

**SCHRIFTEN ZUR
WISSENSCHAFTLICHEN WELTAUFFASSUNG**

HERAUSGEGEBEN VON
PHILIPP FRANK UND **MORITZ SCHLICK**
o. ö. PROFESSOR AN DER o. ö. PROFESSOR AN DER
UNIVERSITÄT PRAG UNIVERSITÄT WIEN

BAND 6

**DAS
KAUSALGESETZ
UND SEINE GRENZEN**

VON

PHILIPP FRANK
PROFESSOR AN DER DEUTSCHEN UNIVERSITÄT
IN PRAG

MIT 4 ABBILDUNGEN



WIEN · VERLAG VON JULIUS SPRINGER · 1932

ISBN 978-3-7091-5977-4

ISBN 978-3-7091-6011-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-7091-6011-4

ALLE RECHTE INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN
COPYRIGHT 1932 BY JULIUS SPRINGER IN VIENNA

Vorwort.

I.

Man liest oft in naturwissenschaftlichen Schriften, wenn man zu Ausdrücken wie Raum, Zeit, Kausalität u. ä. kommt, daß hier die Kompetenz der Physik, ja der Naturwissenschaft, aufhöre und daß man die Probleme, in denen derartige Ausdrücke vorkommen, nur auf einer „höheren Ebene“, der „philosophischen“, lösen könne. Der Aufstieg in jene höhere Ebene besteht nun meist darin, daß man sich von den Fesseln des strengen wissenschaftlichen Denkens, denen man in den „Fachwissenschaften“ unterworfen ist, befreit und eine Art von Überlegungen beginnt, deren Ergebnisse man in Anlehnung an ein bekanntes Wort als „Opium für die Wissenschaft“ bezeichnen könnte.

Diese Schrift beabsichtigt nun, alle darin gestellten Fragen ohne jenes oft unter Mißbrauch eines ehrwürdigen Namens als „Philosophie“ bezeichnete Opium zu behandeln. Es soll nirgends versucht werden, unerledigte Fragen mit Hilfe blendender Redewendungen als erledigt auszugeben; es soll aber auch nirgends versucht werden, den Fragen, die am Rande des gewöhnlich unter dem Namen „Wissenschaft“ gemeinten Gebietes stehen, irgendwie auszuweichen, indem man sie auf eine andere Ebene schiebt. Es wird vielmehr angestrebt, alle Probleme, die beim Wissenschaftsbetrieb auftauchen, mit demselben Streben nach wirklichen Lösungen zu behandeln, das man innerhalb der oft wohlwollend-herablassend als „Fachwissenschaften“ bezeichneten Gebiete gewohnt ist.

Ich bin nicht der Überzeugung, daß es Prinzipienfragen gibt, über die man ewig streiten muß, sondern ich glaube, daß als wissenschaftliche Sätze nur solche gelten können, die man jedem im Denken Geübten auch klar und einleuchtend machen kann. Schon als Student war ich fest davon überzeugt, daß man jeden Fortschritt in der Erkenntnis der Welt nur auf wissenschaftlichem Wege erreichen könne, niemals aber durch Verlassen dieses Weges und Hinaufklettern in eine höhere Ebene. Als uns damals in

einem Universitätsseminar ein Professor der Philosophie erzählte, er habe nach langjährigen geistigen Anstrengungen das „Kausalitätsproblem gelöst“, und seine Lösung in den Satz „Kausalität ist die notwendige Relation zwischen Ursache und Wirkung“ zusammenfaßte, konnte ich einen Lachkrampf nicht ganz verbergen, erhielt eine Rüge und war von da an entschlossen nachzusehen, was man denn wissenschaftlich über dieses Problem sagen könne.

Unter dem Eindrucke von Hilberts „Grundlagen der Geometrie“ sah man damals vielfach in der Axiomatik den eigentlichen wissenschaftlichen Ersatz für die alte Philosophie. Ich versuchte mich an einer Axiomatik der Physik, insbesondere der Mechanik, in der das Kausalgesetz als eines der wichtigsten Axiome auftreten sollte. Bei der wirklichen Durchführung bemerkte ich aber bald zu meinem großen Erstaunen, daß gerade dieses Axiom fast nichtssagend ist und die wirklichen Vorgänge kaum einschränkt. Die Einsicht, daß im allgemeinen Kausalgesetz viel weniger Aussagen über die wirklich beobachtbare Welt stecken, als man gewöhnlich meint, habe ich in den Jahren 1907 und 1908 in den Aufsätzen „Kausalgesetz und Erfahrung“ und „Mechanismus oder Vitalismus?“ formuliert und zwar in einer Art, die ich heute als einseitig ansehen muß.

Wenn ich nach so vielen Jahren wieder auf die dort behandelten Probleme zurückkomme, so hat mich dazu die neueste Entwicklung der Physik ermutigt. Auf der einen Seite war es die Auffassung der statistischen Gesetzmäßigkeit und ihrer Beziehung zur dynamischen, die in mehreren Schriften von R. v. Mises entwickelt wurde, auf der anderen Seite die neue Formulierung des Kausalgesetzes durch die Quantenmechanik, wie sie von M. Born, W. Heisenberg, Dirac u. a. vertreten wurde. Was mich aber vor allem veranlaßt hat, jenen vor fast fünfundzwanzig Jahren fallen gelassenen Faden wieder aufzunehmen, war der Mißbrauch, der heute oft mit den neuen Auffassungen der Kausalität getrieben wird und den Zweck hat, sie gerade zugunsten der rückständigsten und unwissenschaftlichsten Bestrebungen auszunützen.

II.

Der an unseren Hochschulen übliche philosophische Unterricht ist meist wenig geeignet, ein konsequentes Zu-Ende-Denken eines

wissenschaftlichen Problems zu fördern, sondern begünstigt ein Abbrechen an einer bestimmten Stelle und die Verlegung der Fortsetzung auf eine höhere Ebene. Innerhalb der verschiedenen Richtungen der Schulphilosophie ist es vielleicht nur der Neukantianismus, besonders in der ihm von E. Cassirer gegebenen Form, der zum konsequent wissenschaftlichen Denken anregt, trotzdem aber die Ausdrucksweise der idealistischen Philosophie beibehalten will und dadurch zu keiner Klarheit kommen kann. Diese Richtung ist als eine Zersetzungserscheinung innerhalb der Schulphilosophie zu werten, und in diesem Sinne hat sie auch einen fortschrittlichen Charakter.

In Deutschland war es vor allem E. Mach, in England B. Russel, die jenen Sprung in die höhere Ebene grundsätzlich ablehnten und die wissenschaftlichen Probleme auch wissenschaftlich zu Ende denken wollten. Von diesen beiden Forschern ausgehend machen sich immer mehr Bestrebungen nach einem konsequent wissenschaftlichen Denken bemerkbar. Diese Strömungen haben sich in der allerletzten Zeit durch eine gewisse Zusammenarbeit gestärkt, die vielleicht zuerst auf den beiden Kongressen für Erkenntnislehre der exakten Wissenschaften in Prag 1929 und in Königsberg 1930 einer größeren Öffentlichkeit deutlich geworden ist.

Am entschiedensten wird die Forderung einer rein wissenschaftlichen Weltauffassung von dem Wiener Kreis vertreten, unter dessen Vertretern nur M. Schlick und R. Carnap hier erwähnt sein mögen. Sein Ziel wurde in der letzten Zeit von O. Neurath als das einer „Einheitswissenschaft“ formuliert, im Gegensatz zu der von unserer üblichen Philosophie begünstigten Spaltung in Philosophie und Fachwissenschaft, in Geisteswissenschaft und Naturwissenschaft. In Frankreich verfolgt die „Union rationaliste“ ähnliche Ziele. Unter ihren Vertretern seien hier nur P. Langevin und M. Boll genannt, die besonders entschieden den Mißbrauch der modernen Physik als Stütze für unwissenschaftliche Bestrebungen bekämpfen.

Man mag über den Radikalismus des Wiener Kreises denken wie man will, aber eine Wirkung ist schon heute festzustellen: viele, die bis vor kurzem noch die Lehren der Schulphilosophie als selbstverständlich vorgetragen haben, beginnen sie bereits als problematisch zu empfinden und zu verteidigen. Wenn man

etwa die Darstellung der üblichen Naturphilosophie in dem bekannten Buch von Bavinck betrachtet, in dem der gegenwärtige Stand der Fachwissenschaften sehr klar und zutreffend dargestellt ist, muß das folgende auffallen: In die Darstellung war dort früher die Auffassung der metaphysischen Schulphilosophie so verwebt, als würde es sich um wissenschaftlich feststehende Behauptungen wie den Pythagoreischen Lehrsatz oder das Newtonsche Gravitationsgesetz handeln. Dieser „philosophisch neutrale“ Standpunkt, der in einer bloß impliziten Verwendung der traditionellen Auffassungen besteht, wird aber in der neuesten Auflage vollständig verlassen, und der metaphysische Standpunkt des Verfassers ganz ausdrücklich im Gegensatz zu dem Wiener Kreis betont.

M. Planck hat die Gegensätze, von denen hier die Rede ist, als die positivistische und die metaphysische Auffassung der Wissenschaft bezeichnet. Vollkommen zutreffend kennzeichnet er sie dadurch, daß nach der metaphysischen Auffassung das Ziel der Wissenschaft die Aufsuchung einer schon längst vorhandenen „wahren“ Welt ist, nach der positivistischen aber die Konstruktion eines Systems von Sätzen, mit Hilfe deren der Mensch sich in der Welt seiner Erlebnisse zurechtfinden kann. Planck macht dieser letzten Auffassung zum Vorwurf, daß man die Leidenschaft und Opferwilligkeit, mit der Männer wie Galilei für ihre Überzeugungen gekämpft haben, nicht verstehen könne, wenn es sich bloß um zweckmäßige Konstruktionen gehandelt hätte und nicht um die Entdeckung der Wahrheit.

Diese Leidenschaften und dieser Kampfesmut sind aber Tatsachen, die ebenso empirisch sind wie die physikalischen. In einem System der Einheitswissenschaft würden beide Arten von Erlebnissen nebeneinander Platz finden müssen. Es ist vielleicht, und darin mag Planck recht haben, von der positivistischen Richtung oft allzusehr die Aufstellung der Theorien in den leeren Raum gesetzt worden, ohne auf die Zusammenhänge mit der Gesamttätigkeit des Menschen Rücksicht zu nehmen, was vielleicht am schärfsten in der Formulierung H. Dinglers zu Tage tritt, nach der die Schöpfung der Theorie ein Akt des „freien Willens“ ist.

An den Vorgängen um Galilei sieht man deutlich, daß die Konflikte leidenschaftlicher Art, die sich an eine physikalische Theorie knüpfen, nichts mit ihrer Eignung zur Darstellung der

Naturvorgänge zu tun haben, sondern mit ihren Beziehungen zu den politischen und sozialen Vorgängen ihrer Zeit. Die positivistische Auffassung der Wissenschaft braucht also nicht durch einen metaphysischen Wahrheitsbegriff ergänzt zu werden, sondern nur durch ein umfassenderes Studium der Zusammenhänge, die zwischen der Tätigkeit des Theorienerfinders und den übrigen menschlichen Tätigkeiten bestehen.

III.

Da ich nicht der Überzeugung bin, daß eine über und jenseits der Wissenschaft arbeitende Philosophie für die Erkenntnis der Welt etwas leisten kann, was dem von der Wissenschaft Geleisteten ähnlich ist, sind in dieser Schrift wenig Auseinandersetzungen mit philosophischen Theorien zu finden, mögen diese Theorien auch noch so geistreich, scharfsinnig oder erhaben sein. Das Einzige, was solche Theorien für die wirkliche Welt bedeuten, ist die Stärkung und Hilfe, die aus ihnen für die außerwissenschaftliche Betätigung geschöpft werden kann. Es sind deshalb solche philosophische Systeme hier verhältnismäßig ausführlich behandelt, die in unserer Zeit starke Impulse zu wirklichen Handlungen gegeben haben, mögen diese Systeme auch nicht so scharfsinnig aufgebaut sein wie andere.

So wird in dieser Schrift häufig auf die Sätze der „Ganzheitsphilosophie“ hingewiesen, welche die philosophische Grundlage derjenigen politischen Strömungen bildet, die man gewöhnlich als rechtsgerichtete bezeichnet, z. B. des italienischen Faschismus und des deutschen Nationalsozialismus. Auf der anderen Seite wird der dialektische Materialismus, die philosophische Grundlage aller Marxistischen Gruppen, ausführlich berücksichtigt. Ich habe mich dabei hauptsächlich an die Formulierung der russischen Marxisten gehalten, weil bei ihnen der Zusammenhang zwischen Theorie und politischer Betätigung am engsten ist.

Polemische Auseinandersetzungen mit Anschauungen, die der meinigen ähnlich sind, habe ich fast vollkommen beiseite gelassen, damit die Hauptlinien deutlich hervortreten und die Konturen sich nicht verwischen. Hingegen habe ich die Titel und Urheber der Schriften, die mir in den grundlegenden Fragen der Entwicklung zur wissenschaftlichen Weltauffassung nützlich zu sein scheinen, gelegentlich hervorgehoben.

Den Aufbau der Schrift habe ich nicht streng systematisch gehalten, sondern so, daß die einzelnen Abschnitte auch einzeln einigermaßen verständlich sind. Das Problem wird immer wieder von neuen Seiten in Angriff genommen und nur dafür gesorgt, daß die Haupttendenz, auf die alles hinzielt, immer deutlich hervortritt. Man wird nirgends die Antwort auf verwickelte Fragen in einen kurzen, wirkungsvollen Satz zusammengefaßt finden. Denn ich kann dem Glauben nicht beistimmen, daß es solche Zauberformeln gibt, die irgendwo verborgen sind und die es nur aufzufinden gilt.

Wenn man solche Wortformeln näher untersucht, so findet man in ihnen meist jenes schon erwähnte Opium der Wissenschaft versteckt. Wenn auch das menschliche Leben so voller Leiden sein mag, daß oft nur die Anwendung der Rauschgifte Linderung und Erlösung bringt, so muß man doch die wissenschaftliche Betätigung in dieser Hinsicht von anderen deutlich abtrennen. Daß in der Wissenschaft Berauschung und Betäubung nützlich sein könnte, scheint mir nicht einleuchtend zu sein; hier bleibt nichts übrig, als an Stelle eines oberflächlichen Trostes durch schöne Worte immer weiter und weiter, immer feiner und feiner an der Herstellung des großen Instrumentes zu arbeiten, das wir Wissenschaft nennen.

Einen Teil der Probleme, die in dieser Schrift behandelt sind, habe ich mit Freunden und Kollegen gelegentlich besprochen und manche Anregungen aus diesen Gesprächen hier verwertet; bei den physikalischen Fragen sind es insbesondere A. Einstein, R. v. Mises und E. Schrödinger, bei den biologischen J. Gicklhorn und Fr. Knoll, bei den soziologischen O. Neurath, denen ich zu Dank verpflichtet bin. Beim Lesen der Korrekturen haben mich O. Altrichter und Marianne Lederer in aufopfernder und dankenswerter Weise unterstützt.

Prag, im November 1931.

Philipp Frank.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Die Gefahren der Sinnlosigkeit bei Sätzen von großer Allgemeinheit	1
1. Das Instrument „Wissenschaft“ und seine Handhabung	1
2. Formeln sind keine Aussagen über die wirkliche Welt	3
3. Nur tautologische oder Wirklichkeitssätze sind wahr oder falsch	4
4. Ein einzelner allgemeiner Satz ist weder wahr noch falsch	5
5. Es gibt keine Philosophie außerhalb der Fachwissenschaften	6
6. Sinnlose Fragestellungen	8
7. Die sogenannte philosophische Neutralität der Wissenschaft	10
8. Der Kampf gegen die Philosophie in Sowjetrußland	12
9. Gleiten allgemeiner Sätze ins Tautologische	14
10. Wie erkennt man Wirklichkeitssätze?	15
11. Der Satz „eine gerade Linie kehrt nie in sich zurück“	16
12. Das Trägheitsgesetz als Tautologie	17
13. Das Trägheitsgesetz als Wirklichkeitssatz	19
14. „Die Vorausbestimmtheit der Zukunft“ als Sinn des Kausal- gesetzes	20
15. Der Satz „alles ist vorherbestimmt“ als tautologischer und als Wirklichkeitssatz	21
16. „Existenz einer Weltformel“ als Sinn des Kausalgesetzes	22
17. Der Konventionalismus und seine Bedeutung	23
18. Die Auffassung der Wissenschaft durch H. Dingler	25
19. Schwierigkeiten bei der Feststellung reiner Tautologien	27
II. Die schärfste Formulierung des Kausalgesetzes: La- places Forderung einer Weltformel	30
1. Inhalt der Laplaceschen Forderung	30
2. Die Rolle der übermenschlichen Intelligenz in der Laplace- schen Formulierung	31
3. Was sagt die Laplacesche Forderung über die wirkliche Welt aus?	32
4. Was bedeutet die „Lage“ eines Massenpunktes?	33
5. Laplaces Hypothese und Newtonsche Mechanik	34
6. Sinn der Laplaceschen Forderung für eine menschliche Intelligenz	36
7. Die Astronomie als Idealfall	38
8. Endlich ausgedehnte Körper paßten nie in das Laplace- sche Schema	39
9. Einführung kontinuierlicher Medien statt der Massenpunkte	40

	Seite
10. Die Mechanik der Continua kennt keine Kausalität im Laplaceschen Sinne	41
11. Die Mechanik der Continua führt notwendig zur statistischen Auffassung	42
12. Laplacesche Forderung und Elektrizitätstheorie	43
13. Kausalität und Äther	44
14. Einführung allgemeinerer Bewegungsgesetze als der Newtonschen	45
15. Vorausbestimmtheit durch den Zustand während einer endlichen Zeit	46
16. Durch Einführung des Feldes an Stelle der Körper verliert das Kausalgesetz seine Einfachheit	47
17. Die Feldphysik und die okkulten Qualitäten	47
18. Der wissenschaftliche Sinn der Feldphysik	48
19. Das Kausalgesetz der Feldphysik ist viel unbestimmter als das Laplacesche	49
20. Wie kann das Kausalgesetz in der Feldphysik präzisiert werden?	51
 III. Kausalitätsfeindliche Strömungen	 53
1. Die Quellen der antikausalen Strömungen	53
2. Die erste Lockerung des Kausalgesetzes in der Physik	55
3. Die energetische Naturauffassung	56
4. Rettungsversuch der mechanischen Kausalität durch den Gedanken der Statistik	58
5. In der statistischen Auffassung liegt aber schon ein Abrücken von der Laplaceschen Kausalität	59
6. Der Maxwellsche Dämon	60
7. Stimmen von Physikern gegen die Allgemeingültigkeit der mechanischen Kausalität	62
8. Antikausale Auffassung in der Quantenmechanik	64
9. Kausalität und Wunderglauben	65
10. Die „Durchbrechung“ der Naturgesetze	66
11. Eine historische Bemerkung	68
12. „Lücken“ in den Naturgesetzen	69
13. „Lücken“ durch den Unterschied zwischen mathematischen Punkten und beobachtbaren Raumstellen	71
14. Über die Benutzung der Lücken in der mechanischen Gesetzmäßigkeit	72
15. Beim Wunder muß das Eingreifen in die Lücken planmäßig sein	73
16. Zweckbetrachtungen anstatt kausaler Auffassungen	74
17. Die Richtung des Fortschrittes in der Geschichte der Naturwissenschaften	76
18. Der Charakter der Gesetzmäßigkeiten in Physik und Biologie ist derselbe	77
19. Gründliches und oberflächliches Erfassen des Naturgeschehens	78

	Seite
20. „Verstehende“ Wissenschaften im Gegensatz zu bloß „ordnenden“	79
21. Die Natur arbeitet möglichst sparsam	82
22. Der wissenschaftliche Sinn des Prinzips der kleinsten Wirkung	83
23. Strebungen und Tendenzen als Bestandteile biologischer Theorien	85
24. Psychologie höherer Wesen als Grundlage der Biologie	87
 IV. Kausalität, Finalität und Vitalismus	 89
1. Das Zeitalter der Aufklärung und die Zweckursachen	89
2. Sind „Kausalität“ und „Finalität“ Kennzeichnungen der wirklichen Welt?	89
3. Erklärungen durch „Zweckstreben“ sind immer oberflächlich	91
4. Die bloße Annahme der „Existenz eines Planes“ ist sinnlos	92
5. „Bestimmtheit der Gegenwart durch die Zukunft“ in der Mechanik	95
6. Auch der „gegenwärtige“ Zustand ist eigentlich der Zustand in mehreren Zeitpunkten	96
7. Auch beim lebendigen Organismus ist die bloße Behauptung der „Zielstrebigkeit“ sinnlos	96
8. Nur Zwecke, die ein lebendiges Wesen anstrebt, sind sinnvoll	98
9. Auch in der Geschichtswissenschaft ist die Einführung von Zwecken, die niemand bezweckt, etwas sehr Oberflächliches	98
10. Die „Autonomie“ der Lebenserscheinungen wird oft un- besehen hingenommen	100
11. Ein Beweis von H. Driesch für die Autonomie der Lebens- erscheinungen	101
12. Bedenken gegen den Beweis	102
13. Driesch will die Unvereinbarkeit der Lebensvorgänge mit der Newtonschen Mechanik beweisen	104
14. Versuch, die Behauptung des Vitalismus als Beschreibung eines beobachtbaren Tatbestandes zu formulieren	106
15. Ein anderer Beweis von Driesch aus der Analyse der menschlichen Handlungen	108
16. Bedenken gegen den Beweis	109
17. Positive Formulierungen des Vitalismus führen zum Spi- ritismus	111
18. Der Vitalismus ist im strengen Sinn keine wissenschaftliche Theorie	113
19. Versuche, den Vitalismus „positivistisch“ zu formulieren	115
20. Dialektischer Materialismus und Vitalismus	117
21. Der Kampf gegen die „Mechanisten“ in Sowjetrußland	120
22. Welche Aussagen über die wirklichen Vorgänge enthält der dialektische Materialismus?	121
23. Biologen als Gegner von Vitalismus und Teleologie	124
24. Was bedeuten die Aussagen der „Ganzheitsphilosophie“?	126

	Seite
25. Der Vitalismus in der Biologie und die finalistischen Auffassungen in der Physik	128
26. Finalismus und Quantentheorie	130
V. Physikalische Gesetzmäßigkeit und Kausalität . . .	136
1. Vorgänge ohne Energieänderung sollen keine mechanische Ursache brauchen	136
2. Die Rolle des Energiesatzes darf nicht übertrieben werden	137
3. Gibt es eine besondere Energieform für die Lebensvorgänge?	140
4. Worin besteht die besondere Rolle des Energiesatzes? . .	140
5. Sind Ursache und Wirkung vertauschbar?	142
6. Die kausale Form physikalischer Gesetze	144
7. Die Störungen der Planetenbahnen als Beispiel	146
8. „Freie“ und „erzwungene“ Bewegungen in der Mechanik	147
9. „Freie“ und „erzwungene“ menschliche Handlungen . . .	148
10. Die Frage der „Freiheit“ der menschlichen Handlungen hat nichts mit der des Determinismus zu tun	150
11. Für die Welt als Ganzes verliert das Wort „frei“ seinen Sinn	152
12. Die Einteilung menschlicher Handlungen in „freie“ und „erzwungene“ ist eine naturwissenschaftliche und bildet keine Brücke zur Metaphysik	153
VI. Kausalität und Zufall	156
1. Ein Ereignis kann nur in bezug auf ein bestimmtes kausales Gesetz „Zufall“ heißen	156
2. „Zufälligkeit eines Ereignisses“ sagt etwas Negatives aus	157
3. Das Glücksspiel und der positive Zufallsbegriff	158
4. Jede physikalische Versuchsreihe ist Ergebnis eines Glücksspiels	160
5. Die Hypothese des Determinismus	162
VII. Kausalität und Quantenmechanik	163
1. Der Determinismus und die Laplacesche Weltauffassung	163
2. Der Determinismus verlangt exakte Zahlenwerte für die Zustandsgrößen	164
3. Atomistische Auffassung und Determinismus	165
4. Der Determinismus war nie restlos durchgeführt	166
5. Die Bohrsche Atomtheorie und der Determinismus . . .	168
6. Der Satz: „Was im Kleinen gilt, gilt auch im Großen“ . .	169
7. Der Determinismus bei den feinsten Vorgängen	171
8. Bruch zwischen der Mechanik im Großen und im Kleinen	172
9. Die beliebig genaue Messung aller Zustandsgrößen ist prinzipiell unmöglich	174
10. Die Heisenbergschen Unschärfebeziehungen	176
11. Die Unmöglichkeit, aus den Versuchsbedingungen des Einzelversuchs dessen Ergebnis vorherzusagen	178
12. Von der klassischen Mechanik zur neuen „Wellen“mechanik	179
13. Wellenoptik und Unschärfebeziehungen	182

	Seite
14. Materiewellen und Unschärfebeziehungen	184
15. Es gibt kein Scheibenschießen mit beliebig kleinen Massenteilchen	187
16. Die Aussagen der Wellenmechanik	190
17. Wellenmechanik und Laplacescher Geist	191
18. Die Vorhersage der Zukunft in der Wellenmechanik . . .	192
19. Die Verwendung der Wellenmechanik zur Überwindung der kausal-mechanischen Weltauffassung	194
20. Die Wellenmechanik bringt kein „irrationales“ Element in die Naturauffassung	196
21. Die Wellenmechanik und die „Lücken“ in der mechanischen Kausalität	199
22. Wellenmechanik und „Willensfreiheit“	200
 VIII. Kausalität, Zufall oder Plan in der Weltentwicklung? 204	
1. Gesetzmäßigkeit in verschiedenen Zustandsgrößen bedeutet etwas Verschiedenes	204
2. Eine Eigenschaft der soziologischen und historischen Gesetze 205	205
3. Die Rolle von Kausalität und Zufall in der materialistischen Geschichtsauffassung	207
4. Die Zustandsänderungen in einem Gase als Beispiel . . .	209
5. die verschiedene Wahrscheinlichkeit der einzelnen Zustände 211	211
6. Die Wahrscheinlichkeit verschiedener Dichteverteilungen in einem Gase	214
7. Die „Nichtumkehrbarkeit“ der Naturvorgänge	215
8. Zustandswahrscheinlichkeit und Entropie	217
9. Die „Unwahrscheinlichkeit“ regelmäßiger Figuren	219
10. Die Entstehung der Organismen durch „Zufall“ soll „unendlich unwahrscheinlich“ sein	221
11. Das Zeitalter der Aufklärung und die Frage von der Entstehung der Ilias durch Zufall	221
12. Die „Wahrscheinlichkeit“ einer Entstehung der Organismen durch Zufall ist ganz undefiniert	224
13. Aus der Ablehnung des Zufalls folgt aber nicht die Existenz einer Planmäßigkeit	225
 IX. Schwierigkeiten bei der Formulierung eines allgemeinen Kausalgesetzes	228
1. Vorläufige Übersicht über einige Schwierigkeiten	228
2. Formulierungen mit Hilfe der Wiederkehr gleicher Zustände 230	230
3. Teilweise Kreisprozesse	231
4. „Wiederkehr eines Zustandes“ kann sehr Verschiedenes bedeuten	233
5. Je nach der Auffassung von der „Wiederkehr“ hat die kausale Vorhersage der Zukunft einen ganz verschiedenen Charakter	235
6. Anwendung auf Individual- und Sozialpsychologie	236

	Seite
7. Vorhersage auf Grund der Wiederkehr eines Zustandes und auf Grund von Gesetzen	238
8. Das Kausalgesetz als Behauptung der Existenz von Gesetzen	239
9. Das Kausalgesetz wird leicht zu einer Tautologie	240
10. Wie ist der Kausalsatz als Wirklichkeitssatz zu erhalten?	241
11. Poincaré, Kant und Lenin	242
12. Die Zuordnung der zahlenmäßig bestimmten Zustandsgrößen zu den Beobachtungen bereitet Schwierigkeiten	244
13. Die üblichen Zuordnungsregeln versagen bei den feinsten Vorgängen	245
14. Erst durch Angabe der Zuordnungsregeln wird der Satz „auf A folgt jedesmal B“ zu einem Wirklichkeitssatz	247
15. Die besprochenen Schwierigkeiten sind keine überflüssigen Spitzfindigkeiten	248
16. Die Aussage, daß die „wahren“ Zustandsgrößen dem Kausalgesetz gehorchen, ist kein Wirklichkeitssatz	249
17. Trotz aller dieser Schwierigkeiten wenden wir das Kausalgesetz im Leben mit Erfolg an	250
X. Von der sogenannten wahren Welt	252
1. „Wirklich“ und „scheinbar“	252
2. Was bedeutet „wirklich“ und „scheinbar“ in der Physik?	253
3. „Wahre“ und „scheinbare“ Masse, „wahre“ und „scheinbare“ Kraft	254
4. Die „wahre“, „wirkliche“ Welt in der Physik	256
5. Der Sinn einer „wahren“ Welt außerhalb der Erlebnisse .	257
6. Versuche, die „wahre“ Welt mit Hilfe von Erlebnissen zu definieren	258
7. Die „wahre“ Welt als Grenze, der die wissenschaftlichen Theorien zustreben	259
8. Eine Konvergenz der physikalischen Theorien gegen eine Grenze ist nicht zu bemerken	261
9. Die physikalischen Theorien und die „wahre“ Welt	263
10. Die neue Quantenmechanik und die „wahre“ Welt	265
11. Die Begründer der Quantenmechanik und die „wahre“ Welt	266
12. Die „Philosophie“ will über die „wahre“ Welt etwas aussagen	268
13. Ernst Mach als Gegner des Begriffs „wahre Welt“	270
14. Der Kampf Lenins und seiner philosophischen Schüler gegen den „Machismus“	271
15. In der Weigerung, von einer „wahren“ Welt zu sprechen, liegt nichts Skeptisches	273
16. Das „Ignorabimus“ ist sinnlos	274
17. Die sogenannten Grenzen der Wissenschaft	275
18. Die Anerkennung von Grenzen der Wissenschaft bedeutet die Anerkennung von außerwissenschaftlichen Erkenntnissen .	277
19. In der Schulphilosophie sind die Reste veralteter wissenschaftlicher Theorien konserviert	278
20. Die „Philosophie“ als Verteidigerin des Volksvorurteils .	280

	Seite
21. Die „Philosophie“ im Kampf gegen den Fortschritt der Wissenschaft	281
22. Die Bedeutung des Neukantianismus für eine wissenschaftliche Weltauffassung	283
XI. Von der Gültigkeit des Kausalgesetzes	287
1. Im praktischen Leben vertrauen wir nie auf das allgemeine Kausalgesetz, sondern auf unsere Kenntnis über spezielle Zusammenhänge	287
2. Die kausale Verknüpfung der Erlebnisse ist nicht die einzig richtige, sondern nur eine von großer praktischer Bedeutung	289
3. Auch der „allgemeine“ Energiesatz wird in der wirklichen Physik nicht angewendet	291
4. Auch die „Erhaltung“ der Energie hat nicht für beliebige Vorgänge einen Sinn	292
5. Der Energiesatz ist aber einem Wirklichkeitssatz näher als der Kausalsatz	294
6. Die kausalen Beziehungen zwischen Erlebnissen sind nach der neuen Physik nicht prinzipiell anderer Art als nach der alten; nur die Zuordnung zum Instrument „Wissenschaft“, zu den Beziehungen zwischen den Symbolen, hat sich verschoben	295
Anmerkungen	298
Namenverzeichnis	307

I. Die Gefahren der Sinnlosigkeit bei Sätzen von großer Allgemeinheit.

1. Das Instrument „Wissenschaft“ und seine Handhabung.

Alle Wissenschaften haben das Ziel, aus den unmittelbaren Erlebnissen spätere vorauszusagen und womöglich zu beherrschen. Auch wo man „Vergangenheit“ erforscht, wird eigentlich eine Verbreiterung der aus den unmittelbaren Erlebnissen bestehenden Basis gesucht, auf die gestützt die Zukunft leichter und vollkommener erfaßt werden kann. Zur Erreichung dieses Zieles bedienen sich alle Wissenschaften im Grunde derselben Methode.

