür der Festsetzung. Wir setzen einen nicht-umkehrbaren Vorgang fest und definieren, was Ursache und was Wirkung ist. Wir definieren für die Welt: Die Entropie in der Welt nimmt zu. Damit ist die Richtung Vergangenheit-Zukunft definatorisch festgelegt und von nun an für jedes andere Kausalverhältnis in der Welt erfahrungsgemäß gegeben, was Ursache und was Wirkung ist. Die willkürliche Definition eines Vorgangs ermöglicht uns, die wissenschaftliche Erfassung aller übrigen durchzuführen. Dies ist ja der Weg der Hypothese, welche die neukantische Philosophie in besonderes Licht gesetzt hat. (Vgl. die parallelen Ausführungen über das Trägheitsgesetz in Natorps Buch „Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften“.)

Der von uns für eine Gruppe von Erscheinungen als nicht-umkehrbar festgesetzte Prozeß muß nicht in absolutem Sinne nicht-umkehrbar sein. Was aber heißt es, daß auch er als umkehrbar erkannt werden könne, daß also neben der Kausalverbindung $A-B$ auch die Kausalverbindung $B-A$ als möglich erkannt werden

könne? Es heißt, daß im letzteren Falle B früher ist als A . Vorher war B definitionsgemäß später als A . Jetzt also muß ein anderer physikalischer Prozeß als Definitionsprozeß der Zeit, also als nicht-umkehrbar, zugrunde gelegt werden¹⁾. Wenn sämtliche Prozesse in der Welt, wie die mechanische Physik annimmt, umkehrbar sind, so ist alle physikalische Bestimmung des Früher und Später relativ, es gibt keine absolute Auszeichnung der Vergangenheitsrichtung von der Zukunftsrichtung. Gibt es dagegen einen absolut nicht-umkehrbaren physikalischen Prozeß (wie es z. B. die Entropievermehrung war, ehe sie durch die Boltzmannsche Deutung als umkehrbar eingeführt wurde), so gibt es einen absoluten Sinn von Vergangenheit und Zukunft. Ist dies nicht der Fall, haben wir keinen nicht-umkehrbaren Vorgang in der Natur, an dem wir Früher und Später ablesen könnten, so hätten wir physikalisch kein Mittel, die eine Weltreihe von der anderen Weltreihe zu unterscheiden, wenn etwa der Weltprozeß umgekehrt werden würde und aus zwei Reihen $A-Z$ und $Z-A$ bestände.

8. Im Gegensatz zu der hier vertretenen Ansicht, wonach die Ereignisse selbst keine topologische Struktur aufweisen, welche die Ursache von der Wirkung unterscheiden ließe, weil die Ursache sich von der Wirkung durch nichts anderes unterscheidet als durch ihre Stellung in der Zeit, hat Hans Reichenbach wiederholt versucht, zu zeigen, daß sich die Ursache von der Wirkung unterscheiden lasse, weil die Ursache-Wirkungs-Beziehung unsymmetrisch ist. In seinem sehr beachtenswerten neuen Buche „Philosophie der Raum-Zeit-Lehre“ führt Reichenbach Zeit

¹⁾ Vgl. die analoge Betrachtung bezüglich der Zeitmessung und die zu diesem Zwecke zugrunde zu legende gleichförmige Bewegung bei Leibniz, *Nouv. Essais*, 2. Buch, § 16: „Man mißt die Zeit durch gleichmäßige Veränderungen; aber wenn es auch nichts Gleichmäßiges in der Natur gäbe, so würde die Zeit dann doch bestimmt sein. Der Grund ist, daß, wenn man die Gesetze der ungleichmäßigen Bewegungen kennt, man dieselben immer auf denkbare gleichmäßige Bewegungen zurückbringen kann... In diesem Sinne ist denn auch die Zeit das Maß der Bewegung, d. h. die gleichmäßige Bewegung ist das Maß der ungleichmäßigen“. (Zum Problem vgl. Brunschvicg, *L'Expérience humaine et la causalité physique*, 1922, S. 496 f. Über die Notwendigkeit der Zugrundelegung des irreversiblen Prozesses vgl. Brunschvicg, a. a. O. S. 503.)

und Raum auf die Kausalität zurück. In der Zurückführung von Zeit und Raum auf die Kausalität sieht er geradezu das eigentliche philosophische Ergebnis der Relativitätstheorie, welches von neuen physikalischen Ergebnissen, d. h. von neuen Tatsachen, nicht berührt werden könne. Reichenbach führt dies so durch, daß er den Raum auf die Zeit, die Zeit aber in ihrer topologischen Struktur auf die Kausalität zurückführt. W heißt später als U , wenn W die Wirkung von U ist. Also erst durch das Kausalgesetz hindurch gelangen wir zur Feststellung einer objektiven Zeitfolge. In diesem Sinne denkt Reichenbach wie Leibniz und Kant. Er macht sich selbst den Einwand der Zirkeldefinition. Ist nicht, fragt er, gerade umgekehrt dasjenige Wirkung, was später ist? Können wir denn überhaupt erkennen, was Ursache und was Wirkung ist, wenn wir nicht die Zeitordnung schon kennen? Auf diesen selbstgemachten Einwand gibt Reichenbach eine Antwort, die mir das Richtige zu verfehlen scheint, indem er glaubt, man könne die Kausalrelation den Tatsachen selbst entnehmen. Während wir der Ansicht sind, daß die Kausalrelation an sich symmetrisch ist, und daß zwischen Ursache und Wirkung kein anderer Unterschied besteht, als der ihrer Stellung in der Zeit, man es also den Ereignissen selbst nicht ansehen kann, welches die Ursache und welches die Wirkung ist, es sei denn, daß man vorher einen relativ nicht-umkehrbaren Vorgang als „Uhr“ zugrunde gelegt hat, glaubt Reichenbach, daß die Relation Ursache—Wirkung unsymmetrisch sei, und daß diese Unsymmetrie nichts mit zeitlicher Ordnung zu tun habe. Vielmehr liege sie darin, daß verschiedene Ursachen verschiedene Wirkungen zur Folge haben, während umgekehrt verschiedene Wirkungen nicht auf verschiedene Ursachen zurückgehen müssen. „Ist E_1 die Ursache von E_2 , so werden kleine Variationen in E_1 auch mit kleinen Variationen in E_2 verbunden sein. Dagegen sind kleine Variationen in E_2 nicht mit Variationen in E_1 verbunden.“ So sei also die Ursache von der Wirkung unterscheidbar, ohne daß man die Zeitordnung heranziehe.

9. In einem im Logos 1914 erschienenen Aufsatz „Der Begriff der Verursachung und das Problem der individuellen Kausa-

lität“ habe ich zu zeigen versucht, daß die Asymmetrie der Kausalstruktur in dieser Weise nicht zu Recht besteht. Alles, was von der Ursache gesagt werden kann, kann ebensogut von der Wirkung gesagt werden, mit einziger Ausnahme dessen, daß eben die Wirkung später ist als die Ursache. Nur die zeitliche Stellung unterscheidet Ursache und Wirkung.

In der bekannten scholastischen Regel „ab effectu conclusio non datur“ kommt eine Auffassung zum Ausdruck, welche der von Reichenbach vertretenen diametral entgegengesetzt ist, die Ansicht nämlich, daß es wohl ausgeschlossen sei, daß gleichartige Ursachen verschiedenerlei Wirkungen hervorrufen, aber möglich (was Reichenbach bestreitet), daß verschiedene Ursachen gleichartige Wirkungen erzeugen. Ich halte beide Auffassungen für falsch und die Verbindung der Ursache mit der Wirkung für ein-eindeutig. (Über jene scholastische Regel und die „Mehrerleiheit der Ursachen“ überhaupt vgl. B. Kohn, Untersuchungen über das Kausalproblem, Kap. 3. Manches von dem bei Kohn Gesagten läßt sich gegen die Reichenbachsche Ansicht *mutatis mutandis* vorbringen.)

Die von Reichenbach vorgebrachte Gegeninstanz — Variation der Wirkung bedeute keine Variation der Ursache — kommt nur dadurch zustande, daß er statt der Gesamtursache nur die Teilursache in Betracht zieht. Wäre eine Variation der Wirkung E_2 ohne Variation der Ursache E_1 möglich, so würde dies bedeuten, daß dieselbe Ursache verschiedene Wirkungen (einmal die Wirkung E_2 und einmal die variierte Wirkung E_2^*) hervorbringt. Dies würde aber eine völlig ursachlose Variation des Ursache-Wirkung-Verhältnisses bedeuten, also dem Kausalgesetz strikte widersprechen. Es ist unmöglich, daß wir Kombinationen $E_1 E_2$ und $E_1 E_2^*$ beobachten, denn dies würde dem Gesetz der Kausalität widersprechen. „Denn folgte das eine Mal ein anderes als das andere Mal, so wäre es nach allgemein gültigem Gebrauch des Gesetzesbegriffs eben kein Gesetz, oder wäre ein Bruch des Gesetzes“ [Fechner]¹⁾.

¹⁾ Zitiert bei Wentscher, Geschichte des Kausalproblems. Die von quantentheoretischen Betrachtungen aus erhobenen Einwände gegen das Kausalgesetz kommen für unsere Überlegung hier noch nicht in Betracht, da wir es ja hier mit dem allgemeinen Kausalgesetz zu tun haben und erst später untersuchen werden, wieweit es sich „auflockern“ läßt.

Ich habe in der genannten Abhandlung zu zeigen versucht, daß nur die Verwechslung von Teilursachen mit Ursachen, Teilwirkungen mit Wirkungen zur Annahme der Asymmetrie von Ursache und Wirkung führe, und ich möchte dies auch an dem von Reichenbach angeführten Beispiel darlegen. „Wir senden ein Lichtsignal von *A* nach *B*. Halten wir in *A* ein rotes Glas in den Weg des Lichtes, so wird das Licht in *B* ebenfalls rot sein. Halten wir das rote Glas in *B* in den Weg des Lichtes, so wird das Licht in *A* nicht gefärbt“ (S. 163). Antwort: Das Licht in *A* ist in letzterem Falle nicht Gesamtursache des Vorganges, sondern Teilursache. Die Einstellung des roten Glases in *B* ist eine neue Teilursache, welche die Wirkung verändert. Das von Reichenbach gebrachte Beispiel zeigt nur, daß die Veränderung einer Teilursache nicht die andere Teilursache verändert, und daß eine Wirkung durch zwei voneinander unabhängige Teilursachen (Licht in *A*, Glas in *B*) hervorgerufen werden kann. Es wird also gezeigt, daß eine Variation der Teilursache nicht die andere Teilursache variiert, es wird aber nicht gezeigt, daß die Wirkung variiert wurde ohne Variierung der Ursache.

In analoger Weise, wie hier Reichenbach Teilursachen variiert, ohne andere Teilursachen zu variieren, könnte man auch Teilwirkungen variieren, ohne andere Teilwirkungen mit zu variieren, und könnte dadurch zu dem falschen Schlusse kommen, daß die Wirkung variiert werden könnte, ohne daß die Ursache variiert wird. Ich habe hierfür S. 86/87 der genannten Abhandlung im „Logos“ Beispiele gebracht.

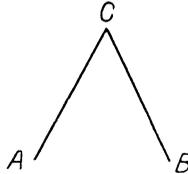
Ich glaube also, daß die alte Erklärung der Kausalität, wonach sie die Zeitfolge in sich schließt und Ursache und Wirkung durch ihren Stellenwert in der Zeitfolge allein zu unterscheiden sind, aufrechterhalten werden muß.

10. In seiner Abhandlung „Kausalstruktur der Welt und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft“ hat Reichenbach seine Ansicht, daß es eine topologische Struktur gibt, welche die Ursache von der Wirkung zu unterscheiden gestattet, im einzelnen ausgeführt. Und zwar führt er diesen Unterschied auf das Auftreten von Knotenpunkten in der Kausalkette zurück, Punkten

also, wo eine Wirkung zwei Ursachen oder eine Ursache zwei Wirkungen hat. Wir werden auch an dieser detaillierten Ausführung zu zeigen haben, daß der Versuch, Ursache und Wirkung anders als zeitlich zu unterscheiden, mißlingt. Reichenbach gibt zu, daß bei der einfachen Kausalkette $A-B-C\dots$ keine Richtung ausgezeichnet ist, die ungeteilte Kette also keine Kennzeichnung der Zeitrichtung liefert. Dagegen gründet er die Unterscheidung von Ursache und Wirkung auf die Eigenschaften einer Netzstruktur. Es soll etwas ganz anderes sein, wenn zwei Ursachen eine Wirkung, als wenn zwei Wirkungen eine Ursache haben.

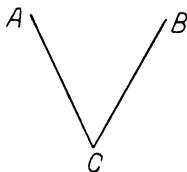
Geben wir seine Argumentation wieder (wobei wir die Wahrscheinlichkeitsimplikation von Reichenbach, auf die wir noch zu sprechen kommen werden, durch die einfache Implikation ersetzen, was an dem Argument nichts ändert). Reichenbach argumentiert folgendermaßen:

a) Zwei Ursachen A und B erzeugen eine Wirkung C .



Beispiel: In A und B wird je eine Billardkugel losgeschleudert, C ist das Ereignis ihres Zusammenstoßes. C ist erst gegeben, wenn beide Ereignisse A und B stattfinden. Ist die Kugel in B nicht abgegangen, so findet auch C nicht statt. Also: wenn C stattfindet, kann man sowohl auf das Eintreten von A als auf das von B schließen. Wenn dagegen A allein stattgefunden hat, so kann man nicht auf C schließen, da nur A und B zusammen C zur Folge haben. Daraus glaubt Reichenbach eine Definition der Wirkung bzw. des späteren Ereignisses entnehmen zu können: Die Implikation ist intransitiv, man kann von C auf A , aber nicht von A auf C schließen. Wenn die Implikation nur in einer Richtung geht, so ist das vorstehende Ereignis das zeitlich spätere. „Die intransitive Gabel hat eine topologisch ausgezeichnete Ecke C .“

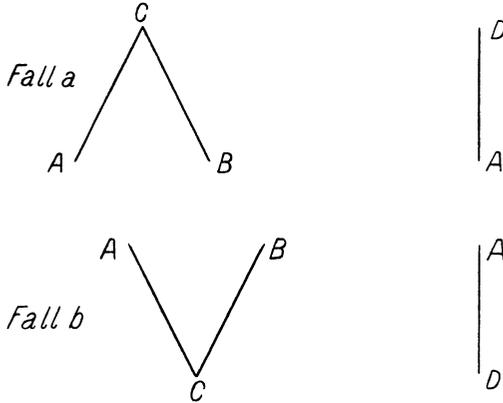
b) Nach Reichenbachs Ansicht liegt der Fall ganz anders, wenn eine Ursache zwei Wirkungen hat:



Oben galt: Aus dem Dasein von A und B zusammen kann erst auf das Dasein von C geschlossen werden. C impliziert A , aber A impliziert noch nicht C . Hier aber gilt: Sowohl von A als auch von B aus kann auf C geschlossen werden. A impliziert C , C impliziert A . Die Relation ist transitiv. Die in die Zukunft weisende Gabel des vorigen Beispiels war intransitiv, die in die Vergangenheit weisende Gabel dieses Beispiels ist transitiv. Man kann also von der Teilursache nicht auf die Wirkung, dagegen wohl von der Teilwirkung auf die Ursache schließen. „Den Schluß in die Zukunft erlaubt nur die Gesamtheit aller Ursachen, aber in die Vergangenheit kann man schon aus einer Teilwirkung schließen.“

11. Ich glaube, daß diese ganze Überlegung von Reichenbach nicht haltbar ist und auf einer Verwechslung von Teilursache mit Ursache, Teilwirkung mit Wirkung beruht. Man kann nämlich dem Beispiel b eine Formulierung geben, welche genau dem Beispiel a entspricht und die Parallelität von Ursache und Wirkung vollständig durchsichtig macht. So wie Reichenbach im ersten Beispiel sagt, aus einer Teilursache A könne man nicht auf die Gesamtwirkung C schließen, genau so gut kann man sagen: aus einer Teilwirkung kann man nicht auf die Gesamtursache schließen. Denn — dies ist der Fall, den Reichenbach außer acht läßt — wenn die Ursache C die Wirkungen A und B hat, A mit B zusammen also C zur Ursache hat, so hat A , wenn es allein vorkommt, nicht C , sondern ein anderes Ereignis, D , zur Ursache, denn wäre C da, so wäre auch B da, da ja C A und B zur Folge hat. So wie im ersten Beispiel A allein nicht C zur Folge hat, sondern ein D , so hat

im letzteren Falle A allein nicht C , sondern D zur Ursache, und wir müssen daher die beiden Schemata ergänzen in folgender Weise:



Und nun können wir den Fall b genau so formulieren wie den Fall a: Wenn C stattfindet, so kann man sowohl auf das Eintreten von A wie auf das Eintreten von B schließen, wenn dagegen A stattgefunden hat, so kann man nicht auf das Eintretensein von C schließen, denn nur A und B zusammen haben C zur Ursache. Es ist also auch der Fall b intransitiv. Die Formulierung von Fall a läßt sich wörtlich auf die von Fall b übertragen, zwischen Ursache und Wirkung, Vergangenheit und Zukunft ist topologisch kein Unterschied zu konstatieren.

Reichenbach schließt aus der angeblichen Transitivität der zweiten und der Intransitivität der ersten Gabel: Haben zwei Ereignisse eine gemeinsame Ursache, so kann aus dem Vorkommen des einen A auf das Vorkommen des anderen B geschlossen werden (Fall b), haben dagegen die beiden Ereignisse eine gemeinsame Wirkung C , so kann man aus A nicht auf das gleichzeitige Vorkommen von B schließen (Fall a). Denn es könnte vorkommen, daß A ohne C und also auch ohne B vorkommt. Der Schluß ist hinfällig. Er übersieht wiederum, daß im zweiten Falle das Zusammenvorkommen der Wirkung A und B eine andere Ursache zur Voraussetzung hat als jenes A , welches allein auftritt. Nimmt man aber im zweiten Falle an, daß A nur mit B zusammen vorkommt, so muß man, wenn man parallele Ver-

gleiche ziehen will, auch im Falle a annehmen, daß *A* nur mit *B* zusammen vorkommt, also in beiden Fällen unsere beiden rechtsstehenden Schemata *AD* weglassen.

Reichenbach bringt für den Fall b folgendes Beispiel: „*A* und *B* mögen wieder das Abschleudern je einer Billardkugel bedeuten; aber *C* bedeutet hier die gemeinsame Ursache, etwa das Signal, auf welches hin die beiden Kugeln losgeschleudert werden. Beobachte ich nur *A*, so darf ich bereits schließen, daß das Signal gegeben wurde.“ Ich antworte: Nein! denn es könnte ja sein, daß durch irgend ein Versehen *A* allein losgeschleudert wurde, ohne *B* und ohne *C*. Es gilt im Falle b Analoges wie im Falle a.

12. Reichenbach aber benutzt sein Schema, um einen Unterschied zu konstatieren in bezug auf die Schlüsse in die Vergangenheit und in die Zukunft. Aus der Teilwirkung könne man auf die Ursache, aus der Teilursache aber nicht auf die Wirkung schließen. Es sei daher die Vergangenheit objektiv bestimmt, die Zukunft aber nicht. Darum gebe es eine Geschichtswissenschaft nur von der Vergangenheit.

Wir erinnern uns hier dessen, was wir oben aus dem Buche Reichenbachs über Raum und Zeit angeführt haben. Dort spricht er davon, daß eine Änderung der Wirkung keine Änderung der Ursache herbeiführe. Es ist nun interessant festzustellen, daß Poincaré genau die entgegengesetzte Folgerung aus dieser Ansicht für einen Schluß in die Vergangenheit zieht, als diejenige ist, zu welcher Reichenbach in seiner Abhandlung über die Kausalstruktur der Welt gelangt. Während Reichenbach den Vergangenheits-schluß für sicherer hält als den Zukunftsschluß, weist Poincaré, gegen Lalande polemisierend (*Dernières Pensées*, p. 18, *Science et Méthode* III), darauf hin, daß, wenn diese Ansicht richtig, eine Veränderung der Wirkung ohne Veränderung der Ursache möglich wäre, es gerade die Vergangenheit wäre, die man nicht ent-rätseln könnte, die Zukunft aber dann leicht zu erforschen wäre.