Überall werden den unmittelbaren Erlebnissen zunächst Zeichen, Symbole zugeordnet, wie z. B. in der Physik die Werte der Koordinaten und Geschwindigkeiten von Massenpunkten, die Temperaturgrade usw., in der Biologie gewisse zeichnerisch darstellbare Raumgebilde, wie Zellkern, Protoplasma u. ä., die bisher nicht vollständig in die physikalischen Symbole übersetzt werden können; in der Soziologie bestehen die Symbole heute vielfach noch in Worten wie Staat, Volk, Gesellschaft u. a.

Die eigentliche Leistung der Wissenschaft ist der allmähliche Aufbau eines Instrumentes, mit Hilfe dessen sie ihrem Ziel näher kommen kann. Dieses Instrument besteht aus Beziehungen zwischen den Symbolen, die es gestatten, aus gegebenen Symbolen andere abzuleiten, ohne dabei immer wieder auf wirkliche Erfahrung zurückgreifen zu müssen.

Das bekannteste Beispiel ist die mathematische Physik, wo z. B. in der Mechanik zwischen den Symbolen, die räumliche und zeitliche Lage von Massen angeben, als Verbindung die Newtonschen Bewegungsgleichungen bestehen, oder zwischen Temperaturgraden und den räumlich-zeitlichen Bestimmungstücken die Fouriersche Wärmeleitungsgleichung. In der Biologie haben wir an dieser Stelle die Behauptungen über die räumlichen und zeitlichen Schicksale von Zellkern und Protoplasma; in der Soziologie, etwa nach der materialistischen Geschichts-

2 Die Gefahren der Sinnlosigkeit bei Sätzen von großer Allgemeinheit.

auffassung, die Behauptung des Überganges von Feudalismus in Kapitalismus und dann in Sozialismus u. ä.

Alle diese Beziehungen zwischen Symbolen sagen nichts über wirkliche Erlebnisse aus, sie sind nur Teile des Instrumentes zu deren Beherrschung. Die Handhabung des Instrumentes „Wissenschaft“ geschieht so, daß zunächst unseren Erlebnissen zu einer Zeit t_0 die entsprechenden Symbole zugeordnet werden; diese werden dann mit Hilfe der Beziehungen, die uns eben durch das Wissenschaftsinstrument zur Verfügung gestellt werden, und der für sehr allgemeine Klassen von Symbolen gültigen, von der Logik bzw. Mathematik zusammengefaßten, Umformungsregeln in die einem anderen Zeitpunkt t_1 entsprechenden Symbole umgeformt. Wird dann das dem neuen Symbol zugeordnete Erlebnis gesucht, so wissen wir, was wir auf Grund unserer „Wissenschaft“ in diesem Zeitpunkt für Erlebnisse zu erwarten haben. Jede wissenschaftliche Vorhersage bedarf also einer einmaligen, mit Hilfe der logischen bzw. mathematischen Regeln durchzuführenden Umformung der Beziehungen zwischen den Symbolen und einer zweimaligen Anwendung der Zuordnungsregeln von Symbol und Erlebnis. Wir wollen zunächst dieses Verfahren an einem einfachen Beispiel erläutern.

Es soll etwa aus der gegenwärtigen Lage eines frei fallenden Körpers seine zukünftige vorhergesagt werden. In der einfachsten Weise ordnen wir dem Anfangserlebnis als Symbol die Koordinate x_0 eines Punktes längs einer Vertikalen und den Zeitpunkt t_0 zu, in dem sich unser Körper in x_0 befindet. Wenn der Körper im Schwerfeld frei fällt, besteht zwischen den Symbolen x_0 , t_0 und den irgend einem anderen Zustand des Körpers zugeordneten entsprechenden Symbolen x_1 , t_1 die Beziehung $x_1 - x_0 = \frac{1}{2} g (t_1 - t_0)^2$, die ein Teil des Instrumentes ist, von dem wir gesprochen haben. Die Handhabung des Instrumentes geschieht nun folgendermaßen: den Beobachtungen werden durch „Meßmethoden“ die Werte von x_0 , t_0 , t_1 zugeordnet und dann dazu aus der Formel der Wert von x_1 berechnet. Ordne ich diesem durch die Zuordnungsregel das entsprechende Erlebnis zu, so weiß ich, was für ein „Ortserlebnis“ ich mit dem „Zeiterlebnis“, das t_1 zugeordnet ist, zusammen erwarten darf.

Dieselbe Rolle wie die eben erwähnte Formel in der Physik spielt in der Biologie z. B. die schematische Figur, die man in den

Lehrbüchern als Darstellung der indirekten Kernteilung (Karyokinese) einer lebendigen Zelle findet. Sie ist keine naturgetreue Abbildung eines wirklichen Vorganges, sondern stellt das den Beobachtungen durch die Theorie zugeordnete Symbol (eben das Kernteilungsschema) dar. Diese Zeichnung der Kernteilung in ihren verschiedenen Stadien ist ein Teil des Wissenschaftsinstrumentes, das wir uns schaffen, um die künftigen Erlebnisse aus den gegenwärtigen vorherzusagen.

2. Formeln sind keine Aussagen über die wirkliche Welt.

Die im vorhergehenden genannten Formeln oder Zellteilungsfiguren sind also, das muß vor allem festgehalten werden, keine Aussagen über wirkliche Erlebnisse, oder, wie wir uns auch ausdrücken wollen, über die wirkliche Welt. Sie können nur in dem Sinne „wahr“ oder „falsch“ genannt werden, wie ein schlecht geschliffenes Messer ein falsches Instrument zum Schneiden ist, aber nicht in dem Sinne, wie die Aussage „dieser Tisch ist blau“ falsch ist, wenn der Tisch mit Zinnoberfarbe angestrichen wurde.

Erst durch die Zuordnung von Erlebnissen zu den Symbolen werden die Verknüpfungsregeln zwischen den Symbolen zu Aussagen über die wirkliche Welt, die man als „wahr“ oder „falsch“ bezeichnen kann. So sagt die Zellteilungsfigur nur dann etwas über die wirklichen Vorgänge aus, wenn eine Regel existiert, die bei jedem Erleben eines biologischen Vorganges zu entscheiden gestattet, ob hier ein „Zellkern“ vorliegt, dessen Schicksal mit Hilfe jener Figur vorausgesagt werden kann. Diese Zuordnungsregeln sind die Ursache der in jeder Wissenschaft, mag sie noch so exakt scheinen, verbleibenden Reste von Unbestimmtheit. Die immer „verschwommenen“ Erlebnisse können nie ganz eindeutig den scharf definierten Symbolen zugeordnet werden.

Es ist wichtig, sich immer vor Augen zu halten, daß das Charakteristische der wissenschaftlichen Methode gerade darin besteht, daß zwischen die Erlebnisse die Umformungsregeln der Symbole eingeschaltet werden, und daß keine Regeln über den unmittelbaren Zusammenhang zwischen Erlebnissen aufgestellt werden. Wer die Symbole ausschalten will, verzichtet damit eben auf die von der Wissenschaft gelieferte Methode der Vorhersage, er will das Wissenschaftsinstrument nicht benutzen. Es kann natürlich niemandem verwehrt sein, sich der Welt gegenüber

4 Die Gefahren der Sinnlosigkeit bei Sätzen von großer Allgemeinheit.

anders als wissenschaftlich zu betätigen; er muß sich aber klar bewußt sein, was er tut. Er ist dann, wie M. Schlick sagt, ein Erlebender, aber kein Erkennender. Wer Wissenschaft treibt, verhält sich der Welt gegenüber tätig; denn er erzeugt oder benutzt ein Instrument zu ihrer Bewältigung; der bloß Erlebende verhält sich rein passiv. Es gibt keine Methode, durch Erleben zum Verstehen zu gelangen, wenn wir mit „Verstehen“ das Erkennen der wirklichen Welt zum Zwecke ihrer Beherrschung bezeichnen wollen.

3. Nur tautologische oder Wirklichkeitssätze sind wahr oder falsch.

Es gibt zwei Arten von Aussagen, die man als sinnvoll bezeichnen kann. Erstens: Sätze, die über die wirkliche Welt etwas aussagen, wie „dieser Tisch ist blau“ und zweitens: Sätze der Logik und Mathematik, die aussagen, welche Behauptungen einander äquivalent sind, also durch tautologische Umformungen aus einander hervorgehen. Bei beiden Kategorien von Sätzen kann man durch ein bestimmtes Verfahren entscheiden, ob sie „wahr“ oder „falsch“ sind, bei den ersten, den Wirklichkeitssätzen, wie wir sie kurz nennen wollen, durch Vergleich des unmittelbar Erlebten mit den Erlebnissen, die den Behauptungen durch die konventionellen Regeln der sprachlichen Bezeichnung zugeordnet sind; bei der zweiten Art, den tautologischen Sätzen, erfolgt die Entscheidung durch fortgesetzte Anwendung der zugrunde gelegten Regeln der tautologischen Umformung, durch die man schrittweise vom ursprünglichen Satz zum umgeformten gelangen muß, wenn die Aussage richtig sein soll. Ein Beispiel liefert jeder mathematische Beweis aus den Axiomen der Geometrie oder Arithmetik.

Die Wahrheit sinnvoller Sätze kann also immer kontrolliert werden. Die Wirklichkeitssätze lassen sich auch dadurch kennzeichnen, daß zu jedem sinnvollen wahren Satz auch ein zweiter sinnvoller gehört, der das Gegenteil aussagt, aber dann falsch ist. Wenn der Satz „dieser Tisch ist blau“ wahr ist, so ist der Satz „dieser Tisch ist nicht blau“ auch sinnvoll, aber falsch. Hingegen ist das Gegenteil tautologischer Aussagen nicht falsch, sondern sinnlos. Damit ist folgendes gemeint: unsere Erlebnisse oder die wirkliche Welt könnte auch so beschaffen sein, daß dieser Tisch nicht blau, aber nicht so, daß zweimal zwei nicht vier wäre, wenn wir unsere Definitionen der arithmetischen Operationen und

der Zahlwörter zugrunde legen. Das erste Erlebnis ist vorstellbar, das zweite nicht. Oder auch: die Wahrheit der tautologischen Sätze ist unabhängig von den Vorgängen der wirklichen Welt. Sie sagen nur etwas darüber aus, wie wir von der wirklichen Welt reden, nicht über diese selbst.

4. Ein einzelner allgemeiner Satz ist weder wahr noch falsch.

Wenn in den Büchern und Vorlesungen, die man als „philosophische“ zu bezeichnen pflegt, Sätze aufgestellt werden, über deren Wahrheit oder Falschheit man nie zu einer Einigung gelangen kann, so liegt das daran, daß diese Sätze so ausgesprochen werden, daß man nicht recht weiß, über welche konkreten Erlebnisse sie eigentlich etwas aussagen sollen. Ein in Worten oder Formeln angeschriebener Satz ist zunächst nur eine Beziehung zwischen Symbolen und kann nicht ohne weiteres als wahr oder falsch bezeichnet werden.

Um ihn in eine Aussage zu verwandeln, der die Merkmale „wahr“ oder „falsch“ zugesprochen werden können, muß genau angegeben werden, welche Beziehung zwischen Erlebnissen durch den Satz behauptet wird. Da diese Angabe auch nur durch Worte geschehen kann, dürfen schließlich nur solche Worte vorkommen, denen ganz bestimmte konkrete Erlebnisse in einer dem Leser oder Hörer bekannten Weise zugeordnet sind. Die Darlegung dieses Zusammenhanges zwischen dem Satz und den Erlebnissen kann viele tausendmal mehr Raum und Zeit beanspruchen als der Satz selbst. Daher kann man ruhig annehmen, daß kurze Sätze von großer Allgemeinheit niemals ohne weiteres als „wahr“ oder „falsch“ bezeichnet werden können, sondern, daß man dieselben Sätze sowohl als wahr wie als falsch erklären kann und beides mit Recht, je nachdem, in welcher Art man ihnen konkrete Erlebnisse zuordnet.

Wir wollen die Angabe der Beziehung zwischen Erlebnissen, die einem bestimmten Satz entspricht, die Angabe des „Sinnes dieses Satzes“ nennen. Dann müssen wir fordern, daß innerhalb jeder Wissenschaft der Sinn jedes vorkommenden Satzes angegeben wird. Je allgemeiner der Satz ist, desto verwickelter ist die Angabe seines Sinnes, desto schwieriger daher die Aufgabe, diesen Sinn genau herauszuarbeiten. Der Sinn des Satzes „in Prag regnete es am 10. August 1930“ ist viel ein-

6 Die Gefahren der Sinnlosigkeit bei Sätzen von großer Allgemeinheit.

facher anzugeben als der des Satzes „die Energie des Weltalls bleibt konstant“.

Die Darlegung des Sinnes der vorkommenden Sätze bildet wohl einen wesentlichen Teil jeder Wissenschaft; da aber, wie erwähnt, bei Sätzen, in denen allgemeine Begriffe wie Energie, Raum, Zeit, Kausalität u. ä. vorkommen, die Darlegung des Sinnes viel umfangreicher wird als das System der wissenschaftlichen Sätze selbst, über deren Wahrheit oder Falschheit entschieden werden soll, hat man oft die Darlegung des Sinnes derartiger sehr allgemeiner Sätze als eine besondere wissenschaftliche Aufgabe betrachtet und dafür eine eigene Wissenschaft, die „Philosophie“, konstruiert. Da aber durch den Wortlaut der wissenschaftlichen Sätze allein im vorhinein ihr Sinn nicht festgelegt ist, kann man sich über diesen Sinn beliebig lange streiten, ohne irgendeiner falschen Behauptung überführt werden zu können.

Mit Recht sagt daher M. Schlick, daß man von einer Philosophie als einem System von Sätzen, die wahr oder falsch sein können, nicht sprechen dürfe. Eine derartige Wissenschaft gibt es nicht. Man kann aber mit Schlick die Darlegung des Sinnes der wissenschaftlichen Sätze als eine Tätigkeit des „Philosophierens“ bezeichnen. Gegen eine solche Terminologie läßt sich nichts einwenden; nur darf man nie vergessen, daß die Darlegung des Sinnes zu jedem wissenschaftlichen Satz als notwendiger Bestandteil gehört und daher sich die Philosophie niemals als ein Gegensatz zu den „Einzelwissenschaften“ oder „Fachwissenschaften“ auffassen läßt.

5. Es gibt keine Philosophie außerhalb der Fachwissenschaften.

Man kann höchstens sagen, daß es aus Gründen der Arbeitsteilung zweckmäßig sein kann, die Arbeit an der Sinndeutung, d. h. hier nur an der Darlegung der Beziehung zwischen Symbol und Erlebnis, von der Arbeit im Innern der Wissenschaft, die mit den Symbolen selbst sich beschäftigt, ohne ihrem Sinn jedesmal nachzugehen, abzutrennen, da zu beiden Tätigkeiten verschiedene Neigungen und Begabungen notwendig sein könnten. So kann man, um ein ganz deutliches Beispiel zu wählen, sehr wohl aus den Axiomen der Geometrie Folgerungen ziehen und ganze geometrische Lehrgebäude aufrichten, ohne sich mit dem Sinn der Axiome zu befassen. Man kann die Differentialgleichungen der

Physik unter beliebigen Anfangsbedingungen lösen, ohne sich darum zu kümmern, welches der Sinn der vorkommenden Lage- und Zeitkoordinaten ist.

Die Fortschritte in der Physik bestehen aber nicht nur in der Aufstellung neuer Sätze, sondern damit sind immer auch neue Sinngebungen der Symbole verbunden; bei jedem Fortschritt der Physik entsteht daher auch das Bedürfnis des Physikers selbst, sich mit der Erläuterung der Symbole vertraut zu machen, was oft in Zeiten längerer Konstanz der physikalischen Theorien als überflüssig erachtet wird. So pflegen Bücher über Relativitätstheorie mit einer „philosophischen“ Betrachtung über Raum und Zeit zu beginnen, so enthalten die Bücher über Quantenmechanik immer Betrachtungen über Kausalität. Es ist sicher, daß alle diese Betrachtungen später wieder als selbstverständlich verschwinden werden, ebenso wie heute ein gewöhnliches Lehrbuch der Mechanik sich nicht mit Raum, Zeit und Kausalität zu beschäftigen pflegt, wenn es nicht schon etwas über die neuen Theorien ahnen lassen will, oder, was noch häufiger vorkommt, aus Gründen der Tradition noch einige Brocken einer veralteten Schulphilosophie mitschleppt.

Man sieht, daß es völlig zweckwidrig wäre, dem Physiker das Hineinreden in die „Philosophie“ als in ein besonderes Fach, für das nur der „Fachmann“ zuständig sei, zu verwehren. Ein Fachmann für die Deutung der in der Physik vorkommenden Symbole ist nur der Physiker; ihm das Schreiben über Raum, Zeit und Kausalität zu verbieten, hieße ihm zu verbieten, den Sinn der von ihm selbst gebrauchten Symbole zu präzisieren und ihn aufzufordern, sinnlose Symbole zu verwenden. Richtig ist nur soviel, daß innerhalb der Physik der einzelne wissenschaftliche Arbeiter sich je nach seiner Neigung bald mehr der tautologischen Umformung der Beziehungen zwischen den Symbolen zuwendet und dann mathematischer Physiker wird, bald der Prüfung der Wirklichkeitssätze widmet und experimentiert und endlich sich mit der Analyse der verwickelteren Zuordnungen der allgemeinen Symbolbeziehungen zu Erlebnissen beschäftigt. Will man diese letztere Tätigkeit als „Philosophieren“ bezeichnen, so ist dagegen, wie gesagt, nichts einzuwenden, solange man sich bewußt ist, daß diese Tätigkeit ein wesentlicher und gleichberechtigter Teil der Gesamttätigkeit des Physikers ist. Wenn ich ein gewisses Mißbehagen

dabei empfinde, hier etwa das Wort „Naturphilosophie“ anzuwenden, so rührt das daher, daß mit dem Wort „Philosophie“ mit allen seinen Spezialisierungen „Naturphilosophie, Geschichtsphilosophie usw.“ meist Systeme von Sätzen bezeichnet werden, denen von dem hier vertretenen Standpunkt aus kein wissenschaftlicher Sinn zuerkannt werden kann.

6. Sinnlose Fragestellungen.

Es werden als philosophisch oft Fragestellungen bezeichnet, die man durch keinerlei Vergleichung von wirklichen Erlebnissen lösen kann, ja die sich als Fragen über Erlebnisse überhaupt nicht formulieren lassen. Ich will dabei gar nicht von Fragestellungen sprechen, wie sie in den an unseren Hochschulen gehaltenen Vorlesungen über Philosophie noch heute vorzukommen pflegen, und etwa von der folgenden Art sind:

„Ist das Ganze früher als die Teile oder die Teile früher als das Ganze?“ oder

„Warum ist überhaupt Seiendes und nicht vielmehr Nichts?“, Fragen, die in unseren Tagen noch aufgeworfen werden, bei denen man sich aber nicht einmal in den vagsten Umrissen vorstellen kann, was unter ihrer „Lösung“ eigentlich gemeint sein soll; sondern ich will nur von Fragestellungen sprechen, die auch in unserer heutigen Naturwissenschaft noch eine Rolle spielen, aber meiner Ansicht nach auch „philosophische“ Fragestellungen im Sinne der alten Schulphilosophie sind.

Die Lehrbücher der Physik pflegte man im 18. Jahrhundert mit der Erörterung des Problems zu beginnen, ob ein Körper dort „wirken“ könne, wo er sich nicht befindet; im 19. Jahrhundert wurde gern die Frage besprochen, ob das elektrische Feld das eigentlich „Reale“ ist oder die elektrischen Ladungen; in unseren Tagen findet man in manchen Lehrbüchern die Frage aufgeworfen, ob die von de Broglie und Schrödinger eingeführten Materiewellen etwas „Reales“ sind, und in vielen Erörterungen über Relativitätstheorie spielt der Streit eine Rolle, ob die Kontraktion der Materie, die ihre Bewegung begleitet, etwas Reales oder nur Scheinbares ist. Viele Physiker sind sich nicht klar darüber, daß es für die Welt unserer Erlebnisse gar nichts aussagt, ob wir derartige Fragen mit ja oder nein beantworten. Wenn man wirklich mit Hilfe der Sätze, durch welche die Wellenmechanik die Materiewellen

beschreibt, unsere Erlebnisse darstellen kann, so wird dem gar nichts hinzugefügt, wenn man noch dazu behauptet, diese Wellen seien „real“.

Noch viel verbreiteter sind derartige Fragestellungen in der Biologie. Hier werden von hervorragenden Forschern noch in unseren Tagen Probleme erörtert und Fragen gestellt, die ganz an die anfangs erwähnte „ist das Ganze vor seinen Teilen oder umgekehrt?“ erinnern. Es wird z. B. gern die Frage aufgeworfen, ob der Gestalttypus einer Gruppe von Organismen, z. B. einer Gruppe von Blüten, etwas „Reales“, irgendwie außerhalb der Blüten selbst Vorhandenes ist, oder ob er sich erst in der Zeit mit ihnen entwickelt, wonach man zwei ganze Richtungen als morphologische und physiologische unterscheidet.

So sagt der ausgezeichnete Botaniker W. Troll:

„Der Typus geht also nach dieser Auffassung aller speziellen Gestaltung voran, während er im Darwinismus aus einer Unzahl von richtungslosen Variationen zusammengebettelt wird.“

Wenn man nüchtern bedenkt, was dieses „vorangehen“ heißen soll, so kann damit offenbar nur gesagt sein, daß sich die einzelnen Blüten durch allmähliche Umformung in Gedanken aus einem Typus ableiten lassen. Damit ist aber nur über das symbolische Schema, mit Hilfe dessen wir die Erlebnisse ordnen, etwas ausgesagt, keineswegs über die wirklichen Erlebnisse. Die Entstehung einer Blüte aus allmählichen Variationen ist doch in keiner Weise ein Gegensatz zu der Ableitung aus einem Typus. Die beiden Behauptungen sagen über ganz verschiedene Dinge etwas aus: die von Troll im Anschluß an Goethe vertretene behauptet etwas über die bloße Ordnung nach einem Schema, die des Darwinismus über konkrete, in der Zeit vor sich gehende Erlebnisse.

Die Frage, ob die eine oder andere Behauptung richtig ist, kann man als Typus einer sinnlosen Frage anführen, und damit auch die ganze Frage, ob die Betrachtung der Blüten eine „morphologische“ sein soll, die aus Typen „ableitet“, oder eine „physiologische“, die „kausal erklärt“. Hier wird, wie so oft, der Gegensatz zwischen zwei Forschungsrichtungen, von denen bald die eine, bald die andere ergiebiger sein mag, als ein Gegensatz zweier wissenschaftlichen Behauptungen aufgefaßt. Gerade an dem Beispiel dieser Frage kann man sehr deutlich die Quelle aller derartiger Probleme erkennen, denen kein wissenschaftlicher Sinn

10 Die Gefahren der Sinnlosigkeit bei Sätzen von großer Allgemeinheit.

zukommt. Es ist die Befangenheit in den Lehren der veralteten Formen der Schulphilosophie, über deren Haupteigenschaften später noch ausführlich die Rede sein wird, und von der jetzt nur kurz gesagt werden soll, daß in ihr Reste der primitiveren menschlichen Denkformen aus der vorwissenschaftlichen Zeit sich erhalten haben. Dort wird auch der „Typus“ seinen richtigen Sinn finden.

7. Die sogenannte philosophische Neutralität der Wissenschaft.

Wenn wir Erörterungen betrachten, wie wir sie eben an einem Beispiel aus der botanischen wissenschaftlichen Literatur kennengelernt haben, muß die oft gehörte Forderung, aus der exakten Wissenschaft müsse jede „philosophische“ Betrachtung ausgeschieden werden, da sie Sache besonderer Fachleute sei, noch in einem ganz anderen Licht erscheinen. Bei dem Problem der sogenannten „Gestalt“ wird ganz bewußt eine Anlehnung an die alte Philosophie der Platoniker gesucht.

Es zeigt sich aber, daß in Arbeiten, die rein wissenschaftlich bleiben und sich von jeder Philosophie fernhalten wollen, sich gerade sehr häufig Aussagen finden, die nur unbewußt unter dem Einflusse der Schulphilosophie stehen. So findet sich, um nur ein Beispiel unter hunderten herauszugreifen, in einem ausgezeichneten und verbreiteten Lehrbuch der allgemeinen Physik der Satz:

„Im Gegensatz zu den Gesetzen der Gesellschaft sind die Naturgesetze absolut bindend. Wir sind vollkommen gewiß, daß da, wo wir in der Natur einen Verstoß gegen ein bisher als sicher geltendes Gesetz entdecken, nicht die Natur einen Verstoß begangen hat, sondern daß wir dieses Gesetz noch nicht in vollem Umfange richtig erkannt haben.“

Wenn man sich redliche Mühe gibt, herauszubringen, was ein derartiger Satz über die Welt der wirklichen Erlebnisse aussagt, so kann man beim besten Willen nichts anderes finden, als daß er eine Behauptung über die Fähigkeiten einer alten Göttin oder Zauberin aufstellt. Nun sind aber Aussagen dieser Art, die keine wissenschaftlichen im Sinne unserer Zeit sind, sondern solche im Sinne vergangener Epochen, in den Schriften über Naturwissenschaft, auch in den exaktesten, sehr oft vorhanden.