Wie verhält sich nun in Wahrheit der Schluß auf die Vergangenheit zum Schluß auf die Zukunft? Hier ist zunächst zu sagen, daß in der unbelebten Natur kein Vorzug der Vergangenheit vor der Zukunft besteht. Dem Physiker ist der Schluß in die

Vergangenheit nicht leichter und nicht sicherer als der in die Zukunft. Die Situation verändert sich erst bei den lebendigen Wesen, speziell beim Menschen. Nun hat Poincaré in der angeführten Stelle seiner „Letzten Gedanken“ darauf hingewiesen, daß der Schluß auf die Vergangenheit um so sicherer ist, je mehr der Fall, den wir vor uns haben, eine Ausnahme vom Naturgeschehen darstellt. „Wenn rollende Kieselsteine zufällig auf einem Berge liegengelassen werden, werden sie schließlich in das Tal hinabstürzen; wenn wir einen ganz unten vorfinden, wird dies eine banale Wirkung sein und uns nichts über die ganze Geschichte des Kieselsteines lehren. Wir werden nicht wissen können, auf welchem Punkte des Berges er vorher gelegen hatte. Wenn wir aber zufällig einen Stein oben in der Nachbarschaft des Gipfels vorfinden können, werden wir versichern können, daß er immer dort gelegen ist, denn hätte er sich einmal auf dem Abhange befunden, wäre er schon ins Tal gerollt; und unsere Versicherung wird um so größere Gewißheit haben, je mehr der Fall ein Ausnahmefall ist, und je mehr Chancen er hatte, sich nicht zu ereignen.“

Was nun speziell die Geschichtswissenschaft anlangt, auf welche Reichenbach sich beruft, so ist der Schluß auf die Vergangenheit nur zum geringsten Teile kausaler Art. Wenn wir irgendwo eine Inschrift finden und ihr Glauben schenken, so ist dies nicht ein Kausalschluß, als würden wir von der Inschrift auf deren Ursache, den Schreiber, und dann weiter auf das Ereignis schließen, das den Schreiber veranlaßte, die Inschrift anzubringen. Die entscheidende Tatsache ist vielmehr, daß wir dem Sinne der Inschrift Glauben schenken. Es tritt hier das Moment des Sinnes ein. Es ist nicht so, als würden wir über die Vergangenheit dieser Steintafel vor uns mehr wissen als über ihre Zukunft. Wir wissen ja auch nicht, aus welchem Steinbruche sie stammt. Der materielle Vorgang ist uns in die Vergangenheit hinein ebenso unbekannt wie in die Zukunft. Und nicht aus ihm, nicht aus der kausalen Vergangenheit des Steines vor uns erschließen wir die Geschichte.

13. Wir haben oben als die zweite Funktion des Kausalgesetzes hingestellt, daß die Kategorie der Verursachung berufen

sei, die wissenschaftliche Bearbeitung der Empfindung dahin zu lenken, daß eine Voraussage der Zukunft möglich sei. Wir brauchen nach dem bisher Gesagten zur Erläuterung dieser zweiten Funktion der Kausalität nicht viel Neues hinzuzufügen. Wir sahen, daß Vergangenheit und Zukunft zwei ganz gleichberechtigte Richtungen innerhalb des Kausalverhältnisses sind: Von der Ursache zur Wirkung und von der Wirkung zur Ursache. Sie stehen einander in bezug auf wissenschaftliche Erforschbarkeit vollkommen gleich. Vorausgesetzt, daß die Welt von strenger Kausalität beherrscht ist, kann der Laplacesche Geist, welcher die Konstellation der Welt in einem Augenblicke und ihre sämtlichen Kausalgesetze kennt, die Zukunft ebenso wie die Vergangenheit berechnen, und zwischen beiden ist kein anderer Unterschied als der der Richtung. Vergangenheit und Zukunft haben in der Physik keinen absoluten Sinn, sondern bloß Richtungssinn. Dasjenige, was Zukunft ist von einem Ereignis aus, ist Vergangenheit von einem anderen Ereignis aus. Vergangenheit und Zukunft sind hier nur relativ, und dies deswegen, weil der Begriff des Jetzt, welcher für unser psychisches Erleben Vergangenheit und Zukunft in zwei voneinander streng geteilte Reiche scheidet, für die Physik nicht existiert. Daß dies der Fall ist, ist für das Verständnis des methodischen Sinnes der Physik von höchster Bedeutung. Es ist Aufgabe der Physik, eine Welt von Objekten aufzubauen, in welcher das Bewußtsein vollständig ausgelöscht ist, in welcher wir es mit rein objektiven Begriffen zu tun haben, die keinerlei Bezug zu unserem Bewußtsein haben. Ob dieses Ideal der Physik bis zu Ende durchführbar ist, ist eine andere (zu verneinende) Frage. Aber dieses Wissenschaftsideal macht es unmöglich, in die Physik Begriffe einzuführen, welche objektiv, unabhängig vom erlebenden Bewußtsein, nicht faßbar sind. Und dahin gehört vor allem der Begriff des Jetzt. „An dem Inhalt der Begebenheiten — sagt Lotze a. a. O. S. 287 — hängt... dieser Charakter noch nicht; im Gegenteil, was damit gesagt sein soll..., wird erst klar durch den Ausdruck der Gegenwart, in welchem die Sprache glücklich die Notwendigkeit eines Subjektes fühlbar macht.“ Darum hat dieser rein subjektive Begriff des Jetzt, der Gegenwart, in der Physik keine Stelle.

Eine gegenteilige Meinung verfiicht Reichenbach in seiner erwähnten Akademie-Abhandlung. Er glaubt durch eine neue Auffassung des Kausalitätszusammenhanges den Jetztpunkt als Grenze zwischen Vergangenheit und Zukunft auszeichnen zu können, ohne auf psychische Momente zurückgehen zu müssen. Reichenbach wehrt sich mit Recht dagegen, daß man den Begriff des Jetzt mit dem der Gleichzeitigkeit identifiziert. Die Aussage „ich lebe jetzt“ ist nicht identisch mit der Aussage von der Form „ich lebe gleichzeitig mit dem und dem Ereignis“. Denn wäre dies der Fall, so gäbe es kein besonderes „Jetzt“, sondern die Bedeutung dieses Wortes wäre zurückführbar auf die Begriffe „früher“, „später“ „gleichzeitig“. Dies aber erschöpft den Sinn des Jetzt nicht.

Reichenbach versucht einen anderen Weg: Er führt die physikalische Unbrauchbarkeit des Jetzt auf den Determinismus zurück, der bisher in der Physik herrschte. Er weist darauf hin, daß der Determinismus keine Rechenschaft zu geben vermag davon, daß „mein Dasein eine Realität ist, Platos Leben aber nur noch seine Schatten in die Realität wirft“. Reichenbach ersetzt den Determinismus durch einen gewissen Indeterminismus, nach welchem sich die Wirkung aus der Ursache nicht mit Sicherheit, sondern mit Wahrscheinlichkeit ergibt. Der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft soll nun darin bestehen, daß die Vergangenheit feststeht, die Zukunft dagegen unbestimmt ist. „Die Gegenwart ist diejenige Schwelle, auf welcher die Welt vom Zustand der Unbestimmtheit in den der Bestimmtheit übergeht.“ Reichenbach erneuert damit eine griechische Vorstellung, welche die unwandelbare Vergangenheit der unbestimmten Zukunft entgegensetzt. Auf diese Vorstellung hatte der Megariker Diodor sein Sophisma begründet: „Aus etwas Möglichem kann nichts Unmögliches hervorgehen. Nun ist es aber unmöglich, daß etwas Vergangenes anders sei, als es ist. Wäre daher eben dieses in einem früheren Zeitpunkt möglich gewesen, so wäre aus einem Möglichem ein Unmögliches hervorgegangen. Es war also nie möglich.“ (Übersetzung nach Zeller. Vgl. Brunschwig, *L'Expérience humaine et la causalité*, S. 510.) In unserer Zeit hat Jonas Cohn in seinem Buche „Voraussetzungen und Ziele des Erkennens“, 1908, Kap. XII, die ausgezeichnete Stellung der Gegenwart erklärt durch den Aus-

gleich, den sie darstellt zwischen den Forderungen der vollendeten Erklärung des Determinismus und zwischen der Freiheit. Es ist also nach Reichenbach im Zustande der Welt ein Querschnitt vor allen anderen ausgezeichnet; das Jetzt hat eine objektive Bedeutung. Auch wenn kein Mensch mehr lebt, gibt es ein Jetzt. „Der jetzige Zustand des Planetensystems“ wäre auch dann eine ebenso bestimmte Angabe wie „der Zustand des Planetensystems im Jahre 1000“.

Dieser Definition gegenüber muß man fragen: Welches Jetzt ist denn gemeint, wenn gesagt wird: der jetzige Zustand des Planetensystems? Das des Jahres 1800 oder 2000 oder welches sonst? Darauf antwortet Reichenbach: das Jetzt ist die Schwelle des Überganges vom Zustande der Unbestimmtheit in den der Bestimmtheit. Aber dieser Übergang fand doch (wenn Reichenbachs Indeterminismus richtig ist) immer statt und wird immer stattfinden. Wenn aber darauf geantwortet werden sollte: die Unbestimmtheit des Jahres 1800 hat sich schon in eine Bestimmtheit verwandelt, so ist zu fragen: Für wen? Offenbar für uns, für die Gegenwart, für unser Jetzt. Und so erscheint diese Definition Reichenbachs doch wiederum bezogen auf ein Jetzt, das sie erst definieren sollte. Welches ist der objektive Unterschied zwischen dem Jetzt des Jahres 1800 und dem Jetzt dieses Augenblicks? Darauf kann man nur antworten: Jetzt sei der Augenblick des Überganges von der Bestimmtheit zur Unbestimmtheit, das heißt, man erklärt das Jetzt dieses Augenblicks durch ein anderes Jetzt, vielmehr durch sich selbst.

14. Uns ist eine Auseinandersetzung mit diesem Standpunkt Reichenbachs um so wichtiger, als wir seine Ersetzung des Determinismus durch einen begrenzten Indeterminismus der Wahrscheinlichkeit in der Physik für zulässig halten, worüber noch zu sprechen sein wird. Wir können aber deswegen nicht zugeben, daß der Begriff des Jetzt auf dem Standpunkt des Determinismus keinen Sinn habe. Reichenbach schreibt: Das Problem läßt sich formulieren als die Frage nach dem Unterschied von Vergangenheit und Zukunft. Für den Determinismus gibt es einen solchen Unterschied nicht... Der Ablauf (der Zeit) bringt nichts Neues; das,

was in hundert Jahren geschehen wird, ist mir in demselben Sinne gegeben wie die Ereignisse des vergangenen Krieges, und ich könnte mich in grundsätzlich derselben betrachtenden Weise über die Kriege Napoleons VII. unterhalten wie über die Kämpfe bei Verdun. Dann besteht in bezug auf das „Jetzt“ kein Unterschied zwischen Plato und mir; ich kann ebensogut sagen, Plato lebt jetzt, und ich bin noch Zukunft. Zwar, daß Plato früher lebt als ich, könnte ich dann aussagen, denn ein „Früher“ und „Später“ gibt es auch für den Determinismus. Aber es gibt kein „Jetzt“; es gibt keinen ausgezeichneten Zeitpunkt, und das Gefühl, daß mein Dasein eine Realität ist, Platos Leben aber nur noch seine Schatten in die Realität wirft, muß ein Irrtum sein.

Demgegenüber ist zu sagen, daß es wohl richtig ist, daß innerhalb des Determinismus alle Teile der Welt, physikalisch betrachtet, dieselbe Realität haben. Aber was hier Reichenbach dem Determinismus vorwirft, ist nicht diesem, sondern der physikalischen Weltanschauung vorzuwerfen, welche keine psychologischen Kategorien kennt, für welche es kein „Ich“, also auch nicht „mein Leben“ gibt, und der Begriff des „Jetzt“ ist mit dem des „Ich“ auf das innigste verbunden. Auch wer, wie wir, die Ersetzung des physikalischen Determinismus durch den Indeterminismus für zulässig hält, wird nicht zugeben wollen, daß innerhalb der indeterministisch aufgefaßten Physik der Begriff des „Jetzt“ eine legitime Stelle erhält. Auch wenn man annimmt, daß die Zukunft durch einen zeitlichen Querschnitt nicht völlig bestimmt ist — wie wir dies mit Reichenbach tun wollen —, wird man nur sagen können, daß diese Unbestimmtheit ebenso für Plato besteht wie für mich, und daß ich physikalisch nicht entscheiden kann, wer „jetzt“ lebt. Der Unterschied ist eben ein psychologischer.

Umgekehrt: Läßt man einmal diese psychologische Kategorie des Icherlebnisses zu, so ist das jetzt auch auf dem Standpunkt des Determinismus ebenso zulässig wie auf dem des Indeterminismus. Die Frage, was das „Jetzt“ ist, hat mit der Frage, ob durch den Jetztquerschnitt die Zukunft eindeutig bestimmt sei oder nicht, nichts zu tun. „Jetzt“ ist der Zeitmodus des erlebenden Ich. Lebt nun — wird Reichenbach fragen — Plato jetzt oder Napoleon?

Antwort: Ich lebe jetzt. Und dieses Ich ist weder Plato noch Napoleon, sondern eben — Ich, eine nur erlebbare, nicht objektiv durch Namen wiederzugebende subjektive Realität. Deswegen kennt sie die Physik nicht.

Also: Der Begriff des „Jetzt“ ist physikalisch nicht zu fassen, und wir bleiben dabei, daß der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft ein Unterschied der Zeitrichtung ist, und daß es physikalisch keine Grenze zwischen Vergangenheit und Zukunft gibt, so wenig, als es zwischen der Plusrichtung und der Minusrichtung einer Geraden eine Grenze und einen Übergang gibt.

Daher ist die Voraussage der Zukunft mit der Kausalrelation in ganz derselben Weise verknüpft wie die Bestimmung der Vergangenheit, beide sind identisch und nur relativ richtungsverschieden.

Indem wir also daran festhalten, daß die beiden Funktionen der Kausalität in der Erkenntnis sind: 1. die Ermöglichung objektiver Zeitbestimmung, 2. die Ermöglichung der Berechnung der Vergangenheit und Zukunft, wollen wir prüfen, wieweit sich diese Funktionen auf Naturgesetze übertragen lassen, welche nicht von strenger Kausalität, sondern von einer statistischen Auffassung der Naturgesetze ausgehen.

II. Wahrscheinlichkeitszusammenhang.

15. Die Bedeutung der statistischen Naturgesetze ist im Laufe der letzten Jahrzehnte immer größer geworden, aber erst die letzten Jahre haben es dahin gebracht, daß man einen Gegensatz zwischen dem statistischen Naturgesetz und dem Kausalprinzip feststellen zu können glaubte. Als die statistische Auffassung in der Gastheorie ihre großen Triumphe feierte, dachte niemand daran, in ihr einen Gegensatz zur strengen Kausalität des einzelnen Geschehens zu konstatieren, so wenig als der Bevölkerungsstatistiker, indem er uns gewisse Gesetze über das durchschnittliche Verhalten der Bevölkerung mitteilt, daran zweifelt, daß der einzelne Fall streng kausal determiniert ist, wenn er sich auch der Kompetenz des Durchschnittsgesetzes entzieht. Nur so viel sollte mit den statistischen Gasgesetzen gesagt sein, daß gewisse Eigenschaften der Gase sich mit Durchschnittsbetrachtungen besser erfassen lassen. „Ebenso wie sich der Versicherungstatistiker damit begnügt, das Geburtsjahr und nicht den genauen Zeitpunkt der Geburt seiner menschlichen Zählobjekte zu ermitteln, kann der statistisch arbeitende Physiker auf eine exakte Wiedergabe momentaner Phasenwerte der Teilsysteme verzichten.“ (Smekal, Handbuch der Physik IX, Theorie der Wärme, S. 199.) Es handelt sich also in der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Gastheorie und in der Auffindung statistischer Durchschnittsgesetze, die von so großem Erfolge gekrönt war, nicht um Durchbrechungen des Kausalgesetzes, sondern darum, daß sich „in einem komplizierten Komplex gleichartiger Ursachen (1), der lange Zeit sich selbst überlassen ist, nach dem Gesetz der großen Zahlen eine gewisse Einheitlichkeit herausbildet“. (Gatterer, Das Problem des statistischen Naturgesetzes, 1924, S. 17.) Es handelt sich also nicht um einen Zufall, um einen Verstoß gegen das Kausalgesetz im absoluten Sinne,

sondern um Durchschnittsgesetze komplizierter Komplexe, wo aber jedes einzelne Geschehen dennoch durchaus von strenger Kausalität beherrscht wird. „Die Forschung hat gezeigt, daß, wenn wir für jeden einzelnen dieser feinen Vorgänge (der Molekularbewegungen) die Gültigkeit dynamischer Gesetze, also strenge Kausalität, voraussetzen, dann gerade die durch Beobachtung festgestellten Wahrscheinlichkeitsgesetze sich ergeben“ (Planck).