Sie stammen daher, daß jeder, der den geistigen Weg, der zur Wissenschaft führt, durchgemacht hat, irgendwie mit den Lehren der üblichen Schulphilosophie in Berührung gekommen ist, in der sich die von der Wissenschaft verlassenen Anschauungen

oft konserviert haben, wie ausgestorbene Tierarten in Gesteinen. Je mehr ein Physiker oder Biologe die Beschäftigung mit der „Philosophie“ hochachtungsvoll oder verächtlich ablehnt, desto sicherer kann man sein, daß er die Ansichten der ältesten Schulphilosophie ganz gutgläubig übernimmt, weil er eben über die Grundbegriffe seiner Wissenschaft nicht selbständig nachgedacht hat. In den elementaren Lehrbüchern der rein experimentellen Physik finden sich die erstaunlichsten metaphysischen Behauptungen.

Wenn man daher die Forderung aufstellt, die Naturwissenschaft säuberlich von der Philosophie zu trennen, so wird man nur erreichen, daß in den grundlegenden Fragen die Lehren der veraltetsten philosophischen Schulen blind übernommen werden. Denn in Wirklichkeit steht es ja, wie in den vorigen Paragraphen gezeigt wurde, so, daß es nur eine Art von wissenschaftlichen Aussagen gibt; die Wissenschaft hat keine Grenzen und jede Stelle, die von ihr offen gelassen wird, fällt sofort in die Hände der wissenschaftsfeindlichen Mächte. Die Trennung der Philosophie von der Wissenschaft bedeutet schon die Anerkennung der Philosophie als einer zweiten Art der Welterkenntnis, die neben der wissenschaftlichen noch möglich ist. Da aber die Wissenschaft prinzipiell für jede sinnvoll gestellte Frage die Möglichkeit einer wissenschaftlichen Antwort annehmbar muß, bedeutet die Anerkennung einer zweiten Art Erkenntnis die Bankrotterklärung der Wissenschaft selbst. An Stelle der „Trennung von Philosophie und Wissenschaft“ muß die Eroberung des ganzen bisher von der Philosophie besetzten Gebietes für die Wissenschaft treten.

Zu diesem Zwecke ist es notwendig, daß der in der exakten Wissenschaft Tätige keine Frage als in die Philosophie gehörig beiseite läßt, sondern sich bemüht, alle Fragen so zu formulieren, daß sie einen wissenschaftlichen Sinn bekommen; d. h. er muß den Sinn auch der allgemeinsten Fragen und Sätze deutlich herauszuarbeiten suchen. Dann wird sich sofort zeigen, daß zur Lösung dieser Frage nur wieder jemand beitragen kann, der an der exakten Wissenschaft selbst arbeitet, wenn auch vielleicht an einer anderen Stelle als der, von dem die wichtigsten Experimente angestellt oder die schwierigsten mathematischen Aufgaben gelöst werden.

Wenn wir diese Herausarbeitung des Sinnes der allgemeinsten Sätze nach der Ausdrucksweise von Schlick als „Philosophieren“

bezeichnen (siehe Abschnitt 4), so muß der Physiker oder Biologe philosophieren, wenn er nicht in den Fesseln der veralteten Theorien bleiben will. Sehr treffend formuliert H. Hahn diese für die Wissenschaft einzig sinnvolle, aber auch unentbehrliche philosophische Tätigkeit: „Was sich überhaupt sinnvoll sagen läßt, ist Satz einer Fachwissenschaft“ und „Philosophie treiben heißt nur, . . . Sätze, die eine andersartige, höhere Bedeutung vortäuschen als die Sätze der Fachwissenschaft, als Scheinsätze entlarven.“

8. Der Kampf gegen die Philosophie in Sowjetrußland.

Wir haben von der Erscheinung gesprochen, daß die reinliche Scheidung der exakten Wissenschaft von der Philosophie, die „philosophisch neutrale“ Haltung der Fachwissenschaft, wie man das oft ausdrückt, schließlich dazu führt, in den Schriften der Physiker und Biologen selbst ein Asylrecht für veraltete Theorien zu schaffen.

So sagt mit vollem Recht O. Neurath:

„Es kann vorkommen, daß sich manche als Anhänger der Wissenschaft proklamieren, die auf diese Weise die letzten Reste der Metaphysik in der heute vorliegenden Form der Einzeldisziplinen erhalten und damit sich der vollen Befreiung von aller Metaphysik widersetzen.“

In Sowjetrußland, wo die Stellung zur Philosophie von Anfang an als eine politisch wichtige Angelegenheit galt, hat die Erkenntnis dieses Zusammenhangs zwischen Philosophie und Wissenschaft zu einem vollkommenen Umschwung in der Beurteilung der Wichtigkeit philosophischen Unterrichtes an den Hochschulen geführt.

Die leitenden Kreise der kommunistischen Partei Rußlands waren seit jeher der Ansicht, daß gewisse Lehren der üblichen Philosophie dem von ihr angestrebten und nun zur Herrschaft gebrachten sozialen System schädlich seien. Das war vor allem die „idealistische“ Philosophie, die in verschiedenen Schattierungen im alten Rußland ebenso wie bei uns die an den Universitäten verbreitetste war. Ihre Lehre, daß die Sinnenwelt nicht die wahre Welt sei, daß diese vielmehr unserem Verstande ewig unfaßbar bleiben müsse, schien den nun herrschenden Kreisen eine zu große Stütze für die Staatsreligion des alten Regimes zu sein.

Mit dem Siege des Bolschewismus wurden von den russischen Universitäten alle Lehrer der idealistischen Philosophie entfernt, und das waren so ziemlich alle Lehrer der Philosophie überhaupt. Mit der Zeit machte man eine eigenartige Beobachtung. Die Lehren des Idealismus, die als Philosophie nicht mehr vorgetragen wurden, traten in den Büchern und Vorlesungen der Naturforscher als wissenschaftliche Behauptungen auf. Nach dem in Abschnitt 7 Gesagten können wir das sehr gut verstehen, da ja in der Formulierung der wissenschaftlichen Sätze eben immer die überlieferten philosophischen Auffassungen hereinspielen.

Die Situation wurde noch ernster, als neben dem Idealismus auch noch eine andere philosophische Richtung als den Interessen des herrschenden sozialen Systems schädlich zu gelten begann, nämlich der „mechanistische Materialismus“, d. h. die Lehre, alle Vorgänge ließen sich in letzter Linie auf Bewegung kleinster Teilchen zurückführen. Daß diese Auffassung in der naturwissenschaftlichen Literatur selbst stark vertreten ist, braucht nicht näher bewiesen zu werden.

Es wurde daher in den Kreisen der kommunistischen Partei Rußlands in den letzten Jahren immer stärker verlangt, wieder einen philosophischen Unterricht an den Hochschulen einzuführen, zum Teil mit dem ausgesprochenen Zweck, die Fachwissenschaften selbst, insbesondere die Naturwissenschaften, von den metaphysischen Bestandteilen idealistischer und mechanistischer Art zu reinigen. Ich will an dieser Stelle auf diese Probleme des Zusammenhanges von Philosophie, Wissenschaft und Gesellschaftsform nicht näher eingehen, sondern mich damit begnügen, einige Stellen aus den Aufsätzen des bekanntesten Vertreters einer der heutigen philosophischen Hauptströmungen Sowjetrußlands anzuführen, in denen die in den maßgebenden Kreisen der kommunistischen Partei Rußlands vor wenigen Jahren herrschende Auffassung sehr präzise dargestellt ist.

A. Deborin sagt in einem 1926 unter dem Titel „Der Gegenstand der Philosophie und der Dialektik“ erschienenen Aufsatz:

„Aber ist es denn so schwer zu verstehen, daß die heutige Wissenschaft selbst in beträchtlichem Maße von antiwissenschaftlichen Elementen durchtränkt ist? Die Hasser der Philosophie sind gewohnt, diese letztere aller Todsünden zu beschuldigen. Aber diese Kritiker und furchtbaren Ankläger haben keine Vorstellung von der gegenseitigen Beziehung zwischen Philosophie und Wissenschaft. Sie wissen nicht, daß, wenn die Philosophie einen

14 Die Gefahren der Sinnlosigkeit bei Sätzen von großer Allgemeinheit.

Einfluß auf die Wissenschaft zeigt, die Wissenschaft ihrerseits auch auf die Philosophie wirkt. Und dieser Einfluß trägt sehr oft antiwissenschaftlichen Charakter . . . Bis heute nährt sich die Wissenschaft von den Abfällen der alten Metaphysik und wird zugleich auch diese wieder nähren, d. h. sie wird als Basis für ideologischen und metaphysischen Unsinn dienen.“

Inwieweit der nun an den russischen Hochschulen zur Reinigung der Wissenschaft von metaphysischen Elementen erteilte philosophische Unterricht diese Aufgabe wirklich erfüllt, ist eine Frage, die hier nicht behandelt werden kann. Es handelt sich dabei um die Frage, inwiefern der „dialektische“ Materialismus eine von Resten der Schulphilosophie wirklich freie Theorie ist.

9. Gleiten allgemeiner Sätze ins Tautologische.

Über die Schulphilosophie als Quelle nicht sinnvoller Probleme soll erst im X. Kapitel ausführlich gesprochen werden. Hier soll nur noch auf eine andere Erscheinung aufmerksam gemacht werden, die selbst in der Physik, der exaktesten aller Naturwissenschaften, eine große Verbreitung hat, und oft verhindert, den Sinn der wissenschaftlichen Sätze richtig zu erfassen: diese Erscheinung besteht in dem allmählichen Gleiten aller allgemeinen Sätze ins Tautologische.

Dieses Schicksal allgemeiner Sätze will ich zunächst an einem ganz einfachen Satz des täglichen Lebens erläutern. Man hört und liest oft „beim männlichen Geschlecht überwiegt der Verstand, beim weiblichen das Gefühl“. Wir wollen einmal annehmen, daß es ein Kriterium gibt, nach dem wir das Überwiegen des Verstandes oder Gefühles bei einem bestimmten Individuum feststellen können, und fragen uns, ob der aufgestellte Satz wahr oder falsch ist? Wenn ich die Menschen nach Gesichtspunkten, die von diesem Satz unabhängig sind, z. B. rein körperlichen, die ein für allemal festgesetzt sind, in Männer und Frauen einteile, hat sicher die genannte Frage einen Sinn. Die wirkliche Welt ist verschieden, je nachdem dieser Satz als wahr oder falsch angenommen wird.

Wenn aber ein derartiger Satz lange wiederholt wird, beginnt man, sooft einem ein Überwiegen des Gefühlsmäßigen bei einem Mann begegnet, unwillkürlich zu sagen, „das ist eigentlich kein richtiger Mann“. „Es steckt in ihm etwas Weibliches“. Allmählich gewinnt der Grad, in dem das Gefühlsmäßige auftritt, den Charakter eines Merkmales, an dem man den Grad der Männlichkeit eines

Individuums wenigstens teilweise feststellt, und damit nähert sich unser Satz immer mehr einer Tautologie. Bedenkt man aber gar, daß auch die Feststellung des Überwiegens des Gefühlsmäßigen selbst ziemlich willkürlich ist, so geht das Hinübergleiten ins Tautologische noch rascher vor sich. Dabei liegt hier wenigstens als Grundlage ein im allgemeinen deutliches, körperliches Merkmal vor.

Gehen wir aber zu Sätzen über, wo auch die körperlichen Merkmale verschwommener werden, wie etwa bei Sätzen, die einen Zusammenhang zwischen „Schädelform“ und „Idealismus“ aussagen, wo es schwer ist, beiden Worten, zwischen denen die Beziehung bestehen soll, konkrete Erlebnisse zuzuordnen, so wird das Hinübergleiten ins Tautologische fast unvermeidlich. Wenn man aber glaubt, daß dieses Hinübergleiten nur bei Sätzen eintritt, denen nie jemand eine große Exaktheit zuschreiben wird, so ist das ein großer Irrtum. Wir werden bald sehen, daß bei den Sätzen der exakten Wissenschaft genau dieselbe Erscheinung eintritt, wenn sie sehr allgemein werden.

10. Wie erkennt man Wirklichkeitssätze?

Die Schwierigkeit besteht vor allem darin, daß man aus dem Wortlaut eines Satzes gar nicht entnehmen kann, ob er ein tautologischer ist oder nicht, sondern nur aus dem ganzen System, in dem er vorkommt, d. h. aus dem ganzen System von Sätzen, die den Sinn der in ihm vorkommenden Symbole erläutern. Daher gewinnt die Tätigkeit des „Philosophierens“ im Sinne von Schlick bei den allgemeinsten Sätzen der Wissenschaft eine große Bedeutung. Erst sie ermöglicht es, die sinnvollen Sätze von den sinnlosen, die tautologischen von den Wirklichkeitssätzen zu unterscheiden.

Um den Sinn eines Satzes zu erkennen, ist es vor allem wichtig, sich möglichst genau vorzustellen, welche Erlebnisse wir haben müßten, wenn das Gegenteil des Satzes richtig wäre, oder anders ausgedrückt, wie die wirkliche Welt in diesem Falle aussehen müßte. Wenn ein sinnvoller Satz etwas über die wirkliche Welt aussagt, so muß auch sein Gegenteil etwas Sinnvolles aussagen. Wir müssen uns also ganz konkret vorstellen können, wie die Welt beschaffen sein müßte, wenn dieses Gegenteil richtig wäre. Ein tautologischer Satz ist wohl sinnvoll, aber sein Gegenteil sinnlos; die Be-

hauptung, daß zweimal zwei nicht gleich vier ist, sagt überhaupt nichts über unsere Erlebnisse oder deren Bezeichnung aus.

Bei den besprochenen Beispielen ist alles ganz trivial. Es ist natürlich genau so sinnvoll zu behaupten, daß bei den Männern das Gefühlsmäßige überwiegt; man könnte sich eine derartige Welt genau so ausmalen wie die der üblichen Behauptung entsprechende. Man kann nur eine der Behauptungen als wahr bezeichnen, aber beide sind gleich sinnvoll.

Bei derartigen Untersuchungen muß also in den betrachteten allgemeinen Sätzen überall an Stelle der Symbole mit Hilfe der Zuordnungsregeln das wirkliche Erlebnis eingesetzt werden, so daß man schließlich Aussagen über Erlebnisse erhält, die man dann an der Hand der Erfahrung als wahr oder falsch unterscheiden kann. Dasselbe muß man aber mit den Sätzen tun, die das Gegenteil der ursprünglichen aussagen. Wenn diese sich auch noch als Aussagen über Erlebnisse formulieren lassen, hatten wir es ursprünglich mit einem Wirklichkeitssatz zu tun, sonst mit einem tautologischen.

Wir wollen nun das Gesagte an einigen Beispielen von allgemeinen Sätzen der exakten Wissenschaft erläutern.

11. Der Satz „Eine gerade Linie kehrt nie in sich zurück“.

Wenn wir etwa den Satz betrachten „Eine gerade Linie kehrt bei noch so starker Verlängerung niemals in sich zurück“, so kann man ihm im vorhinein nicht ansehen, ob er falsch oder richtig, ein tautologischer oder Wirklichkeitssatz ist. Es könnte sein, daß dieser Satz ein Teil eines Systems von geometrischen Axiomen ist, innerhalb dessen die in ihm ausgesprochene Eigenschaft der geraden Linie zu ihrer Definition gehört. Um etwas Bestimmtes sagen zu können, muß man erst angeben, welche Beziehung zwischen konkreten Erlebnissen dieser Satz ausdrückt, und welche Beziehung seine Leugnung mit sich bringt. Erst durch die Zuordnungsregel der Erlebnisse zu den in diesem Satz vorkommenden Symbolen bekommt der Satz einen Sinn. Erst dann kann gefragt werden, ob er wahr oder falsch ist.

Man kann sich die Zuordnung etwa folgendermaßen denken: Man nimmt ein Lineal aus sehr starrem Stahl, legt es von einem Anfangspunkt A auf der Erde an, verlängert es von seinem Endpunkte an durch ein gleichbeschaffenes, und setzt diese Ver-

längerung auf die gleiche Weise fort; dabei muß man darauf achten, daß das ganze System von Linealen trotz der Bewegung der Erde in Ruhe bleibt. Wenn man diesen Prozeß noch so weit fortsetzt, so behauptet unser Satz, daß man niemals wieder zu dem Anfangspunkte A zurückkommen kann. Dabei bleibt einem noch freigestellt, in welcher Weise man dieses „Zurückkommen zum Punkte A“ als konkretes Erlebnis deuten will, ob damit dieselbe Lage in bezug auf das Fixsternsystem gemeint ist oder in bezug auf einen Spiralnebel oder etwas anderes. Man sieht, daß unser Satz keineswegs selbstverständlich ist, sondern, genau betrachtet, etwas ganz Sonderbares und Abenteuerliches aussagt. Es ist kein Zweifel, daß es durchaus nicht mehr Mühe kostet, sich das Gegenteil ganz genau und konkret vorzustellen, daß man nämlich bei diesem verwickelten Vorgang einmal wieder zu einem Punkt A in irgendeinem Sinne zurückkehrt, wo man bereits gewesen ist.

Die Illusion der Selbstverständlichkeit gewinnt unser Satz nur dadurch, daß man die Zuordnung zu wirklichen Erlebnissen nur in ganz unzulänglicher Weise durchführt, etwa nur die Verlängerung innerhalb unserer Welt der täglichen Erfahrungen in Betracht zieht. Man sieht aber, wenn man diese Zuordnung in irgendeiner Weise, aber konsequent, durchführt, daß man unter unserem Satze auch eine Aussage über die wirkliche Welt verstehen kann, die dann an der Erfahrung auf ihre Wahrheit prüfbar ist.

12. Das Trägheitsgesetz als Tautologie.

Als ein zweites Beispiel betrachten wir das Trägheitsgesetz. Hier ist die Gefahr des Hinübergleitens ins Tautologische so stark, daß es schon sehr schwer ist, demjenigen, der unsere normale Schulbildung durchgemacht hat, überhaupt beizubringen, daß damit etwas anderes gemeint sein kann als der „selbstverständliche“ Satz, daß kein Körper „von selbst“, „ohne Grund“ sich in Bewegung setzen oder seinen Bewegungszustand ändern kann.

Man muß sich zunächst überlegen, daß dieser Satz überhaupt erst einen Sinn bekommt, wenn genau angegeben wird, in bezug auf welche anderen Körper der betrachtete seine Geschwindigkeit nicht von selbst ändern kann. Denn man sieht leicht, daß z. B. in bezug auf die Erde das Foucaultsche Pendel sich „von selbst“,

„ohne äußere Einflüsse“ dreht, daß fallende Körper von der Vertikalen „von selbst“ abweichen usw.

Man findet, daß nur in bezug auf den Fixsternhimmel die Körper ihre Geschwindigkeit „von selbst“ nicht ändern. Darin steckt schon sehr wenig Selbstverständliches mehr. Wenn man bedenkt, daß der Fixsternhimmel gar kein definierter Körper ist, sondern aus vielen Teilen besteht, die sich auch gegeneinander bewegen können, so sieht man bald, daß eigentlich auch dieses Bezugssystem uns unter den Händen verschwindet und man schließlich darauf kommt, das Trägheitsgesetz in folgender Weise zu formulieren: Es gibt ein Bezugssystem, in bezug auf das die Körper von selbst ihre Geschwindigkeit nicht ändern. Wenn man sich überlegt, was diese Behauptung Konkretes über die Erlebnisse aussagt, verschwinden sofort die Scheingründe, die uns die Illusion der Selbstverständlichkeit erwecken.

Damit haben wir aber die Hauptschwierigkeit einer Formulierung als Aussage über wirkliche Erlebnisse noch gar nicht berührt. Es fragt sich nämlich, welchen Sinn die Worte „von selbst“ oder „ohne äußere Einflüsse“ haben? Man könnte zunächst glauben, daß man darunter einfach verstehen kann, daß die betrachteten Körper sehr weit voneinander entfernt sind. Wenn man aber überlegt, aus welchen Erfahrungen das Trägheitsgesetz eigentlich gewonnen ist, z. B. der von Galilei betrachteten Kugel, die eine immer weniger steile schiefe Ebene hinabrollt, so findet man nirgends eine Entfernung von anderen Körpern, sondern immer nur die Annahme, daß die äußeren Einflüsse einander aufheben. Woran erkennt man aber dieses Aufheben? Nur daran, daß der betrachtete Körper seinen Bewegungszustand nicht ändert. Damit sind wir aber bereits in das Gebiet der tautologischen Sätze geraten. „Bewegung ohne äußere Einflüsse“ heißt so viel wie „geradlinig-gleichförmige Bewegung in bezug auf den Fixsternhimmel.“

Diese Gefahr, das Trägheitsgesetz zu einem tautologischen zu machen, bieten viele Formulierungen und besonders diejenigen, die im üblichen Physikunterricht die Hauptrolle spielen. Es ist natürlich vom logischen Standpunkt nichts dagegen einzuwenden, daß in einem systematischen Aufbau der Physik tautologische Sätze wie die erwähnten vorkommen; dann muß aber die Aussage

über die wirkliche Welt an einer anderen Stelle auftreten, sie kann in keiner Weise umgangen werden.

13. Das Trägheitsgesetz als Wirklichkeitssatz.

Will man das Trägheitsgesetz als einen Wirklichkeitssatz aussprechen und die Gefahr der Tautologie möglichst vermeiden, so bleibt einem nur eine Formulierung von etwa der folgenden Art übrig: Man kann die wirklichen Bewegungen der Körper so beschreiben, daß man die Abweichungen von der Trägheitsbewegung (d. h. der geradlinig gleichförmigen Bewegung in bezug auf den Fixsternhimmel) als einfache Funktionen ihrer Lage und Geschwindigkeit in bezug auf die Körper ihrer Umgebung angibt. Man drückt das auch oft so aus: Für jede Abweichung von der Trägheitsbewegung kann man eine „Ursache“ finden, wenn wir uns schon hier des unklaren Wortes „Ursache“ bedienen wollen. Versuchen wir nun, uns an die Tatsachen zu halten und vorläufig das Wort Ursache auszuschalten, so müßte man die Behauptung der Ungültigkeit des Trägheitsgesetzes folgendermaßen formulieren: Es ist nicht möglich, die Abweichung der Bewegung der Körper von der Trägheitsbewegung als einfache Funktionen ihrer Lage und Geschwindigkeit darzustellen.

Man sieht sofort, daß der Unterschied zwischen dem Trägheitsgesetz und seinem Gegenteil so beschaffen ist, daß gar nicht so leicht zu sagen ist, welcher von beiden Sätzen wahr ist, wenn wir uns bemühen, den Satz so zu formulieren, daß er eine Aussage über die wirkliche Welt ist und sich möglichst weit von einer Tautologie entfernt. Man sieht, daß in diesem Fall der Satz viel Unbestimmtes und Unsicheres enthält:

1. Läßt sich nicht genau formulieren, was man unter einer einfachen Funktion zu verstehen hat.

2. Kann man nie wissen, ob eine solche Formel unmöglich ist, da sie immer noch jemandem einfallen kann.

3. Ist nicht ohne weiteres klar, wodurch, mathematisch genommen, die Abweichung von der Trägheitsbewegung gemessen werden soll. Die klassische Mechanik mißt sie einfach durch die Beschleunigung, die spezielle Relativitätstheorie aber durch die sogenannte Eigenbeschleunigung, die wohl auch für gleichförmig bewegte Körper verschwindet, aber bei großen Geschwindigkeiten sehr stark von der Beschleunigung abweicht.

4. Wäre es doch auch möglich, daß man die Bewegungen der Körper noch einfacher darstellen könnte als durch ihre Abweichungen von der Trägheitsbewegung, z. B. durch ihre Abweichung von der Bewegung im Schwerfeld, wie es ja nach der allgemeinen Relativitätstheorie der Fall zu sein scheint.

14. „Die Vorausbestimmtheit der Zukunft“ als Sinn des Kausalgesetzes.

Wir haben an diesen Beispielen bereits gesehen, daß man sehr allgemeinen Sätzen überhaupt nicht ansehen kann, ob sie wahr oder falsch, ob sie Wirklichkeitssätze oder tautologische sind. Da unser ganzer Schulunterricht durch das fortwährende Wiederholen derselben Sätze, durch das allmähliche Abschleifen ihres Sinnes beim Übergang von einem Lehrbuch ins nächste, durch den wachsenden Glauben an die ewige Geltung aller in den allgemeinen Einleitungen vorkommenden Behauptungen die Tendenz hat, das Hinübergleiten der allgemeinen Sätze ins Tautologische zu begünstigen, steht der ganze Inhalt unserer wissenschaftlichen Überzeugungen mehr oder weniger unbewußt unter diesem Einfluß. Wenn alles das schon für das Trägheitsgesetz gilt, um wieviel mehr noch für das um soviel allgemeinere Kausalgesetz.

Wir müssen uns darüber klar sein, daß es sicher nicht möglich ist, in einem Satze mitzuteilen, was das Kausalgesetz über die Wirklichkeit aussagt, weil jeder derartige Versuch zu einem tautologischen Satze führen müßte. Um diese Gefahr zu vermeiden, müssen wir auch hier uns immer genau vorzustellen suchen, wie die Welt im Falle der Gültigkeit unseres Satzes beschaffen sein müßte und wie im entgegengesetzten Falle, wobei wir unter Welt immer ganz konkret unsere Erlebnisse verstehen müssen.

Das muß man z. B. beachten, wenn man die sehr beliebte Formulierung des Kausalgesetzes hört, nach der „der gesamte Weltablauf bereits seit Urzeiten vorherbestimmt sein soll“. Der Glaube an diesen Satz spielt als „Fatalismus“ eine Rolle in verschiedenen Religionen; er führt zur Passivität im Leben, da man doch nichts ändern könne, aber auch zur Tapferkeit im Kriege, da es doch schon bestimmt sei, ob man fallen werde oder nicht.

In der mechanistischen Weltauffassung gilt der Satz als Fundament jeder wissenschaftlichen Ansicht von der Natur, auf der anderen Seite wird er von den Anhängern der Willensfreiheit oder

des Eingreifens intelligenter Mächte als „trostloser Materialismus“ bekämpft.

Wenn man sich aber den Sinn dieses Satzes genau überlegt, so wird man sich leicht überzeugen, daß es zwei Auffassungen gibt. Nach der einen ist er eine Tautologie, nach der anderen sagt er etwas über die Beziehung einer höheren Intelligenz zur Welt aus. Nur in letzterem Fall ist er ein Wirklichkeitssatz.

15. Der Satz „Alles ist vorherbestimmt“ als tautologischer und als Wirklichkeitssatz.

Es ist klar, daß es nur einen Weltverlauf gibt, der wirklich vor sich geht. Wenn es eine allumfassende Intelligenz gibt, die diesen Verlauf schon vorher kennt, so kann sie ihn auch vorher-sagen. Jedes andere Wesen weiß aber auch, daß es nur einen Weltablauf geben kann; es weiß nur nicht, wie er im einzelnen beschaffen sein wird. Wenn man unter dem Satz „Alles ist vorherbestimmt“ nur versteht, daß in Wirklichkeit nur ein bestimmter Verlauf der Dinge eintritt, so ist das eine Tautologie; denn „Vorausbestimmtheit“ ist dann nur ein anderes Wort für „existieren“. Damit ist über die wirkliche Welt nichts ausgesagt, sondern nur über die Worte, mit denen wir von der Welt reden.

Auch wenn wir eine allumfassende Intelligenz annehmen, ist der Satz „Alles ist vorherbestimmt“ eine Tautologie, wenn wir darunter verstehen, daß die Zukunft der Welt dieser Intelligenz bekannt ist; denn das ist im Begriff einer allumfassenden Intelligenz schon enthalten. Unser Satz von der Vorausbestimmtheit ist nur insofern keine Tautologie, als er eben die Existenz einer allumfassenden Intelligenz behauptet; er sagt dann etwas über die wirkliche Welt aus, wenn das Wissen dieser Intelligenz von der Zukunft auch in unseren Erlebnissen sich bemerkbar macht.

Diese übermenschliche Intelligenz hat in der Geschichte der Physik zu einem ähnlichen Zwecke als Laplacescher Geist eine Rolle gespielt, über den wir in Kapitel II noch ausführlicher sprechen werden. Hier sei nur folgendes bemerkt: man könnte versuchen die Vorausbestimmtheit anstatt durch die Existenz jener Intelligenz dadurch konkret zu fassen, daß man die Existenz einer Weltformel annimmt, die den ganzen Weltverlauf darstellt. Aber auch in dieser Fassung ist unser Satz eine bloße Tautologie; denn was auch geschieht, es läßt sich immer in eine Formel

zusammenfassen, wenn man beliebig komplizierte Formeln zuläßt. Die Tautologie hört erst auf, wenn man die Formel als einem Weltgeiste bekannt auffaßt, und dann wird, wie schon gesagt, unser Satz die Behauptung von der Existenz jenes Geistes.

Will man dessen Einführung aber vermeiden und trotzdem nicht ins Tautologische verfallen, so muß man die Annahme einführen, daß die Weltformel von bestimmter Art ist, z. B. durch die Einsteinschen Differentialgleichungen der allgemeinen Feldtheorie oder ähnliche Gleichungssysteme gegeben ist.

16. „Existenz einer Weltformel“ als Sinn des Kausalgesetzes.

Wenn man aber keine bestimmte Annahme über die Weltformel machen will oder kann, so ist es auch möglich, den Satz „Alles ist vorherbestimmt“ dadurch zu einer Aussage über die wirkliche Welt zu machen, daß man ihm in folgender Weise konkrete Erlebnisse zuordnet: „Die wirklichen Menschen sind imstande, aus den gegenwärtigen Erlebnissen die zukünftigen vorherzusagen und werden das mit dem Fortschritte der Wissenschaft immer besser können.“ Hier liegt unstreitig ein Wirklichkeitssatz vor, der aber dafür die Vorausbestimmtheit nur in einem sehr engen und etwas unbestimmten Sinn behaupten kann. Wir sehen schon hier, was uns noch oft begegnen wird, daß wir jede Annäherung an die Wirklichkeit bei allgemeinen Sätzen mit einer gewissen Unbestimmtheit bezahlen müssen, wenn wir vor dem Hinübergleiten ins Tautologische sicher sein wollen.

Man kann im vorhinein sagen, daß diese Vorausbestimmtheit ihre Grenze haben muß: der Mensch kann seinen eigenen Zustand, z. B. die genaue Lage und Geschwindigkeit seiner Hirnmoleküle nicht beobachten, ohne ihn dadurch zu verändern. Es kann also keine Weltformel geben, die es mir gestattet, aus meinen gegenwärtigen Erlebnissen die zukünftigen wirklich genau vorherzusagen, worauf schon M. Planck und N. Bohr aufmerksam gemacht haben. Nur in dem Grenzfall, daß man sein eigenes Ich aus dem Weltverlauf ausschalten kann, wird eine solche Voraussage möglich. Wir empfinden eine derartige Zukunft, die ohne Kenntnis des eigenen Zustandes vorhergesagt werden kann, als ein uns aufgezwungenes Schicksal. Dieser Umstand führt wohl dazu, daß das Gefühl der „Willensfreiheit“ in dem Grenzfall, wo die Zukunft sich vorhersagen läßt, verschwindet und in das Gefühl des Zwanges

übergeht. Wenn ein zum Tode verurteilter Verbrecher gefesselt auf den elektrischen Stuhl gesetzt wird, so kann er mit ziemlicher Sicherheit seine Zukunft prophezeien. Ihm ist sein Schicksal auch im Sinne einer Aussage über die wirkliche Welt ohne Annahme einer überweltlichen Intelligenz „vorherbestimmt“.

Wir sehen also, daß die Vorherbestimmtheit der Zukunft einen wissenschaftlichen Sinn nur dann hat, wenn wir sie mit der Frage der wissenschaftlichen Vorhersage in Beziehung bringen. In dieser sieht auch M. Schlick mit Recht den eigentlichen wissenschaftlichen Sinn des Kausalgesetzes.

17. Der Konventionalismus und seine Bedeutung.

Die Auffassung, daß die allgemeinsten Sätze der exakten Wissenschaft eigentlich nichts über die wirkliche Welt aussagen, sondern tautologischen Charakter haben, wurde am stärksten von den Anhängern des sogenannten Konventionalismus betont. Diese sahen im Energiegesetz, Trägheitsgesetz usw. nur Verabredungen, Konventionen, über den Gebrauch gewisser Worte. Wie man das Trägheitsgesetz als eine Konvention über den Gebrauch des Wortes „ohne äußeren Einfluß vor sich gehende Bewegung“ auffassen kann, haben wir schon im Abschn. 12 gesehen. Wenn man den Energiesatz in der üblichen Form „Die Energie eines abgeschlossenen Systems bleibt konstant“ ausspricht, so kann man leicht dazu kommen, diesen Satz als eine bloße Definition des Wortes „Energie“ aufzufassen; wenn nämlich das, was man gewöhnlich als Energie bezeichnet, nicht mehr konstant bleibt, so kann man immer behaupten, daß sich eine noch unbekannte Form der Energie geändert hat, so daß die Summe aus bekannter und unbekannter Energieform trotzdem konstant bleibt. M. Planck hat daher, um den Energiesatz als einen unbestreitbaren Wirklichkeitssatz auszusprechen, ihn so formuliert: Wenn ein System einen Kreisprozeß durchläuft, so kann es dabei keine mechanische Arbeit abgeben. Dabei läßt sich der Ausdruck „mechanische Arbeit“ auf wirklich meßbare Größen zurückführen. Aber auch diese Formulierung ist nicht ohne Gefahr eines Gleitens ins Tautologische. „Kreisprozeß“ heißt ja „Wiederkehr zum Anfangszustand.“ Man kann aber die Gleichheit zweier Zustände nicht durch ein einfaches Beobachtungsverfahren feststellen. Es bliebe genau so wie bei der anderen Formulierung immer noch die Behauptung

übrig, daß der Endzustand nur scheinbar dem Anfangszustand gleich, in Wirklichkeit aber ein Zustand kleineren Energieinhaltes ist; und das könnte man sagen, sooft Arbeit nach außen abgegeben wird.

Man muß also zu der Planckschen Formulierung noch hinzufügen, daß ein Kreisprozeß durch wenige Messungen als solcher festgestellt werden kann, daß also schon durch die Wiederkehr der Werte einer kleinen Zahl von Zustandsgrößen die Leistung mechanischer Arbeit nach außen ausgeschlossen sein soll. Damit erhält aber der Satz eine Unbestimmtheit, die nicht ganz beseitigt werden kann. Der Konventionalismus hat also damit recht, daß der Energiesatz entweder nur für eine beschränkte Gruppe von Erscheinungen, wie z. B. Bewegung und Wärme ausgesprochen werden kann, wo er eine wirkliche Beziehung zwischen meßbaren Größen ist oder, wenn er allgemein gefaßt wird, als ein Satz über die wirklichen Erlebnisse nur formuliert werden kann, wenn eine gewisse Unbestimmtheit ihm anhaften bleibt. Es ist das große Verdienst des Konventionalismus, den tautologischen Charakter der allgemeinsten Sätze der Physik in der Form, wie sie gewöhnlich ausgesprochen wurden, erkannt zu haben. Diese Feststellung ist auch niemals widerlegt worden. Im Gegenteil: Erst die Feststellung dieses tautologischen Charakters hat dazu geführt, daß man sich bemühte herauszuschälen, was für Aussagen über die wirkliche Welt in jenen Sätzen stecken. Wenn man heute bei jeder Formulierung allgemeiner Sätze den größten Wert darauf legt, sich klarzumachen, was sie über die Welt der wirklichen Erlebnisse aussagen, so ist das dem Konventionalismus zu verdanken, wie er unter den Physikern am schärfsten und wirksamsten von H. Poincaré vertreten wurde.

Diese Erkenntnis des wahren Charakters der physikalischen Sätze hat dazu geführt, daß heute neue Theorien, die auch an den allgemeinsten Sätzen rühren, viel eher Anklang finden können als früher. An den Unterschied zwischen der tautologischen Gestalt, in der die Sätze der Euklidischen Geometrie und der Newtonschen Mechanik früher aufzutreten pflegten und den Aussagen über die Wirklichkeit, die hinter diesen Sätzen stecken, konnte die Einsteinsche Relativitätstheorie anknüpfen. Ohne die Auflockerung des Bodens durch die Kritik eines Poincaré wäre die Saat der neuen Physik nur sehr schwer aufgegangen.

Einstein selbst hat in seinem Büchlein „Geometrie und Erfahrung“ den Unterschied zwischen tautologischen und Wirklichkeitssätzen in der Geometrie am schärfsten auseinandergesetzt.

18. Die Auffassung der Wissenschaft durch H. Dingler.

Eine Weiterbildung des Konventionalismus in gewissem Sinne sind die Auffassungen von H. Dingler. Ich glaube, daß an diesen sehr viel Berechtigtes ist und daß sie vielleicht in den Kreisen der Physiker nicht die verdiente Beachtung gefunden haben, was zum Teil mit Mängeln zusammenhängt, über die auch Einiges gesagt werden soll. Nach Dingler bilden die Sätze der exakten Wissenschaft nicht ein System von Aussagen, sondern ein System von Handlungsanweisungen. Die Gesetze der Geometrie sprechen darüber, wie Körper verfertigt werden müssen, um den euklidischen Axiomen zu genügen. Die Sätze der Newtonschen Mechanik sind Anleitungen zur Herstellung von starren Maßstäben und Uhren, an denen abgelesen die nach den Regeln der Geometrie angefertigten starren Körper sich eben nach den Newtonschen Bewegungsgesetzen bewegen. Die Sätze der Geometrie und Mechanik selbst werden nach Dingler aus Prinzipien der Einfachheit abgeleitet. Die Physik behandelt dann die manuellen Methoden, nach denen die Körper hergestellt werden müssen, um jenen einfachen Gesetzen zu genügen. Es kann daher durch keinen Fortschritt der Wissenschaft das nach diesen Grundgesetzen aufgebaute System von Sätzen, das Dingler als F-System (Fundamentalsystem) bezeichnet, je erschüttert werden. Und die Aufgabe der gesamten Wissenschaft besteht darin, an dieses F-System immer neue Teile anzuschließen.

Wenn auch durchaus zugegeben werden muß, daß es richtig ist, die physikalischen Sätze als ein System von Handlungsanweisungen aufzufassen, so scheint es mir doch nicht sicher zu sein, ob wirklich aus den Prinzipien der Einfachheit allein sich eindeutig ein bestimmtes System von Gesetzen herleiten läßt, auf Grund dessen die Anleitung zur manuellen Herstellung der Körper, von denen die Physik spricht, erfolgt. Man wird bald stutzig, wenn man liest, daß nach Dingler z. B. die Relativitätstheorie und die Quantentheorie an das F-System nicht angeschlossen sind und infolgedessen Teile der Physik bilden, die nicht so vollkommen sind wie die klassische Mechanik.

Vom Standpunkt Dinglers scheint man ganz folgerichtig schließen zu können: Da die physikalischen Apparate nach den Regeln der klassischen Physik hergestellt sind, wäre es ein Widerspruch, mit ihnen die Relativitätstheorie oder Quantenmechanik verifizieren zu wollen. Wir müssen vielmehr suchen, jede Erscheinung in das System der klassischen Mechanik einzuordnen, weil wir sonst kein System von Sätzen erhalten können, das als logisch zusammenhängendes Ganzes die Herstellung der Apparate wie die Versuche mit ihnen umfaßt. Dieser Gedankengang übersieht aber etwas sehr Wichtiges.

Man hat ja schon oft bezweifelt, ob man die Gesetze der Nicht-Euklidischen Geometrie experimentell nachprüfen könne, da ja alle Meßinstrumente nach den Regeln der Euklidischen Geometrie hergestellt sind. Diese letzte Behauptung ist aber nicht vollkommen richtig. Die Ausdehnung eines gewöhnlichen starren Maßstabes z. B. ist so gering, daß hier der Unterschied zwischen Euklidischer und Nicht-Euklidischer Geometrie noch gar keine Rolle spielt, die Herstellung ist also gewissermaßen neutral. Wenn man aber kleine Maßstäbe genügend oft aneinanderlegt, so kann man untersuchen, ob z. B. dadurch beliebig große Rechtecke (d. h. Vierecke mit lauter rechten Winkeln) erzeugt werden können oder nicht.

Dasselbe gilt beim Übergang von der klassischen Physik zur Relativitätstheorie und Quantentheorie. Die erstere weicht nur bei sehr großen, die zweite nur bei sehr kleinen Dimensionen von der klassischen Physik ab. Die Herstellung unserer Meßinstrumente setzt aber die Gültigkeit der klassischen Theorien nur bei mittleren Dimensionen voraus. Das genügt aber schon, um mit ihnen die Versuche anstellen zu können, die zur Bestätigung der neuen Theorien notwendig sind, wie H. Reichenbach sehr treffend auseinandergesetzt hat.

Es kann sich also zeigen, daß die Gesetze, die Dingler auf Grund der Einfachheitsforderung für die Herstellung der Apparate als zweckmäßig ansieht, trotzdem nicht geeignet sind, für beliebige Dimensionen geeignete Verknüpfungsregeln für die beobachteten physikalischen Größen zu liefern. Es dürfte kaum möglich sein, wie Dingler es sich vorstellt, die ganze Physik auf Regeln zur manuellen Herstellung aufzubauen, da man auf diese Weise immer nur zu angenäherten Gesetzen kommen wird, die wohl einfach

sind, aber zur Darstellung der feineren Erscheinungen nur ausreichen würden, wenn man sehr verwickelte neue Hypothesen einführt. Es dürfte also nichts übrig bleiben, als die Physik mit Hilfe eines Systems von Beziehungen zwischen Symbolen aufzubauen und die Handlungsanweisungen nur in die Zuordnungsgesetze zwischen Symbolen und Erlebnissen zu stecken. Wenn Dingler diese etwas vagen Zuordnungsgesetze in ein logisches System bringen will, mit Hilfe dessen, was er „geordnetes Systemdenken“ nennt, so ist das sicher sehr wünschenswert. Aber eine restlose Rationalisierung kann hier nicht möglich sein, und zwar aus zwei Gründen. Erstens wegen der Unmöglichkeit einer vollkommen eindeutigen Zuordnung von Symbolen zu den immer „verschwommenen“ Erlebnissen und zweitens aber aus dem Grunde, daß der Mensch, der das symbolische System aufstellt, auf der anderen Seite auch als Objekt in diesem symbolischen System auftreten muß.

Hier verfällt Dingler bereits in die Metaphysik, indem er das System als Schöpfung eines „freien“ Willens darstellt, während doch in Wirklichkeit der Schöpfer des Systems auch dem System angehören muß. Auch in der Behauptung von der Möglichkeit des ein für allemal feststehenden F-Systems nähert sich Dingler der Schulphilosophie. Denn unter der konventionalistischen Ausdrucksweise verbirgt sich hier jene „wahre“ Welt, die, wie wir später sehen werden, das eigentliche Kennzeichen der alten Schulphilosophie ist, mit der ja Dingler auch in konkreten Fragen, wie seiner Stellung zur Relativitätstheorie, oft stark übereinstimmt.

Trotz aller guten Gedanken scheint mir daher die Grundtendenz der Dinglerschen Auffassungen eine mehr nach rückwärts gewendete zu sein, wie sie sich ja auch in dem Titel seiner bekanntesten Schrift „Der Zusammenbruch der Wissenschaft und der Primat der Philosophie“ ausdrückt.

19. Schwierigkeiten bei der Feststellung reiner Tautologien.

Wir haben uns klar gemacht, daß zur Feststellung des Sinnes sehr allgemeiner wissenschaftlicher Sätze es vor allem wichtig ist, genau zu erkennen, welche Sätze tautologische sind. Wir haben bisher immer vorausgesetzt, daß man derartige Sätze auch wirklich als solche feststellen kann. Es soll aber zum Schluß doch nicht

verhehlt werden, daß hier noch eine Schwierigkeit besteht. Tautologische Sätze sagen nichts über die Welt der Erlebnisse aus, sondern nur über die Art, wie wir die Erlebnisse bezeichnen und handeln von den Beziehungen zwischen den verschiedenen Bezeichnungen derselben Erlebnisse. Nun kann aber doch kein Zweifel darüber bestehen, daß die Bezeichnung eines Erlebnisses auch ein Vorgang in der wirklichen Welt ist und daß man im vorhinein nicht ausschließen kann, daß die Art der Bezeichnung auf die Vorgänge in der wirklichen Welt von Einfluß ist.

Ich stelle z. B. den Satz auf: Wenn ich in den Sätzen, welche die Zeichen $+$ und $-$ definieren, diese Zeichen vertausche, so bleiben alle Aussagen über die wirkliche Welt, in denen die Zeichen $+$ und $-$ vorkommen, richtig, wenn ich in ihnen nur dieselbe Vertauschung der Zeichen vornehme. Dieser Satz hat ganz die Form eines tautologischen Satzes. Er scheint richtig zu sein, wie sich auch die wirkliche Welt verhalten mag. Aber dabei wird doch das folgende als selbstverständlich angenommen: dadurch, daß ich die Zeichen $+$ und $-$ vertausche, wird an der wirklichen Welt nicht zugleich noch etwas anderes geändert. Man nimmt stillschweigend an, daß sich diese Zeichenveränderung von allen übrigen Vorgängen isolieren läßt.

Daß eine solche Annahme aber nicht selbstverständlich ist, sieht man sofort, wenn man an ganz extreme Fälle denkt. Ich denke mir z. B. den folgenden Satz aufgestellt: Wenn ich an Stelle der Farben Schwarz-Weiß-Rot die Farben Schwarz-Rot-Gold als Reichsfarben erkläre, so gelten alle Aussagen über die wirkliche Welt, in denen die Reichsfarben Schwarz-Weiß-Rot vorkommen nach der Bezeichnungsänderung für die Reichsfarben Schwarz-Rot-Gold. Kein Mensch wird diesen Satz glauben, obwohl er äußerlich die Form der tautologischen Sätze hat. Hier ist aber jedem klar, daß die Voraussetzung nicht stimmt, nach der die Zeichengebung ohne Einfluß auf die wirklichen Vorgänge sein soll.

Zwischen diesen extremen Fällen, wo der Einfluß der Bezeichnung ohne weiteres einleuchtet und dem anderen mit $+$ und $-$, wo die Einflußlosigkeit der Zeichen klar zu sein scheint, liegen aber alle möglichen Zwischenfälle. Ich stelle z. B. den Satz auf: Wenn ich die Bezugssysteme, in bezug auf welche die Newtonschen Bewegungsgleichungen gelten, nicht „Inertialsysteme“, sondern

„absolut ruhende Systeme“ nenne, so gelten alle Sätze über die Wirklichkeit, in denen das Wort „Inertialsystem“ vorkommt, auch weiter, wenn man in ihnen nur das Wort „Inertialsystem“ durch „absolut ruhendes System“ ersetzt. Ob dieser Satz wirklich richtig ist, ganz unabhängig davon, was in der Welt vorgeht, scheint mir keineswegs zweifellos.

Wenn ich z. B. den Satz nehme: „das Inertialsystem hat keinerlei Beziehung zum Begriff des Absoluten“, so ist wohl klar, daß in diesem Satz „Inertialsystem“ nicht durch „absolut ruhendes System“ ersetzt werden kann, ohne die Richtigkeit des Satzes zu zerstören. Hier wird man aber leicht einwenden, daß der fragliche Satz nicht über den mit dem Wort „Inertialsystem“ gemeinten Gegenstand, sondern über das Wort „Inertialsystem“ etwas aussagt. Dieser Unterschied scheint hier leicht erkennbar zu sein, aber er läßt sich wohl kaum allgemein scharf formulieren, wenn man nicht die Unabhängigkeit der Zeichengebung von allen anderen Vorgängen auf der Welt voraussetzt.

Ich stelle z. B. den Satz auf: In Inertialsystemen lassen sich dauerhafte menschliche Siedlungen errichten. Gleichzeitig stelle ich den Satz als richtig auf, der ja durchaus im Bereich des Möglichen liegt: alles was an den „Absolutismus“ erinnert, flößt sehr vielen Menschen einen Abscheu ein. Es ist klar, daß man dann nicht wird behaupten können, daß sich absolut ruhende Systeme zu menschlichen Siedlungen eignen. Man kann dagegen wieder einwenden, daß sie sich eignen würden, wenn die Menschen nicht wüßten, wie sie heißen. Aber diese Möglichkeit zulassen heißt ja wieder nichts anderes als voraussetzen, daß die Namengebung ein Vorgang ist, der sich von allen anderen isolieren läßt. Wir wollen die Möglichkeit einer solchen Isolierung im folgenden auch ruhig annehmen und unbedenklich alle Sätze in tautologische und Aussagen über die Wirklichkeit einteilen. Ich wollte nur gleich am Anfang darauf hinweisen, daß in dieser Einteilung schon eine gewisse Schwierigkeit liegt.

II. Die schärfste Formulierung des Kausalgesetzes: Laplace's Forderung einer Weltformel.

1. Inhalt der Laplaceschen Forderung.

Laplace hat seiner ausführlichen Darstellung der Wahrscheinlichkeitsrechnung eine Einleitung vorangeschickt, die eine Weiterentwicklung einer Vorlesung ist, die er im Jahre 1795 gehalten hat, als er zusammen mit Lagrange vom Nationalkonvent zum Professor der Mathematik an der école normale ernannt worden war.

Da Laplace seine Wahrscheinlichkeitstheorie auf den Gegensatz zwischen vollkommener und unvollkommener Kenntnis gründet, beginnt er mit der Schilderung dessen, was man unter einer ideal vollständigen Kenntnis der Welt zu verstehen hätte. Er sagt:

„Eine Intelligenz, der in einem gegebenen Zeitpunkt alle in der Natur wirkenden Kräfte bekannt wären und ebenso die entsprechenden Lagen aller Dinge, aus denen die Welt besteht, könnte, wenn sie umfassend genug wäre, alle diese Daten der Analyse zu unterwerfen, in einer und derselben Formel die Bewegungen der größten Körper des Weltalls und die der leichtesten Atome zusammenfassen; nichts wäre für sie ungewiß, und die Zukunft wie die Vergangenheit wäre ihren Augen gegenwärtig.

Der menschliche Geist liefert in der Vollkommenheit, die er der Astronomie zu geben wußte, eine schwache Skizze dieser Intelligenz . . . Alle seine Anstrengungen in dem Suchen nach Wahrheit zielen dahin, ihn unaufhörlich jener Intelligenz zu nähern, die wir geschildert haben, aber er wird immer unendlich weit von ihr entfernt bleiben.“

Wenn man den Sinn der Laplaceschen Forderung genau verstehen will, muß man bedenken, daß unter den „in der Natur wirkenden Kräften“ nicht etwas so Vages gemeint ist, wie man es nach dem Wortlaut glauben könnte. Sondern Laplace stellte sich vor, daß man das ganze Naturgeschehen durch Differentialgleichungen beherrschen könne, die analog den Gleichungen der Newtonschen Mechanik gebaut sind. Durch diese Gleichungen sind also die Beschleunigungen der Massenpunkte, in die sich alle Körper schließlich zerlegen lassen, als Funktionen ihrer gegenseitigen Entfernungen und Relativgeschwindigkeiten gegeben.

Unter „wirkenden Kräften“ sind dann eben diese Funktionen der Geschwindigkeiten und Entfernungen zu verstehen, so wie man in der Theorie der Gravitation nach Newton die Beschleunigung der Planeten als bestimmt durch die „Gravitationskraft“ ansieht, die dem Quadrat der gegenseitigen Entfernung der Massen verkehrt proportional ist. Bei anderen Phänomenen treten dann nach Laplace andere Funktionen der Entfernungen auf, ohne daß der Begriff der Kraft eine andere Bedeutung hätte als in der Newtonschen Mechanik.

Die das Geschehen regelnden Gleichungen sind dann wie bei Newton Differentialgleichungen zweiter Ordnung für die Lagekoordinaten der Massen als Funktionen der Zeit. Es ist also eine Lösung eindeutig bestimmt, wenn zu einer bestimmten Zeit Lagen und Geschwindigkeiten der Massenpunkte bekannt sind. Wenn man also diese Größen für alle Massenpunkte der Welt kennt, außerdem die Kräfte, d. h. die genaue Gestalt der Differentialgleichungen, so kann man aus der Kenntnis der Lagen und Geschwindigkeiten zu einer Zeit, wenn man die Differentialgleichungen integrieren kann, die Lagen und Geschwindigkeiten zu jeder Zeit berechnen.

Wenn wir die Lagen und Geschwindigkeiten der Massen kurz als die den Zustand der Welt bestimmenden Größen bezeichnen, so können wir sagen:

Nach der Laplaceschen Forderung ist durch den gegenwärtigen Zustand der Welt dieser Zustand für alle vergangenen und zukünftigen Zeitpunkte bestimmt, da er aus den diesen Zustand bestimmenden Größen eines Zeitpunktes für alle Zeitpunkte berechenbar ist.

Diese Bestimmtheit des ganzen Weltverlaufes durch den gegenwärtigen Zustand bildet den Inhalt des Kausalgesetzes in der ihm von Laplace gegebenen Form. Diese Formulierung ist wohl die schärfste und bestimmteste, die ihm je gegeben wurde.

2. Die Rolle der übermenschlichen Intelligenz in der Laplaceschen Formulierung.

Wenn man die Laplacesche Formulierung genau ansieht, so fällt sofort auf, daß darin die Vorausbestimmtheit der Zukunft durch die Gegenwart nur die Vorausbestimmtheit für eine höhere als die menschliche Intelligenz ist.

Eine oft zitierte Anekdote erzählt bekanntlich, daß Laplace auf die Frage Napoleons, welches denn die Rolle Gottes in seiner Himmelsmechanik sei, geantwortet habe: „Majestät, ich brauche diese Hypothese nicht.“

Was also Laplace für die Himmelsmechanik nicht brauchte, das benutzte er zur Formulierung des allgemeinen Gesetzes der Vorausbestimmtheit in der Natur. Er konnte dieses, wie wir gesehen haben, nur mit Hilfe der Vorstellung von einer Intelligenz, die mit übermenschlichen Fähigkeiten begabt ist, aussprechen.

Er glaubte aber offenbar, daß die Einführung dieser allumfassenden Intelligenz nur eine Sache der Ausdrucksweise sei und daß man denselben Gedanken auch ohne diese Hilfe ausdrücken könne.

Es hat sich aber schon oft gezeigt, daß beim Abtragen des Gerüstes das Gebäude selbst eingestürzt ist oder, um es ohne Gleichnis zu sagen, daß bei der Darstellung sehr allgemeiner Gedanken mit der Weigerung, gewisse bildliche Ausdrucksweisen zu gebrauchen, der Gedanke selbst seinen realen Sinn verloren hat.

So ist auch hier die Möglichkeit nicht im vorhinein abzulehnen, daß man ohne Einführung des allumfassenden Geistes den Laplaceschen Gedanken überhaupt nicht scharf ausdrücken kann. Vielleicht bekommt dieser Gedanke, wenn man an Stelle der übermenschlichen Intelligenz eine bloß menschliche setzt, einen ganz anderen Inhalt.

3. Was sagt die Laplacesche Forderung über die wirkliche Welt aus?

Um uns klarzumachen, was die Laplacesche Forderung über die wirkliche Welt aussagt, müssen wir uns klarzumachen suchen, wie die Welt beschaffen sein müßte, wenn Laplace unrecht hätte.

Nur so können wir uns davor schützen, den Satz als einen tautologischen aufzufassen. Da Laplace zunächst gar nicht von der wirklich erlebten Welt spricht, sondern von Massenpunkten, die nur in unserem physikalischen Bild von der Welt auftreten, zerlegt sich die Frage nach den Konsequenzen der Laplaceschen Forderung für unsere wirklichen Erlebnisse von selbst in zwei Fragen:

a) In welchen Beziehungen stehen die Massenpunkte zu der von uns erlebten Welt?

b) Was bedeutet für die Massenpunkte selbst die Bestimmtheit

ihrer zukünftigen Lage und Geschwindigkeit durch die gegenwärtige, wenn wir statt einer übermenschlichen nur eine menschliche Intelligenz einführen?

Wir beginnen mit der zweiten Frage, die viel einfacherer Natur ist. Unter Massenpunkt ist dabei eine in einem mathematischen Punkt konzentrierte endliche Masse zu verstehen.