16. Zu einer radikaleren Auffassung der Zufallsgesetze gingen die Physiker erst über, als sie die Gesetze des Zufalls auf den Zerfall radioaktiver Elemente und auf die Übergänge stationärer Zustände in der Quantentheorie anzuwenden lernten. Es ist bisher in keiner Weise gelungen, festzustellen, welches die Ursachen sind, welche ein Uranatom veranlassen, unter Entwicklung ungeheurer Energie auseinanderzufallen. Es ist dennoch gelungen, die Gesetzmäßigkeit dieses Zerfalls festzustellen, und zwar dadurch, daß man darauf verzichtete, das Gesetz des einzelnen Falles zu finden und sich vielmehr auf reine wahrscheinlichkeitstheoretische Überlegungen betreffend den Zerfall einer durchschnittlichen Zahl unter vielen Atomen verlegte, also so vorging, als wäre der Zerfall vollständig ursachlos und zufällig. Ich zitiere nach W. Bothe, Der radioaktive Zerfall (Handbuch der Physik, Bd. XXII): „Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Atom in einem gegebenen Zeitelement zerfällt, ist unabhängig von der Zeit, welche das Atom bereits existiert; man kann diese Wahrscheinlichkeit also gleich λdt setzen, wo λ eine für das betreffende Radioelement charakteristische Konstante, die ‚Zerfallskonstante‘ ist. Man kann auch kurz sagen: Der Zerfallsvorgang trägt also den Charakter eines zufallsmäßigen Ereignisses. Eine völlig offene Frage ist es noch, ob die Zufallsmäßigkeit als ‚Zufälligkeit‘ im Sinne einer wirklichen Aufhebung der Kausalität aufzufassen ist, oder ob sie etwa eine Folge der Kompliziertheit der Bedingungen ist, welche die beständig wechselnde Konstellation der Atombestandteile erfüllen muß, damit der Zufall eintritt. (Vgl. etwa die zufallsmäßige Verteilung der Ziffern in den 10. Dezimalen einer Logarithmentafel.) S. Rosseland (Nature 1923) hält es nicht für ausgeschlossen, daß diejenigen Elektronen der Hülle, welche auf ihrer Bahn dem Kern sehr nahe kommen, den Zerfall

beeinflussen. Man hat sich heute an diese Ungewißheit gewöhnt, besonders seit man weiß, daß es sich hier nicht um eine Eigentümlichkeit des Atomkernes handelt, sondern daß ganz ähnliche Verhältnisse in der äußeren Elektronenhülle bestehen. Die Analogie zwischen dem Elementarprozeß der Lichtemission und dem radioaktiven Zerfall ist zuerst von Einstein (Physikalische Zeitschrift 1917) hervorgehoben worden.“

Die Analogie, von welcher Bothe hier spricht, ist die folgende: Nach Einstein soll im Atom ein stationärer Zustand eine gewisse Wahrscheinlichkeit besitzen, unter Entsendung von Strahlung von selbst, ohne angebbare äußere Ursache in einen Zustand kleinerer Energie überzugehen. Ähnliche Wahrscheinlichkeitsfaktoren führte Einstein dafür an, daß ein Atom unter Aufnahme von Energie in einen höheren Zustand übergehe. Es erhebt sich nun die Frage, ob diese Quantensprünge durch einen uns noch unbekanntem Mechanismus kausal geregelt sind, oder ob das Wahrscheinlichkeitsgesetz sich auf nichts anderes zurückführen lasse, so daß hier, wie beim Zerfall der radioaktiven Elemente, reiner Zufall herrscht. Ich zitiere wiederum das Handbuch der Physik, Bd. XXIII (Pauli: Quantentheorie, S. 11): „Es handelt sich bei diesem Problem vor allem darum, allgemeine Annahmen über die Häufigkeit des Auftretens des Übergangsprozesses einzuführen, die der Emission und Absorption der Strahlung entsprechen. Für das Auftreten der mit Emission eines Quantums $h\nu$ verbundenen spontanen Prozesse nahm nun Einstein ein statistisches Gesetz an, das dem eines radioaktiven Zerfalls analog ist. Befindet sich ein Atom in einem angeregten Zustande n , so soll eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür bestehen, daß im Zeitelement dt ein solcher Emissionsprozeß stattfindet... Das Einsteinsche Gesetz bestimmt zwar das mittlere Verhalten vieler Atome, sagt jedoch nichts aus über den Zeitpunkt des Übergangsprozesses eines einzelnen angeregten Atoms. Dieser erscheint vielmehr gemäß dem jetzigen Stande unseres Wissens allein durch den Zufall bestimmt. Es ist eine viel diskutierte, aber noch unentschiedene Frage, ob wir darin ein grundsätzliches Versagen der kausalen Naturbeschreibung oder nur eine provisorische Unvollkommenheit der bisher erreichten theoretischen Formulierung zu erblicken haben.“

17. Um hier gleich etwas über die Diskussion, von welcher Pauli spricht, anzufügen, seien zunächst drei typische Ansichten von Physikern erwähnt. Planck hat wiederholt geäußert (vgl. z. B. Rundblicke, S. 97), daß die Voraussetzung für das Bestehen statistischer Gesetze im großen die Gültigkeit strenger dynamischer Gesetze im einzelnen ist, auch wenn sich die Kenntnis dieser Gesetze der Beobachtung durch unsere groben Sinne entzieht. Nernst sieht in der Darstellung der Natur durch statistische Gesetze mehr ein Zeichen der Schwäche des menschlichen Verstandes, als eine Sache, welche die Natur angeht (vgl. seinen Aufsatz: Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze, Naturwissenschaften 1922). Nach Nernst müssen wir mit der Möglichkeit rechnen, daß für das Problem der quantitativen Berechnung der Einzelvorgänge unser Denkvermögen versagt. „Es ist zuzugeben, daß die bisher übliche Fassung des Kausalprinzips als eines absolut strengen Naturgesetzes wie Spanische Stiefel den Geist einschnürte, und es ist daher wohl gegenwärtig Pflicht der Naturforschung, diese Fesseln so weit zu lockern, daß der freie Schritt des philosophischen Denkens nicht mehr behindert werde“. Nernst verweist auf eine Analogie zwischen theologischer und physikalischer Auffassung, indem auch die Theologen bisher behauptet hätten, daß alle Ereignisse im göttlichen Verstande streng logisch sich abspielen, daß aber der menschliche Geist sie nicht erfassen könne. So meint also wohl Nernst, daß die Natur selbst von strengen Gesetzen beherrscht wird, daß aber deren Erkenntnis dem Menschen verwehrt ist. „Der menschliche Geist ist unfähig, jene (die Naturprozesse) bis in die letzten Einzelheiten zu durchschauen.“

Eine extremere Ansicht als Planck und Nernst vertritt Exner (Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaft, S. 657 f.): „Wären wir imstande, den Fall eines Körpers im leeren Raume genau zu untersuchen, wir würden ohne Zweifel die Beschleunigung konstant und die zurückgelegten Wege den Fallgesetzen entsprechend finden. Folgt aber daraus, daß diese Übereinstimmung auch noch zutreffen würde in Zeiten, die nicht nach Sekunden, sondern nach Billiontel von Sekunden oder noch weniger zählen? Vielleicht ist die Beschleunigung nicht konstant, sondern schwankt sehr rasch um einen Mittelwert, und vielleicht

ist die Bewegung des Fallenden in kleinsten Zeiten nicht gleichförmig, sondern unregelmäßig beschleunigt? Boltzmann hat, gesprächsweise, dieser Ansicht vollkommen zugestimmt und es nicht nur für möglich, sondern sogar für sehr wahrscheinlich gehalten, daß der fallende Körper sich ruckweise bewegt, vielleicht nicht in einer Geraden, sondern in einer Zickzacklinie.“

Wir haben diese drei Ansichten hier wiedergegeben, um die Verschiedenartigkeit der Ansichten der Naturforscher in der Frage des statistischen Naturgesetzes zu illustrieren. Zu Ansichten anderer über denselben Gegenstand und zur theoretischen Diskussion der Frage selbst werden wir noch zurückkehren. Allein die Erörterung ist aus dem Bereiche der Theorie in das Gebiet physikalisch-experimenteller Prüfung dadurch eingetreten, daß in letzter Zeit eine Anzahl von Forschern, welche selbst hervorragenden Anteil an der Entwicklung der Quantentheorie haben, zu zeigen versuchten, daß die Frage einer kausalen Bestimmung des einzelnen Falles prinzipiell unentscheidbar ist, weil unsere physikalischen Hilfsmittel zur Prüfung des Einzelfalles grundsätzlich nicht ausreichen.

18. Es sei zunächst die populäre Darstellung zitiert, welche Max Born in einer Polemik gegen Emanuel Lasker, auf dessen Behauptungen wir noch zurückkommen werden, von der Problemlage gibt (Vossische Zeitung, 12. April 1928): „Die Physik pflegt den Gedanken (des Kausalgesetzes) etwas schärfer so auszudrücken: Wenn in einem abgeschlossenen System der Zustand in einem Augenblick genau bekannt ist, so bestimmen die Naturgesetze den Zustand in jedem späteren Zeitpunkt. Die bisher angenommenen Gesetze der Physik hatten auch stets die geforderte Eigenschaft. Eine solche Naturauffassung ist deterministisch und mechanistisch. Für Freiheit irgendwelcher Art, des Willens oder einer höheren Macht, ist darin kein Platz. Das ist es wohl, was allen „guten Rationalisten“ diese Anschauung so wert macht.

Aber die neuere Physik hat Gesetze gefunden und an einer ungeheuren Fülle empirischen Materials bestätigt, die in dieses Schema nicht passen. Darf sie nun behaupten, daß das oben formulierte Kausalprinzip falsch sei? Jedenfalls tut sie es gar nicht; sie sagt nur, es sei „leer“, nichtssagend. Es ist nämlich

ein Konditionalsatz, fängt mit „wenn“ an. Wenn nun gerade die Voraussetzung „wenn usw.“ niemals erfüllbar wäre? Man hat auch früher die Forderung, den Zustand in einem Augenblick genau zu kennen, als praktisch unerfüllbar angesehen; aber man hat angenommen, daß das nur ein technischer Mangel sei, daß bei fortschreitender Experimentierkunst die Bedingung immer besser erfüllt werden würde.

Die neuen Entdeckungen der Atomphysik aber haben einige Physiker zu der Meinung geführt, daß jene Forderung prinzipiell unerfüllbar sei: Die Naturgesetze selbst sind so beschaffen, daß sie die genaue Feststellung des augenblicklichen Zustandes verhindern. Um diese merkwürdige Behauptung zu verstehen, denke man daran, daß zur Feststellung des Zustandes, etwa der Lage irgendwelcher Teilchen, immer eine Sonde gehört, sei es auch nur ein Elektronenbündel oder ein feiner Lichtstrahl. Aber jede Sonde stört den Zustand, ja zerstört ihn unter Umständen. Auch Elektronen- und Lichtsonden sind grob, wenn das Objekt der Untersuchung wieder Atome und Elektronen sind. Schon der alte Lichtenberg hat das Problem gesehen, als er die Frage stellte: Können Mädchen im Dunkeln erröten? Der Physiologe, der Arzt kennen die Schwierigkeit, Feststellungen zu machen, ohne durch die Versuchsbedingungen den Gegenstand der Untersuchung selbst gänzlich zu ändern, z. B. eine Zelle zu töten. Die Kunst des Experimentators ist es gerade, seine Methoden, seine Sonden so fein zu wählen, daß sie das Objekt nicht merklich beeinflussen. Aber der Physiker kann das nicht beliebig weit treiben. In der atomaren Welt gibt es eine natürliche Grenze für die Feinheit der Sonde. Die Überzeugung von der Existenz dieser Grenze beruht auf tiefen physikalischen Erkenntnissen, die man unter dem Namen Quantenmechanik zusammenfaßt. Sie gipfeln in der Behauptung, daß die Materie, genau wie das Licht, als Wellenerscheinung aufgefaßt werden kann; und diese Behauptung ist neuerdings durch wundervolle Experimente bestätigt worden. Je nach der Art des Vorgangs tritt die korpuskulare oder die wellenartige Seite der Erscheinung mehr in den Vordergrund.

Richtet man das Augenmerk auf die raumzeitliche Verteilung, so verhält sich bewegte Materie und Licht wie Wellen-

züge, man beobachtet Bewegung und Interferenz. Beachtet man dagegen die energetischen Wirkungen, das „Kausale“ an dem Vorgang, so verhält sich bewegte Materie und Licht wie Teilchenschwärme. Dabei besteht ein enger, durch viele Erfahrungen bestätigter Zusammenhang zwischen Schwingungszahl der Welle und Energie der Korpuskel: sie sind einander proportional. Dieses Grundgesetz der Quantentheorie hat zur Folge, daß die raumzeitliche und die energetische Beschreibung eines Vorgangs sich bis zu einem gewissen Grade ausschließen. Denn um eine Erscheinung von raum-zeitlich begrenzter Ausdehnung wellenmäßig darzustellen, braucht man notwendigerweise zahllose Wellen verschiedener Schwingungszahl; diesen entsprechen also Teilchen mit den verschiedensten Energien. Je enger man den Vorgang raumzeitlich einengt, um so diffuser wird die Energie, und umgekehrt. Man kann auch durch die saubersten Messungen immer nur gewissermaßen die „Hälfte“ aller physikalischen Daten gewinnen, z. B. Ort und Zeit genau, dann bleiben Energie und Bewegung ganz unbestimmt; oder Energie und Bewegung genau, dann bleiben Ort und Zeit unbestimmt; oder endlich etwas von dem einen, den Rest vom anderen. Im letzteren Falle führt die exakte Formulierung zum Gebrauche von Ausdrücken der Wahrscheinlichkeitsrechnung; weiß man z. B., daß ein Teilchen innerhalb eines gewissen Raumteiles gefunden worden ist, so kann man seine Bewegung zwar nicht genau bestimmen, aber eine Wahrscheinlichkeit für jede mögliche Bewegung angeben.

... Auch die vollkommenste Experimentierkunst kann also niemals die Bedingung erfüllen, den Zustand eines Systems in allen Einzelheiten zu beschreiben, weil die Natur selbst dagegen unübersteigbare Hindernisse getürmt hat. Damit ist aber das Kausalprinzip in der üblichen Fassung „leer“ geworden, wenigstens für den Physiker. Es enthält keinerlei prüfbare Aussage über die Form der Naturgesetze mehr. Man mag es annehmen oder verwerfen — dem Naturforscher ist das gleich. Aber sein philosophisches Bedürfnis ist doch so stark, daß er sich bemüht, an die Stelle der verworfenen Formulierung eine bessere zu setzen, die eine wirkliche Aussage enthält. Das ist auch auf Grund der neueren Untersuchungen über Quantentheorie

möglich; man hat einen Satz von der Art: Wenn man den Zustand eines Systems so weit empirisch bestimmt, als es auf Grund der Naturgesetze überhaupt möglich ist, so ist der weitere Ablauf der Vorgänge des Systems in dem Maße determiniert, als jeder spätere Zustand seinerseits empirisch bestimmbar ist. Eine solche „bescheidenerere“ Formulierung scheint im Grunde auch befriedigender als die ältere Fassung, die einen gottähnlichen Beobachter voraussetzt. Auch das neue Naturbild läßt dem, der das Weltall als Uhrwerk vorzustellen liebt, das Recht hierzu; nur kann er mit diesem Recht nicht viel anfangen. Er muß sich eben mit einer beschränkten Erkennbarkeit des Mechanismus und einer beschränkten Anwendbarkeit des Determinismus begnügen.

19. Heisenberg hat in einer Abhandlung in der „Zeitschrift für Physik“, Bd. 43, 1927 folgendes ausgeführt:

Ort und Impuls des Elektrons sind nicht gleichzeitig genau bestimmbar. Um den Ort des Elektrons festzustellen, wird man es etwa beleuchten. Dies setzt einen lichtelektrischen Effekt voraus, kann also auch so gedeutet werden, daß ein Lichtquant das Elektron trifft und an diesem reflektiert oder abgelenkt wird. In diesem Augenblick aber verändert infolgedessen das Elektron seinen Impuls un stetig. Je genauer die Ortsbestimmung, d. h. je kleiner die Wellenlänge des benutzten Lichtes ist, desto größer die Änderung des Impulses. Also: Je genauer der Ort bestimmt wird, desto ungenauer der Impuls. Man könnte auch den Ort des Elektrons durch Stoßversuche bestimmen, die von sehr schnellen Partikeln ausgeübt werden, das bedeutet aber wiederum eine un stetige Änderung des Impulses. Andererseits kann der Impuls einer Partikel durch Messung seiner Geschwindigkeit (Dopplereffekt) mit jeder gewünschten Genauigkeit gemessen werden, aber dann muß vorausgesetzt werden, daß das Licht langwellig ist, so daß der Rückstoß vernachlässigt werden kann. Dann aber wird die Ortsbestimmung entsprechend ungenau.

Ebenso fraglich ist bisweilen der Gebrauch des Wortes „Bahn des Elektrons“. Um die Bahn zu messen, müßte man das Atom beleuchten, der Lichtquant würde aber das Elektron aus der Bahn werfen. Das Wort „Bahn“ hat also hier keinen vernünftigen

Sinn. Jedes Experiment zur Bestimmung der Phase zerstört bzw. verändert das Atom.

Alle Begriffe, die in der klassischen Theorie zur Beschreibung eines mechanischen Systems verwendet werden, lassen sich wohl auch für atomare Vorgänge exakt definieren. Die Experimente aber, die solcher Definition dienen, tragen erfahrungsgemäß eine Unbestimmtheit in sich, wenn wir von ihnen die simultane Bestimmung zweier Größen verlangen, wie Ort und Impuls, wo die genaue Bestimmung des einen auf Kosten der genauen Bestimmung des anderen geht. Es liegt nahe, hier einen Vergleich mit der Relativitätstheorie zu ziehen. Gäbe es in der Relativitätstheorie Signale, die sich unendlich schnell fortpflanzen, so wäre die Relativitätstheorie überflüssig. Ähnlich steht es mit der Definition der Begriffe Ort, Geschwindigkeit usw. in der Quantentheorie, wo durch die Experimente eine Unbestimmtheit hereingetragen wird, welche in der Theorie nicht vorhergesehen werden konnte.

„An der scharfen Formulierung des Kausalgesetzes: Wenn wir die Gegenwart genau kennen, können wir die Zukunft berechnen — ist nicht der Nachsatz, sondern die Voraussetzung falsch. Wir können die Gegenwart in allen Bestimmungsstufen prinzipiell nicht kennenlernen. Deshalb ist alles Wahrnehmen eine Auswahl aus einer Fülle von Möglichkeiten und eine Beschränkung des zukünftig Möglichen. Da nun der statistische Charakter der Quantentheorie so eng an die Ungenauigkeit aller Wahrnehmung geknüpft ist, könnte man zu der Vermutung verleitet werden, daß sich hinter der wahrgenommenen statistischen Welt noch eine „wirkliche“ Welt verberge, in der das Kausalgesetz gilt. Aber solche Spekulationen erscheinen uns unfruchtbar und sinnlos. Die Physik soll nur den Zusammenhang der Wahrnehmungen formal beschreiben. Vielmehr kann man den wahren Sachverhalt viel besser so charakterisieren: Weil alle Experimente den Gesetzen der Quantenmechanik unterworfen sind, so wird durch die Quantenmechanik die Ungültigkeit des Kausalgesetzes definitiv festgestellt“ (S. 97).

Zu diesen Ausführungen Heisenbergs ist folgendes zu bemerken: Heisenberg drückt sich noch schärfer aus als Born. Born spricht von der Leerheit des Kausalgesetzes, Heisenberg

davon, es sei seine Ungültigkeit definitiv festgestellt worden. Allein hier liegt einfach ein logisches Versehen von seiner Seite vor. Man kann einen Satz von der Form „Wenn — So“ nicht dadurch für ungültig erklären, daß man die Voraussetzung für nicht realisierbar, oder wie er ungenau sagt, für falsch erklärt. Die Falschheit des Wenssatzes bedeutet noch nicht einmal die Falschheit des Nachsatzes, geschweige denn die Falschheit der konditionalen Verbindungen, die allein Inhalt des Kausalsatzes ist. Von einer definitiven Feststellung der Ungültigkeit des Kausalgesetzes durch die Quantentheorie kann also keine Rede sein, sondern höchstens von seiner Unanwendbarkeit.

20. Bohr hat den Bedenken von Heisenberg eine prinzipielle Grundlage gegeben, indem er eine sogenannte Komplementaritätstheorie ausarbeitete. (Das Quantenpostulat und die neuere Entwicklung der Atomistik, Naturwissenschaften 1928.) Die beiden „Komplemente“ sind die kausale und die raumzeitliche Anschauungsweise. Daß wir für die gewöhnlichen Sinnesempfindungen die Ereignisse sowohl raum-zeitlich als auch kausal bestimmen können, kommt nur daher, daß das Plancksche Wirkungsquantum gegenüber den für die gewöhnlichen Sinnesempfindungen in Betracht kommenden Dimensionen klein ist. Hingegen müssen die klassischen physikalischen Begriffe eingeschränkt werden, wenn sie auf atomare Vorgänge angewendet werden. Unsere Beschreibung der Naturerscheinungen beruht auf der Voraussetzung, daß die Erscheinungen beobachtet werden können, ohne dadurch wesentlich beeinflusst zu werden. Jede Beobachtung atomarer Vorgänge aber fordert eine nicht zu vernachlässigende Wechselwirkung mit dem Messungsmittel, so daß also weder den beobachteten Erscheinungen noch dem Beobachtungsmittel eine selbständige physikalische Realität zugeschrieben werden kann. Es ist für jeden einzelnen Fall eine Frage der Zweckmäßigkeit, an welcher Stelle man den Begriff der Beobachtung und den irrationalen Zug der Beschreibung einführen will, der durch das Quantenpostulat herbeigeführt wird, welches besagt, daß jeder atomare Prozeß einen Zug von Unstetigkeit enthält, der den klassischen Theorien fremd ist. Bei Aus-

schließung aller äußeren Beeinflussungen aber ist jede Möglichkeit der Beobachtung ausgeschlossen, und vor allem verlieren die Begriffe Zeit und Raum ihren unmittelbaren Sinn. Lassen wir jedoch Wechselwirkungen mit Messungsmitteln zu, so ist eine eindeutige Definition des Zustandes des Systems nicht mehr möglich, und es kann nun wohl von Raum und Zeit, aber nicht von Kausalität im gewöhnlichen Sinne die Rede sein. Raum-zeitliche Darstellungen und die Forderung der Kausalität sind also komplementäre, einander ausschließende Züge der Beschreibung des Inhalts der Erfahrung, welche die Idealisierung der Beobachtungs- bzw. Definitionsmöglichkeiten symbolisieren.