4. Was bedeutet die „Lage“ eines Massenpunktes?

Beim Begriffe der „Lage“ eines Massenpunktes pflegt man zwischen absoluter und relativer Lage zu unterscheiden. Man sagt etwa: die absolute Lage der Massenpunkte ist durch Angabe ihrer Koordinaten in einem gemeinsamen ausgezeichneten Koordinatensystem bestimmt, die relative Lage durch Angabe der Entfernungen der Massenpunkte voneinander.

Das ist nicht vollkommen richtig ausgedrückt. Wenn wir z. B. nur einen einzigen Massenpunkt vor uns haben, läßt sich seine Lage in bezug auf ein Koordinatensystem bestimmen, indem man etwa seine drei rechtwinkligen Koordinaten in diesem System angibt. Das sind aber seine Entfernungen von drei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen. Wenn man keine solchen Ebenen hinzudenkt, hängt der Begriff der absoluten Lage vollkommen in der Luft.

Hat man hingegen zwei Massenpunkte vor sich, so ist der Begriff ihrer Entfernung, wie oft gesagt wird, ganz unabhängig von jedem Bezugssystem, das man etwa hinzudenkt, definierbar. Wie schon H. Weyl bemerkt hat, ist diese Behauptung auch nicht zutreffend. Der Unterschied zwischen zwei Massenpunkten, die ihre Entfernung ändern, und solchen, die sie nicht ändern, läßt sich nur durch Verwendung eines starren Maßstabes definieren, mit dem die Entfernung gemessen wird. Wann nenne ich aber einen Maßstab „starr“? Wenn die Massenpunkte, aus denen er besteht, ihre Entfernung nicht ändern. So aber entsteht offenbar ein Zirkel. Ich kann also von zwei Massen m_1 und m_2 nicht aussagen, daß sie ihre Entfernung ändern oder nicht, wenn ich nicht noch außerdem einen bestimmten konkreten Maßstab aufweise, den ich durch physikalische Versuche als starr festgestellt habe. Deshalb hat auch der Begriff der „Entfernung zweier Massen m_1 und m_2 “ an sich keine Bedeutung, sondern nur in bezug auf einen als starr definierten Maßstab.

Unter der Lage eines Systems von Massenpunkten kann also nichts anderes verstanden werden als die Koordinaten dieser Massen in bezug auf irgendein Koordinatensystem. Dabei bleibt die Frage, wie dieses Koordinatensystem hergestellt werden kann, zunächst offen. Diese Frage ist aber nicht etwa trivial, sondern im Gegenteil unermesslich kompliziert. Denn in ihr steckt nicht nur die Frage nach dem Bewegungszustand und der Lage des Systems in bezug auf die beobachtbaren Massen, sondern auch noch die Frage, wie man die Starrheit des Achsensystems kontrollieren soll.

Man kann also nur versuchsweise vorgehen. Man muß derartige Systeme herstellen und dann zusehen, ob sich für die Lagen und Geschwindigkeiten der beobachtbaren Massenpunkte in bezug auf derartige Koordinatensysteme eine einfache Gesetzmäßigkeit der Veränderung im Laufe der Zeit ergibt. Schon in der Definition des Bezugssystems steckt also der Begriff der „einfachen“ Gesetzmäßigkeit. Denn nur in einem abstrakten, mathematischen Raum, der z. B. durch die Euklidischen Axiome definiert ist, kann man einfach sagen: wir verstehen unter der Lage eines Punktes die Angabe seiner Koordinaten in bezug auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem. Im wirklichen Raum müssen wir das Koordinatensystem und die Maßstäbe, mit deren Hilfe die Abstände von den Koordinatenebenen gemessen werden, als konkrete physische Dinge aufweisen können, um den Aussagen über Lagen von Massenpunkten einen physikalischen Sinn zu geben. Wir wollen aber hier der Frage des Bezugssystems nicht weiter nachgehen, da sie uns unserem Hauptthema nicht näherbringt, sondern vorläufig annehmen, diese Frage sei bereinigt und man könne einen physikalischen Sinn mit dem Begriff der Lage eines Massenpunktes verbinden.

5. Laplaces Hypothese und Newtonsche Mechanik.

Die Laplacesche Hypothese lautet mathematisch formuliert folgendermaßen: ein allumfassender Geist, dem die Anfangslagen und Geschwindigkeiten aller Massenpunkte der Welt bekannt wären, könnte diese Größen für alle Zeiten berechnen, indem er die Newtonschen Bewegungsgleichungen mit den gegebenen Größen als Anfangsbedingungen auflöst, d. h. integriert. Dem Geiste, den Laplace annimmt, müssen also bestimmte Bewe-

gungsgleichungen vorliegen. Diese müßten natürlich nicht gerade die Newtonschen sein, aber doch mit ihnen so viel Verwandtes haben, daß wir kein wesentliches Problem unter den Tisch fallen lassen, wenn wir die Laplacesche Hypothese unter Zugrundelegung der Newtonschen Bewegungsgleichungen formulieren.

Da also der Laplacesche Geist nur die Aufgabe hat, unter Benutzung der Newtonschen Bewegungsgesetze die Zukunft vorherzusagen, müssen wir uns die Behauptungen, die in den Newtonschen Gleichungen zusammengefaßt sind, ganz klarzumachen versuchen.

Diese Behauptungen sind zweifacher Art.

1. Alle Bewegungen von Massenpunkten gehorchen Gesetzen, nach denen ihre Beschleunigungen in bezug auf ein Inertialsystem sich als Funktionen ihrer Lagen (eventuell Geschwindigkeiten) in bezug auf andere Massenpunkte der Welt darstellen lassen.

Oder ganz mathematisch formuliert: jedes Teilchen gehorcht Bewegungsgleichungen der Form

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = X, \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = Y, \quad m \frac{d^2z}{dt^2} = Z,$$

wobei m die Masse des Teilchens bedeutet, x, y, z seine rechtwinkligen Koordinaten in bezug auf ein Inertialsystem, t die Zeit und X, Y, Z Funktionen der Lage des Teilchens in bezug auf die anderen Teilchen der Welt sind. Dabei ist gar nichts darüber ausgesagt, was für eine Art von Funktionen die X, Y, Z sind. Auf jeden Fall folgt aber aus diesen Annahmen, daß aus der Angabe der Lagen und Geschwindigkeiten der Massenpunkte für irgendeinen Zeitpunkt diese Größen sich für irgendeinen anderen Zeitpunkt der Zukunft oder Vergangenheit berechnen lassen.

Der Laplacesche Geist muß nun mit Hilfe seiner übermenschlichen Fähigkeiten dreierlei leisten: er muß die Anfangslagen aller Massenpunkte der Welt kennen, er muß die Gestalt aller Funktionen X, Y, Z für alle Massen kennen, und er muß endlich aus der Kenntnis der Anfangsbedingungen und der Funktionen X, Y, Z die Lagen zu einer beliebigen Zeit berechnen, d. h. die Newtonschen Bewegungsgleichungen bei beliebigen Anfangsbedingungen und beliebigen „Kraftgesetzen“ integrieren können.

Wenn die Funktionen X, Y, Z wirklich ganz beliebige Funktionen sein sollen, wie es die erste Behauptung der Newtonschen

Mechanik zuläßt, so könnten sie dem menschlichen Geist gar nicht in faßbarer Form gegeben sein. Denn eine beliebige Funktion ist nichts anderes als die Zuordnung irgendwelcher Zahlen zu den Werten des Argumentes, also hier der Raumkoordinaten x, y, z . Wenn man sich also diese Funktionen, d. h. in der Sprache der Newton'schen Mechanik, die „Kraftgesetze“, gegeben denkt, muß man sie sich so gegeben denken, daß sie nicht nur dem übermenschlichen Laplace'schen Geist, sondern auch dem Menschen für die wirkliche Verwendung erfaßbar und brauchbar sind. Das geschieht durch die weitere Behauptung der Newton'schen Mechanik. Diese sagt nämlich:

2. Die Kräfte sind in der Richtung der Verbindungslinie der Massenpunkte wirksam und dem Quadrat des Abstandes zwischen ihnen verkehrt proportional. Oft wird auch im Anschluß daran in Verallgemeinerung dieses Ansatzes angenommen, daß die Kraftgesetze andere Potenzen des Abstandes enthalten.

Wenn man die Newton'sche Mechanik in ihren beiden wichtigsten Behauptungen zugrunde legt, kann man die Laplace'sche Forderung so aussprechen, daß die Rolle der übermenschlichen Intelligenz wesentlich eingeschränkt wird. Die Funktionen X, Y, Z , die „Kraftgesetze“, sind dann in einer dem menschlichen Geist faßbaren Weise gegeben, und die Laplace'sche hypothetische Intelligenz muß nur mehr die Anfangslagen aller Massen kennen und die Bewegungsgleichungen bei verhältnismäßig einfachen bekannten Kraftgesetzen integrieren.

Ganz anders wird aber die Frage, wenn wir die zweite Behauptung Newton's, die bestimmte Angabe der Kraftgesetze, fallen lassen. Dann wird es wesentlich schwerer, die Laplace'sche Forderung ohne Einführung der übermenschlichen Intelligenz zu formulieren.

6. Sinn der Laplace'schen Forderung für eine menschliche Intelligenz.

Wenn man nämlich über die Kraftgesetze gar keine Angabe macht, sagt die Newton'sche Behauptung nicht mehr aus, als daß die Bewegung der Massenpunkte so beschaffen ist, daß in jedem Moment die Beschleunigung derselben durch ihre Lage und Geschwindigkeit gegeneinander „bestimmt“ ist. Es wird aber nicht gesagt, auf welche Weise diese Beschleunigung bestimmt ist. Wenn weiter nichts hinzugefügt wird, ist eigentlich damit nur die

Bestimmtheit der Vergangenheit und Zukunft durch Lage und Geschwindigkeit als Anfangszustand ausgesprochen. „Vorausbestimmtheit“ ohne Angabe der Art der Vorausbestimmtheit hat aber nur für einen allumfassenden Geist einen Sinn.

Sie bedeutet dann: einem allumfassenden Geist ist es möglich, aus der Kenntnis des gegenwärtigen Zustandes den zukünftigen vorherzusagen. Für einen endlichen Geist aber könnte diese Vorausbestimmtheit nur bedeuten: wenn derselbe Anfangszustand wiederkehrt, entwickelt sich auch daraus dieselbe Reihe von zukünftigen Zuständen wie bei seinem ersten Auftreten. Eine solche Behauptung hätte aber nur einen Sinn für eine periodische Welt mit einer ewigen Wiederkehr des Gleichen.

Um die Laplacesche Forderung für einen endlichen Geist sinnvoll zu machen, muß man die Willkürlichkeit der Funktionen X, Y, Z , der „Kraftgesetze“, einschränken. Man wird etwa die Behauptung aufstellen müssen: schon durch den Ansatz der Kraftgesetze als dem menschlichen Geist einfach faßbare Funktionen kann man aus der Integration der Bewegungsgleichungen gute Darstellungen der in der Wirklichkeit beobachtbaren Bewegungen erzielen. Es ist wichtig zu beachten, daß die Annahme einfacher Funktionen dabei unentbehrlich ist, wenn die „Vorausbestimmung“ für einen endlichen Geist einen Sinn haben soll.

Da die Welt ja nur einmal existiert, ist die Vorausbestimmtheit in dem Sinne, daß es nur eine Funktion der Zeit gibt, welche die Lage der Teilchen richtig darstellt, in jedem Falle vorhanden und hat mit der Kausalität gar nichts zu tun. Eine Behauptung über Vorausbestimmtheit, die etwas über die wirkliche Welt aussagt, liegt nur dann vor, wenn man diese Funktionen in angebarbarer Weise berechnen kann. Wenn wir aber für die X, Y, Z beliebig komplizierte Funktionen des Ortes zulassen, so könnte man ja gleich die Lagekoordinaten x, y, z zugrunde legen, die auf alle Fälle eindeutig bestimmt sind.

Der Sinn der Bewegungsgesetze kann nur darin bestehen, mit Hilfe einfacher Funktionen als Kraftgesetze nach bestimmten mathematischen Regeln komplizierte Bewegungsvorgänge vorauszusagen. Die Bedeutung der Entdeckung Newtons liegt gerade darin, daß die Kraftgesetze sich durch einfachere Funktionen ausdrücken lassen, als zur Beschreibung der Bewegungsvorgänge notwendig wären, wenn man direkt die Gestalt der Bahnkurven

angeben wollte. Diesen Sinn der Newtonschen Mechanik hat insbesondere R. v. Mises sehr klar herausgearbeitet.

7. Die Astronomie als Idealfall.

Das Ideal von Laplace, an dem er seine Forderung orientierte, war die Newtonsche Himmelsmechanik. Hier war es möglich, mit Hilfe des einfachen Kraftgesetzes $\frac{Mm}{r^2}$ die verwickelten Bewegungen der gestörten Planeten genau zu berechnen. Ähnliche Kraftgesetze wie für die Anziehung der Weltkörper hoffte Laplace für die Kohäsionskräfte der Materie, für die Wechselwirkung elektrischer und magnetischer Ladungen aufstellen zu können. Und in der Tat bestand ein großer Teil der physikalischen Forschung des neunzehnten Jahrhunderts in dem Suchen nach solchen Funktionen.

Der Beweis für die Unauffindbarkeit solcher Funktionen läßt sich natürlich nicht führen; nur die steigende Kompliziertheit zeigt die Unmöglichkeit der Durchführbarkeit des Laplaceschen Programms.

Laplace sagt:

„Die Bahn, welches ein einfaches Luft- oder Dampfmolekül beschreibt, ist in genau so sicherer Weise bestimmt wie die Planetenbahnen; die Unterschiede zwischen ihnen rühren nur von unserer Unwissenheit her.“

Man hielt den Satz, daß im Kleinen alles genau so vor sich gehe wie im Großen, oft für selbstverständlich. Man sieht, daß Laplace ihn als eine besondere, und zwar kühne Hypothese formuliert. Wir werden später sehen, daß unsere heutige Atomphysik diesen so harmlos klingenden Satz als unrichtig erkannt hat. Wir wollen dieser Frage hier nicht nachgehen und nur festhalten, daß für einen endlichen Geist ohne wirkliche Angabe der Kraftgesetze oder wenigstens der Forderung nach ihrer Einfachheit sich die Laplacesche Hypothese gar nicht formulieren läßt.

Die Suggestion, die von der Newton-Laplaceschen Himmelsmechanik ausging, war so groß, daß man auf lange Zeit hinaus unter dem Kausalgesetz nichts anderes verstehen konnte als die Laplacesche Formulierung. Der Fortschritt in der Anwendung des Kausalgesetzes auf die Naturerscheinungen bestand nach dieser Auffassung in der Auffindung neuer Kraftgesetze. Jede Schwie-

rigkeit, die sich der Darstellung der Naturerscheinungen mit Hilfe solcher Gesetze entgegenstellte, galt als Schwierigkeit in der kausalen Naturauffassung. Jeder Versuch, die Naturvorgänge auf andere Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen, galt als ein Angriff auf das Kausalitätsgesetz, als ein Versuch, „mystische“, „übernatürliche“ Kräfte in die Naturwissenschaft einzuführen.

Das Laplacesche Programm ist restlos eigentlich nur in der Himmelsmechanik durchgeführt worden. Hier war es einleuchtend, welche beobachtbaren Erscheinungen den Massenpunkten, von denen die Theorie handelt, eigentlich entsprechen. In den Himmelskörpern haben wir die Massen sinnenfällig vor uns. Ihre Entfernung ist so groß, daß man sie näherungsweise als Punkte betrachten konnte.

8. Endlich ausgedehnte Körper paßten nie in das Laplacesche Schema.

Wo man die Körper nicht als Massenpunkte betrachten konnte, wie z. B. bei der Wechselwirkung von Erde und Mond, mußte von allem Anfang an etwas an der Theorie geflickt werden. Man hat z. B. versucht, diese Körper als starr anzusehen oder als unzusammendrückbare Flüssigkeiten, um eine vorhandene mathematische Theorie anwenden zu können. Die erste dieser Annahmen bestand darin, daß die Körper aus Massenpunkten bestehen, deren Entfernung voneinander unveränderlich ist. Die zweite versuchte den Ansatz, daß die einzelnen Massenpunkte, aus denen die Körper bestehen, frei gegeneinander verschiebbar sind, wobei nur das Volumen unveränderlich bleibt und der Druck senkrecht auf der Oberfläche jedes Volumelements steht.

Aber nirgends gelang es, die Kräfte zwischen den Teilchen eines festen oder flüssigen Körpers wirklich als Funktion des Abstandes zu berechnen. In der Aufstellung des Begriffes eines festen Körpers oder einer Flüssigkeit lag im vorhinein ein Verzicht auf die Verfolgung der Bewegung jedes einzelnen Teilchens, wenn sein Anfangszustand gegeben war. An Stelle des Massenpunktes trat z. B. beim Mond der Schwerpunkt eines ausgedehnten Körpers. Die Vorstellung, daß man jeden einzelnen Massenpunkt des Mondes in seiner Bewegung aus seinem Anfangszustand berechnen könne, blieb nur als Forderung bestehen, aber die lebendige Wissenschaft selbst beschäftigte sich nicht mit ihr. Die den

Massenpunkten zugeordneten beobachteten Erscheinungen waren nicht mehr den einzelnen Massenpunkten zugeordnet, sondern einer ganzen Gesamtheit von Massenpunkten.

Es zeigte sich von Anfang an die Schwierigkeit, daß die Zuordnung zwischen den Massenpunkten und den beobachtbaren Erscheinungen sich nicht mit derjenigen Selbstverständlichkeit durchführen ließ, die der Newtonschen Himmelsmechanik ihre große Einfachheit und ihre grundlegende Bedeutung für die naturwissenschaftliche Weltauffassung verliehen hat. Wir müssen uns also von hier an auch schon mit der Frage a) beschäftigen, die wir im Abschn. 3 formuliert haben, nämlich mit der Frage, in welcher Beziehung denn die Massenpunkte, von denen die Newtonsche Mechanik spricht, mit den wirklich beobachtbaren Erscheinungen stehen.

Diese Schwierigkeit nannte man in ihrer ursprünglichen Gestalt oft die Frage nach der „Struktur“ der Materie. Der Zusammenhang der einzelnen Teilchen in den wirklichen Körpern war ein sehr mannigfaltiger, man unterschied bald feste, flüssige, plastische, spröde, sandartige usw. Körper, ohne daß man imstande gewesen wäre anzugeben, welche Kraftgesetze zwischen den Massenpunkten im Newtonschen Sinn diesen aus der Beobachtung stammenden Eigenschaften der Körper entsprechen.

9. Einführung kontinuierlicher Medien statt der Massenpunkte.

Man kam bald dazu, die festen Körper nicht als Gesamtheiten von Massenpunkten einzuführen, zwischen denen verschiedene Kraftgesetze bestehen, sondern als sogenannte „kontinuierliche Medien“. Mit dieser Einführung ist die Zuordnung von Massenpunkt (mit konzentrierter Masse) und beobachtbarer Erscheinung vollkommen aufgegeben. Die Masse wird als stetig ausgebreitet gedacht. Die Masse im einzelnen Raumpunkt ist Null. Nur die Dichte, d. h. der Quotient Masse/Volumen ist endlich.

Wenn man auch das Laplacesche Programm als Ausdruck des Kausalgesetzes festhielt, so waren die wirklich aufgestellten Gesetze doch solche, in denen eine Gesamtheit von Massenpunkten bzw. ein Integral über ein kleines Volumen mit den beobachtbaren Erscheinungen verknüpft war und nicht mehr der einzelne Massenpunkt.

Man dachte sich, daß in jedem solchen Volumenelement, dessen

Bewegung beobachtet werden kann, schon sehr viele Massenpunkte sind und daß daher in den Gesetzen, die in der Mechanik der Kontinua aufgestellt werden, nichts über einzelne Massenpunkte ausgesagt wird, sondern nur über eine Gesamtheit von Massenpunkten. Man nahm dabei trotzdem an, daß strenge Gesetze für die einzelnen Massenpunkte existieren. An denjenigen Stellen, wo man molekulare Theorien hatte, arbeitete man wohl mit Kraftgesetzen, aber man ließ diese sehr unbestimmt; z. B. sagte man einfach, daß die Kraftwirkung mit der Entfernung sehr rasch abnimmt, und ging dann sofort zur Mittelbildung über, aus der sich Gesetze für das Verhalten ganzer Volumenelemente ergaben, für die der genaue Ausdruck des Kraftgesetzes ohne Belang war. Die so erhaltenen Gesetze waren natürlich keine Gesetze im strengen Sinne der Laplaceschen Forderung.

10. Die Mechanik der Kontinua kennt keine Kausalität im Laplaceschen Sinne.

Die wirklich aufgestellten Gesetze, z. B. die Grundgleichungen der Hydrodynamik oder der Elastizitätslehre, erlauben in keiner Weise, aus der Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit der Teilchen die Zukunft derselben zu berechnen. Denn der Zustand des Systems wird durch Größen beschrieben, die sich durch Mittelbildung aus den Lagen und Geschwindigkeiten ergeben, wie z. B. die Dichte oder die Gestalt der Oberfläche. Aus diesen Größen für den gegenwärtigen Zeitpunkt lassen sich für die Zukunft auch wieder Dichte, Oberflächengestalt und ähnliche Größen mit Hilfe der hydrodynamischen Gesetze berechnen, wobei Lage und Geschwindigkeit der einzelnen Teilchen ganz unbestimmt gelassen werden. Ja es wurde nicht einmal gezeigt, ob denn die Annahme der kausalen Verknüpfung zwischen den Mittelwerten (Dichte usw.) überhaupt mit der Laplaceschen Annahme der kausalen Verknüpfung zwischen den Zuständen der Massenpunkte vereinbar ist.

So standen nebeneinander das Laplacesche Kausalgesetz für Massenpunkte, das nur durch Einführung eines allumfassenden Geistes formuliert werden konnte, da man ja die Kräftefunktionen nie wirklich kannte, und auf der anderen Seite die Kausalität in der wirklich angewendeten Mechanik fester und flüssiger Körper, in der nur Größen vorkamen, die der wirklichen Beobachtung näher lagen als Orte und Geschwindigkeiten der Massenpunkte.

Da es niemals logisch einwandfrei gelungen ist, die Bewegungsgesetze der festen Körper auf die Newton'schen Gleichungen für Massenpunkte zurückzuführen, ist man später den umgekehrten Weg gegangen und hat die Bewegungsgleichungen für Kontinua (feste Körper und Flüssigkeiten) als Grundsätze der Mechanik an die Spitze gestellt und aus ihnen die Bewegungsgesetze der Massenpunkte als Grenzfall abzuleiten versucht.

Jedenfalls hatte dadurch die Mechanik eine Gestalt angenommen, in der das Programm von Laplace in keiner Weise verwirklicht war. Wenn man z. B. die Dichte angibt, so ist wohl dadurch die Anzahl der Masseneinheiten in der Volumeneinheit angegeben, aber es ist ganz unbestimmt, wie viele Einheiten in einem Massenpunkte vereinigt sind und an welchen Stellen des Volumenelementes sich diese Massenpunkte befinden. Man nahm natürlich stillschweigend im Sinne von Laplace an, daß die Lagen der einzelnen Massenpunkte durch noch unbekannte Kraftgesetze reguliert sind; aber wie wir gesehen haben, ist damit vom Standpunkt eines menschlichen, nicht allumfassenden Geistes nicht viel gesagt.

11. Die Mechanik der Kontinua führt notwendig zur statistischen Auffassung.

Man kann aber nicht sagen, daß das Kausalgesetz in der Form, wie es in der Mechanik der Kontinua auftritt, schon eine Aussage über eine kausale Verknüpfung zwischen beobachtbaren Größen ist.

Denn Dichte, Oberflächengestalt und ähnliches sind Größen, die aus Einzelbeobachtungen durch eine Art von Ausgleichsrechnung gewonnen werden. Die Kausalität in der Mechanik der festen Körper war also eine Verknüpfung von Größen, die aus Beobachtungsreihen durch Mittelbildung hervorgehen. Wir sehen jetzt, daß derartige Größen wie die Dichte der Beobachtung wohl näher liegen als die Lagen der Massenpunkte selbst, die im festen Körper nie direkt beobachtbar sind, in gewissem Sinne aber auch wieder ferner, da die Massenpunkte, wenn überhaupt, einer Einzelbeobachtung zugänglich sind, während die neuen Größen aus einer großen Zahl von Einzelbeobachtungen berechnet werden müssen.

Das Problem der Vereinbarkeit zwischen der Laplaceschen Kausalität für Massenpunkte und der Mechanik der Kontinua

wollen wir hier noch nicht entscheiden. Es ist dies der Gegenstand der statistischen Auffassung der Physik, von der wir erst in einem späteren Kapitel sprechen werden. Es ist nur notwendig hervorzuheben, daß die statistische Auffassung in jeder Mechanik der Kontinua steckt, daß also zwischen der Auffassung einer kontinuierlich ausgebreiteten Masse und der statistischen Auffassung kein Gegensatz besteht, wie oft behauptet wird, sondern daß im Gegenteil die Mechanik der Kontinua notwendig ihrem Sinne nach eine statistische Auffassung ist, da die in ihr vorkommenden Größen (wie Dichte) ihrem Sinne nach statistischen Charakter haben.

12. Laplacesche Forderung und Elektrizitätstheorie.

Die Entwicklung der Lehre von den elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Körper begann ursprünglich ganz nach dem Laplaceschen Programm. An Stelle der Massenpunkte traten die punktförmigen elektrischen und magnetischen Ladungen, die man teils mit Masse behaftet, teils masselos annahm. In dem Gesetze von Coulomb, nach dem sich zwei elektrische Ladungen analog dem Newtonschen Gravitationsgesetz anziehen und abstoßen, ist die Übereinstimmung zwischen Mechanik und Elektrodynamik am deutlichsten formuliert. Sah man auch später, daß die elektrischen und magnetischen Kräfte auch von der Geschwindigkeit des angezogenen und des anziehenden Punktes abhängen, wie es in den Gesetzen von Ampère und Biot-Savart zum Ausdruck gebracht ist, so blieb doch die Ansicht bestehen, daß durch die gegenwärtige Lage und Geschwindigkeit der elektrischen und magnetischen Ladungen diese Größen für alle Zukunft eindeutig vorausbestimmt sind.

Es zeigte sich bald, daß die augenblickliche Lage und Geschwindigkeit der Massenpunkte und Ladungen nicht genügte, um ihre Zukunft vorhersagen zu können. Man sah nämlich, daß auch der Raum zwischen den Ladungen, der „leere“ Raum, wie man früher sagte, eine gewisse Rolle spielte. Es kann ein elektrisch geladener Massenpunkt bei ganz derselben relativen Lage und Geschwindigkeit zu den anderen Ladungen ein ganz verschiedenes Schicksal erleiden, je nachdem, ob in dem dazwischen liegenden Raum elektromagnetische Strahlung vorhanden war, die sich erst mit der Zeit am Orte der Ladung geltend machte.

Es gehört also zu den Größen, die man kennen muß, um die

zukünftigen Schicksale der Ladung vorherzusagen, der Zustand des ganzen Raumes. Dabei ist aber nicht im vorhinein klar, was an dem Zustand dieses Raumes bekannt sein muß, da es sich hier offenbar nicht mehr um so einfache und anscheinend handgreifliche Eigenschaften handelt wie Lage und Geschwindigkeit von Massenpunkten; es wird vielmehr die Kenntnis des elektromagnetischen Feldes, d. h. der elektrischen und magnetischen Feldstärke an allen Stellen des Raumes verlangt.

In verschiedener Weise hat man nun versucht, trotzdem das Kausalgesetz in der Laplaceschen Form aufrechtzuhalten.

13. Kausalität und Äther.

Der erste Versuch bestand darin, die Zustände im Zwischenraum zwischen den Massenpunkten selbst als Lage und Geschwindigkeit von unsichtbaren Massenpunkten zu verstehen. Man dachte sich also diese Zwischenräume von dem Äther erfüllt, an den man aus der Optik ohnehin schon gewöhnt war, und den man als eine Art festen Körper auffaßte, der selbst wieder aus einzelnen Massenpunkten bestehen sollte. Da eine wirkliche Auffindung der Kraftgesetze zwischen den Massenpunkten des Äthers sich bald als unmöglich erwies, so wurde der Äther nach den Methoden der Mechanik der Kontinua behandelt, also im vorhinein nach statistischen Methoden. Es zeigte sich sehr bald, daß die Bewegungsgesetze des Äthers nicht mit den Bewegungsgesetzen der gewöhnlichen Mechanik der festen Körper übereinstimmen, so daß also eigentlich dieser Äther nur durch die Elektrodynamik definiert war. Weder die Bewegung seiner einzelnen Massenpunkte, noch ihre durchschnittliche Bewegung ließ sich empirisch irgendwie anders fassen als durch Beobachtung der elektromagnetischen Erscheinungen selbst. Auch mußten die Massenpunkte als massenlos angenommen werden. Um die formale Festhaltung der Laplaceschen Hypothese zu ermöglichen, mußte ein die ganze Welt erfüllender Körper fingiert werden, der sich nach Gesetzen bewegte, die nur eine sehr oberflächliche Ähnlichkeit mit den Bewegungsgesetzen wirklicher fester Körper hatten.