Diese Komplementarität findet ihren Ausdruck in den beiden Theorien des Lichtes, welche in den letzten Jahren wiederum miteinander gekämpft haben — Wellentheorie und Emissions-(Lichtquanten-)Theorie. Beide Theorien haben nach Bohr recht, aber die Wellentheorie trägt dem Bedürfnis nach raum-zeitlicher Erfassung, die Quantentheorie dem Bedürfnis nach kausaler Erfassung Rechnung. Diese beiden Bedürfnisse können aber nach der Komplementaritätstheorie nicht zugleich befriedigt werden, und daher kann es eine einheitliche Theorie des Lichtes nicht geben. Ich zitiere Bohr: „Was das Licht betrifft, so wird seine raum-zeitliche Ausbreitung bekanntlich in sinngemäßer Weise durch die elektromagnetische Lichttheorie dargestellt. Insbesondere werden sowohl die Interferenzerscheinungen im leeren Raum als auch die optischen Eigenschaften materieller Medien in lückenloser Weise durch das wellentheoretische Superpositionsprinzip beherrscht. Nichtsdestoweniger findet die Erhaltung von Energie und Impuls bei der Wechselwirkung von Strahlung und Materie, wie sie bei dem photoelektrischen Effekt und dem Comptoneffekt zum Vorschein kommt, gerade durch die von Einstein entwickelte Lichtquantenvorstellung ihren sinngemäßen Ausdruck.“

Man hat nun einerseits der Wellenvorstellung vorgeworfen, daß sie nicht erklären kann, wieso die Energie in diskontinuierlichen Quanten abgegeben wird, hat daher an der strengen Aufrechterhaltung des Superpositionsprinzips der Wellen gezweifelt; andererseits hat man geglaubt, die Quantenvorstellung verlange, daß Energie und Impuls von einem Quant auf das andere im

Verlaufe einer gewissen Zeit und nicht momentan übergehen könne, während der Versuch eine momentane, an einem Raumpunkte sich abspielende Wirkung zeigt. So gerieten beide Theorien des Lichtes in Schwierigkeiten. Jedoch diese „Zweifel einerseits an der strengen Aufrechterhaltung des Superpositionsprinzips, andererseits an der allgemeinen Gültigkeit der Erhaltungssätze, zu denen dieser scheinbare Widerspruch Anlaß gegeben hat, sind bekanntlich in entscheidender Weise durch direkte Versuche widerlegt“.

Somit also schienen wiederum beide einander widersprechende Theorien gerechtfertigt und eine Entscheidung unmöglich. „Diese Sachlage dürfte die Undurchführbarkeit einer kausalen raumzeitlichen Beschreibung der Lichterscheinungen klarstellen. Soweit wir die Gesetze der raumzeitlichen Ausbreitung der Lichtwirkungen zu verfolgen wünschen, sind wir dem Quantenpostulat zufolge auf statistische Betrachtungen angewiesen. Demgegenüber bedeutet die Aufrechterhaltung der Kausalitätsforderung bei den einzelnen, durch das Wirkungsquantum gekennzeichneten Lichtprozessen einen Verzicht hinsichtlich der raumzeitlichen Verhältnisse. Natürlich kann von einer völlig unabhängigen Anwendung der Raum-Zeitbeschreibung und des Kausalitätsbegriffs niemals die Rede sein. Vielmehr stellen die beiden Auffassungen der Natur des Lichtes zwei verschiedene Versuche einer Anpassung der experimentellen Tatsachen an unsere gewöhnliche Anschauungsweise dar, durch welche die Begrenzung der klassischen Begriffe in komplementärer Weise zum Ausdruck kommt. Zu einer analogen Schlußfolgerung führt die Betrachtung der Eigenschaften materieller Teilchen.“

Hier haben Versuche jüngsten Datums die de Brogliesche Auffassung der Materie als Wellenerscheinung bestätigt. Auch hier also einerseits Auffassung der Materie als Welle, andererseits als bestehend aus Elementarteilchen. Hierzu bemerkt Bohr wiederum: „Ähnlich wie bei dem Licht stehen wir also, solange wir uns an klassische Begriffe halten, auch bei der Frage des Wesens der Materie vor einem unvermeidbaren Dilemma, das eben als ein sinngemäßer Ausdruck für die Analyse des Erfahrungsmaterials zu betrachten sein dürfte. In der Tat handelt es sich

hier nicht um einander widersprechende, sondern um komplementäre Auffassungen der Erscheinungen, die erst zusammen eine naturgemäße Verallgemeinerung der klassischen Beschreibungsweise darbieten.“

Diese zwei Auffassungen des Lichtes und der Materie, die raum-zeitliche einerseits, die kausale andererseits, erhellen schon „aus den einfachen Formeln, welche die gemeinsame Grundlage der Lichtquantentheorie und Wellentheorie materieller Teilchen bilden. Bezeichnen wir die Plancksche Konstante mit h , so haben wir bekanntlich $E\tau = I\lambda = h$, wo E und I Energie und Impuls, τ und λ die zugeordnete Schwingungsdauer und Wellenlänge bedeuten. In diesen Formeln stehen die zwei erwähnten Auffassungen des Lichtes und der Materie einander schroff gegenüber. Während Energie und Impuls dem Partikelbegriff angehören und also nach der klassischen Auffassung durch Raum-Zeitkoordinaten gekennzeichnet werden können, so beziehen sich Schwingungsdauer und Wellenlänge auf einen in raum-zeitlicher Hinsicht unbegrenzten ebenen harmonischen Wellenzug.“ „In der Sprache der Relativitätstheorie läßt sich die Komplementarität in die Aussage zusammenfassen, daß nach der Quantentheorie eine allgemeine reziproke Beziehung besteht zwischen der maximalen Schärfe der Definition der dem Individuum zugeordneten Raum-Zeit- bzw. Energie-Impulsvektoren. Dieser Sachverhalt dürfte als ein einfacher symbolischer Ausdruck betrachtet werden für die komplementäre Natur der Raum-Zeitbeschreibung und der Kausalitätsforderung. Gleichzeitig erlaubt aber der allgemeine Charakter dieser Beziehung in gewissem Umfang die Erhaltungssätze mit der raum-zeitlichen Darstellung der Beobachtungen zu vereinbaren, indem anstatt von in einem Raum-Zeitpunkt zusammenfallenden Ereignissen die Rede ist von dem Zusammentreffen von ungenau definierten Individuen innerhalb endlicher Raum-Zeitgebiete“, also nach beiden Seiten hin unscharf definiert wird.

So stellt also Bohr die prinzipielle Unmöglichkeit einer strengen Erfassung von raum-zeitlicher Kausalität dar, die uns zwingt, uns in Gebieten, für welche h nicht mehr als klein betrachtet werden kann, mit unscharfen Durchschnittsgesetzen zu begnügen.

21. Es kann nicht unsere Sache sein, zu untersuchen, ob Bohrs Ansicht berechtigt ist, ob die Unmöglichkeit, raum-zeitliche und kausale Bestimmungen einzelner Vorgänge im atomaren Gebiet zu treffen, wirklich von prinzipieller — und nicht bloß von zeitweiliger — Bedeutung ist. Die Philosophie kann hier nur die These des Naturforschers übernehmen und muß ihm die Verantwortung überlassen. Wir fragen nach der erkenntnis-kritischen Bedeutung der von Bohr angenommenen Tatsache, daß uns hier nur statistische Gesetze zugänglich sind; oder vielmehr, wir fragen nach den erkenntniskritischen Voraussetzungen der These von Heisenberg und Bohr. Ist unsere Wissenschaft damit voraussetzungsloser geworden, daß sie die strenge Kausalität mit der durchschnittlichen vertauscht hat? Es ist von mancher Seite geäußert worden, daß nunmehr alle Naturgesetze als nur statistisch zu betrachten seien. Dies ist eine ganz falsche Deutung. So wenig in der Logik die Gesetze der Induktion induktiv bewiesen werden können, so wenig kann die Voraussetzung, auf welcher die Anwendung der Statistik auf die Naturvorgänge selbst beruht, statistisch abgeleitet werden. Auch hier kann sich Münchhausen nicht am eigenen Zopfe aus dem Sumpfe ziehen. Vielmehr beruht die Anwendung der Statistik auf die Natur auf einem transzendenten Prinzip a priori in ganz derselben Weise, wie [das streng kausal gedachte Naturgesetz auf transzendentalen Voraussetzungen beruhte. Die Zahl der Voraussetzungen, welche die Naturwissenschaft machen muß und welche im Sinne Kants (siehe oben) der reinen Naturwissenschaft angehören, ist nicht kleiner geworden, wohl aber ist die transzendente Voraussetzung, die wir jetzt brauchen, gewissermaßen anspruchsloser geworden, als die frühere war.

Zunächst aber noch einige historische Bemerkungen: Uns erscheint heute die strenge Naturgesetzlichkeit als selbstverständlich, und wir müssen eine starke Denkgewohnheit bekämpfen, um dem Zufall irgendwelches Gebiet zuzugestehen. Wie wenig das für das Altertum und Mittelalter selbstverständlich war, hat Troeltsch in seinem Enzyklopädieartikel über Kontingenz in Hastings Encyclopedia of Religion and Ethics gezeigt (Die Bedeutung des Kontingenzbegriffs. WW. II). Heinrich Gomperz (Willensfreiheit, S. 154) führt zum Beweise für eine Kontingenz-

philosophie des Altertums Epikur an, „der ja die Atome (absolut zufällig) in ihrem Falle von der Vertikalen ‚um ein kleinstes‘ abweichen ließ“ (vgl. auch Theodor Gomperz, Griechische Denker III, S. 81; das Beispiel von Epikur auch bei Brentano, Versuch über die Erkenntnis, S. 20, 145).

Von Denkern des 19. Jahrhunderts sei vor allen Comte genannt, auf dessen merkwürdige diesbezügliche Ansichten Emile Meyerson in seinem Buche *Identité et Réalité* hingewiesen hat (S. 6). Comte glaubte, daß die Naturgesetze keineswegs einer allzu detaillierten Untersuchung standhalten würden. Nicht etwa glaubte er, daß ein einzelnes von uns gefundenes Naturgesetz bei genauer Nachprüfung sich als bloß angenähert erweisen würde so, daß es durch ein besseres und der Wirklichkeit besser angepaßtes zu ersetzen wäre. Vielmehr glaubte er, daß eine weit genug getriebene Untersuchung der Natur uns Tatsachen kennen lehren würde, welche sich jeder Feststellung ihrer Gesetzmäßigkeit entziehen würden. Er ahnte also gewissermaßen die Untersuchungsergebnisse Heisenbergs und Bohrs voraus, zog freilich hieraus die sonderbare Konsequenz, eine allzu weit getriebene Forschung zu verbieten, da sie zur Unfruchtbarkeit verurteilt sei und bloß „einer kindlichen Neugierde“ entspringe. Er protestierte daher schon gegen die allzu weitgehende Verwendung des Mikroskops. Levy-Bruhl meinte freilich, Comte habe das nur für eine menschliche Beschränkung gehalten. Sofern also wäre seine Stellung der von Nernst (siehe oben) gleich.

René Berthelot, welcher in seinem Buche über den Pragmatismus (*Un Romantisme Utilitaire* 1911, S. 240 ff., 409 f.) verwandten Strömungen der wissenschaftlichen Entwicklung im 19. Jahrhundert nachgeht, nennt als besonders einflußreich Victor Regnault (1810 bis 1878), der nicht nur auf französische, sondern auch auf andere Forscher, speziell Lord Kelvin, mit seinen Ansichten über den bloß angenäherten Charakter der Naturgesetze eingewirkt hat. „Man muß zugeben“, lehrt er, „daß die physikalischen Gesetze allgemeine Wahrheiten sind, welche jedoch nur in bestimmten Grenzen wahr sind, welche man aber nicht in absoluter Weise außerhalb dieser Grenzen als wahr ausgeben kann. Es sind annähernde Beziehungen; wir können den Grad dieser Annäherung

messen, welcher dem Grade unserer Wahrnehmungskraft und der wachsenden Genauigkeit unserer Meßinstrumente entspricht. Aber wir haben nicht das Recht, zu behaupten, daß die physikalischen Gesetze so streng gelten wie eine mathematische Formel.“

In Deutschland hat Nietzsche zur Stützung seiner Auffassung der wissenschaftlichen Wahrheit als eines biologisch nützlichen Irrtums die Tatsache der „Grobheit“ der wissenschaftlichen Formeln und der „Spannweite“, innerhalb deren allein das Experiment gelingt und Sinn hat, herangezogen. Es sei wunderbar, daß für unsere Bedürfnisse (Maschinen, Brücken usw.) die Annahmen der Mechanik ausreichen. Es sind eben sehr grobe Bedürfnisse, und die „kleinen Fehler“ kommen nicht in Betracht. Die Unexaktheit der Naturgesetze „ist Bedingung des Daseins, des Handelns, wir würden verhungern ohne diese; die Skepsis und die Vorsicht sind erst spät und immer nur selten erlaubt“ (Unveröffentlichtes aus der Zeit der Fröhlichen Wissenschaft. WW. XII, S. 30—39).

H. Poincarés und Ernst Machs Ansichten über das statistische Naturgesetz sind bekannt. Poincaré hat wiederholt der Ansicht Ausdruck gegeben, daß die Naturgesetze vielleicht nur eine Folge von Mittelwerten sind. In „Wissenschaft und Hypothese“ meint er, daß gerade die Ungenauigkeit unserer Meßapparate die Entdeckung gewisser Gesetze begünstigt hat, und daß es für die Wissenschaft ein Unglück gewesen wäre, wenn sie in einem Augenblick entstanden wäre, wo die Beobachtungsinstrumente allzu genaue Forschungen ermöglicht hätten¹⁾. Mach glaubte ebenfalls, daß die Naturgesetze nur durch eine Schematisierung des Wirklichen gewonnen wurden.

22. Indessen, so zahlreich auch die Namen der Forscher sind, welche die statistische Auffassung des Naturgesetzes geteilt haben (und wir könnten den Genannten noch viele andere hinzufügen), so wenig einheitlich ist die Auffassung in bezug auf den philosophischen Sinn, und die Tragweite dieser Behauptung. Wir sahen schon, daß Comte und Nernst das statistische Naturgesetz

¹⁾ Die entgegengesetzte Auffassung bei Planck (Kausalität und Willensfreiheit, S. 33, 42). Danach wäre gerade der mikroskopische Beobachter im Gegensatz zum makroskopischen im Besitze der strengen Gesetze.

nur als Zeichen der menschlichen Beschränkung betrachten. Objektiv, vor höher organisierten Geistern, würde auch der Zufall dennoch wiederum als Regelmäßigkeit erscheinen. In der Natur selbst herrscht strenge Kausalität, nur uns ist sie nicht in ihrer Reinheit offenbart. Danach wäre der Zufall in der Natur nur eine Außenfassade. Die Ansicht, daß auch das statistische Naturgesetz nur möglich sei, wenn in der Natur selbst das Kausalitätsgesetz in strenger (wenn auch uns unbekannter) Weise herrsche, ist insbesondere deswegen vertreten worden, weil man sagte, daß die Wahrscheinlichkeitsrechnung selbst, auf welche die Statistik aufgebaut ist, nur Sinn habe innerhalb einer streng gültigen kausalen Gesetzmäßigkeit.

Denn wenn alles durch Zufall geschieht — argumentierte man —, warum soll nicht durch Zufall beim Würfeln immer wieder die Ziffer Eins fallen? Wir würden im gewöhnlichen Leben, wenn so etwas geschähe, urteilen, daß der Würfel, mit dem wir spielen, kein ebenmäßiges Gebilde sei und sein Schwerpunkt nicht in der Mitte liege. Das heißt, wir würden sagen: Das regelmäßige Eintreffen des Wurfes Eins ist naturgesetzlich, etwa durch das Gesetz der Schwere infolge der Konstruktion des Würfels, bedingt. Warum würden wir das sagen? Weil wir den Zufall nicht zulassen. Läßt man aber den Zufall zu, dann ist nicht fragwürdiger, warum die eine Würfelseite fällt als die andere. Es geschieht eben alles durch Zufall, und diesem gegenüber gibt es keine Frage: Warum? So scheint also in der Tat das Vertrauen darauf, daß sich das Gesetz der großen Zahl erfüllen werde, nur begründet zu sein in der über allem Zufall waltenden strengen Kausalität.

In diesem Sinne findet sich vielfach in der philosophischen Literatur die Ansicht vertreten, daß Wahrscheinlichkeit nur in einer gesetzlichen Welt einen Sinn habe. So scheint Leibniz gedacht zu haben (vgl. Couturat, *La logique de Leibniz*, S. 275), so Bolzano, wenn er sagt, daß in jedem einzelnen Falle (des Würfels zum Beispiel) eine (uns unbekante) strenge Gesetzlichkeit das Resultat bedingt, „durch welche es geschieht, daß nur einer (von den möglichen Fällen) eintritt und das Eintreten der übrigen insgesamt unmöglich ist“ (*Wissenschaftslehre III*, § 317, A. 3).

So äußert sich Lotze (*Logik*, Ausgabe von Meiner, S. 442): „Man kann nur solche Ereignisse berechnen, welche innerhalb einer

gesetzlich geordneten Welt von anderen abhängig sind, nicht aber Urtatsachen, die ein unabhängiges schlechthinniges Sein enthalten. Es wäre nur ein bedeutungsloses Spiel des Witzes, zu behaupten, bevor irgend etwas sei, habe es gleiche Wahrscheinlichkeit, daß überhaupt etwas sei und daß gar nichts sei¹⁾ ... Folglich sei die Wahrscheinlichkeit für das Dasein von etwas überhaupt = $\frac{1}{2}$... Es würde sich anders verhalten, wenn wir aus gegebenen Daten die Wahrscheinlichkeit jener Urtatsache bestimmen wollten. Unter Voraussetzung eines gesetzmäßigen Zusammenhanges aller Wirklichkeit würden dann diese letzteren ... als Erkenntnisgründe eine Bedingung bilden, welche die Notwendigkeit der ausschließenden Annahme der einen oder der anderen Gestalt jener Urtatsachen herbeiführte.“ Ähnlich scheint auch Cassirer zu denken (Erkenntnisproblem II, S. 359: über Hume): „Um ein Ereignis als ‚wahrscheinlich‘ zu bezeichnen, müssen wir uns die einzelnen Bedingungen, von denen es abhängig ist, vergegenwärtigen und sie mit anderen Umständen, die einen anderen Erfolg bestimmen, in Gedanken zusammenhalten. Wir können indessen diesen Vergleich nicht vollziehen, noch irgend einen Vorrang eines Ereignisses vor seinem Gegenteil feststellen, wenn wir nicht eine Ordnung des Geschehens zugrunde legen, die sich selbst im Flusse der Zeit gleichbleibt ... Die Behauptung der Wahrscheinlichkeit schließt somit objektive Gewißheit ein²⁾.“

Ansichten englischer Forscher über die Frage finden wir zusammengestellt bei Lenzen, „Nature and Contemporary Physics“ in den von der California University herausgegebenen „Essays in Metaphysics“ 1924, S. 32. Ich erwähne noch von deutschen Forschern Kurt Riezler (Über das Wunder gültiger Naturgesetze, in den Dioskuren II): Ohne Zurückführung auf eine nichtstatistische, d. h. eben dynamische Gesetzmäßigkeit schwebt alle statistische

¹⁾ Vgl. jedoch die Ableitung des Kausalgesetzes bei Brentano (Versuch über die Erkenntnis, S. 121).

²⁾ Poisson baut in seinen Untersuchungen über die Wahrscheinlichkeit seine Formulierung des Gesetzes der großen Zahlen auf die Kausalität, indem er von gleichartigen Ereignissen spricht, „die von konstanten Ursachen und von solchen abhängen, die unregelmäßig veränderlich sind“. Wahrscheinlichkeit auf Kausalität fundiert auch E. v. Hartmann, Kategorienlehre II, 214 (Ausg. Meiner).

Gesetzmäßigkeit haltlos im leeren Raume. Auch Leopold Hartmann spricht in seinem Buche „Sind Naturgesetze veränderlich?“ (1926) aus: „es scheint sogar, daß Gesetzmäßigkeit der elementaren Welt auch Voraussetzung ist für das Auftreten statistischer Durchschnittsgesetze“. Vgl. auch Brunschvicg, a. a. O. S. 368: „Der Wahrscheinlichkeitskalkül ist auf den Determinismus aufgebaut.“

23. Doch scheint das Berechtigte an diesen Einwänden gegen das statistische Naturgesetz nur dies zu sein: In einer durchaus dem chaotischen Zufall preisgegebenen Welt wäre jede Statistik, die auf das Gesetz der großen Zahlen gebaut ist, unsinnig. Wenn alles purer Zufall ist, so herrscht kein Gesetz. Es gibt kein „Gesetz des Zufalls“, denn jedes Gesetz ist Einschränkung des Zufalls. Keinesfalls darf man annehmen, daß die Wahrscheinlichkeitsrechnung ja doch a priori sei, und daß sie daher, bzw. das von ihr aufgestellte Gesetz der großen Zahlen, ohne weiteres auch auf eine chaotische Welt anwendbar sei. Es wäre ein großer Irrtum, anzunehmen, daß es in diesem Sinne ein apriorisches Gesetz gäbe, dem sich auch der chaotische Zufall fügen müßte. In diesem Sinne sagt Brunschvicg sehr richtig: „Mais il ne s'agissait nullement de mettre le hasard en formules.“ Die mathematische Definition der Wahrscheinlichkeit hat gar nichts damit zu tun, daß diese Wahrscheinlichkeit sich auch in der Natur entsprechend verwirkliche. Wenn wir (mit Schlick, Naturphilosophie, S. 457) sagen, daß dasjenige, was die größere mathematische Wahrscheinlichkeit besitzt, in der Natur auch in entsprechendem Maße häufiger vorkommt, so ist dies keineswegs eine analytische apriorische Wahrheit von derselben Geltung wie $2 + 2 = 4$, vielmehr ist die Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Erfahrung ein neues Prinzip, das wir entweder begründen, oder aber als axiomatisches Postulat unseren Forschungen zugrunde legen müssen¹). In diesem

¹) So betont Mises (Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit, S. 90 f.), daß das Verhalten der Wirklichkeit entsprechend der mathematischen Wahrscheinlichkeit sich nicht beweisen lasse. „Ein Satz, der etwas über die Wirklichkeit aussagen soll, ist mathematisch nur dann ableitbar, wenn man an die Spitze der Ableitung bestimmte, der Erfahrung entnommene Ausgangssätze, sogen. Axiome, stellt.“ Ähnlich Marbe (Gleichförmigkeit der Welt I, 272).

Sinne muß man Lotze und den anderen durchaus zugeben, daß die angewandte Wahrscheinlichkeitsrechnung nur unter Voraussetzung eines gesetzmäßigen Zusammenhanges in der Welt einen Sinn habe. Dagegen bleibt die Frage offen, ob man, um statistische Naturgesetze zu sichern, in der Einschränkung des Zufalls so weit gehen muß, wie das Kausalgesetz geht, also volle eindeutige Notwendigkeit des einzelnen Geschehens voraussetzen muß, oder ob man sich damit begnügen kann, als höchstes zugrunde zu legendes Postulat das anzunehmen, „daß dasjenige, was die größere mathematische Wahrscheinlichkeit besitzt, in der Natur auch in entsprechendem Maße häufiger vorkommt“.

Dies ist es, was hier vorgeschlagen wird. Zu postulieren ist nur die Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Wirklichkeit. Dieses Postulat macht weniger Annahmen als das Kausalitätsgesetz selbst und ist insofern ihm gegenüber im Vorteil. (Es ist vielfach versucht worden, das Gesetz der Kausalität auf die Wahrscheinlichkeitsrechnung zu gründen. Dies scheint uns eben deswegen undurchführbar, weil es unmöglich ist, eine Annahme, die mehr Voraussetzungen macht, aus einer Annahme abzuleiten, welche weniger Voraussetzungen macht. Man könnte höchstens die Wahrscheinlichkeit — nach Brentano die unendliche Wahrscheinlichkeit — des Kausalgesetzes abzuleiten versuchen, dann aber kommt man nicht um die Frage herum, wodurch wir berechtigt sind anzunehmen, daß das Wahrscheinliche in der Natur auch in entsprechendem Maße häufiger vorkommt.)

Irgendwie aber muß, damit stimmen wir den oben erwähnten Forschern zu, eine Gesetzlichkeit vorausgesetzt werden. Im Chaos selbst herrscht kein Gesetz.

24. Wir müssen auf Grund des bisher Gesagten zur Frage der statistischen Regelmäßigkeit folgende Stellung einnehmen: Die Annahme einer solchen Gesetzmäßigkeit bedeutet durchaus nicht die Annahme der Herrschaft des Zufalls schlechthin. Nicht das Chaos ist eingebrochen, sondern die straffe Gesetzmäßigkeit der Kausalität etwas gelockert. Der „Strahl“ der eindeutigen Natur-

gesetzlichkeit ist zu einem „Bande“ erweitert worden, das Naturgesetz hat einen „Spielraum“ bekommen.

Eine solche Auffassung der Natur hat Heinrich Gomperz in seinem Buche über die Willensfreiheit (S. 153) unter dem Namen „Spontanistische Theorie“ aufgestellt. Dieser Theorie zufolge würden schon die materiellen Elemente gewisse individuelle und momentane Besonderheiten ihres Verhaltens zeigen. Es ist denkbar, daß zwei vollkommen gleiche Stoffteile oder auch derselbe Stoffteil zu verschiedenen Zeiten durch gleiche Bedingungen zu etwas verschiedenen Reaktionen angeregt werden. Die sogenannte gesetzmäßige Beziehung wäre nur ein Durchschnittswert aus den tatsächlichen Beziehungen, und diese würde jener nicht genau, sondern nur annäherungsweise entsprechen. Wenn trotzdem die Naturgesetze exakt zu gelten scheinen, so läge das nur daran, daß die Wissenschaft von der anorganischen Natur sich nur mit Massen beschäftigt, die unzählige materielle Elemente enthalten; denn in diesen Massen würden die individuellen und momentanen Abweichungen von der Norm einander gegenseitig kompensieren... Als derartige Durchschnittsregel des stofflichen Massenverhaltens wären demnach im Sinne der spontanistischen Theorie die Naturgesetze aufzufassen. Die Natur erscheint also wohl beherrscht von einer Gesetzlichkeit, aber unserem Wunsche nach eindeutiger Kausalität setzt sie „einen Widerstand mittlerer Stärke“ entgegen. Die Welt verhält sich unserem Ordnungstreiben gegenüber wie ein Stoff von mittlerer Bildsamkeit (Gomperz, S. 15).

Von den Physikern unserer Zeit hat Reichenbach das Gesetz der wahrscheinlichkeitsartigen Verbindung zwischen Ursache und Wirkung am klarsten herausgestellt. Und wenn wir auch seinem Versuch, hieraus eine physikalisch brauchbare Definition des Jetzt abzuleiten, nicht folgen konnten, so kommt doch seine Stellung der hier in bezug auf das Kausalgesetz vertretenen am nächsten. Ich zitiere aus der schon angeführten Akademie-Abhandlung „Kausalstruktur der Welt“ S. 138. Reichenbach ersetzt das Kausalgesetz „durch die eine Annahme, daß zwischen Ursache und Wirkung ein wahrscheinlichkeitsgemäßer Zusammenhang besteht... Wir denken uns also eine Welt, in der alle Abhängigkeiten von derselben Art sind, wie das Auftreten einer Würfelseite mit dem

Wurf im Zusammenhang steht; jeder Schritt des Geschehens ist ein Würfelspiel, und nur die große Wahrscheinlichkeit einzelner Reihen hat uns verführt, in ihnen eine sichere Gesetzlichkeit verborgen zu sehen. Mit dieser Auffassung sind wir dann ebenfalls zu einer einheitlichen Annahme über den Charakter des Geschehens gekommen, nur daß wir die Kausalannahme fortgelassen haben. Eine solche Welt besitzt in jedem ihrer Elemente allein einen Wahrscheinlichkeitszusammenhang. Es ist die Forderung nach einem Minimum von Voraussetzungen, die uns zu dem Verzicht auf die strenge Kausalität zwingt.“

Das also ist die aufgelockerte Annahme, die an die Stelle des Kausalgesetzes treten könnte, und wir haben uns zu fragen, ob diese der Welterklärung zugrundezulegende Annahme in bezug auf die wissenschaftliche Bearbeitung der Erfahrung die beiden Funktionen erfüllen kann, welche wir der Kausalität zugeschrieben haben: Bestimmung der zeitlichen Stellung der Naturereignisse und Voraussage der Zukunft.

25. Angenommen nun, daß jede Ursache mit ihrer Wirkung nicht eindeutig, sondern zweideutig verbunden wäre, in der Weise etwa, daß a entweder b oder c zur Folge haben könnte. Wäre dadurch der Zweck des Kausalschemas im Sinne Kants durchbrochen? Nein. Ebenso wie wir bei Kenntnis des Kausalgesetzes „ m erzeugt n “ dem n die Stellung in der Zeit nach m einzuräumen wissen, ebenso würden wir bei Kenntnis des Kausalgesetzes „ a erzeugt b oder c “ dem b bzw. c seine Stellung anweisen können und das Kausalschema würde seine Rolle erfüllen. Ebenso aber würden wir, wenn das Kausalgesetz eine Mehrdeutigkeit der Ursachen zuließe (c kann entweder durch a oder durch b erzeugt worden sein), dem c seine Stellung in bezug auf a bzw. b und umgekehrt anweisen können, trotz der Mehrdeutigkeit des Kausalgesetzes — immer vorausgesetzt, daß, wie oben angeführt, uns ein nicht umkehrbarer physikalischer Vorgang zur Bestimmung des Früher und Später zur Verfügung steht.

Freilich würde diese Wahrscheinlichkeit, mit der wir zu einer gegebenen Ursache die Wirkung, oder zu einer Wirkung deren Ursache bestimmen, immer kleiner werden, je weiter die zu be-

stimmende Wirkung von der gegebenen Ursache (oder umgekehrt) z \ddot{u} itlich entfernt ist. Immerhin aber w \ddot{a} re, wenn eine bestimmte Serie von Erscheinungen uns gegeben wird, es ohne weiteres m \ddot{o} glich, die zeitliche, d. h. kausale Anordnung der gegebenen Erscheinungen zu bestimmen, und die Forderung Kants an das Kausalgesetz w \ddot{a} re also auch dann zu erf \ddot{u} llen, wenn an Stelle des eindeutigen Zusammenhanges zwischen Ursache und Wirkung ein Wahrscheinlichkeitszusammenhang tr \ddot{a} te.

Was nun aber die zweite Funktion des Kausalgesetzes, die Prophezeiung der Zukunft beziehungsweise Rekonstruktion der Vergangenheit betrifft, so w \ddot{a} re selbstverst \ddot{a} ndlich eine solche in bezug auf den einzelnen Fall unm \ddot{o} glich. Dennoch aber brauchte uns dies praktisch nicht zu st \ddot{o} ren, wenn nur die unendlich vielen M \ddot{o} glichkeiten in ihrem Durchschnitt in einen bestimmten Spielraum eingeschlossen w \ddot{a} ren. In diesem Falle k \ddot{o} nn \ddot{t} en wir n \ddot{a} mlich zwar nicht die bestimmte Wirkung voraussagen oder die bestimmte Ursache rekonstruieren, wohl aber k \ddot{o} nn \ddot{t} en wir mit der Sicherheit, welche die Wahrscheinlichkeitsrechnung gew \ddot{a} hrt, angeben, da \ddot{s} die Wirkung einem bestimmten Spielraum angeh \ddot{o} ren wird. Sommerfeld fordert (Zum gegenw \ddot{a} rtigen Stande der Atomphysik, Phys. Zeitschr. 1927, S. 234): „Die exakte Vorhersage des unter gegebenen Umst \ddot{a} nden zu Beobachtenden m \ddot{u} ssen wir fordern, solange es eine Naturwissenschaft geben soll.“ Diese Forderung bleibt auch im Falle des statistischen Naturgesetzes erf \ddot{u} llt.

So kann weder von der einen noch von der anderen Funktion der Kausalit \ddot{a} t ein Beweis gegen die Ersetzung des strengen Kausalgesetzes durch eine Wahrscheinlichkeitsfunktion geholt werden.

Das statistische Durchschnittsgesetz \ddot{u} bernimmt eben in den betreffenden Gebieten der Physik dieselben Funktionen in bezug auf die Bestimmung der zeitlichen Stellung wie in bezug auf die Prophezeiung und Rekonstruktion, welche bisher das strenge Kausalgesetz innehatte, nur mit dem Unterschied, da \ddot{s} dort der einzelne Fall zeitlich geordnet und vorhergesehen beziehungsweise rekonstruiert werden konnte, w \ddot{a} hrend hier dies alles nur mehr auf den Durchschnitt zutrifft.

Man k \ddot{o} nn \ddot{t} e meinen — und dies scheint Reichenbachs Ansicht zu sein —, da \ddot{s} die Einf \ddot{u} hrung des Wahrscheinlichkeits-

zusammenhangs nun doch wieder der Zukunftsrichtung vor der Vergangenheitsrichtung einen Vorzug verschaffe und demnach unsere Erörterungen (siehe oben) nunmehr ungültig werden. Denn die Wahrscheinlichkeit sei eine Wahrscheinlichkeit der zukünftigen Ereignisse, nicht der vergangenen. Doch wäre dies unberechtigt. Wenn wir sagen, daß gewisse physikalische Ereignisse um einen Mittelwert schwanken, so gilt dies in derselben Weise, ob wir nun die Reihe der Erscheinungen in der einen oder andern Richtung durchlaufen. Das „Würfelspiel“ der Welt betrifft die Wirkung — wenn wir von der festgehaltenen Ursache her blicken — und betrifft die Ursache — wenn wir von der festgehaltenen Wirkung her blicken. Unsere obigen Betrachtungen über Vergangenheit und Zukunft und über die physikalische Unfaßbarkeit des „Jetzt“ bleiben also aufrecht, auch wenn wir die strenge Determination durch die Wahrscheinlichkeitsimplikation ersetzen.

26. Wir haben schon oben darauf hingewiesen, daß auch im letzten Falle gewisse transzendente Voraussetzungen aufrecht bleiben, welche eben die Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Erfahrung aussprechen. Wäre die Natur so gesetzlos, daß sie der Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht entspricht, so wäre Erfahrung unmöglich. Wir haben also das Gesetz, „daß dasjenige, was die größere mathematische Wahrscheinlichkeit besitzt, in der Natur auch in entsprechendem Maße häufiger vorkommt“, als die transzendente Bedingung anzusehen, ohne welche Erfahrung nicht möglich ist. Es ist sehr wichtig, einzusehen, daß diese transzendente Bedingung durchaus nicht selbstverständlich ist. Es ist, kantisch gesprochen, ein synthetisches Urteil, daß die Wirklichkeit sich den Gesetzen des Zufalls, wie sie die Wahrscheinlichkeitsrechnung formuliert, fügt. Die Wahrscheinlichkeitstheorie, als rein mathematisch-kombinatorische Theorie, hat auf die Wirklichkeit keinen Einfluß. Vielmehr ist dies eine neue Behauptung, und diese hat, erkenntnistheoretisch gesprochen, dieselbe Dignität, wie alle Sätze der „reinen Naturwissenschaft“ im Sinne Kants: Es sind synthetische Voraussetzungen a priori, die wir annehmen, weil ohne sie Erfahrung nicht möglich ist. Keineswegs geben wir uns einem restlosen Empirismus preis,

der die Naturgesetze aus einer vermeintlichen Wirklichkeit aufklären würde.

Wenn also hier ebenso wie bei der klassischen Naturauffassung transzendente Voraussetzungen notwendig sind, so hat die neue Auffassung gegenüber der früheren doch einen großen Vorteil. Offenbar ist diejenige Theorie von vornherein im Vorteil, welche, bei gleichem Erkenntnisziele, weniger transzendente Voraussetzungen zu machen genötigt ist. Es ist hier nicht anders als mit den Axiomen der Mathematik. Wir müssen mit einem Minimum an Voraussetzungen nicht empirischer Art unser Auskommen finden, um die Empirie zu begründen. „Die Frage ist nun: Welches Mindestmaß an erkenntnistheoretischen Voraussetzungen ist nötig, um überhaupt noch eine quantitative Weltbetrachtung zu ermöglichen?“ (So Sommerfeld, Zum gegenwärtigen Stande der Atomphysik, Phys. Zeitschr. 1927, S. 235.) Nun macht offenbar die statistische Gesetzesauffassung weniger Voraussetzungen als die klassische. Denn während die klassische behauptet, daß keine Erfahrung möglich sei, wenn nicht jedes einzelne Geschehen streng kausal zusammenhängt und aus seinem Anfangszustand sich durch eine Differentialgleichung sein ganzer Verlauf bestimmen läßt, behauptet die statistische Auffassung viel weniger: Das einzelne Geschehen ist unbestimmt, ist „frei“ und nur unterworfen den Gesetzen des Zufalls, wie sie die Wahrscheinlichkeitsrechnung feststellt. „In der Welt herrscht strenge Notwendigkeit“ — fordert die eine Auffassung; „In der Welt herrscht der durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung gebändigte Zufall“ — fordert die andere Auffassung, und sie fordert damit offenbar weniger als die erste. Damit ist sie der klassischen Theorie gegenüber im Vorteil.

27. Freilich, jede Herabsetzung der Zahl der Voraussetzungen muß sich irgendwie rächen. Irgendwo muß ein Minus entstehen. Dieses Minus der statistischen Auffassung liegt nun darin, daß auf den Satz vom zureichenden Grunde des Geschehens verzichtet wird, womit mindestens eine starke Denkgewohnheit preisgegeben wird. Wir finden weiter nichts Erstaunliches dabei, daß sich der Weltverlauf mit Notwendigkeit abspielt, daß die Sterne in ihrer Bahn bleiben, welche ihnen die Naturgesetze vorschreiben usw.,

wir sind nicht versucht zu fragen: Woher weiß der Stern das Naturgesetz, dem er zu folgen hat; bewußt oder unbewußt empfinden wir das Naturgesetz als eine Kraft, die ihren Willen in der Natur durchsetzt. Und weil wir eben von dieser Denkgewohnheit durchdrungen sind, wird es uns schwer zu begreifen, daß die Natur sozusagen würfelt, daß dem Elektron sein Weg nicht naturgesetzlich vorgeschrieben ist, sondern daß es innerhalb gewisser Grenzen „wählen“ kann. Wir würden eher erwarten, daß das Elektron, statt sich zufällig-grundlos für eine von mehreren Möglichkeiten zu entscheiden, gleich dem Esel des Buridan, nichts tut und in seiner Bahn innehält. In der Tat finden wir eine ähnliche Ansicht bei Bolzano ausgesprochen (Wissenschaftslehre III, S. 317, A. 3): „Wollten wir annehmen, daß jene Fälle (die gleich möglichen Fälle der Wahrscheinlichkeitsrechnung) einander in der Tat gleich sind, so könnte eben darum nicht nur kein Mensch, sondern Gott selbst nicht einen Grund angeben, warum jetzt vielmehr dieser als jener Fall eintreten wird; es würde wirklich gar keiner eintreten, weil wegen der völligen Gleichheit der Umstände bei allen Fällen keiner den Vorzug vor den übrigen erhalten könnte.“ Man erinnere sich, daß mit einem ähnlichen Argumente Galilei, Wolf, d'Alembert, Euler, Laplace usw. versuchten, das Trägheitsprinzip abzuleiten, denn es sei kein Grund dafür vorhanden, daß der Körper nach der einen Richtung eher als nach der anderen abweichen sollte (vgl. Kohn, Untersuchungen über das Kausalproblem, S. 57). Über eine ähnliche Argumentation des Archimedes über das Gleichgewicht vgl. den zweiten Brief von Leibniz an Clarke.