Die Lage wurde noch schwieriger, als man durch den Michelson'schen Versuch erkannte, daß es empirisch überhaupt nicht feststellbar war, ob ein bestimmter beobachteter Körper gegenüber den Massen des Äthers ruhte oder sich bewegte. Die Einsteinsche

Relativitätstheorie formulierte dann die ganze Elektrodynamik ohne den Begriff des Äthers. Wenn man trotzdem einen solchen annehmen wollte, könnte man von seinen Massenpunkten gar nicht aussagen, welche Geschwindigkeit sie in bezug auf irgendeinen empirisch beobachteten Körper haben. Damit wäre aber die charakteristische Eigenschaft der Massenpunkte verloren gegangen und nur mehr die Namen „Äther“ und „Medium“ würden als Gespenster durch unsere üblichen Darstellungen der Physik spuken.

14. Einführung allgemeinerer Bewegungsgesetze als der Newtonschen.

Ein anderer Versuch, den Anschluß an die Laplacesche Forderung aufrechtzuhalten, war der, Bewegungsgesetze der geladenen Massenpunkte zu formulieren, aus denen sich die zukünftige Bewegung aus der gegenwärtigen und der am Orte der Ladung herrschenden Kraft berechnen läßt, wobei aber im Gegensatz zu Newton zugelassen wird, daß in den Bewegungsgleichungen Differentialquotienten höherer als zweiter Ordnung vorkommen. D. h. es soll die Zukunft eines Massenpunktes nicht durch seine Lage und Geschwindigkeit in einem Zeitpunkte allein bestimmt sein, sondern es muß noch die anfängliche Beschleunigung, eventuell auch das Änderungsgesetz dieser Beschleunigung usw. bekannt sein, um die Zukunft eindeutig vorhersagen zu können.

Ein sehr bekanntes Beispiel ist die Plancksche Gleichung für eine schwingende elektrische Ladung. Nach der klassischen Mechanik ist die auf ein schwingendes Teilchen wirkende Kraft zusammengesetzt aus der vom elektrischen Felde ausgeübten Kraft, aus der elastischen Kraft, die dieses Teilchen in die Ruhelage zurückzieht und der Entfernung aus dieser Ruhelage proportional ist; ferner kommt dazu die Reibungskraft, die von der Geschwindigkeit des Teilchens abhängt. Es ließe sich also im Sinne der Newtonschen Mechanik die Beschleunigung des Teilchens als Funktion der Lage und Geschwindigkeit ausdrücken. Nun wirkt aber die infolge der Schwingung entstehende elektromagnetische Strahlung ähnlich wie die Reibung dämpfend auf die Bewegung; nur ist diese durch die Strahlungsdämpfung hervorgerufene Kraft dem dritten Differentialquotienten der Elongation des Teilchens nach der Zeit proportional. Die Bewegungs-

gleichung ist also eine Differentialgleichung dritter Ordnung und die zukünftige Bewegung ist erst bestimmt, wenn im gegenwärtigen Augenblick, Lage, Geschwindigkeit und Beschleunigung des Teilchens bekannt sind.

Wenn man aber die Kenntnis von immer mehr Differentialquotienten der Lagekoordinaten nach der Zeit verlangt, wird die Aussage des Kausalgesetzes immer inhaltsärmer. Denn wenn schließlich sämtliche Differentialquotienten der Koordinaten nach der Zeit bekannt wären, so würde man dadurch mit Hilfe der Taylorschen Reihe die Koordinaten als Funktionen der Zeit direkt angeben können, wenn man nur annimmt, daß diese Funktionen analytische sind. Es wären dann in der Tat aus der Kenntnis des Anfangszustandes unseres Massenteilchens seine Zustände für alle Zeiten berechenbar. Dieser Satz ist aber nur mehr eine Tautologie; er sagt über die Wirklichkeit nichts aus, da er ja gültig bliebe, wie immer sich die Teilchen auch bewegen.

15. Vorausbestimmtheit durch den Zustand während einer endlichen Zeit.

Da die elektrischen Wellen in letzter Linie, wie man annimmt, immer von bewegten elektrischen Ladungen ausgesendet werden, kann man jede Bewegung eines geladenen Massenpunktes im elektro-magnetischen Felde schließlich doch wieder, ohne den Zustand des Feldes direkt zu kennen, aus den Bewegungen anderer geladener Massenpunkte vorhersagen. Man kann daher wohl aus der Lage und Geschwindigkeit aller geladenen Punkte in einem Zeitpunkte ihr zukünftiges Schicksal nicht vorherbestimmen, da die elektromagnetische Wirkung eine gewisse Zeit braucht, um von einer Ladung zur anderen zu gelangen; wenn man aber die Bewegung der Massenpunkte während einer endlichen Zeit verfolgt, die so groß ist, daß die Wirkung sich schon zu allen Punkten des Systems fortgepflanzt hat, so muß sich daraus die weitere Bewegung vorausberechnen lassen. Da die Fortpflanzung der elektromagnetischen Wirkungen mit Lichtgeschwindigkeit erfolgt, ist die Zeit, während der die Bewegung der Ladungen bekannt sein muß, um die Zukunft vorhersagen zu können, nicht sehr groß, außer wir hätten ein System vor uns, dessen einzelne Massenpunkte voneinander um Siriusdistanzen entfernt wären.

Aber auch bei dieser Lösung war ein sehr wesentlicher Teil des Laplaceschen Programms fallen gelassen worden, nämlich die Vorausbestimmtheit der Zukunft durch den Zustand in einem Zeitpunkt oder wenigstens einer beliebig kurzen Zeitstrecke.

16. Durch Einführung des Feldes an Stelle der Körper verliert das Kausalgesetz seine Einfachheit.

Mit dem Aufgeben der Laplaceschen Hypothese in ihrer einfachen handgreiflichen Form und der Einführung der Annahme, daß der Zustand des ganzen Raumes bekannt sein müsse, um die Zukunft vorhersagen zu können, ist ein Schritt geschehen, der das Kausalgesetz für die Naturerscheinungen um seine einfache Form gebracht hat, die wenigstens anscheinend im engsten Anschlusse an die beobachteten Erscheinungen stand. Es ist nunmehr daraus etwas viel Abstrakteres geworden und die Gefahr eines Hinübergleitens in eine tautologische Auffassung des Kausalgesetzes ist viel näher gerückt.

Wir wollen zunächst nicht mehr von der Schwierigkeit sprechen, von der bereits beim Übergang zur Mechanik der Kontinua die Rede war und die darin besteht, daß jede Einführung des Kontinuums die Einführung eines statistischen Momentes, einer Gesamtheit von Beobachtungen an Stelle der Einzelbeobachtungen bedeutet; sondern wir wollen jetzt daran anknüpfen, daß durch Einführung des Feldes als derjenigen Größe, die durch ihren Anfangszustand die Zukunft bestimmt, eine Errungenschaft aufgegeben schien, die man der modernen Physik im Gegensatz zur mittelalterlichen als einen Hauptvorzug anrechnet.

Die mittelalterliche Auffassung ist ja in weiten Kreisen bekannt geworden durch ihre Verspottung in der bekannten Komödie Molières „Der eingebildete Kranke“. Dort antwortet der Kandidat der Medizin auf die Frage: „Warum schläfert das Opium ein?“ ganz einfach: „Weil in ihm eine einschläfernde Kraft steckt.“

Es war die Annahme verborgener Eigenschaften, okkulten Qualitäten in den Körpern, durch die alle Vorgänge gedeutet wurden.

17. Die Feldphysik und die okkulten Qualitäten.

Die elektrischen, magnetischen und Wärmewirkungen beruhten nach dieser Auffassung auf ebenso vielen okkulten Eigenschaften der Körper, vermöge deren sie diese Wirkungen hervorbringen

können. Die moderne Physik seit Descartes und Galilei sucht nun alles auf ein geometrisches Element zurückzuführen, auf Bewegung raumerfüllender Massen. Daß die Körper durch Stoß einander in Bewegung setzen können, betrachtet man dabei als etwas geometrisch Einsehbares. Diese Auffassung war sehr fruchtbar. Aus ihr entwickelte sich unsere ganze mathematische Physik; denn die geometrischen und kinematischen Vorgänge waren der mathematischen Analyse zugänglich.

Das Schalten der okkulten Qualitäten war aber nie ganz verschwunden. In der Newtonschen Gravitation kehren sie wieder. Denn warum zieht ein Körper den anderen an? „Weil in ihm eine anziehende Kraft steckt.“ Und in der Laplaceschen Forderung, die alles auf derartige Kräfte zwischen den Massenpunkten zurückführt, ist die okkulte Qualität, wenn auch nur an einem Endchen, zugelassen.

Die Bedeutung der Zurückführung aller Naturerscheinungen auf Bewegungen war so groß, daß man sie später mit der Begreifbarkeit der Naturerscheinungen geradezu identifizierte. Weil die mathematische Behandlung zuerst bei den Bewegungserscheinungen erfolgreich war, glaubte man zunächst, daß nur die Zurückführung aller Erscheinungen auf Bewegung eine mathematische Behandlung möglich mache. Es bestand daher ein starker Widerstand dagegen, anzuerkennen, daß nicht alles auf Bewegung zurückzuführen sei. Die abstrakte Auffassung vom physikalischen Feld schien eine Rückkehr in die halb mystische Annahme okkulten Qualitäten. Die elektromagnetische Feldstärke, die sogar im leeren Raum ihren Sitz haben sollte, schien eine okkulte Qualität, wie die „einschläfernde Kraft“ des Opiums.

18. Der wissenschaftliche Sinn der Feldphysik.

Es zeigte sich aber, daß die Einführung der physikalischen Felder in keiner Weise die mathematische Präzision herabsetzte, solange nur Größen eingeführt wurden, denen man durch Meßmethoden mathematisch bestimmte Werte zuordnen konnte, zwischen denen die Theorie Gleichungen ansetzte. Das Wesentliche an der Descartes-Galileischen Auffassung der Physik war nicht die „Bewegung“ und das „Geometrische“, sondern nur die Zuordnung von Zahlenwerten zu den beobachteten Größen und die Aufstellung von Gesetzen zwischen diesen Zahlenwerten.

Man sah dann auch, daß die sogenannte Zurückführung aller okkulten Qualitäten auf Bewegungen auch nur scheinbar eine Ausschaltung der okkulten Qualitäten war. Bei der Newtonschen Anziehungskraft ist das klar; aber auch beim direkten Stoß ist logisch und geometrisch nicht einzusehen, warum eine stoßende Kugel die angestoßene in Bewegung setzen soll. Denn rein geometrische Figuren können ja einander auch überdecken. Es muß also eine verborgene Eigenschaft in der Kugel stecken, die sie verhindert, mit der anderen am selben Ort zu sein und die man auch wieder auf die Wirkung einer Kraft im Sinne Newtons zurückführen kann.

19. Das Kausalgesetz der Feldphysik ist viel unbestimmter als das Laplacesche.

Wenn auch durch die Einführung der Feldphysik keine okkulten Qualitäten in dem unbestimmten Sinne der mittelalterlichen Wissenschaft eingeführt wurden, so war doch die Formulierung des Kausalgesetzes viel unbestimmter geworden. Denn es hieß jetzt: Durch den gegenwärtigen Zustand des Feldes, d. h. durch die Werte der Feldgrößen in einem Zeitpunkt, ist dieser Zustand für alle Zukunft vorherbestimmt.

Man drückt das auch so aus: Durch die Zustandsgrößen im gegenwärtigen Zeitpunkt sind die ersten Differentialquotienten dieser Zustandsgrößen nach der Zeit bestimmt. Zu der Unbestimmtheit, die darin liegt, daß gar nichts darüber gesagt ist, durch welche Art von Funktionen sich diese Differentialquotienten aus dem gegenwärtigen Zustand berechnen lassen, einer Unbestimmtheit, die auch in der Laplaceschen Fassung des Kausalgesetzes vorhanden ist, tritt hier noch die Unbestimmtheit der Zustandsgrößen selbst hinzu.

Es ist nicht gesagt, welche und wie viele Zustandsgrößen in den Gleichungen vorkommen, während bei Laplace als Zustandsgrößen ausdrücklich Lagen und Geschwindigkeiten von Massenpunkten eingeführt werden. Hingegen bleiben alle Schwierigkeiten der Laplaceschen Formulierung des Kausalgesetzes in der Feldphysik erhalten. Die Aussage, daß die Zukunft durch den Anfangszustand vorherbestimmt ist, hat nur dann einen greifbaren Sinn, wenn man entweder einen allumfassenden Geist einführt oder bestimmte Feldgleichungen angibt, die den Zusammenhang zwischen

dem augenblicklichen Zustand und dessen zeitlicher Änderung (den Differentialquotienten nach der Zeit) durch berechenbare Funktionen darstellen. Sonst bleibt von dem Kausalgesetz nichts Faßbares übrig als der Satz, daß auf gleiche Anfangszustände immer das Gleiche folgen muß.

Dieser Satz hat aber hier weniger Inhalt als bei der Laplace'schen Forderung, weil dort ja klar war, daß gleiche Anfangszustände solche sind, in denen alle Massenpunkte wieder dieselben Lagen und Geschwindigkeiten haben. Hier aber handelt es sich um solche Zustände, in denen alle Zustandsgrößen wieder dieselben Werte annehmen sollen. Dann muß aber gesagt sein, was für Zustandsgrößen überhaupt existieren.

Oder man muß mindestens sagen, daß sich schon mit einer endlichen Anzahl von Zustandsgrößen ein solches Gesetz der Wiederkehr aufstellen läßt. Wenn aber diese Zahl immer größer und größer wird, so führt ein allmählicher Übergang zu dem Fall, bei dem unendlich viele Zustandsgrößen existieren.

Damit ist aber der Übergang ins Tautologische bereits vollzogen. Denn was immer auch geschieht, man kann immer den Satz aufrechterhalten: „Auf gleiche Zustände folgen wieder gleiche,“ indem man als gleiche Zustände nur solche anerkennt, auf die Gleiches folgt. Wenn man beliebig viele Zustandsgrößen zur Verfügung hat, kann man immer von zwei Zuständen sagen, daß sie sich noch durch die Werte irgendeiner Zustandsgröße unterscheiden. Je mehr Zustandsgrößen man also einführen muß, desto inhaltsärmer wird die Behauptung, daß die Zukunft durch den Anfangszustand bestimmt sei.

Ein typisches Beispiel dafür, wie derartige tautologische Formulierungen des Kausalgesetzes an Stelle von Aussagen über die wirkliche Welt treten können, bietet die Formulierung von H. Driesch, wo die Laplacesche Forderung formal auch für die Lebewesen festgehalten wird, als Zustandsgrößen aber Entelechien und Psychoide (siehe Kapitel IV) eingeführt werden, also Größen, die jeder Beobachtung unzugänglich sind. Driesch drückt das so aus:

„Es ist der Logik unmöglich, zu denken, daß bei gegebenen Umständen und bei gegebener psychoidaler Entelechie entweder A oder B geschehen soll. Im Gegenteil: was geschehen soll, ist absolut fixiert; und eine höchste Vernunft, welche mit allen Tatsachen der anorganischen Natur bekannt

wäre und auch alle intensive Mannigfaltigkeit aller Entelechien und Psychoiden kennen würde, wäre imstande, die Handlungen eines Psychoids mit absoluter Sicherheit vorauszusagen. Eine solche Voraussage wäre ihr hier ebenso möglich wie im Gebiete der reinen Mechanik, für welches diese Wahrheit bekanntlich in der Fiktion des Laplaceschen Geistes ihren Ausdruck gefunden hat. Uns freilich ist, trotz des Postulates eindeutigen Bestimmtheits, eine Voraussage vitalen Geschehens überhaupt nicht möglich. Denn durch materielle Konstellationen allein ist dieses Geschehen ja nicht bestimmt, und wir können nur materielle Konstellationen, nicht aber Entelechien in Reinheit kennen.“

Und während M. Schlick mit Recht in der Voraussagbarkeit das einzig Greifbare an der Vorausbestimmtheit sieht, ist Driesch ganz folgerichtig genötigt, seinem Kausalgesetz, das nichts über wirkliche Erlebnisse aussagt, die Bemerkung hinzuzufügen: „Bestimmtheit und Voraussagbarkeit ist für uns also zweierlei.“

20. Wie kann das Kausalgesetz in der Feldphysik präzisiert werden?

Wenn man daher jedes Hinübergleiten ins Tautologische möglichst vermeiden will, muß das Kausalgesetz so ausgesprochen werden, daß die Zustandsgrößen, auf die es sich bezieht, ausdrücklich genannt werden. Dabei liegen auch in dem Begriffe der Zahl der Zustandsgrößen noch gewisse Schwierigkeiten. In der Mechanik der Massenpunkte ist der Zustand eines Systems von Massenpunkten durch $6n$ Zustandsgrößen, die Koordinaten und die Geschwindigkeitskomponenten gegeben. Vom Standpunkt der Mechanik der Kontinua entspricht den $3n$ Koordinaten der Massenpunkte eine einzige Zustandsgröße, die Dichte. Wenn durch sie aber ein System mit sehr vielen Massenpunkten dargestellt werden soll, so hat diese Dichte, als Funktion des Ortes betrachtet, sehr viele Schwankungen, da sie an jedem Ort, wo sich Masse befindet, sehr groß, überall sonst aber sehr klein ist. Einem System mit sehr vielen Massenpunkten entspricht also in der Feldphysik eine Dichte, die mathematisch durch eine sehr kompliziert gebaute Funktion des Ortes dargestellt ist.

Es ist daher anzunehmen, daß sehr komplizierte Anfangsverteilungen einer oder weniger Zustandsgrößen dieselbe Bedeutung haben wie sehr viele Zustandsgrößen. Das ist in der Tat der Fall. Wenn ich beliebig komplizierte Zustandsverteilungen z. B. der Dichte, zulasse, so kann ich von zwei Zuständen, die

schon sehr nahe in ihrer Dichteverteilung übereinstimmen, immer noch sagen, daß sie in irgendeinem Detail nicht übereinstimmen.

Es ist natürlich klar, daß vom Standpunkt der abstrakten Präzisionsmathematik zwei Dichteverteilungen nur entweder gleich oder ungleich sein können. Wenn aber nur Dichteverteilungen, bei denen wenige und geringe Schwankungen vorkommen, zugelassen werden, so genügt schon eine gröbere, mehr pauschale Angabe der Dichteverteilung, um zwei Verteilungen als innerhalb gewisser Fehlergrenzen identisch zu erkennen. Wenn hingegen beliebig große und häufige räumliche Dichteänderungen auftreten können, müssen die beiden Verteilungen vollständig genau bekannt sein, um ihnen auch nur ihre annähernde Übereinstimmung ansehen zu können.

Dieser Unterschied erweist sich aber schon sehr wichtig beim Zuordnen der mathematisch definierten Felder zu beobachtbaren Größen. Da, wie schon erwähnt, nur den Durchschnittswerten der Feldgrößen beobachtbare Größen zugeordnet sind, läßt sich eine Feldverteilung (z. B. Dichteverteilung) bei zu feiner Struktur, d. h. wenn die Feldgröße in beliebig kleinen Intervallen noch beliebige Schwankungen ausführen kann, überhaupt nicht mehr mit beobachtbaren Größen vergleichen.

Man muß daher sagen, um dem Kausalgesetz einen Sinn zu geben, der nicht ins Tautologische hinabsinkt: Schon durch Einführung einer geringen, übersichtbaren Anzahl von Zustandsgrößen und bei nicht allzu komplizierter Anfangsverteilung dieser Zustandsgrößen kann man erzielen, daß auf die Wiederkehr desselben Zustandes auch die ganze Folge der sich das erstemal anschließenden Zustände immer wiederkehrt. Man sieht, daß auch diese Formulierung von den nicht sehr präzisen Begriffen „gering“, „kompliziert“ u. ä. Gebrauch machen muß.

III. Kausalitätsfeindliche Strömungen.

1. Die Quellen der antikausalen Strömungen.

Wenn man diejenige Bedeutung des Kausalgesetzes erfassen will, die etwas Wirkliches über die Welt aussagt, wenn man am sichersten vor dem Hinübergleiten ins Tautologische sein will, muß man sich das Ziel und den Sinn derjenigen Strömungen deutlich zu machen suchen, welche gegen die kausale Auffassung der Welt kämpfen.

Man darf ja nicht vergessen, daß die Allgemeingültigkeit der kausalen Weltauffassung niemals allgemein anerkannt worden ist. Wenn auch ihr Gebrauch in der unbelebten Natur meist wenig Widerspruch gefunden hat, so hat sich zu allen Zeiten ein starker Widerstand ihrer Anwendung auf die Erscheinungen bei belebten Wesen entgegengestellt. Schon bei der Darstellung einfacher physiologischer Vorgänge in belebten Organismen glauben viele mit kausalen Gesetzen nicht auskommen zu können und führen nichtkausale „Faktoren“ ein, die man je nachdem „Zweckursache“, „Entelechie“, „Ganzheitsfaktor“ usw. nennt.

Je näher der Organismus dem Menschen kommt, desto mehr versteift sich der Widerstand gegen die kausale Auffassung. Die Entwicklung von den sogenannten niedrigen zu den mit Stolz höher genannten Organismen kann man sich nach dieser Ansicht wieder nicht durch rein kausale „blinde“ Gesetze vorstellen, hier muß ein „Streben zu einer höheren Gestalt“, ein „*élan vital*“, eine „Ausgliederung“ usw. eingreifen. Und wenn man schließlich beim Menschen angelangt ist, so tritt die „Willensfreiheit“ auf. Die Handlungen des Menschen sollen nicht nur von den Fesseln der Kausalität frei sein, sondern sogar von den schöneren und feineren Fesseln der Entelechie und der Zwecke, sie sollen schlechthin frei sein, überhaupt keiner Gesetzmäßigkeit unterliegen.

Und wenn man vom einzelnen Menschen nun gar zum ganzen Menschengeschlecht übergeht, so tobt in der ganzen historischen

und soziologischen Wissenschaft immer wieder der Kampf, ob es historische und soziologische Gesetze gibt, und wenn es solche Gesetze gibt, ob sie den Charakter von Kausalgesetzen haben.

Gegenüber der unbelebten Natur mit ihrer „blinden Kausalität“ soll in der Geschichte des Menschen das „Schicksal“ herrschen, wie z. B. Oswald Spengler sich ausdrückt. Wenn das aber der Fall ist, so muß man folgerichtig sagen: Da die physikalisch-chemischen Vorgänge als untrennbare Bestandteile in jedem Vorgang, also auch in jedem Vorgange der Geschichte enthalten sind, muß eine tiefere Betrachtungsweise auch in der Physik und Chemie unter der „oberflächlichen“ kausalen Auffassung eine „tiefere“ Auffassung entdecken, die ebenso wie beim Studium der Geschichte vom „Sinne des Ganzen“ ausgeht und nicht vom „blinden Spiele der Kräfte und Atome“.

So sagt z. B. O. Spann:

„Der nach bloßen äußerlichen (quantitativen) Anhaltspunkten die Dinge schildernden Wissenschaft bleibt das Wesen der Dinge ewig fremd. Dies ist der Schlüssel dafür, daß die mathematisch-ursächliche Naturwissenschaft keine verstehende, geistig nachschöpfende Wissenschaft ist, wie es die Geisteswissenschaften sind . . . Die quantifizierende, sogenannte exakte Untersuchung dagegen ist eine bloß messende Kunde und verdient, da sie vom Wesen der Dinge absehen und sie in Größen auflösen muß, um sie verzeichnen zu können, den Namen der Wissenschaft nicht in demselben hohen Sinne wie die Geisteswissenschaften . . . Darum bin ich auch von der Alleingültigkeit der mathematisch-quantitativen Verfahren, von der methodischen Alleinmöglichkeit einer exakten Naturwissenschaft nicht überzeugt und meine vielmehr, daß sich ein gewaltiges Stück Naturphilosophie nach Art jener von Schelling, Baader, Hegel, Oken . . . und vieler anderen großen Forscher mit den heutigen Verfahren verbinden lassen müßte, wodurch diese . . . erst die rechte Wahrheit und Wesentlichkeit gewännen.“

Ja man bleibt nicht dabei stehen, für die Betrachtung der geschichtlichen und sozialen Erscheinungen eine andere als die kausale Auffassung zu fordern, sondern es sind damit auch Gefühlsäußerungen verbunden, eine etwas unfreundliche Herabsetzung der aus den Naturwissenschaften hervorgegangenen Betrachtungsweise, die ganz ausdrücklich als minderwertig bezeichnet wird.

So sagt z. B. wieder O. Spann:

„Das Große, das in der modernen mathematischen Naturwissenschaft unzweifelhaft liegt, soll nicht verkannt und verkleinert werden. Und auch die Nützlichkeit der Erkenntnisse, die sie enthält, muß für das moderne Leben hervorgehoben werden. Eines ist aber die Frage der Nützlichkeit

und erreichter Ziele, ein anderes die Würde echter auf Ganzheit und Wesen gehender Wissenschaften. Eine solche Würde kommt ihr heute nicht zu.“

Diese Herabsetzung bedient sich sogar der Terminologie des Klassenkampfes einer adeligen Gesellschaftsschichte, die nicht länger die Gemeinschaft mit dem bloß arbeitenden Volke duldet. Es heißt nämlich an der angeführten Stelle weiter:

„Die modernen Geisteswissenschaften, die unter den ursächlichen Naturwissenschaften aufgewachsen sind und sich nun plötzlich selbst erkennen, gleichen dem Schwane, der unter Enten aufgewachsen plötzlich seine edlere Natur entdeckt, sich selbst erkennt und diejenigen, die er bisher für Brüder hielt, nun nicht mehr als die Seinen anerkennen darf.“

2. Die erste „Lockerung“ des Kausalgesetzes in der Physik.

Die kausalitätsfeindlichen Strömungen, die zunächst von den Vertretern der sogenannten Geisteswissenschaften ausgehen, pflegen sich gerne darauf zu berufen, daß in neuester Zeit auch innerhalb der Physik eine „Auflockerung“ der streng kausalen Betrachtungsweise stattgefunden hat. So sagt z. B. der oben zitierte O. Spann:

„Ja seit den neuesten umstürzenden Bewegungen in der Physik (Radioaktivität, Relativitätstheorie, Quantentheorie) ist auch dort ein Zustand geschaffen, der auf Überprüfung der Grundlagen hindrängt, die Bedeutung der mathematischen ‚Beschreibung‘ einschränkt und die Herrschaft des Ursachenbegriffes erschüttert.“

Es ist klar, daß jede Schwierigkeit in der Durchführung des Laplaceschen Programms, in dem sich die kausale Auffassung der Natur in ihrer handgreiflichsten Form verkörperte, eine Lockerung der strengen Kausalität zu sein schien.

Der erste Schritt war das elektromagnetische Weltbild, wo im Gegenteil zum Weltbild der Newtonschen Mechanik, das Laplace immer vor Augen hatte, die Lagen und Geschwindigkeiten der Massenpunkte nicht mehr ausreichten, um die Zukunft vorherzubestimmen, sondern wo die Kenntnis einer Vorgeschichte des Teilchens notwendig zu sein schien. Auch die Verlegung der die Zukunft bestimmenden Zustände aus den Massenpunkten in den unendlich ausgedehnten und nicht recht faßbaren Äther schien eine Verflüchtigung der strengen Kausalität zu bedeuten.

Ja das Erlebnis selbst, daß die mechanistische Weltauffassung im Sinne von Laplace, die als Ideal einer kausalen Auffassung dastand und die man allen anderen Wissenschaften als ein Muster

hinstellte, das für sie wohl unerreichbar, aber immer anzustreben sei, das Erlebnis, daß diese Weltauffassung in ihrem eigenen Gebiete, in der Physik selbst, schwankte und zusammenbrach, gab den Gegnern der kausalen Auffassung auf allen Gebieten neue Zuversicht.