Es spricht eine ungemein starke Denkgewohnheit dagegen, anzunehmen, daß das einzelne Geschehen indeterminiert ist. Entfernt man freilich aus dem Gesetzesbegriff den Rest von Animismus und Voluntarismus, der dem Gesetzesbegriff immer noch anhaftet, so ist es an sich ebensowenig oder ebensowenig rätselhaft, daß das Elektron eine ihm gesetzlich vorgeschriebene Bahn einhält, als daß es willkürlich eine unter mehreren ihm gesetzlich zulässigen Bahnen „wählt“. Das eine Phänomen ist seinem Wesen nach ebenso unbegreiflich wie das andere: aber es ist nicht Sache der Physik, diese Unbegreiflichkeit der ganzen oder teilweisen Naturgesetzlichkeit zu mildern; sie hat sie in ihren Formen festzuhalten und zu be-

schreiben, ohne sich auch darum zu kümmern, ob vielleicht aus der „gesetzlichen“ oder „freien“ Auffassung des Zusammenhanges von Ursache und Wirkung metaphysische Folgerungen gezogen werden mögen, die nicht in ihrem Felde liegen. (Vgl. den Versuch, die statistische Regelmäßigkeit teleologisch zu verstehen, bei Th. L. Haering, Philosophie der Naturwissenschaft, 1923, S. 617, 622.) Wenn man einmal den innerlichen Widerstand gegen eine Unbestimmtheit in der materiellen Natur überwunden hat, wird man einsehen, daß in bezug auf die Begreiflichkeit des Naturgeschehens die eine Theorie so gut ist wie die andere¹⁾.

Über das Maß dessen, was die Zugrundelegung des Wahrscheinlichkeitszusammenhanges zwischen Ursache und Wirkung dem Physiker zumutet, muß man sich allerdings klar sein. Wenn wir als Voraussetzung a priori dieser Auffassung hingestellt haben, „daß dasjenige, was die größere Wahrscheinlichkeit besitzt, in der Natur auch in entsprechendem Maße häufiger vorkommt“, so ist damit gesagt, daß auch Ereignisse oder Ereignisreihen, welche eine geringere Wahrscheinlichkeit haben, vorkommen können. Daß wir beim Würfeln zwanzigmal nacheinander dieselbe Zahl werfen, hat eine sehr kleine Wahrscheinlichkeit, aber immerhin hat es eine Wahrscheinlichkeit. Und wenn wir der Natur das genannte Postulat zugrunde legen, so wird der unwahrscheinliche Fall zwar selten, aber doch vorkommen. Mit Recht sagt Seeliger (Über die Anwendung der Naturgesetze auf das Universum, Sitzungsberichte der Bayer. Akad. d. Wiss. 1909, S. 20): „Wenn man von einer Wahrscheinlichkeit des Ereignisses E spricht, so hat das nur dadurch einen Sinn, daß das Nichteintreten von E unter denselben Verhältnissen (also das Eintreten des Gegenteils) als möglich vorausgesetzt wird. Leugnet man diese Möglichkeit, so ist die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung höchstens eine Spielerei.“ Wenn wir, um bei dem Beispiele zu bleiben, entsprechend lange würfeln, muß auch einmal, wenn die Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung Gültigkeit haben, jener unwahrscheinliche Wurf gelingen, und es ist nichts Erstaunliches oder Erklärungsbedürftiges dabei. Übertragen wir dies auf die Naturvorgänge, so

¹⁾ Zur Unbegreiflichkeit des Kausalnexuses vgl. N. Hartmann, Metaphysik des Erkennens, S. 265, 312.

würde dies heißen, daß die unwahrscheinlichen Kombinationen dennoch vorkommen, wenn genügend lange Zeit zur Verfügung steht — und an Zeit mangelt es der Natur nicht! Daß, um ein Beispiel Schlicks zu gebrauchen, die ungeordnete Bewegung der Teilchen einer Flüssigkeit sich durch den Zufall so ordnet, daß die Flüssigkeit als Ganzes unter Abkühlung in Bewegung gerät, indem ungeordnete Bewegung der Teilchen sich in geordnete verwandelt, ist gewiß ein Fall von sehr hoher Unwahrscheinlichkeit. Aber da die Natur ins Unbegrenzte die Möglichkeit hat „zu würfeln“, so kann, ja muß nach dem zugrunde gelegten Wahrscheinlichkeitspostulat auch dieser unwahrscheinliche Fall vorkommen, ohne daß er irgendwie erklärungsbedürftig und erklärungs-fähig wäre. Er ist nicht mehr als der unwahrscheinliche Fall, der doch einmal zur Wirklichkeit geworden ist. Der Physiker wird bereit sein müssen, es zuzulassen, daß bei Eintritt von solchen Ereignissen, welche den Naturgesetzen zuwider sind, auf jede Erklärung verzichtet wird, wird bereit sein müssen, sich mit der Erklärung „der unwahrscheinliche Fall ist eingetreten“ zufrieden zu geben. Vgl. Smekal, Handbuch der Physik IX, S. 213: „Was für die Mittelwerte ausgesagt ist, braucht jedoch keineswegs auch für den konkreten Einzelfall Geltung zu haben. ... Beliebig lange Realisierungsdauern ‚abweichender‘ Zustandsverteilungen sind grundsätzlich möglich.“ Und ebendort Jäger, S. 374: „Alle Sätze, die Boltzmann gewann, sind daher nicht Sätze der Gewißheit, sondern Wahrscheinlichkeitssätze ... Und daß also ein Gas den zweiten Hauptsatz befolgt, ist nicht unbedingt gewiß, aber es ist so ungeheuer wahrscheinlich, daß wir es praktisch für gewiß annehmen können ... Aber Abweichungen, ‚Schwankungen‘, sind vorhanden und können unter Umständen auch nachgewiesen werden.“

28. Mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung wird aber ein Moment der Ungewißheit in die Physik hineingetragen. Winternitz (Relativitätstheorie und Erkenntnistheorie, S. 221): „Freie Entscheidungen ins Atom verlegen heißt auf die Aufgabe der Naturwissenschaft in diesem Bereiche verzichten.“ Das Kausalgesetz in seiner strengen Form ist „der Kern der apriorischen Prinzipien der Physik“. Planck hat 1923 in seinem Akademievortrag über

Willensfreiheit betont, „daß die Annahme einer ausnahmslosen Kausalität, eines vollkommenen Determinismus, die Voraussetzung und die Vorbedingung für die wissenschaftliche Erkenntnis bildet... Wissenschaftliches Denken ist gleichbedeutend mit kausalem Denken“. Brunschvicg identifiziert das Kausalgesetz mit der Formel: Es gibt ein Universum (a. a. O. S. 536). (Ähnliche Äußerungen zusammengestellt bei Gatterer, Das Problem des statistischen Naturgesetzes, S. 27 f.) In der Tat sind die Bedenken nicht klein. Wir wollen es kraß aber klar aussprechen: Das Wunder ist naturgesetzlich möglich geworden. Damit ist ein Asyl der Unwissenheit aufgetan, in welches sich eine Theorie leicht flüchten kann, wenn einmal die Erscheinungen der Wirklichkeit nicht entsprechen. In diesem Sinne kann man es verstehen, daß Emanuel Lasker, von der modernen Physik sprechend, ausruft: „Die Kultur in Gefahr!“ (In dem gleichnamigen Buche, 1928.) Aber dies ist freilich ein Bedenken gegen die statistischen Naturgesetze, welches nicht erkenntnistheoretisch, sondern nur methodisch oder sozusagen pädagogisch ist. Wenn die Natur wirklich so beschaffen wäre, daß sie nicht vom strengen Kausalgesetz, sondern vom elastischen Wahrscheinlichkeitsgesetz regiert wird, so wird man eben diese Sonderbarkeiten in Kauf nehmen müssen. „Auch haben wir keine unserm Verständnisse adäquate Natur zu konstruieren, sondern wir haben uns lediglich mit der gegebenen abzufinden, so gut wir es vermögen“, sagt Exner (Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaft, S. 709). Natürlich gilt dies nur *cum grano salis*, denn auch die „gegebene“ Natur ist konstruiert. Th. L. Haering hat (a. a. O. S. 86, 593) den treffenden Ausdruck „Resignationsstufen“ eingeführt, bemerkt aber mit Recht, daß von einer wehmütigen Resignation gegenüber einem Erkenntnisideale hier so wenig die Rede sein kann, wie etwa bei einem Ingenieur, der sein Ideal einer möglichst geradlinigen und mühelosen Durchstechung eines Berges je nach den Gesteinsverhältnissen herabschrauben muß. Der Philosoph kann den Naturforscher nur auf die Konsequenzen aufmerksam machen, welche eine solche Deutung haben kann, aber hier wie auch anderswo gilt das Wort Nicolai Hartmanns, daß der Philosoph wieder lernen müsse, sich mit der Auseinandersetzung des Problems und seiner Aporien zu begnügen.

III. Teleologie in der Physik?

29. In sonderbarer Verflechtung mit dem Kampfe gegen das Kausalgesetz vom Standpunkte des statistischen Naturgesetzes aus erscheint ein anderer Angriff gegen das Kausalgesetz als beherrschende Form der Naturerklärung in der Physik: es maehen sich Bestrebungen geltend, die kausale Erklärung durch die teleologische zu ergänzen, neben einer Bestimmung der Zukunft durch die Vergangenheit eine Bestimmung der Vergangenheit durch die Zukunft zuzulassen, ja zu fordern. Gewisse Tatsachen der Quantentheorie scheinen eine solche Formulierung der Naturgesetze notwendig zu machen. Im Bohrschen Atommodell beginnt das Elektron schon im Moment des Absprungs zu strahlen, obschon die Art der Strahlung sowohl vom Anfangs- wie vom Endniveau des Sprunges bestimmt wird. Das Atom muß gewissermaßen, bevor es strahlen kann, vorher wissen, in welchen Zustand es schließlich übergehen wird, da die Strahlungsfrequenz von dem Energieunterschied zwischen Anfangs- und Endzustand abhängig ist. (Vgl. die von Schottky in seiner Abhandlung „Das Kausalproblem der Quantentheorie als eine Grundfrage der modernen Naturforschung überhaupt“, Naturwissenschaften 1921, zusammengestellten Probleme. Es scheint sich jedoch bei manchen der von ihm beigebrachten Probleme mehr um Fragen des Atommodells zu handeln als um tatsächliche Schwierigkeiten. Die mit dem Atommodell verbundenen Fragen dürften durch die seitherige Entwicklung der Wellenmechanik viel an Schärfe verloren haben.)

Diese physikalischen Tatsachen oder theoretischen Erwägungen haben die Physiker dahin gebracht, Anschauungen über die Einwirkung der Zukunft auf die Vergangenheit auszusprechen, welche, wenn man die ganzen Konsequenzen aus ihnen für unsere Weltanschauung zieht, unser gesamtes Weltbild auf den Kopf zu stellen

geeignet sind. Die Konsequenzen haben die Physiker allerdings nicht gezogen und geglaubt, durch diese neue Deutung des Kausalgesetzes nur formale Änderungen vorzunehmen. So schreibt Planck (Die physikalische Realität der Lichtquanten, Naturwissenschaften 1927): „Die Form mancher sehr allgemeiner Sätze der allgemeinen Mechanik und der Atomphysik legt die Auffassung nahe, den Verlauf eines Vorgangs außer von dem Anfangszustand auch vom Endzustand abhängig zu denken, und so eine gewisse direkte Wechselwirkung der beiden zeitlich auseinanderliegenden Zustände einzuführen. Das Prinzip der Kausalität würde dadurch nicht seinem Wesen, sondern nur seiner Form nach beeinflußt werden.“ Und Sommerfeld (Grundlagen der Quantentheorie, Naturwissenschaften 1924): „Es sieht so aus, als ob... Anfangs- und Endzustand... das Geschehen gleichberechtigt bestimmten. Dies würde unserem hergebrachten Kausalitätsgefühl einigermaßen widersprechen, nachdem wir uns gern den Ablauf des Prozesses bereits durch die Anfangsdaten festgelegt denken. Es scheint mir nicht ausgeschlossen, daß die Quantenerfahrungen in dieser Hinsicht unsere Vorstellungen umbilden könnten... Was wir jedenfalls fordern müssen, solange es eine Naturwissenschaft geben soll, ist die eindeutige Bestimmtheit des beobachtbaren Geschehens, die mathematische Sicherheit der Naturgesetze. Wie diese Eindeutigkeit zustande kommt, ob sie allein durch den Anfangszustand gegeben ist oder durch Anfangs- und Endzustand gemeinsam, können wir nicht a priori wissen, sondern müssen von der Natur lernen.“

Mir scheint nun allerdings, daß die Revolution der Denkart, welche durch eine solche Annahme hervorgebracht werden muß, welche „die Stoßkraft der Vergangenheit durch die Saugkraft der Zukunft ersetzt“ (Riezler), weit größer ist, als die beiden zitierten Physiker anzunehmen geneigt sind.

30. Zunächst muß gesagt werden, daß diese Annahme im Widerspruche zu der Hypothese steht, welcher das vorhergehende Kapitel gewidmet war, nach welcher die physikalischen Ereignisse nicht streng determiniert, sondern im Rahmen eines gewissen Spielraumes zufällig wären. Nur vom Standpunkte eines völlig determinierten Geschehens hat die Rede von einer „Wechselwirkung

von Vergangenheit und Zukunft“ überhaupt einen (relativen) Sinn. Die Leichtigkeit, mit welcher heute derartige Theorien aufgestellt werden, geht auf die Relativitätstheorie zurück, welche in gewissem Maße die Unterschiede zwischen den Zeitstufen verwischt hat. Aber man darf nicht vergessen, daß die Relativitätstheorie auf streng deterministischem Boden erwachsen ist. Wenn Einstein und Minkowski das zeitliche Geschehen gewissermaßen zu einer Zeitlandschaft erstarren ließen, welche nicht verfließt, sondern stillsteht, so war dies nur dadurch möglich, daß eben die Zukunft durch die Vergangenheit als eindeutig bestimmt angesehen wurde. Nehmen wir dagegen an, daß die Zukunft durch die Gegenwart nicht eindeutig festgelegt ist, daß dem Geschehen ein gewisser Spielraum gelassen wird, so ist die Zukunft im gegenwärtigen Augenblick prinzipiell (nicht nur für uns) unbestimmt und etwas Unbestimmtes kann nicht existieren und kann nicht wirken. So widerspricht hier die eine quantentheoretische Hypothese der anderen.

Aber auch wenn wir hiervon absehen, erscheint die Einwirkung der Zukunft auf die Vergangenheit auch bei streng deterministischer Auffassung widersprechend. Es ist schon oben angeführt worden, daß der einzige Anhaltspunkt, den wir haben, um den Tatsachen der Außenwelt ihre Stellung in der Zeit anzuweisen, das Kausalgesetz ist. W ist später als U , wenn W die Wirkung von U ist. Dies ist das Grundschemata der Zeitbestimmung. Wir müssen das Kausalgesetz $U \rightarrow W$ zugrunde legen, um die zeitliche Stellung der beiden Tatsachen zu bestimmen. Wenn aber W Ursache von U und dennoch zeitlich später sein soll als U , so verlieren wir jeden Anhaltspunkt, um die zeitliche Stellung der physikalischen Tatsachen festzustellen.

31. Man beruft sich darauf, daß manche sehr allgemeine Gesetze der Mechanik, insbesondere das Hamiltonsche Prinzip, ebenfalls von der Auffassung einer Einwirkung der Zukunft auf die Vergangenheit getragen seien. „Die Physik“, sagt Schlick (Naturphilosophie, S. 433), „findet es oft zweckmäßig, die Naturgesetze so auszusprechen, daß sie... den Verlauf behandelt als etwas von der Vergangenheit und Zukunft zugleich Abhängiges.“

Ein Gesetz von dieser Form ist das Hamiltonsche Prinzip oder das „Prinzip der kleinsten Wirkung“ und es ist für den formalen Aufbau der Physik von hoher Bedeutung, „daß gerade dieses Prinzip der universellsten Anwendung fähig ist... Alle neu aufgefundenen Naturgesetze, auch diejenigen der Relativitätstheorie, können aufgefaßt werden als Folgerungen eines Prinzips der kleinsten Wirkung, welches dadurch den höchsten Rang formaler Allgemeinheit einzunehmen scheint. Es ist hierzu offenbar deshalb befähigt, weil in seiner Formulierung die wenigsten Voraussetzungen über die besondere Art der gegenseitigen Abhängigkeit der Naturprozesse gemacht werden“.

Das Hamiltonsche Prinzip sagt aus, daß jedes System natürlicherweise sich so bewege, als sei ihm die Aufgabe gestellt, gegebene Lagen in gegebener Zeit in einer Weise zu erreichen, daß die Differenz zwischen kinetischer und potentieller Energie im Mittel über die ganze Zeit so klein ausfalle wie möglich. (Formulierung nach Haering, a. a. O., S. 618.) Das Hamiltonsche Prinzip ist in seiner Struktur dem Prinzip ähnlich, welches Fermat im 17. Jahrhundert als Prinzip der kürzesten Lichtzeit aufgestellt hat und welches lehrt, daß ein Lichtstrahl, der von einem Punkte A zu einem Punkte B gelangt, zur Zurücklegung des wirklichen Weges eine kürzere Zeit braucht, als er zu dem Durchlaufen jedes anderen Weges zwischen A und B benötigen würde. „Es ist, als ob das Licht eine gewisse Intelligenz besäße und die löbliche Absicht verfolgte, möglichst schnell an sein vorgestecktes Ziel zu kommen. Dabei hat es nicht einmal Zeit, die verschiedenen möglichen Wege wirklich auszuprobieren, sondern muß sich sofort für den richtigen entscheiden“ (Planck, Kausalgesetz und Willensfreiheit, S. 11). (Vgl. über den Zusammenhang dieses Prinzips mit dem von Heron von Alexandrien aufgestellten: Haas, Einführung in die theoretische Physik, S. 97, und Haas, Materiewellen und Quantenmechanik, S. 13.)

Nun zunächst: Wir haben bereits oben darauf hingewiesen, daß die Forderung oder die Zulassung einer Einwirkung der Zukunft auf die Vergangenheit nur vom rein deterministischen Standpunkt einen relativen Sinn habe und daß daher diese Richtung der Quantentheorie der anderen entgegengesetzt sei, welche das

Naturgeschehen als im einzelnen unbestimmt und nur als im Mittelwert bestimmt ansehen will. Dies zeigt die Berufung auf das Prinzip von Hamilton besonders deutlich, denn gerade dieses Prinzip ist als der eigentliche Ausdruck der Forderung der Eindeutigkeit alles Naturgeschehens hingestellt worden. So sagt Mach (Die Mechanik in ihrer Entwicklung, Kap. 3): „Man sieht, daß das Prinzip der kleinsten Wirkung, und so auch alle anderen Minimumprinzipien der Mechanik, nichts anderes ausdrücken, als daß in den betreffenden Fällen gerade so viel geschieht, als unter den gegebenen Umständen geschehen kann, als durch dieselben bestimmt und zwar eindeutig bestimmt ist.“ Und Mach zitiert beifällig ein Wort Petzoldts, daß die Minimumprinzipien nichts anderes sind als analytische Ausdrücke für die Erfahrungstatsache, daß die Naturvorgänge eindeutig bestimmte sind.

32. Die absolut deterministische Auffassung des Verhältnisses von Zukunft und Vergangenheit, welche in dem Hamiltonschen und den verwandten Prinzipien zum Ausdruck kommt, macht es verständlich, daß hier die Integralgleichung an die Stelle der Differentialgleichung, Anfangs- und Endpunkt des Geschehens an die Stelle von Anfangspunkt und Richtung im Anfangspunkt treten kann. (Vgl. zur Geschichte des Prinzips von Hamilton, Maupertuis usw.: Couturat, *La logique de Leibniz*, Note XVI; Winter, *Revue de metaphysique et de morale*, 1924, S. 92ff; Whitehead, *Science and modern world*, S. 77; Cassirer, *Erkenntnisproblem II*, 426.) Mir scheint die Heranziehung dieser Minimumprinzipien und deren Parallelisierung mit der Behauptung, daß die Zukunft auf die Vergangenheit einwirke wie sie in der jüngsten Quantentheorie aufgestellt wird, verfehlt. Wohl mag sein, daß historisch und psychologisch die Physiker, welche jene Grundprinzipien aufgestellt haben, sich von Zweckmäßigkeitsbetrachtungen leiten ließen und mechanische Bewegungen so betrachteten, als würde der sich bewegende Körper Minimumaufgaben lösen. Maupertuis fragte sich, als er die Bahn eines durch ein Kraftfeld gehenden Teilchens bestimmen wollte, wie denn eine Bahn beschaffen sein müßte, welche in ihrer Vollkommenheit der Vollkommenheit Gottes entsprechen würde — und entdeckte so sein

Prinzip der kleinsten Wirkung. So mag ein anderer Forscher zur Formulierung richtiger Naturgesetze gelangen, indem er von der Voraussetzung der Einfachheit der Naturgesetze oder von der Ökonomie, sei es des Denkens, sei es der Natur, ausgeht. Indessen steht ja nicht zur Frage, ob ein Gesetz durch teleologische Erwägungen welcher Art immer entdeckt wurde, sondern ob in seinen Ausdruck selbst die Teleologie eingegangen ist und eine Einwirkung der Zukunft auf die Gegenwart in dem Sinne angenommen wird, daß die eindeutige Bestimmtheit der Gegenwart für sich preisgegeben wird. Dies ist aber bei den genannten Minimumprinzipien durchaus nicht der Fall. „Diese Gesetze“, sagt Weyl (Philosophie der Naturwissenschaft), „sind mathematisch den Differentialgesetzen, die nur unendlich Benachbartes miteinander verknüpfen, äquivalent, und wir sehen daher heute in ihnen nur eine andere mathematische Form der Kausalgesetze...“ Die gerade Linie kann man durch das Differentialgesetz definieren, daß die Fortschreitungsrichtung auf ihr von Punkt zu Punkt eine infinitesimale Parallelverschiebung erfährt, oder durch das Integralgesetz, daß sie kürzeste Verbindungslinie irgend zweier ihrer Punkte ist; für ihr inneres Gesetz ist es gleichgültig, ob wir sie durch Anfangspunkt und -richtung oder durch Endpunkt und -richtung oder schließlich durch Anfangs- und Endpunkt bestimmt denken. Zwischen „Kausalität“ und „Finalität“ läßt sich aus der Gesetzmäßigkeit selber heraus kein Unterschied etablieren; er betrifft nicht die naturwissenschaftliche Erkenntnis, sondern die metaphysische Deutung. (Ähnlich Zilsel, Über die Asymmetrie der Kausalität und die Einsinnigkeit der Zeit, Naturwissenschaften 1927: Es ist gleichgültig, ob man sagt, ein Vorgang sei bestimmt durch die Parameterwerte in zwei Zeitpunkten oder durch doppelt so viele Parameterwerte in einem Zeitpunkte.) Wir können also das Integralprinzip, welches die Betrachtung eines Systems zu einer gegebenen Zeit berechnet mit Hilfe der Betrachtung des späteren Zustandes als eine bequeme Ausdrucksweise verstehen, ohne aus ihr metaphysische Konsequenzen über eine höchst dunkle und sonderbare Einwirkung der Zukunft auf die Vergangenheit zu ziehen. (Vgl. Strauss, Annalen der Philosophie, 1928, S. 76; Riezler, Kantstudien XXXIII, S. 377).

Wir sehen also: die Formulierung eines Gesetzes in der Weise des Hamiltonschen Prinzips bedeutet noch nicht die Annahme einer rückwirkenden Kraft der Zukunft. Mit Recht hat Dingler (Der Zusammenbruch der Wissenschaft, S. 117) darauf hingewiesen, daß durch Zulassung eines solchen die Gegenwart und Vergangenheit prinzipiell unbestimmt werden. Denn die Zukunft ist das (jetzt) noch nicht Bestimmte, das noch immer anders werden Könnende. Hängt die Gegenwart von ihr ab, so ist auch sie unbestimmt, während bisher in der Physik immer der Grundsatz festgehalten wurde, daß das Gegebene bestimmt ist. Diese Bestimmtheit ist Voraussetzung der wissenschaftlichen Arbeit, denn nur das in sich Bestimmte ist bestimmbar. (Und zwar so weit bestimmbar, als es bestimmt ist. Im Falle des statistischen Naturgesetzes wäre das einzelne Geschehen prinzipiell unbestimmt, also auch nicht bestimmbar.) „Die Bestimmbarkeit im unendlichen Erkenntnisfortschritt verlangt Bestimmtheit der Aufgabe. Der zu bestimmende Gegenstand muß als völlig bestimmt gedacht werden, damit dem Denken der Zielpunkt gegeben ist, dem es in unendlichem Prozeß zustrebt.“ (Winternitz, Relativitätstheorie und Erkenntnistheorie, S. 221.)

33. Nun kann freilich die Rückwirkung der Zukunft in doppeltem Sinne verstanden werden: entweder so, wie wir dies bisher auseinandergesetzt haben, nämlich als kausale Wirkung des späteren auf das frühere Ereignis, sie kann aber auch rein teleologisch verstanden werden, so daß das Wirken der Zukunft als das Wirken eines Zweckes verstanden wird. Aristoteles hat bekanntlich zwei Arten von Ursachen unterschieden, eine kausale und eine finale, und es kann gemeint sein, daß die Zukunft als Zweck, als Erstrebtes wirkt. Während wir oben sagten, daß die Einwirkung der Zukunft auf die Vergangenheit nur bei deterministischer Auffassung relativ sinnvoll ist, weil nur das Bestimmte wirken kann, ist hier zu sagen, daß diese teleologische Deutung der Einwirkung der Zukunft gerade mit der Zufälligkeit und Unbestimmtheit des Geschehens Hand in Hand geht. Man könnte sagen: Es besteht kein zureichender Grund, welcher das natürliche Geschehen erklärt. Das einzelne Ereignis ist innerhalb seines

Spielraumes zufällig. Gerade deswegen kann es nur im Nachhinein verstanden werden. Da die Naturgesetze dem Zufall eine Chance lassen und einen Schwebezustand zwischen verschiedenen Möglichkeiten erlauben, so kann die getroffene Wahl nur final erklärt werden. (Vgl. Whitehead, *Science and modern world*, S. 134.) So ginge jetzt statistische Betrachtung der Kausalität und Wiedereinführung der Finalität in der Physik zusammen. In der Tat besteht vielfach die Tendenz, in die Physik wiederum finale Betrachtungen in diesem Sinne einzuführen. Medicus hat in seinem Buche „Die Freiheit des Willens und ihre Grenzen“, S. 88 ff., die Tatsachen und Theorien der Atomphysik so gedeutet und davon gesprochen, daß die Atome ihr Ziel suchen, und sah so in der jüngsten Physik eine Bestätigung der Naturauffassung Schellings. Ein kürzlich in England erschienenenes Buch von L. L. Whyte (*Archimedes or the future of physics*) bestrebt sich, die Physik der Biologie anzunähern, die physikalischen Gesetze als Zweckmäßigkeitsgesetze zu deuten, die physikalischen Vorgänge als nicht umkehrbar hinzustellen gleichwie die biologischen¹⁾. Daher verwirft Whyte die Maxwellsche Forderung, daß die physikalischen Gesetze die Zeit nicht explizite enthalten sollen, und die Bestrebungen Boltzmanns, die Entropievorgänge als umkehrbar zu deuten, und verlangt, daß das Atom als Organismus behandelt werde. In solchen Bestrebungen englischer Forscher äußert sich der Einfluß Whiteheads. (Über Whitehead vgl. meinen Aufsatz „Der Physiker Whitehead“ in „Die Kreatur“, 1928, S. 356 bis 363.)

Wir haben uns oben bemüht, der Auffassung vom Spielraum in der Natur möglichste Gerechtigkeit widerfahren zu lassen und sie als physikalisch zulässig zu erklären. Wir müssen aber hier doch auch darauf hinweisen, daß eine solche Auffassung, welche eine Willkürlichkeit in der Natur zugibt, eben die Gefahr eines Rückschrittes in der Physik im Schoße birgt durch das Verlangen nach teleologischen Erklärungen, das sich in solchem Falle selbstverständlich einstellen wird. Man muß sich darauf besinnen, daß die moderne Physik gerade im Kampfe gegen die Teleologie ihre

¹⁾ Vgl. auch Bertalanffi, Über die Bedeutung der Umwälzungen in der Physik für die Biologie. *Biol. Zentralbl.* **47**, 653 ff., 1927.

Grundlagen gelegt hat. „Der moderne Kraftbegriff — schreibt Cassirer in seiner Einleitung zu Leibniz, Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie (Bd. 2, S. 7) — entsteht in der Abwendung von den lockenden Analogien, die die Lebenserscheinungen uns darbieten... Indem die mathematische Betrachtungsweise uns lehrt, die Wirkung aus der Ursache vollständig und eindeutig zu bestimmen, entzieht sie damit allen fremdartigen Kräften, die sich nicht als Größen aufzeigen und kontrollieren lassen, den Raum für ihre Betätigung... Der mathematische Begriff des Gesetzes entwurzelt (bei Kepler) den biologischen Begriff der Form und entzieht ihm jede Anwendung auf die Erklärung der Naturerscheinungen.“ Heutzutage aber droht das Gefühl verloren zu gehen, daß teleologisch orientierte Redeweisen in der Physik vorläufige Ausdrucksweisen sein sollen, welche noch ihre kausale Erklärung erheischen. (Vgl. Haering, Philosophie der Naturwissenschaft, S. 618.) Innerhalb der Physik sind biologische Methoden immer ein Fremdkörper. Ob die physikalische Erklärung für das Verständnis der unbelebten Natur ausreicht, oder ob einmal die Physik gezwungen sein wird, vor der Biologie in ihrer eigenen Domäne zurückzuweichen (nachdem man bisher gehofft hat, daß umgekehrt die Biologie im Gebiete des Lebens selbst vor der Physik und Chemie zurückweichen wird), ob es notwendig sein wird, einmal für die Erklärung der Vorgänge im Atom biologische Prinzipien heranzuziehen, müssen die Tatsachen, und die Tatsachen allein, entscheiden. Aber keineswegs dürfen die Methoden vermengt werden.

Es soll auch keineswegs ausgeschlossen werden, daß von irgend einem überphysikalischen wissenschaftlichen Standpunkt — etwa metaphysisch — die Zeit aufgehoben gedacht und eine gegenseitige Abhängigkeit alles Zeitlichen angenommen werden könnte. Aber in der Physik haben solche Betrachtungen keinen Platz. Wir müssen erkennen, daß das Gegebene von verschiedenen kategorialen Voraussetzungen aus in verschiedener Weise gedeutet werden kann. Aber diese verschiedenen Gebiete der Seinsdeutung dürfen nicht durcheinander gemengt werden. Die Reinheit der Methoden ist zu wahren, durch die allein den verschiedenen Wissenschaften ein Erfolg verbürgt werden kann.

IV. Wahrscheinlichkeitszusammenhang und Willensfreiheit.

34. Die Frage, welche wir in diesem Schlußkapitel behandeln werden, ist die der Rückwirkung der Ersetzung der Kausalität durch die Wahrscheinlichkeit auf das Problem der Willensfreiheit. Die Philosophie zeigt seit Kant den unaufhörlichen Kampf gegen die mechanistische Weltanschauung der Physik auf. Die Philosophen, besorgt um die Rettung der ihnen anvertrauten sittlichen Lehren, suchen sich den Schlingen des Mechanismus zu entziehen. Es ist ein verzweifelttes Ringen der Philosophie mit der Physik.

Nunmehr aber scheint sich das Blatt zu wenden. Die Physik selbst gibt den Mechanismus auf und spricht von einer Kontingenz ihrer Gesetze. Welchen Einfluß wird diese neue Wendung auf die Philosophie haben?

Ich möchte hier davor warnen, zu glauben, daß die Physik irgendwie philosophische Probleme lösen kann. Es war schon zur Zeit, wo der physikalische Determinismus unbestritten war, die Furcht des Philosophen unberechtigt, denn die philosophische Besinnung zeigte die Grenzen dieses Determinismus schon damals. Um so weniger braucht man an die physikalische Kontingenz jetzt allzu große Hoffnungen zu knüpfen.

Natürlich erleichtert die neue Auffassung der physikalischen Gesetze, wenn sie aufrechterhalten werden wird, die Einwirkung nichtphysikalischer Faktoren auf das physikalische Geschehen zu begreifen. In dieser Beziehung hat die neue Wendung in der Physik eine Vorstellung bestätigt, welche sich Boutroux in seinem Buche „Die Kontingenz der Naturgesetze“ (deutsch 1911) gemacht hat. Boutroux geht — ich zitiere nach N. Hartmann, Ethik, S. 621 — von einer Art Schichtung der Gesetzmäßigkeiten aus. Aber kein Gesetz gilt hierbei ausnahmslos, unverbrüchlich. Sie alle

bestimmen die Gebilde der Seinsschicht, der sie angehören, nur zum Teil, lassen sie zum Teil also unbestimmt und für andere Bestimmung offen. Alle Gesetze also haben dann eine gewisse Kontingenz der Geltung, keine strenge Notwendigkeit. Frei ist auch in dieser Auffassung immer die höhere Gesetzlichkeit über der niederen — aber nur sofern die letztere lückenkraft ist.

N. Hartmann wendet a. a. O. gegen *Boutroux* ein: „Die Kontingenz der Naturgesetze ist durch nichts zu erweisen. Wir erkennen im ganzen Umkreise erkennbarer Naturgesetzlichkeit keine ‚Lücken‘ ihrer Geltung. Immer wieder macht die Wissenschaft die Erfahrung, daß Gesetze, die sich nicht durchgehend bewähren, sich bei tieferem Eindringen in die Sachlage als irgendwie falsch geschaut oder falsch erfaßt erweisen; d. h. sie sind gar nicht die wirklichen Naturgesetze. Sobald es gelingt, auf das Wesen der Sache durchzudringen, ergibt sich sofort wieder volle Notwendigkeit und Allgemeinheit.“ Dieser Einwand Hartmanns kann heute nicht mehr aufrechterhalten werden, und in diesem Sinne also muß man sagen, daß die neue Anschauung der Physik in der Tat neue Perspektiven für das Verständnis der Einwirkung höherer, richtender Kräfte auf das anorganische Geschehen eröffnet. Auf solche Konsequenzen hat *Medicus* in seiner Untersuchung „Über die Freiheit des Willens und ihre Grenzen“ (1926), zum Teil im Anschluß an Anschauungen *Weyls*, aufmerksam gemacht. Aber wir müssen uns auch hier vor allzu raschen Schlüssen hüten. Keineswegs ist noch für eine Freiheit Platz geschaffen, sondern nur für eine neue Art der Kausalität. Solange man glaubte, dem Elektron sei sein Weg von *a* nach *b* durch streng physikalische Gesetzmäßigkeiten vorgeschrieben, war kein Platz für ein Eingreifen nichtphysikalischer Kräfte. Jetzt, wo angenommen wird, daß das Elektron *E* von *a* aus nach *b* oder *c* oder *d* gelangen könne, ist Platz geschaffen für eine neue richtunggebende Kraft *K*, die physikalisch nicht erfaßbar ist. Diese hinzutretende Kraft *K* wäre berufen, die Willkürlichkeit *bcd* in eine Notwendigkeit, z. B. des *b*, zu verwandeln, also den Determinismus, den die Physik aufgegeben hat, für das Ganze des Geschehens wiederherzustellen. Ob derartige richtunggebende Kräfte entdeckt werden können, bleibe dahingestellt — aber jedenfalls sehe ich

hier nicht die Türe, welche der Freiheit offen bliebe. Darum verstehe ich nicht, warum z. B. der englische Physiker J. H. Jeans (Nature vom 27. Februar 1926) schreiben konnte, die Quantentheorie eröffne neue Möglichkeiten der Freiheit.

Man könnte höchstens sagen: Solange der physikalische Determinismus als in sich geschlossen aufgefaßt wurde, blieb keine Möglichkeit eines Eingriffes des menschlichen Willens in das physikalisch bestimmte Getriebe, jetzt aber sei durch den Spielraum, welchen das Wahrscheinlichkeitsgesetz frei läßt, eine solche Möglichkeit offen. Das ist richtig. Aber diese „Freiheit“ betrifft nur die Freiheit des Handelns (actus imperatus voluntatis), sie setzt also den Willen, einschließlich seiner Richtungsbestimmtheit, schon voraus. Sie betrifft nur die Ausführung des Willens, nicht seine Richtunggebung selbst, wäre also nicht Freiheit des Willens selbst, sondern nur Freiheit der Willensverwirklichung (vgl. N. Hartmann, Ethik, S. 581). An dieser aber hat man — in gewissen ihr gezogenen Grenzen, die auch weiterhin bestehen werden — nicht gezweifelt, wie immer man sich diese Einwirkung zu erklären versuchte. Die Einwirkung des Willens auf die unorganische Welt oder überhaupt die Einwirkung nichtphysikalischer Faktoren auf die physikalische Welt wird nur jetzt leichter verständlich. Aber mit der Freiheit dieser nichtphysikalischen Faktoren oder des Willens hat dies nichts zu tun.

35. Die Freiheit des Willens selbst wäre erst in dem Augenblick nachgewiesen, wo gezeigt werden könnte, daß es „eine positive Gesetzlichkeit des Willens neben der Naturgesetzlichkeit, eine Determinante, die im kausalen Weltlauf selbst nicht enthalten ist, aber im Willen des Menschen in die Erscheinung tritt“, gibt (Hartmann, S. 590). Darüber aber, ob es eine solche neue, durch das vorhergegangene Geschehen nicht kausierte Determinante gibt, sagt das Wahrscheinlichkeitsgesetz, das an Stelle des Kausalgesetzes in der Physik treten sollte, nichts aus. Gesagt wird uns nur: Es gibt eine Lücke in der Naturkausalität, genauer, in der physikalischen Kausalität. Darüber aber, ob diese Lücke ausgefüllt wird durch eine Naturkausalität höherer Art (z. B. eine organische), die selbst kausal determiniert ist, wenn

auch nicht physikalisch-kausal, oder ausgefüllt durch eine Willenskausalität, die selbst undeterminiert ist, oder schließlich, ob sie überhaupt unausgefüllt bleibt — sagt uns der Physiker kein Wort, und wir können aus seiner Behauptung weder nach der einen noch nach der anderen Richtung irgendwelche Argumente gewinnen.

Die Freiheitsfrage ist die Frage des *actus elicited voluntatis*, des Wollens selbst, nicht des Tuns. Diese Frage aber kann nur aus der allgemeinen Erwägung heraus beantwortet werden, welches die Gründe sind, welche das Kausalgesetz in seiner Allgemeinheit rechtfertigen. Denn die Annahme der Freiheit ist ein Widerspruch zur Annahme der durchgehenden Herrschaft der Kausalität.