Ähnlich wie O. Spann, wenn auch mit weniger metaphysischer Ausdrucksweise, sagt der russische marxistische Philosoph A. Maximow:

„Die Behauptung von der Alleinherrschaft der mechanischen Kausalität in Chemie und Physik, wodurch die Kategorie Zufälligkeit ausgeschaltet war, ist schon auf dem Gebiete der modernen Atommechanik nicht richtig, wo die Physiker schon lange von der einzigen Verwendung der Kategorie der metaphysischen Notwendigkeit abgekommen sind und ‚nolens volens‘ mit der Kategorie der Zufälligkeit als einer objektiven Kategorie operieren.“

3. Die energetische Naturauffassung.

Das elektromagnetische Weltbild bedeutete aber nur einen der revolutionären Schläge, von denen die Laplacesche Weltauffassung nach und nach getroffen wurde. In vieler Hinsicht ähnliche Auffassungen wie die Feldphysik vertrat die Energetik. Auf der einen Seite die Schwierigkeiten, das Laplacesche Programm auf die Kräfte anzuwenden, welche die Materie selbst zusammenhalten, d. h. die Moleküle und Atome als ein Weltsystem im kleinen anzusehen, auf der anderen Seite die Erfolge der Thermodynamik, der es gelang, aus den allgemeinen Sätzen von der Erhaltung der Energie und der Zunahme der Entropie brauchbare Folgerungen für die Technik abzuleiten, führten dazu, überhaupt auf die Darstellung der Naturerscheinungen nach dem Bilde der Himmelsmechanik zu verzichten. Man versuchte nicht mehr, die Physik auf Sätze zu begründen, die in Hypothesen über unsichtbare Massenpunkte und zwischen ihnen wirkende Kräfte bestehen, sondern man wollte nur solche Größen in die Theorie einführen, die wirklich beobachtbar sind.

Diese Theorie stellte an ihre Spitze zwei Sätze, die weder über Massenpunkte, noch über Äthergrößen etwas aussagen, sondern die davon sprechen, welche Arten von Maschinen konstruiert werden können und welche nicht. Während der erste Hauptsatz der Wärmelehre die Möglichkeit des perpetuum mobile erster Art leugnet, d. h. einer Maschine, die so arbeiten kann, daß alles unverändert bleibt und nur ein Gewicht gehoben wird, leugnet der zweite Hauptsatz auch die Möglichkeit des perpetuum mobile

zweiter Art, mit dessen Hilfe ein Gewicht gehoben werden könnte, wobei am Schluß mit Ausnahme der Abkühlung eines einzigen gleichmäßig temperierten Körpers alles unverändert bliebe. Diese beiden Behauptungen über die Unmöglichkeit gewisser Maschinen formuliert die Thermodynamik mit Hilfe der abstrakten Begriffe Energie und Entropie.

Diese Größen ließen sich nicht durch den Bewegungszustand von Massenpunkten ausdrücken, ja für sie konnte man auch keinen einfachen Meßvorgang wie für die elektrische Ladung und Feldstärke angeben, da Energie aller möglichen Art umfaßt werden sollte, und alle ihre Arten sich nicht explizit aufzählen lassen. Das führte zu einer neuen Physik, die von der Handgreiflichkeit der Laplace'schen Massenklümpchen weit entfernt war. Es schienen in dem Begriff der Energie zunächst halb spirituelle, seelenähnliche Elemente zu stecken, so daß man an eine Verwandtschaft mit der vorgalileischen Physik, der auf Aristoteles zurückgehenden mittelalterlichen Scholastik, glauben konnte.

Die neue Energetik, deren Hauptvertreter in Deutschland W. Ostwald, in Frankreich P. Duhem waren, wurde unter dem Schlagworte „Überwindung des Materialismus“ propagiert und von vielen mit Jubel empfangen, welchen die nüchterne Sachlichkeit von Laplace die Gelegenheit zur Einschlebung dunkler Winkel in die Physik zu erschweren schien. In manchen Schriften von Duhem wird die Energetik ausdrücklich als eine Wiederkehr der mittelalterlichen Scholastik gefeiert und auf ihre Wichtigkeit für die Verteidigung des religiösen Glaubens hingewiesen.

Zur Zeit, als die Ideen der Ostwald'schen Naturphilosophie in den Kreisen der naturwissenschaftlich Tätigen und sogar der meisten für Naturwissenschaft interessierten Laien herrschend zu sein schienen, konnte man den Gedanken der mechanischen Kausalität im Sinne von Laplace als erledigt ansehen und die Einschlebung seelenähnlicher Faktoren schien notwendig. Der bleibende Wert der energetischen Naturauffassung liegt aber nicht in dieser Hinaufschraubung des Energiebegriffes von einer Rechengröße zu einem mystischen Fluidum, sondern in dem Hinweis darauf, daß in der Laplace'schen Formulierung der mechanischen Kausalität Begriffe verwendet werden, die so weit von den beobachtbaren Größen entfernt sind, daß nach neuen Formulierungen gesucht werden muß.

Die Ansicht, daß durch die Energetik die mechanische Naturauffassung überwunden und an Stelle der mechanischen Kausalität etwas Weicheres, Schmiegsameres getreten sei, das zum sittlichen Aufschwung der Menschheit beitragen könne, finden wir z. B. in der neuen Schrift von Coudenhove-Kalergi „Los vom Materialismus“. Mag man mit den politischen Zielen derselben noch so sympathisieren, so muß man doch als nüchterner Physiker feststellen, daß alle diese Erwägungen auf dem Übersehen der einfachen Tatsache beruhen, daß eine Energie um nichts feiner ist als eine Materie, und Materie um nichts gröber ist als Energie. Denn beide sind nur Symbole zur Beherrschung der Erlebnisse im Sinne von Kapitel I und beide sind von dem sinnlich Wahrnehmbaren gleich weit entfernt.

Bei Coudenhove heißt es u. a. :

„Nun ging, plötzlich und unvermittelt, die Naturwissenschaft selbst ins idealistische Lager über. Denn was Schopenhauer Wille nennt, ist nichts anderes als Ostwalds Energie . . . Kein materielles, sondern ein dynamisches Urphänomen schuf die neue Basis des neuen Weltbildes.“

Und in vollkommener Verkennung des eigentlichen Sinnes der Wissenschaft sagt er :

„Je geschmackloser und barbarischer ein Mensch ist, desto schwächer ist sein Sinn für die Qualität. Für ihn gibt es nur einen Wert: die Quantität.“

Diese Zuordnung von Gefühlen zu den wissenschaftlichen Ausdrücken ist, wie man leicht sieht, vollkommen willkürlich. Man könnte ebenso gut sagen: Wo der rohe Mensch nur rot und blau unterscheiden kann, also nur Qualitäten, mißt der quantitativ denkende die unendlich vielen Abstufungen der Wellenlängen des Lichtes mit den feinen Unterschieden von Millionstel Millimeter.

4. Rettungsversuch der mechanischen Kausalität durch den Gedanken der Statistik.

Die Anhänger der mechanistischen Kausalität im Sinne von Laplace rüsteten aber schon zu einem Vorstoß gegen die Energetik, den man vielleicht am besten durch den Namen L. Boltzmanns kennzeichnet. Diesem überall nach größter mathematischer und logischer Klarheit strebenden Physiker war der oft verschwommene Charakter der Ostwaldschen Energetik immer unsympathisch.

Boltzmann knüpfte an die Ideen von D. Bernoulli, Clausius und Maxwell an, nach denen in warmen Körpern die Massen-

punkte so komplizierte Bewegungen ausführen, daß sie im einzelnen nicht verfolgt werden können. Wenn man aber für sie dieselben Newtonschen Bewegungsgleichungen annimmt wie für die Himmelskörper, so kann man trotz ihrer Kompliziertheit doch Durchschnittsgesetze ableiten, die genau dem von der energetischen Thermodynamik und der Mechanik der Kontinua abgeleiteten Zusammenhängen zwischen beobachtbaren Größen entsprechen.

Läßt sich aber auf diese Weise aus der mechanischen Kausalität für die Massenpunkte wirklich ein Kausalgesetz zwischen den Durchschnittsgrößen herleiten? Das wäre nämlich ein Gesetz, das es gestattet, aus den beobachtbaren Durchschnittsgrößen im gegenwärtigen Zeitpunkt ihre Werte für beliebige Zeit vorauszuberechnen. Man sah bald, daß man das nicht konnte, wenn man nichts anderes voraussetzte als die Gültigkeit der Newtonschen Mechanik für die Massenpunkte, aus denen man durch Mittelbildung die Gesetze für die allein beobachtbaren Durchschnittswerte fand.

Man mußte vielmehr noch gewisse Annahmen über das durchschnittliche Verhalten machen, die man als „Annahme der Unordnung“ als „Stoßzahlansatz“, als „Ergodenhypothese“ usw. bezeichnet hat. Es genügte keineswegs, eine solche Annahme für den Anfangszustand zu machen; es sind vielmehr Annahmen über den ganzen Verlauf der Bewegung, die zu den Newtonschen Gesetzen hinzukommen, wobei man nicht einmal zeigen kann, daß diese Annahmen mit den Bewegungsgleichungen überhaupt vereinbar sind.

So fordert z. B. der Stoßzahlansatz (nach P. Ehrenfest), daß in einem Gase die Anzahl der Zusammenstöße eines Moleküls der Anzahl der Moleküle in der Volumeinheit proportional sein soll, und zwar soll das während der ganzen Zeit, in der viele Zusammenstöße stattfinden, gelten. Es ist offenbar gar nicht sicher, daß ein solcher Ansatz mit den Newtonschen Bewegungsgleichungen verträglich ist, da ja auch sehr wohl diese Proportionalität durch die Zusammenstöße selbst gestört werden könnte.

5. In der statistischen Auffassung liegt aber schon ein Abrücken von der Laplaceschen Kausalität.

Wenn die Boltzmannsche statistische Auffassung in gewissem Sinne eine Rückkehr zu der handgreiflichen kausalen

Auffassung von Laplace schien, da wieder von Massenpunkten und deren Bewegungen und nicht von abstrakten Begriffen wie Energie und Entropie die Rede war, so bedeutete doch andererseits die Verlegung der Kausalgesetze in das Gebiet der statistischen Mittelwerte eine sehr entschiedene Abwendung von der Laplaceschen Formulierung.

Denn wenn die Newtonschen Bewegungsgesetze nicht genügten, um daraus Gesetze über die Durchschnittswerte abzuleiten, ja wenn es sich nicht einmal zeigen ließ, daß die nötigen Zusatzannahmen mit der Newtonschen Mechanik vereinbar waren, so kam es vielleicht gar nicht darauf an, daß die Einzelgesetze, aus denen jener Durchschnitt gebildet wurde, wirklich die Newtonschen Gesetze mit ihrer dynamischen handgreiflichen Kausalität im Sinne von Laplace waren.

Schon F. Exner hat darauf aufmerksam gemacht, daß vielleicht die Elementarvorgänge gar nicht nach dem Vorbild der Himmelsmechanik mit ihrer Kausalität im Sinne von Laplace verlaufen, sondern es könnte auch so sein, daß sich für einen Einzelvorgang, z. B. den Zusammenstoß zweier Molekel, gar kein Kausalgesetz aufstellen läßt und daß trotzdem durch Mittelwertbildung sich Gesetze ableiten lassen, in denen eine kausale Bestimmtheit zum Ausdruck kommt.

6. Der Maxwellsche Dämon.

Wir wollen uns an einem speziellen Beispiel die Rolle des Kausalgesetzes nach den verschiedenen Auffassungen von Laplace, der Energetik und der Statistik klarmachen. Wenn wir ein Gas vor uns haben, das überall dieselbe Temperatur besitzt, so wird dieses von der kinetischen Theorie der Gase als ein System durcheinanderschießender Moleküle angesehen, die sehr verschiedene Geschwindigkeiten haben, wobei aber der Durchschnittswert der lebendigen Kraft jener konstanten beobachtbaren Temperatur entspricht. Nach der Laplaceschen Auffassung gilt für jedes einzelne Molekül die Newtonsche Mechanik; durch die augenblickliche Lage und Geschwindigkeit aller Moleküle ist das zukünftige Schicksal des Gases eindeutig bestimmt. Der von Laplace eingeführte, mit übermenschlichen Fähigkeiten begabte Geist könnte z. B. berechnen, in welchen Zeitpunkten das Gas in einen Zustand gelangen wird, bei dem sich die langsameren Moleküle

in einem bestimmten Teile des Gases befinden werden, die schneller in einem anderen Teile, wo also aus dem Gasvolumen mit konstanter Temperatur ein solches geworden sein wird, in dem eine Temperaturdifferenz vorhanden ist. Die statistische Auffassung im Sinne von Boltzmann und Maxwell begnügt sich damit, vorherzusagen, nach welcher Zeit im Durchschnitt das Auftreten einer solchen Temperaturdifferenz zu erwarten ist, d. h. welches bei Beobachtung einer sehr großen Anzahl von Gasen und des Auftretens von Temperaturdifferenzen in ihnen der Mittelwert der Zeiten ist, in denen diese Erscheinung sich zeigt. Die energetische Auffassung, die nur mit der kausalen Verknüpfung der Durchschnittswerte arbeitet, kann überhaupt das Entstehen einer Temperaturdifferenz nicht vorhersagen.

Maxwell versuchte nun, den Zusammenhang zwischen der statistischen Auffassung und der strengen mechanischen Kausalität, wie sie Laplace forderte, auf eine etwas andere Art deutlich zu machen als Laplace.

Er beschäftigt sich mit der Möglichkeit, die Moleküle verschiedener Geschwindigkeit willkürlich voneinander zu trennen und so eine vorhersehbare Temperaturdifferenz zu erzeugen. Er beschreibt das so:

„Denken wir uns ein Wesen, dessen Fähigkeiten so verfeinert sind, daß es jedem Molekül auf seinem Laufe folgen kann, dann würde ein solches Wesen, dessen Eigenschaften aber noch im wesentlichen ebenso beschränkt wären wie unsere eigenen, imstande sein, zu tun, was uns gegenwärtig unmöglich ist. . . . Nehmen wir nun an, daß ein solches Gefäß (das mit gleichtemperiertem Gase gefüllt ist) in zwei Hälften A und B durch eine Wand geteilt sei, in der sich eine kleine Öffnung befindet, und daß ein Wesen, das die einzelnen Moleküle sehen kann, diese Öffnung öffnet und schließt, und zwar so, daß es nur den schnelleren Molekülen erlaubt ist, von A nach B zu passieren, und bloß den langsameren von B nach A zu passieren.“

Dem hier tätigen Geiste werden allerdings weniger Fähigkeiten zugeschrieben als Laplace von dem seinigen verlangt, Maxwell sagt sogar ausdrücklich von ihm, daß seine Eigenschaften „im wesentlichen“ ebenso beschränkt sind wie die menschlichen. Es dürfte aber sehr schwer sein, den Unterschied zwischen wesentlicher und unwesentlicher Beschränktheit scharf zu fassen und darauf eine Rangordnung der zur Erläuterung des Kausalgesetzes notwendigen Dämonen zu begründen. Es scheint mir jedenfalls von

tieferer Bedeutung zu sein, daß an der Stelle, wo das Kausalgesetz für ein System von Massenpunkten in voller Allgemeinheit konkret ausgesprochen werden soll, Maxwell ebenso wie Laplace seine Zuflucht zum Geisterreich nehmen muß. Es scheint mir darin mehr zu stecken als eine bloße Redeweise, wie man meist annimmt, sondern ein Hinweis auf eine wesentliche Schwierigkeit in der Formulierung des allgemeinen Begriffes der mechanischen Kausalität.

7. Stimmen von Physikern gegen die Allgemeingültigkeit der mechanischen Kausalität.

Durch die statistische Auffassung und ihre Entwicklung wird die Ansicht nahegelegt, daß die Aussage der Newtonschen Bewegungsgesetze für jedes einzelne Molekül oder gar jedes einzelne Elektron gar keine Aussage über die wirkliche Welt ist. Das würde aber bedeuten, daß, wie es schon F. Exner für möglich erklärt hat, die Behauptung, es existiere eine mechanische Kausalität für jedes noch so kleine Einzelteilchen, keine Aussage über die Wirklichkeit ist, sondern nur als ein tautologischer Satz einen konkreten Sinn haben kann. Wenn man aber einen derartigen Gedanken einmal gefaßt hat, so ist es nicht im vorhinein klar, wie groß das Gebiet der Vorgänge ist, innerhalb dessen keine kausalen Gesetze als sinnvolle Aussagen über die Wirklichkeit formuliert werden können. Ist dieses Gebiet wirklich nur das der molekularen und atomaren Erscheinungen? Vielleicht war es zuerst v. Mises, der in seinem Vortrage „Über die gegenwärtige Krise der Mechanik“ darauf hingewiesen hat, daß auch auf dem Gebiete der Mechanik im engeren Sinne, der beobachtbaren Vorgänge in flüssigen und festen Körpern, Vorgänge existieren, die sich mit Hilfe kausaler Gesetze nicht gut darstellen lassen.

„Wenn wir Wasser durch ein zylindrisches Rohr gleichförmig fließen lassen, so müssen wir dabei, je nach den Abmessungen, zehn-, hundert- oder tausendmal mehr Druck aufwenden, als dem Poiseuilleschen Gesetze entspricht, das eine unmittelbare Folgerung der Theorie zäher Flüssigkeiten ist.“

Es versagt also hier die analog der Newtonschen Mechanik aufgebaute Mechanik der Kontinua. Man muß dabei beachten, daß in dieser Theorie, wie schon in Kapitel II, Abschn. 11 bemerkt wurde, unter Geschwindigkeit wie überall in der Mechanik der Kontinua eigentlich der statistische Mittelwert der Teilchen in einem kleinen

Volumelement zu verstehen ist. Man darf sich daher nicht wundern, daß die Darstellung der beobachtbaren Erscheinungen durch eine von Ort zu Ort stetig wechselnde Geschwindigkeit nur dann gelingen kann, wenn in den Geschwindigkeiten der Massen, die eine bereits beobachtbare Größe haben, keine zu großen Differenzen von Ort zu Ort vorhanden sind. Denn nur in diesem Falle gibt die Geschwindigkeit als stetige Funktion des Ortes eine annähernde Darstellung der beobachtbaren Geschwindigkeiten.

„Man weiß schon seit Poncelet und Saint-Venant, daß diese Unstimmigkeit (zwischen der beobachteten und der aus der Mechanik der Kontinua berechneten Geschwindigkeits- und Druckverteilung) daher rührt, daß die Bewegung des Wassers gar keine gleichförmige ist, sondern sich zahllose kleine, unregelmäßige Pulsationen über eine verhältnismäßig ruhige Grundbewegung lagern. Die mechanischen Differentialgleichungen können aber ihrem ursprünglichen Sinn nach nur für die wirklichen Bewegungen aller Einzelteilchen gelten und besagen nichts über die Scheinwerte von Druck und Geschwindigkeit, die durch eine unbeabsichtigte Mittelwertbildung nach Ort und Zeit zustande kommen.“

Die kleinen, mit freiem Auge beobachtbaren, außerordentlich wechselvollen, unregelmäßig schwankenden, fast zitternden Bewegungen der Einzelteilchen einer im ganzen ruhig strömenden Flüssigkeit entziehen sich der Verfolgung und Darstellung im Sinne der klassischen Mechanik.“

Ähnliche Erscheinungen gibt es nach v. Mises auch bei den festen elastischen Körpern. Diese verhalten sich nur unterhalb einer gewissen Beanspruchung nach den Gesetzen der Mechanik der Kontinua.

„Ist die sogenannte Elastizitätsgrenze beim festen Körper überschritten, tritt der sogenannte Fließzustand ein, da zeigt sich dem Beobachter, daß innerhalb der zahllosen, endlich ausgedehnten und unter dem Mikroskop deutlich erkennbaren Kristallen oder Kristalliten des Körpers Lagen- und Richtungsänderungen vor sich gehen, die nicht anders als statistisch zu erfassen sind . . . Kein Mensch denkt daran, daß sich die Bewegungen dieser Kristalle beim Fließen des festen Körpers eindeutig nach den Gesetzen der Mechanik, etwa aus Randbedingungen und Anfangszustand, bestimmen lassen.“

Nach der Ansicht von v. Mises verhält es sich hier ähnlich wie bei der Brownschen Bewegung. Auch bei dieser hat man es mit beobachtbaren Teilchen zu tun. Aber es gibt keine Theorie, die es versuchen würde, das zukünftige Schicksal eines solchen Teilchens aus seinem Anfangszustand vorhersagen zu wollen.

8. Antikausale Auffassung in der Quantenmechanik.

Alle diese skeptischen Ansichten über die allgemeine Anwendbarkeit des Kausalgesetzes in der Physik waren aber nur ein schwaches Vorspiel zu der Auffassung, die in der heutigen Quantenmechanik oft vertreten wird und die zum ersten Male sich selbst mit vollem Bewußtsein und voller Konsequenz als antikausal bezeichnet.

Diese Auffassung stellt sich in schärfsten Gegensatz zu der Ansicht, die Laplace mit den Worten formulierte:

„Alle Ereignisse, selbst diejenigen, auf die sich wegen ihrer Kleinheit die großen Naturgesetze nicht zu beziehen scheinen, folgen aus diesen ebenso notwendig wie die Umläufe der Sonne.“

Im ausgesprochenen Gegensatze dazu wird in der heutigen Quantenmechanik behauptet, daß sich für die kleinsten Teilchen im Innern der Atome und die feinsten Vorgänge innerhalb der Materie keine Gesetze formulieren lassen, die den Gesetzen für die Umläufe der Himmelskörper ähnlich oder gar gleich sind. Für diese Vorgänge im Kleinen soll es vielmehr nur Gesetze über Durchschnittswerte geben. Das hat aber nicht denselben Sinn wie in der statistischen Mechanik von Maxwell oder Boltzmann, wo man die kausalen Gesetze der Newtonschen Mechanik an die Spitze stellt und aus ihnen Gesetze für die Durchschnittswerte ableitet. Sondern die Grundhypothesen der neuen Theorie sind schon Aussagen über Durchschnittswerte; und es wird behauptet, daß die Einzelwerte, aus denen dieser Durchschnitt gebildet wird, überhaupt keiner kausalen Gesetzmäßigkeit genügen.

Dabei ist allerdings ebensowenig wie in der klassischen Statistik Boltzmanns die Sache so einfach, daß nun etwa für die beobachtbaren Durchschnittswerte eine kausale Gesetzmäßigkeit bestände; sondern die Gesetzmäßigkeit besteht für Größen, die selbst nicht beobachtbar sind, aus denen sich die beobachtbaren Durchschnittswerte wohl berechnen lassen, aber nicht umgekehrt.

Auch nach der klassischen Statistik läßt sich z. B. aus der Dichteverteilung eines Gases im gegenwärtigen Zeitpunkt die Dichteverteilung für einen späteren Zeitpunkt nicht mit Sicherheit vorausberechnen, da mit derselben Dichteverteilung sehr verschiedene Zustände der einzelnen Massenpunkte vereinbar sind, aus denen sich ganz verschiedene zukünftige Dichteverteilungen entwickeln können.

Ebenso ist in der Quantenmechanik die anfängliche Verteilung einer Menge kleiner Teilchen noch nicht maßgebend für ihre zukünftige Verteilung. So wie nach der klassischen Mechanik das maßgebende für die Zukunft der augenblickliche Zustand (Lage und Geschwindigkeit) der nicht beobachtbaren Massenpunkte ist, so ist in der Quantenmechanik die gegenwärtige Werteverteilung der Wellenfunktion im ganzen Raume, die ebenfalls nicht beobachtbar ist, für die Zukunft der Menge kleiner Teilchen maßgebend. Nur war die klassische Mechanik davon überzeugt, daß es ganz gut möglich sei, bei genügender Verfeinerung der technischen Hilfsmittel schließlich den Zustand der einzelnen Massenpunkte so genau zu bestimmen, daß man einmal aus der Beobachtung eines Gases im gegenwärtigen Zeitpunkt dessen Zukunft werde genau vorhersagen können. Daß allerdings in dieser Meinung sehr unbestimmte Hoffnungen auf Steigerung der menschlichen Fähigkeiten stecken, zeigt die Einführung der mehr oder weniger übermenschlichen Intelligenzen durch Laplace und Maxwell.

Die neue Quantenmechanik ist aber im vorherein der Überzeugung, daß prinzipiell keine Möglichkeit besteht, die Anfangswerte der Wellenfunktion genau festzustellen. Dieser antikausale Standpunkt der modernen Quantenmechanik hat nun wieder nach rückwärts wirkend unser Auge für die ganze Schwierigkeit der Formulierung des Kausalgesetzes auch in der klassischen Physik geschärft. Sie hat uns gezeigt, daß dieses Gesetz in der Physik nicht etwas Selbstverständliches ist, sondern daß es im Gegenteil sehr schwierig ist, seinen Inhalt und seine Gültigkeitsgrenzen zu formulieren.

9. Kausalität und Wunderglauben.

Viele werden es für sonderbar halten, daß sich eine wissenschaftliche Schrift mit Ansichten auseinandersetzt, die meist vornehm ignoriert werden. Ich glaube aber, daß man den wirklichen Inhalt des Kausalgesetzes niemals richtig verstehen kann, wenn man nicht bis an die Grenzen dessen vordringt, was man noch als „wissenschaftlich“ zu bezeichnen pflegt. Denn nur so wird man viele Ansichten verstehen können, die als wissenschaftliche auftreten, weil sie unerkannt über jene Grenzen herübergewandert sind und am leichtesten denjenigen irre machen, der gewohnt

ist, jene unangenehmen Grenzbezirke zu vermeiden und sich nur im Inneren des Gebietes aufzuhalten, das von der Wissenschaft als exakt anerkannt ist.

Der Glaube an Wunder ist eine der verbreitetsten antikausalen Auffassungen. Dabei versteht man zumeist unter einem Wunder jede Abweichung von den Naturgesetzen. Der Wundergläubige hält es für möglich, daß manchmal solche Ausnahmen stattfinden, die vom Eingreifen höherer Mächte herrühren, d. h. daß in manchen Fällen anstatt des Ereignisses, das nach den Naturgesetzen eintreten sollte, ein anderes eintritt, das von jener höheren Macht beabsichtigt wird.

Dabei gibt es zwei Auffassungen: Die unter den wissenschaftlichen Laien am meisten verbreitete ist die, daß die Naturgesetze in dem Sinne allgemein sind, daß in jedem Zeitpunkte feststeht, was nach ihnen geschehen sollte, daß aber trotzdem durch Eingreifen der höheren Macht etwas anderes geschieht. Die andere, ich möchte sagen, „wissenschaftlichere“ Auffassung ist die, daß die Naturgesetze nicht so beschaffen sind, daß sie alles vorherbestimmen. Sie lassen vielmehr gewisse Lücken. Unter gewissen Umständen sagen sie nicht aus, was bestimmt eintritt, sondern lassen verschiedene Möglichkeiten offen; welche von diesen Möglichkeiten verwirklicht wird, hängt von jener höheren Macht ab, die also eingreifen kann, ohne die Naturgesetze zu verletzen.

10. Die „Durchbrechung“ der Naturgesetze.

Besprechen wir zunächst den ersten Standpunkt. Nach ihm gibt es eine lückenlose „natürliche“ Weltordnung, die aber durch übernatürliche Eingriffe durchbrochen werden kann. Diese Behauptung beruht auf der Unterscheidung zwischen natürlicher und übernatürlicher Ordnung. Jede von beiden ist aber eine Ordnung, d. h. gehorcht Gesetzen. Diese sind in der natürlichen Ordnung gewöhnliche mechanische oder allgemeiner gesprochen, physikalische Gesetze, in der übernatürlichen hingegen der Plan einer übermenschlichen Intelligenz.

Die Vorstellung, daß es zwei verschiedene Ordnungen für das Geschehen gibt, hat auch innerhalb der Physik manchmal geherrscht. Die antik-mittelalterliche Physik unterschied die Gesetze für himmlische und irdische Körper. Die himmlischen Körper

wie Sonne, Mond und Sterne gehorchten nach dieser Auffassung ganz anderen Bewegungsgesetzen als die irdischen Körper wie Steine, Hölzer usw. Die Bewegungsgesetze der himmlischen Körper mögen schöner und edler gewesen sein (sie verlangten Kreisbewegungen) als die für irdische Körper, die ganz nüchtern und praktisch auf dem kürzesten Wege ihren Ort suchten, also geradlinige Bahnen beschrieben. Aber trotzdem waren beides Bewegungsgesetze.