(Dies bestreitet Hartmann, S. 591, 622. Er meint, „Freiheit im positiven Verstande“ sei nicht ein Minus an Determination, sondern ein Plus. Dieses Plus müsse der Kausalnexus zulassen. Denn sein Gesetz besage nicht, daß zu den kausalen Bestimmungsstücken eines Vorgangs nicht noch anderweitige Bestimmungsstücke hinzutreten könnten. „Legt man einen idealen Querschnitt durch das Bündel von Kausalfäden, so ergeben die Bestimmungsstücke, die in dieser Schnittfläche liegen, zwar allemal eine totale Determination aller nachfolgenden Stadien des Prozesses und bilden in diesem Sinne freilich selbst eine Totalität. Aber diese Totalität ist niemals eine absolut geschlossene, sie widersetzt sich nicht dem Hinzukommen neuer Bestimmungsstücke — wenn es solche gibt —; und der Prozeß wird durch solches Hinzukommen nicht unterbrochen, sondern nur abgelenkt. Das eben ist das Eigentümliche des Kausalnexus, daß er sich zwar nicht aufheben oder abbrechen, wohl aber ablenken läßt. Der weitere Verlauf des Prozesses ist dann ein anderer, als er ohne die neue Determinante gewesen wäre; aber von den ursprünglichen Kausalmomenten in ihm ist deswegen keines verkürzt, sie wirken sich im abgelenkten Prozeß alle ebenso hemmungslos aus, wie sie es im nicht abgelenkten getan hätten.“ Ich kann mich dieser Rechtfertigung der Freiheit nicht anschließen. Sicherlich läßt jeder Kausalnexus es zu, daß eine neue Determinante zu ihm hinzutritt, aber die Frage ist: woher diese Determinante? Das Kausalgesetz sagt, daß alles Entstehende eine Ursache habe, also müßte auch diese Determinante

verursacht sein. Nicht ihr Hinzukommen zu anderen schon bestehenden Determinanten, sondern ihr ursachloses Hinzukommen ist es, welches dem Kausalgesetz strikte widerstreitet. Gibt es — wie Lotze richtig formuliert hat — ein „unbedingtes Anfangen“, gibt es Ereignisse, die keine Wirkungen sind? Das ist die Frage, und wir haben hier nur die Wahl zwischen der Allgemeingültigkeit des Kausalgesetzes und der Zulässigkeit eines ursachlosen Geschehens. Versöhnen lassen sich diese beiden Standpunkte nicht.)

36. Hat nun die neue Wendung in der Physik die Ungültigkeit des Kausalgesetzes dargetan? Sie konnte es nicht. Denn die Frage des Kausalgesetzes kann nicht in der Physik entschieden werden. Sie konnte zeigen, daß das Kausalgesetz für Teile der Physik unanwendbar, leer sei, und daß die Physik mit einer anderen, weniger anspruchsvollen Forderung ihr Auslangen finde — mehr zu zeigen, vermag die Physik nicht. Wohl aber hat sie den erkenntnistheoretischen Charakter des Kausalgesetzes aufs neue ins Licht gebracht — und darin liegt die große Bedeutung der neuen Wendung in der Physik für die Philosophie. Sie bringt uns aufs neue zum Bewußtsein, daß das Kausalgesetz den Charakter eines Postulats trägt, und nicht mehr — eine Erkenntnis, die nicht neu ist, die aber im allzu vertrauensseligen Glauben an die mechanische Physik leicht verlorenging.

Anton Marty pflegte in seinen Vorlesungen über Ethik diese Auffassung des Kausalgesetzes als Forderung scharf zu bekämpfen. Das könne sich die Logik nicht gefallen lassen. Das wäre ein merkwürdiges Vorgehen, etwas zu postulieren, was man nicht beweisen kann. Wer fordert denn da, und mit welchem Rechte? Wenn die Vernunft fordere, dann müßte der Satz einleuchten oder bewiesen werden. Die Wissenschaft könne nicht auf Sätze bauen, die keine andere Begründung haben als den Wunsch, daß etwas so sei. Dann hätten ja die Indeterministen leichtes Spiel: Sie würden einfach sagen, daß sie ein solches Postulat nicht anerkennen.

Diese Einwürfe Marty hätten aber nur dann Berechtigung, wenn die Postulate, von denen hier die Rede ist, willkürliche

Forderungen wären, die man nach Belieben annehmen oder ablehnen kann. So ist es aber nicht. Es handelt sich um eine letzte konstitutive Forderung, welche das Wesen jener Ordnung ausmacht, die wir Wissenschaft nennen. Sie soll aufgestellt werden, weil nur mit ihrer Hilfe die Forschung vorstatten geht, sie ist nicht um ihrer selbst willen da, sondern dient als Organon zur Konstruktion anderer (B. Kohn, „Untersuchungen über das Causalproblem“). In diesem Sinne nannte Planck die Kausalhypothese die „Hypothese der Hypothesen“. Freilich, diese letzten transzendentalen Grundsätze oder Forderungen, die wir der Forschung zugrunde legen, „sind kein anzustaunendes Palladium, sondern ein irdisches Gebilde unseres Denkens, das wir täglich weitergestalten sollen, wie wir es brauchen“ (Kohn, S. 127). Und so kann es geschehen, daß die Entwicklung der Physik die Kausalitätsforderung durch eine mehr elastische Wahrscheinlichkeitsforderung ersetzt, wie wir gesehen haben, das ändert aber nichts daran, daß jene Forderung nicht willkürlich war, vielmehr entsprang sie dem Wesen der Wissenschaft und wird im Fortschritt der Wissenschaft ihr neu angepaßt. In dieser Hinsicht nannte Brunschvicg das Kausalgesetz mit Recht den Imperativ der intellektuellen Forschung.

Was nun aber das Problem des Indeterminismus anlangt, so hatte Marty insofern recht, als der imperative Charakter des Kausalgesetzes es dem Indeterministen ermöglicht, eine Sphäre der Freiheit neben der Sphäre der notwendigen Bestimmtheit zu behaupten und dadurch den Indeterminismus zu rechtfertigen, ohne den sinnvollen Determinismus aufzugeben — allein dies ist der große Vorteil dieser Auffassung der Kausalität.

37. So haben also beide recht, Deterministen und Indeterministen, und wir sind bei der doppelten Wahrheit gelandet? In der Tat muß derjenige zu dieser Konsequenz kommen, welcher, den Sinn der wissenschaftlichen Forschung verkennend, „den praktischen Imperativ in eine spekulative Wahrheit verwandelt“ (Brunschvicg, S. 526) und als Behauptung aufstellt, was nur als Forderung aufgestellt werden darf. Wir haben wiederholt darauf hingewiesen, daß Wissenschaft nicht Abbildung, sondern Deutung,

Bearbeitung mit Hilfe gewisser „intellektueller Symbole“ ist. In diesen intellektuellen Symbolen aber „liegt das Moment der Freiheit“ (Cassirer, Jahrbücher der Philosophie III, S. 35).

Wie ist dieses „Moment der Freiheit“ zu verstehen? Es handelt sich beim Kausalgesetz nicht um eine Behauptung — die wahr oder falsch sein müßte —, sondern um ein Werkzeug. Mit Hilfe dieses Werkzeugs stellen wir eine gewisse Ordnung innerhalb der Erscheinungen her, um uns in ihnen zu orientieren. Die Ordnung aber, die auf diese Weise aus den Ereignissen hergestellt wird, ist ein Abstraktionsprodukt. Wer, den methodischen Sinn der kategoriellen Voraussetzungen der Wissenschaft verkennend, das Symbol für die Wirklichkeit nimmt und nun glaubt, es gäbe an sich so etwas wie die Welt der Physik, kommt natürlich zu Widersprüchen. Aber dies liegt, wie Brunschvicg (S. 533f.) sagt, daran, daß er die Wissenschaft bis zu einem Absoluten vorgehtrieben hat, welches durch den wissenschaftlichen Charakter der Erkenntnis ausgeschlossen ist. Er hat einfach dasjenige extrapoliert, was seiner Definition nach jeder Extrapolation widerspricht. Er hat eine Abstraktion, die aus dem Bedürfnis der wissenschaftlichen Orientierung heraus geschaffen wurde, für Wirklichkeit genommen. (Vgl. hierzu die Unterscheidung von Realisierung und Orientierung in der Philosophie Martin Bubers und hierzu meinen Aufsatz „Begriff und Wirklichkeit, ein Beitrag zur Philosophie Martin Bubers und J. G. Fichtes“ im „Juden“ 1928.)

Dieser abstrakte Charakter der Wissenschaft und insbesondere der Physik ist den Physikern unserer Zeit nicht entgangen. Ich erwähne hier nur drei gewichtige Stimmen. Whitehead (Science and Modern World, S. 190) beschreibt den abstrakten Charakter der Physik durch folgende zwei Kennzeichen: a) sie betrachtet die Wesenheit der Welt nur in bezug auf ihre äußeren Beziehungen, in bezug auf die Beziehungen eines Dinges zu den anderen; b) auch diese Aspekte betrachtet sie nur insofern, als sie sich zeitlich-räumlich zum Ausdruck bringen. Wohl komme die innere, psychische Realität des Beobachters in Betracht, z. B. die Tatsache, daß er rot sieht. Aber nicht diese Tatsache selbst wird betrachtet, sondern nur ihre Verschiedenheit zu anderen

Beobachtungen des Beobachters. Das innere Leben des Beobachters werde nur benutzt, um die Identität der physikalischen Tatsachen festzuhalten, es geht aber in die Physik nicht ein. Daher habe die Physik keine „Intrinsic Reality“. Dingler hat in seinem Buche „Die Grundlagen der Physik“ in überaus klarer Weise zum Ausdruck gebracht, welche entscheidende Rolle die Festsetzung, die reine Synthese, wie er sie nennt, in der Physik spielt. „Das System der Mechanik bleibt völlig erhalten ... aber ... nicht mehr wie bei Descartes und den späteren Mechanikern sind die kleinsten Teilchen, die den mechanischen Gesetzen gehorchen, die Welt; sondern diese ganze Mechanik ist ... bloß eine Erklärung, eine Darstellungsform der irrationalen Wirklichkeit. Es ergibt sich nicht, daß die Welt wie bei Descartes eine einzige große Maschine ist, sondern nur der Teil, der jeweils von uns bereits mit den Gesetzen der Mechanik bearbeitet ist, läßt sich in dieser Weise darstellen, dieser Teil ist aber stets ein endlicher und wird stets ein endlicher bleiben ... unsere ganze Mechanik ist nur eine Darstellungsart der irrationalen Welt.“ „Alles Begriffliche ist Menschenwerk, mündet zuletzt in die reine Synthese und wird als Festsetzung erkannt.“ Von hier aus fällt dann klares Licht auf das Exhaustionsprinzip von Dingler, das sehr aufschlußreich ist für das Verständnis der Methoden der Physik.

Und nun noch eine dritte Stimme. Weyl sagt in seinem Buche „Raum, Zeit, Materie“ (3. Aufl., S. 263): „Ich meine, daß die Physik es nur mit dem zu tun hat, was in einem genau analogen Sinne als formale Verfassung der Wirklichkeit zu bezeichnen wäre. Ihre Gesetze werden ebensowenig in der Wirklichkeit jemals verletzt, wie es Wahrheiten gibt, die mit der Logik nicht im Einklang sind; aber über das inhaltlich Wesenhafte dieser Wirklichkeit machen sie nichts aus, der Grund der Wirklichkeit wird in ihnen nicht erfaßt.“

Whitehead, Dingler und Weyl sind Physiker, die sonst in ihrer Stellungnahme zu den Lehren der neuen Physik (Relativitätstheorie!) sehr weit voneinander entfernt sind. Um so gewichtiger scheint mir ihre Übereinstimmung in bezug auf den abstrakten Charakter der Physik. Die neue Wendung der Physik,

welche wir in dieser Schrift behandelt haben, hat diesen Charakter der apriorischen freien Synthese der Physik von neuem in ein helles Licht gesetzt. In klarer Weise hat sich die Voraussetzung des Determinismus — mag es nun das strenge Kausalgesetz, mag es das gelockerte Wahrscheinlichkeitsgesetz sein — als Forderung erwiesen, die wir an die von uns zu konstruierende Welt der physikalischen Erscheinungen stellen — zum Behufe ihrer Konstruktion. Wir wollen diese Konstruktion und Abstraktion sicherlich nicht unterschätzen. Aber gerade indem wir sie in ihren Grenzen als Menschenwerk erkennen und die künstliche Wirklichkeit der Physik nicht mit der unmittelbar erlebten verwechseln, erschließt sich uns ihr wahrer Sinn, der der wahre Sinn der Wissenschaft und der Kultur überhaupt ist: Den Geist an seinem eigenen Werke zum Bewußtsein seiner selbst zu erheben. „Aller Fortschritt des Wissens ist nur die Aufhellung des Grundes unseres eigenen Geistes“¹⁾.

¹⁾ Cassirer im Sinne von Leibniz.

Namenverzeichnis.

- d'Alembert** 55.
Archimedes 55.
Aristoteles 65.
- Berthelot** 44.
Bohr VI, 10, 39—44, 59.
Boltzmann 16, 34, 57, 66.
Bolzano 11, 46, 55, 57.
Born 34 ff.
Bothe 31, 32.
Boutroux 68, 69.
Brentano V, 6, 44, 47, 49.
Bertalanffi 66.
Bridgeman 5.
Broglie, de 41.
Brunschvicg 4, 6, 16, 26, 48, 58, 73, 74.
Buber 74.
Buchenau 11.
- Cassirer** 11, 12, 13, 47, 63, 67, 74.
Clarke 55.
Cohn 26.
Comte 44, 45.
Couturat 46, 63.
- Descartes** 75.
Dingler 65, 75.
Diodor 26.
- Ehrhardt** 8.
Einstein 1, 5, 32, 40, 61.
Epikur 44.
Euler 55.
Exner 33, 58.
- Fechner** 18.
Fermat 62.
Fichte 74.
- Galilei** 55.
Gatterer 30, 58.
Gomperz, H. 8, 43, 50.
Gomperz, Th. 44.
- Haas** 62.
Haering 56, 58, 62, 67.
Hamilton 61, 62, 63, 65.
Hartmann, L. 48.
Hartmann, E. v. 47.
Hartmann, N. 56, 58, 68, 69, 70, 71.
Heisenberg VI, 10, 37, 38, 39, 43, 44.
Hume V, 7, 8, 47.
Huyghens 11.
- Jäger** 57.
Jeans 70.
- Kant** 7, 8, 9, 12, 17, 43, 52, 53, 68.
Kelvin 44.
Kepler 67.
Kohn 6, 7, 18, 55, 73.
- Lalande** 23.
Laplace 25, 55.
Lasker 34, 58.
Leibniz 11, 12, 16, 17, 46, 55, 63, 67, 76.
Lenzen 47.
Levy-Bruhl 44.
Lichtenberg 35.
Lotze 13, 25, 46, 72.
- Mach** 45, 63.
Marty 73.
Maupertuis 63.
Maxwell 6, 66.
Medicus 66, 69.

- Meyerson** 44.
Minkowski 5, 61.
Misch 13.
- Natorp** 5, 15.
Nernst 33, 44, 45.
Newton 11.
Nietzsche 45.
- Pauli** 32, 33.
Petzoldt 63.
Pichler VI.
Planck 1, 2, 3, 31, 33, 39, 42, 45, 57,
60, 62, 73.
Poincaré 2, 23, 24, 45.
Posch 11.
- Regnault** 44.
Reichenbach 2, 4, 7, 11, 16—28, 50, 52.
Riezler 47, 60, 64.
Rosseland 31.
- Schelling** 66.
Schlick 48, 57, 61.
Schottky 59.
Seeliger 56.
Smekal 30, 57.
Sommerfeld 52, 54, 60.
Strauss 64.
- Troeltsch** 43.
- Wentscher** 18.
Weyl 64, 69, 75.
Whitehead 63, 66, 74, 75.
Whyte 66.
Winter 63.
Winternitz 57, 65.
Wolf 55.
- Zeller** 26.
Zilsel 64.

Neuere und neueste Hefte der „Sammlung Vieweg“

- Heft 45. Prof. Dr. K. Fajans: *Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen.* 4. Auflage. Mit 11 Abbildungen und 14 Tabellen. M. 5,—.
- Heft 46. Dr. Bruno Alexander-Katz: *Quarzglas und Quarzgut.* Mit 43 Abb. M. 2,50.
- Heft 47. Prof. Dr. G. Berndt: *Radioaktive Leuchtfarben.* Mit 28 Abbildungen im Text und auf einer Lichtdrucktafel. M. 4,—.
- Heft 48. Dr. R. Fürth: *Schwankungserscheinungen in der Physik.* Mit 5 Abb. M. 3,50.
- Heft 49. Dr. Hans Georg Möller: *Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen.* 2., vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 208 Textabbildungen und einer Tafel. M. 7,50.
- Heft 50. Prof. Dr. C. Dorno: *Klimatologie im Dienste der Medizin.* Mit 11 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 51. Prof. Dr. C. Isenkrahe: *Zur Elementaranalyse der Relativitätstheorie.* M. 4,50.
- Heft 52. Dr.-Ing. Max Moeller: *Das Ozon. Eine physikalisch-chemische Einzeldarstellung.* Mit 32 Textfiguren. M. 6,—.
- Heft 53. Dr. V. Geilen: *Mathematik und Baukunst als Grundlagen abendländischer Kultur. — Wiedergeburt der Mathematik aus dem Geiste Kants.* M. 3,—.
- Heft 54. Dr. H. Heinrich Franck: *Die Verwertung von synthetischen Fettsäureestern als Kunstspeisefette in wirtschaftlicher, physiologischer und technischer Beziehung.* Mit 3 Abbildungen. M. 3,25.
- Heft 55. Dr. Alfred Wegener: *Die Entstehung der Mondkrater.* Mit 9 Abbild. im Text und auf 3 Tafeln. M. 2,25.
- Heft 56. Niels Bohr: *Drei Aufsätze über Spektren und Atombau.* 2. Auflage. Mit 13 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 57. Prof. Dr. Hans Cloos: *Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge.* Mit 24 Zeichnungen und einer Karte. M. 4,—.
- Heft 58. Dr. Walther Gerlach: *Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie.* 2. Auflage. Mit 43 Abbildungen.
- Heft 59. Prof. Dr. E. Study: *Denken und Darstellung in Mathematik und Naturwissenschaften.* 2. verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 10 Abbildungen. M. 3,75.
- Heft 60. Prof. Dr. techn. Milan Vidmar: *Theorie der Kreiselpumpe.* Mit 39 Abbildungen. M. 4,75.
- Heft 61. Reg.-Rat Dr. W. Meissner: *Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt.* Mit 66 Abbildungen. M. 4,—.
- Heft 62. Dr. K. Siebel: *Die Elektrizität in Metallen.* M. 3,50.
- Heft 63. Dr.-Ing. M. Dolch: *Die rationelle Verwertung der niederwertigen Braunkohlen.* Mit 7 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 65. E. Study: *Mathematik und Physik.* Eine erkenntnistheoretische Untersuchung. M. 1,50.
- Heft 66. Dr. Walter Schallreuter: *Über Schwingungserscheinungen in Entladungsröhren.* Mit 14 Abbildungen. M. 1,50.
- Heft 67. Prof. Dr. Eberhard Buchwald: *Das Korrespondenzprinzip.* M. 5,50.
- Heft 68. Direktor Dr. Iwan Döry: *Die Schüttelerscheinungen elektrischer Lokomotiven mit Kurbelantrieb.* Mit 12 Abbildungen. M. 1,50.
- Heft 69. Prof. Dr.-Ing. Fritz Emde: *Sinusrelief und Tangensrelief in der Elektrotechnik.* Mit 18 Bildern. M. 4,50.
- Heft 70. Laurenz Bock: *Die Konstitution der Ultramarine.* Mit 3 Abb. M. 2,40.