Ja auch in der modernen Astrophysik tritt dieser Unterschied in gewissem Sinne auf. Gewisse chemische Elemente können auf der Erde nach den Naturgesetzen bestimmte Spektrallinien nicht aussenden; im Spektrum der Fixsternnebel, das ist ja der Himmel der antiken Welt, erscheinen diese Linien. Deshalb kann man gewiß nicht sagen, daß dort die Naturgesetze durchbrochen werden; sondern diese Gesetze werden eben so formuliert, daß unter den Verhältnissen auf der Erde diese Linien nicht ausgesendet werden können, wohl aber auf den Fixsternnebeln, weshalb sie auch Nebellinien heißen.

Man sieht schon an diesem Beispiel: Wenn zwei Ordnungen herrschen, so darf man deshalb noch nicht sagen, daß sie einander widersprechen. Im Gegenteil: Wenn beide existieren, kann man immer eine allerdings kompliziertere Gesetzmäßigkeit angeben, welche sie beide umfaßt.

Wenn ein Eingreifen einer höheren Macht beobachtet wird, die z. B. imstande ist zu erzielen, daß ein Mensch jahrelang hungert, ohne an Gewicht abzunehmen, so existiert eben kein Naturgesetz von der einfachen Form, daß ein Mensch ohne Nahrungsaufnahme nicht leben kann, sondern nur ein Gesetz von der komplizierteren Art, nach dem der Mensch unter gewissen Umständen wohl Nahrungsmittel braucht, unter gewissen anderen, zu denen das Eingreifen einer höheren Macht gehört, auch hungernd leben kann.

Man sieht, daß die Frage des Wunders mit dem Kausalitätsproblem in diesem Sinne gar nichts zu tun hat, sondern nur mit der Frage, wie die Gesetzmäßigkeit der Natur beschaffen ist.

Nach der Auffassung der katholischen Theologie liegt das Kriterium für ein wirkliches Wunder auch durchaus nicht in der Durchbrechung der Naturgesetze. Denn auch die Theologen haben bereits erkannt, daß sich eine solche Durchbrechung nie

feststellen läßt, weil man die Naturgesetze immer so formulieren kann, daß sie auch die als Wunder betrachtete Erscheinung zulassen. Als Kriterium eines wirklichen Wunders wird vielmehr angesehen, daß die betreffende Erscheinung ganz deutlich und sichtbar den Zweck verfolgt, das Wirken Gottes in der Welt den Menschen zu zeigen; das echte Wunder ist ein Propagandamittel für den wahren Glauben. Man führt ja sogar das allmähliche Abnehmen der Wunder darauf zurück, daß sie nicht mehr notwendig sind, seitdem das Christentum zur Herrschaft gelangt ist.

Das Wunder ist also keine Durchbrechung der Naturgesetze, sondern der Glaube an Wunder ist der Glaube daran, daß zur Darstellung der beobachtbaren Erscheinungen nicht die naturwissenschaftlichen Begriffe allein genügen, sondern daß dazu noch psychologische Begriffe (wie z. B. der Wille eines höheren Wesens zur Belehrung der Menschen) hinzukommen müssen.

Aber eine Durchbrechung der Naturgesetze wäre ein derartiges Wunder ebensowenig, wie das Auftreten von elektrischen Kräften in einem mechanischen System eine Durchbrechung der Naturgesetze ist.

Wenn ein schwerer Körper, den man frei fallen läßt, sich nicht abwärts, sondern aufwärts bewegt, weil ein Magnet ihn hinaufzieht, so ist dadurch das Gesetz der Schwerkraft nicht „durchbrochen,“ sondern man sieht, daß man eben nicht alle Erscheinungen durch das einfache Gesetz der Schwere darstellen kann.

11. Eine historische Bemerkung.

Schon in dem alten Dictionnaire philosophique von Voltaire ist die Definition des Wunders als Durchbrechung der Naturgesetze in ihrer Unhaltbarkeit dargestellt. Es heißt dort in dem Artikel „Miracles“:

„Nach den überlieferten Ideen bezeichnen wir als Wunder die Verletzung der göttlichen und ewigen Naturgesetze. Wenn eine Sonnenfinsternis während des Vollmondes stattfindet, oder ein Toter zwei Meilen Weges zu Fuß macht und dabei seinen Kopf unter dem Arm trägt, so nennen wir das ein Wunder. Viele Physiker behaupten, daß es in diesem Sinne keine Wunder geben kann, und folgendes sind ihre Argumente: Ein Wunder ist die Verletzung der mathematischen, göttlichen, unveränderlichen, ewigen Gesetze. Wenn man das so erklärt, ist das Wunder seinem Begriffe nach ein ausdrücklicher Widerspruch in sich. Ein Gesetz kann nicht zugleich unveränderlich sein und verletzt werden.“

Aber, erwidert man ihnen, die Gesetze rühren ja von Gott selbst her: Können sie da nicht von ihrem Urheber auch außer Kraft gesetzt werden? Sie haben die Keckheit, darauf zu antworten: Nein, es ist unmöglich, daß das unendlich weise Wesen Gesetze gemacht hat, um sie zu verletzen. Sie sagen weiter, er könnte seine Maschine nur dann stören, um ihren Gang zu verbessern; es ist aber klar, daß Gott diese riesige Maschine so gut konstruiert hat als es ihm möglich war; wenn er bemerkt hat, daß diese Maschine fehlerhaft ist, so hat er sie eben von Anfang an fehlerhaft gebaut; er wird also niemals an ihr etwas ändern.“

Hier ist ganz deutlich auseinandergesetzt, daß nicht die Durchbrechung der Naturgesetze das Charakteristische für das Wunder sein kann, sondern die Einführung einer höheren Intelligenz, die der Welt ihr Dasein deutlich zeigen will.

12. „Lücken“ in den Naturgesetzen.

Eine viel größere Rolle als die Vorstellung von einer möglichen Durchbrechung der Naturgesetze spielt auch heute noch in der Wissenschaft die Meinung, daß die Gesetzmäßigkeit in der Natur Lücken besitze. Wenn man versucht sich klarzumachen, was eigentlich eine „Lücke in der Naturgesetzlichkeit“ bedeutet, so bemerkt man, daß das gar nicht so leicht ist. Die Vorstellung von solchen Lücken war immer sehr beliebt bei denjenigen, die den Glauben an Wunder mit der Allgemeingültigkeit der Naturgesetze vereinigen und daher ein Durchbrechen der Naturgesetze durch das Eingreifen höherer Mächte nicht zugeben wollten.

Gehen wir etwa von der Auffassung aus, die Laplace von der Naturgesetzlichkeit hatte, und fragen wir uns, wo man in diesem System Lücken suchen kann. Läßt man die Annahme dieser Theorie gelten, daß die Zukunft eines Systems durch den gegenwärtigen Zustand bestimmt ist, und zwar dadurch, daß in jedem Zeitpunkt die Beschleunigung sich aus der augenblicklichen Lage und Geschwindigkeit mit Hilfe des Newtonschen Gesetzes „Masse mal Beschleunigung ist gleich Kraft“ berechnen läßt, gibt es Lücken nur dort, wo die Kraftgesetze versagen. Wenn man z. B. das Newtonsche Gravitationsgesetz betrachtet, nach dem die Kraft verkehrt proportional dem Abstände vom wirkenden Massenpunkt ist, so ist die Beschleunigung offenbar überall bestimmt, wo diese Gravitationskraft einen nach Größe und Richtung festgelegten Wert hat. Das ist aber überall der Fall mit Ausnahme der

Raumpunkte, die mit den wirkenden Massenpunkten zusammenfallen, weil dort die Kraft die Intensität „unendlich“ erhält, und ihre Richtung vollkommen unbestimmt wird. Dieser Fall tritt beim Zusammenstoß schwerer Massenpunkte ein. Mathematisch gesprochen, haben wir es hier mit singulären Stellen der Differentialgleichungen der Bewegung zu tun. Das Vorhandensein solcher Stellen wurde schon von vielen Mathematikern als ein Beweis für das Vorhandensein von „Lücken“ in den Naturgesetzen angesehen.

Wenn also zwei Massenpunkte zusammenstoßen, könnte nach dieser Auffassung eine höhere Macht, ohne die Naturgesetze zu verletzen, den Massenpunkten durch einen kleinen Stoß eine bestimmte Bewegung vorschreiben, bis sie wieder in eine solche Entfernung kommen, wo ihre weitere Zukunft durch die mechanischen Gesetze bestimmt ist. Dieser kleine Stoß würde aber genügen, um dem ganzen Weltgeschehen eine neue Richtung zu geben.

Das wird am deutlichsten, wenn man diese Betrachtung auf die Welt der Atome und Moleküle anwendet. Durch die Zusammenstöße der Moleküle erklärt die mechanische Wärmetheorie alle Erscheinungen in warmen Körpern. Wenn ein Molekül A mit einem Molekül B zusammenstößt, so kann durch das Eingreifen jener höheren Macht A links oder rechts von B seinen weiteren Weg nehmen. Dasselbe gilt bei den folgenden Zusammenstößen von A mit den Molekülen B_1 , B_2 usw. Das Resultat wird sein, daß je nach der Art der von jener Macht erteilten kleinen Stöße das Molekül A ganz verschiedene Wege machen wird. Da dasselbe für jedes Molekül gilt, so hat jene äußere Macht trotz der geltenden mechanischen Gesetze mit Hilfe jener „Lücken“ allein die ganze Bewegung der Moleküle und dadurch das ganze auf dieser Bewegung beruhende Weltgeschehen in ihrer Gewalt.

Damit verwandt ist eine Ansicht, nach der durch nicht-physikalische Ursachen solche Änderungen an der Bewegung der Massenpunkte hervorgebracht werden können, bei denen „nur“ die Richtung der Bewegung geändert wird, ohne die lebendige Kraft zu beeinflussen. Über diese Art, Lücken zu schaffen, werden wir erst im Kap. V. Abschn. 1 und 2 näheres sagen.

13. Lücken durch den Unterschied zwischen mathematischen Punkten und beobachtbaren Raumstellen.

Die Bedeutung der Lücken, die durch die singulären Stellen des Kraftfeldes entstehen, tritt aber noch deutlicher hervor, wenn man nicht auf die abstrakt mathematischen Werte der Koordinaten jener Stellen die Aufmerksamkeit lenkt, sondern auch auf ihre Beziehung zu den wirklich beobachtbaren Größen. Es ist ja klar, daß durch keinerlei Messung eine Zahl im Sinne der Präzisionsmathematik (etwa eine irrationale Zahl, ein unendlicher Dezimalbruch) definiert werden kann. Es ist z. B. völlig unmöglich anzugeben, ob das Resultat einer bestimmten Messung eine rationale oder eine irrationale Zahl ist. Wenn also ein Anfangszustand Z beobachtet wird, so entspricht dem in den mathematisch formulierten Gesetzen, z. B. in den Newtonschen Bewegungsgleichungen eine ganze Schar von Zuständen $Z_1, Z_2, Z_3 \dots$, die alle demselben beobachtbaren Zustand Z zugeordnet sind. Aus den Gleichungen läßt sich nun aus jedem der Zustände $Z_1, Z_2 \dots$, wenn wir sie als Anfangszustände zur Zeit t_0 ansehen, ein anderer Endzustand $U_1, U_2 \dots$ zur Zeit t prophezeien. Wenn diese mathematischen Zustände $U_1, U_2 \dots$ einander so benachbart sind, daß sie einem einzigen beobachteten Zustand U zugeordnet werden können, so läßt sich mit Hilfe der Bewegungsgleichungen aus dem beobachteten Anfangszustand Z ein beobachtbarer Endzustand U vorhersagen.

Wenn aber die Werte $U_1, U_2 \dots$ so weit voneinander entfernt liegen, daß ihnen verschiedene beobachtbare Zustände zugeordnet werden müssen, läßt sich aus dem beobachteten Zustande Z die Zukunft nicht vorhersagen. Es tritt eine Lücke ein.

Derartige Unbestimmtheiten kommen aber sehr oft vor. Wenn z. B. eine Kugel von oben die Kante trifft, in der zwei schiefe Ebenen zusammenstoßen (Abb. 1), so wird die Kugel, je nachdem sie eine noch so kleine horizontale Anfangsgeschwindigkeit nach links oder rechts hat, infolge der nach verschiedenen Seiten geneigten schiefen Ebenen entweder ganz nach rechts oder ganz nach links rollen. Aus beliebig wenig verschiedenen Anfangsbedingungen folgen ganz verschiedene Bewegungen in der Zu-

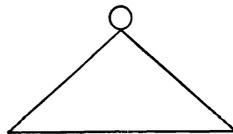


Abb. 1.

kunft. Aus der Beobachtung des Anfangszustandes läßt sich daher das Schicksal der Kugel in keiner Weise vorhersagen.

Etwas derartiges tritt im Grunde genommen bei allen Glücksspielen auf. Ganz kleine Unterschiede in den Anfangsbedingungen haben zur Folge, daß eine Münze auf die eine oder die andere Seite fällt, daß die Kugel beim Roulettespiel auf einem schwarzen oder roten Felde stehen bleibt.

Aber noch mehr: Wir stoßen bei allen mechanischen Vorgängen auf solche Unbestimmtheiten, wenn wir die Bewegungen nicht nur im Großen, sondern in allen Einzelheiten zu verfolgen suchen. Der Charakter einer Flüssigkeitsbewegung hängt von ganz kleinen Unebenheiten der Wände ab; die Zusammenstöße der Gasmoleküle hängen davon ab, ob ein erster Stoß von der zentralen Richtung ein ganz klein wenig nach rechts oder links abweicht, wodurch alle späteren Zusammenstöße in ihren Anfangsbedingungen in entscheidender Weise beeinflußt werden. Von diesen Zusammenstößen hängen aber auch alle Bewegungen großer Körper ab, wenn sie in der Luft erfolgen, und sei diese noch so verdünnt. Will man also die Bahn eines frei fallenden Körpers, selbst im sogenannten Vakuum, in allen Einzelheiten verfolgen, so kann sie aus der Beobachtung des Anfangszustandes nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden, da durch die Zusammenstöße mit den Gasmolekülen immer die geschilderte Unbestimmtheit hineinspielt.

In diesem Sinne kann man sagen, daß die Welt der mechanischen Gesetzmäßigkeit, wenn man sie bis in die feinsten Einzelheiten verfolgen will, „Lücken hat wie ein Sieb“.

14. Über die Benutzung der Lücken in der mechanischen Gesetzmäßigkeit.

Wenn die Gesetze der Mechanik solche Lücken offenlassen, so ist es natürlich möglich, daß die Entscheidung über das Schicksal der Massenpunkte durch eine andersartige Gesetzmäßigkeit erfolgt. Es könnte z. B. sein, daß in dem Falle, wo die Anfangsbedingungen einer Lücke entsprechen, nicht mehr die Bewegung jedes einzelnen Massenpunktes vorhergesagt werden kann, wohl aber die durchschnittliche Bewegung sehr vieler Massenpunkte. Man spricht dann von einer „statistischen Gesetzmäßigkeit“ im Gegensatz zur „dynamischen“.

Es könnte aber auch sein, daß ein der menschlichen Intelligenz

ähnliches, aber ihr überlegenes Wesen eingreift und die Lücken benutzt, um die Bewegung der Massenpunkte ihrem Plane gemäß zu lenken. Diese Vorstellung liegt eigentlich dem Maxwell'schen Dämon zugrunde, der bei den Zusammenstößen der Moleküle die Lücken der mechanischen Gesetzmäßigkeit ausnutzen kann, um die langsamen von den schnellen Molekülen zu sondern und so in einem gleichmäßig temperierten, mit Gas gefülltem Gefäße die eine Hälfte warm und die andere kalt zu machen. Dabei ist es gleichgültig, ob man die Lücken in den singulären Stellen der Differentialgleichungen sieht oder in dem Versagen der Zuordnung zwischen empirisch beobachteten Zuständen und mathematischen Lösungen der Gleichungen der Mechanik.

Der Maxwell'sche Dämon ist der Typus des Wundertäters, wenn wir unter einem Wunder das Eingreifen einer höheren Intelligenz in die Lücken der Naturgesetze verstehen. In ähnlicher Weise hat man sich vorzustellen, daß eine höhere Intelligenz, ohne die mechanischen Gesetze zu verletzen, die schwersten Körper entgegen der Schwerkraft plötzlich in die Höhe heben kann, indem sie die ungeordnete Wärmebewegung der Moleküle gleichrichtet.

Damit aber ein solcher Vorgang als Wunder anzusehen ist, müssen wir erst die Existenz jener Intelligenz annehmen; denn sonst könnte man ein Wunder von einem „Zufall“ nicht unterscheiden. Die bloße Aussage, daß trotz der Lücken in der mechanischen Gesetzmäßigkeit doch irgend etwas Bestimmtes geschieht, ist überhaupt keine Aussage über die Wirklichkeit, solange nicht über dieses Geschehen etwas Positives ausgesagt wird, d. h. solange nicht für dieses Geschehen eine Regel aufgestellt wird, mag sie auch noch so sehr von einem mechanischen Gesetz abweichen.

15. Beim Wunder muß das Eingreifen in die Lücken planmäßig sein.

Wir müssen Grund haben anzunehmen, daß jene Intelligenz mit dem plötzlichen Heben des Körpers einen Plan verfolgt, der etwa darin besteht, ihr Vorhandensein den Menschen zu beweisen; ohne einen solchen Plan ist der Begriff des Wunders vollkommen sinnlos. Der bloße Mangel einer Bestimmtheit, der Begriff einer in den Naturgesetzen nicht vorhergesehenen Erscheinung, läßt sich nicht exakt fassen, sondern es muß schon dazu kommen, daß in die Lücken der mechanischen Gesetzmäßigkeit ein Plan im

Sinne menschlichen Planens sich hineinschiebt. Wir kommen hier ebenso wie bei der sogenannten „Durchbrechung“ der Naturgesetze dazu, daß der Begriff des Wunders sich nicht auf die Lücken der mechanischen Gesetzmäßigkeiten allein begründen läßt, sondern daß eine positive Aussage notwendig ist. Das Wunder kann also nicht anders aufgefaßt werden, als es in der theologischen Literatur geschieht. Es gibt keinen „wissenschaftlichen“ Begriff des Wunders.

Damit ist aber nur an Stelle der mechanischen Gesetzmäßigkeit eine andere Art von Gesetzmäßigkeit getreten, die es anstatt mit Massenpunkten mit psychologischen Zuständen einer höheren Intelligenz zu tun hat. Wenn man unter Kausalität nur die ständigen Verknüpfungen zwischen den Ereignissen versteht, ist der Wunderglaube ebenso damit vereinbar wie der Glaube an die Allgemeingültigkeit der strengsten mechanischen Gesetzmäßigkeit.

Um alles zusammenzufassen: Die mechanische Gesetzmäßigkeit hat ihre Lücken, deren Existenz läßt sich aber noch nicht für das Vorhandensein von Wundern verwerten; sondern dieses muß positiv aufgewiesen werden, indem man den Plan, nach dem die Lücken ausgefüllt werden, darlegt und zusieht, ob die Erscheinungen der wirklichen Welt damit übereinstimmen.

16. Zweckbetrachtungen anstatt kausaler Auffassungen.

Vielleicht wird mancher glauben, daß über das Wunder schon zuviel gesagt wurde, da ja der Wunderglaube in der Naturwissenschaft keine große Rolle spiele. Das ist aber nicht der Fall. Wir werden sehen, daß die Darlegungen über den Wunderglauben in ihren Grundzügen sich auch auf Anschauungen anwenden lassen, die noch heute in der Naturwissenschaft sehr viele und sehr angesehene Vertreter haben.

Es wird oft und immer wieder behauptet, daß die Erscheinungen in der belebten Natur sich nicht durch „blinde“ mechanische Kausalität erklären lassen, sondern daß man hier das Wirken eines Planes annehmen müsse. Ähnlich wie ein Baumeister ein Gebäude plant, indem er zuerst eine Zeichnung entwirft, bevor er das wirkliche Gebäude errichtet, so sollen die Gestalten der organischen Wesen, Pflanzen und Tiere, in dem Gedanken einer übermensch-

lichen Intelligenz bereits vorhanden gewesen sein, ehe sie in der wirklichen Welt auftraten. Damit verbindet man gewöhnlich einen charakteristischen Unterschied, der zwischen der Erklärung aus Ursachen (kausaler Erklärung) und aus einem Plan (finaler, teleologischer Erklärung) bestehen soll.

Im ersten Fall soll jede Erscheinung durch die vorhergehenden Erscheinungen bedingt sein, im zweiten durch einen in der Zukunft zu erreichenden Zweck. Dieser Unterschied zwischen Ursachen und Zwecken hat seit jeher in der philosophischen Naturbetrachtung eine sehr große Rolle gespielt. Meiner Ansicht nach ist aber diese ganze Gegenüberstellung von Zweck und Ursache, von Teleologie und Kausalität nur der Ausdruck eines noch sehr oberflächlichen Erfassens des Naturgeschehens. Mit ihr stehen wir noch auf der Stufe der animistischen Weltauffassung. Und mag sie auch später in noch so moderner Kleidung, mit Verwendung einer noch so „philosophischen“ Terminologie auftreten, z. B. als Neovitalismus, als Ganzheitslehre, als Wesensschau usw.; und mag sie sich selbst der neuesten Quantenmechanik als Argument bedienen, so bleibt sie im Grunde immer dieselbe primitive Auffassung, nach welcher die Völker der vorwissenschaftlichen Periode jeden Naturvorgang als eine Erscheinung ansahen, die ähnlich wie die Bewegung von Mensch und Tier aus Gefühlen, Gedanken und Strebungen zu verstehen ist.

Diese, wie man oft sagt, mystische Naturauffassung rechtfertigt den Ausspruch Nietzsches:

„Die mystischen Erklärungen gelten für tief, sie sind aber noch nicht einmal oberflächlich“.

Dennoch enthalten die teleologischen Auffassungen einen gewissen wahren Kern, einen gewissen Sinn. Das ist selbstverständlich, weil auch der primitive Mensch der vorwissenschaftlichen Periode im allgemeinen nicht geistesgestört, sondern bei gesundem Verstande war. Es konnten sich also auch bei ihm nur solche Ansichten behaupten, denen in der Wirklichkeit etwas entsprach. Nur war eben, wie hier gezeigt werden soll, jene Naturauffassung eine ganz oberflächliche Darstellung des wirklichen Geschehens.

Zu dieser Ansicht muß man kommen, sei es, daß man historisch die Richtung betrachtet, in der sich der Fortschritt der Naturerkenntnis vollzieht, sei es, daß man sich die Frage stellt, was

eigentlich Naturerkenntnis ist und in welcher Art sie Fortschritte machen kann.

17. Die Richtung des Fortschrittes in der Geschichte der Naturwissenschaften.

Wir brauchen nur einen Blick auf die Geschichte der Physik und Chemie zu werfen, um zu sehen, daß der Fortschritt immer wieder mit der Ersetzung teleologischer, anthropomorpher Vorstellungen durch mathematische Gesetze Hand in Hand geht. An Stelle der Kräfte als Strebungen tritt immer mehr die Angabe einer Funktion von Lage und Geschwindigkeit, durch welche die Beschleunigungen bestimmt sind. An Stelle der Lehre von den chemischen Wahlverwandtschaften tritt die Darstellung des Aufbaues der chemischen Verbindungen aus elektrischen Ladungen, deren Wechselwirkungen durch mathematische Gesetze beherrscht werden. An Stelle der gemütvollen Zuneigungen und Abneigungen zwischen chemischen Stoffen tritt die nüchterne Tatsache, daß die Energiedifferenzen zwischen gewissen Zuständen geringer sind als zwischen anderen, wobei das Wort Energie auch nichts Anthropomorphes bedeutet, sondern nur den Zahlenwert gewisser Funktionen des Zustandes (z. B. der Lagekoordinaten).

Und im Grunde genommen steht es in der Geschichte der Biologie nicht anders. Immer mehr treten Biochemie und Biophysik in den Vordergrund; und wenn auch immer wieder behauptet wird, daß man dadurch dem „Rätsel des Lebens“ nicht näher kommt, und wenn der alte Begriff der „Lebenskraft“ unter neuen Namen von Zeit zu Zeit wieder aufzutauchen pflegt, so ist damit immer nur etwas Negatives ausgedrückt. Man verzweifelt an der Möglichkeit, die Lebenserscheinungen mit Hilfe der physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten darstellen zu können, und der Ausdruck dieser Verzweiflung heißt Vitalismus. Aber nirgends findet man einen positiven Fortschritt, der mit Hilfe der vitalistischen Begriffe je erzielt worden wäre. Nirgends gibt es eine wirklich vitalistische Biologie. Mit Verzweiflungsrufen läßt sich nichts aufbauen. Die Vitalisten müssen aber, wenn sie wirklich Biologie treiben wollen, während dieser Zeit in ihren Verzweiflungsrufen eine Pause eintreten lassen und mit physikalisch-chemischen Methoden arbeiten. Nach der Pause können sie wieder Vitalisten werden.

18. Der Charakter der Gesetzmäßigkeiten in Physik und Biologie ist derselbe.

Das Betonen der vitalistischen Überzeugung in der Biologie hat keine andere Bedeutung, als wenn ein Physiker fortwährend auf die Unmöglichkeit hinweisen wollte, dem „Rätsel der Materie und der Energie“ mathematisch näher zu kommen. Was wir in der Physik behandeln und mathematisch darstellen, seien immer nur die Äußerungen der Materie und Kraft, ihre Natur selbst sei mit den Methoden der exakten Wissenschaften nicht erfaßbar.

Dieser Standpunkt entspricht vollkommen dem der vitalistischen Biologie. Wenn man ihm einen Sinn zuschreibt, so gilt dieser Sinn für Physik und Biologie gleichmäßig. Irgendein Unterschied besteht nicht. Wir werden später sehen, daß überhaupt kein wissenschaftlicher Sinn darin steckt.

Wenn man nachsieht, wo wirklich eine „nichtmechanistische“ Auffassung in der Biologie an der Arbeit war, nicht nur als lyrische Begleitmusik, sondern als wirkliches leitendes Prinzip bei der Forschung und systematischen Darstellung, so kommt man in große Verlegenheit. In der letzten Zeit wird als Beweis für das Vorhandensein vitalistischer, nichtmechanistischer Elemente im Aufbau der Biologie die Vererbungslehre G. Mendels angeführt. Man sagt: Hier liegt eine Lehre vor, die sehr bestimmte und empirisch prüfbare Aussagen über das Verhalten der Lebewesen macht und die doch nicht mechanistisch und nicht kausal ist, weil nicht angegeben wird, ob ein bestimmter Nachkomme eines Elternpaares bestimmte Merkmale besitzt, sondern nur, wie viele Nachkommen, und das nur im Durchschnitt bei vielen Elternpaaren, dieses oder jenes Merkmal zeigen.

Wir haben schon gesehen, daß die physikalischen Gesetze, wenn wir zu immer feineren Strukturen übergehen, auch nicht anderer Art sind. Schon in der Mechanik der Kontinua, und noch mehr an den Beispielen der statistischen und der Quantenmechanik wird es deutlich, daß es unmöglich ist, die Zukunft jedes noch so kleinen Teilchens der Welt aus seinem gegenwärtigen Zustand eindeutig vorherzusagen. Der Vererbungsvorgang beruht ja in letzter Linie auf der Art, wie sich die Chromosomen der männlichen und weiblichen Geschlechtszellen vereinigen. Es läßt sich nicht vorhersagen, welches bestimmte Chromosom der einen sich gerade mit einem bestimmten der anderen kombiniert. Dabei

muß man aber bedenken, daß uns hier noch viel weniger ins einzelne gehende Kenntnisse des Anfangszustandes zur Verfügung stehen als z. B. bei der Brownschen Bewegung kleiner Teilchen, die in einer Flüssigkeit suspendiert sind. Wir wissen doch beim Vererbungsvorgang überhaupt gar nichts über die momentanen Anfangszustände innerhalb der Zelle, sondern kennen nur die Tatsache der Vereinigung der Geschlechtszellen als Ganzes. Das ist genau dasselbe wie wir beim Schleudern von Würfeln aus einem Würfelbecher nur diesen Vorgang als Ganzes betrachten können und nicht den genauen Anfangszustand jedes einzelnen Würfels.

Das Ergebnis ist auch bei dem mechanischen Experimente des Würfels nicht anders als bei dem biologischen Vererbungsexperiment. Aus der Kenntnis des Anfangszustandes, soweit er beobachtbar ist, läßt sich das Versuchsergebnis nur im statistischen Durchschnitt voraussagen. Die Aussage der Mendelschen Vererbungsgesetze hat genau denselben Charakter wie die Aussage der Wahrscheinlichkeitstheorie, daß im Durchschnitt eine gewisse Augenzahl beim Würfeln erscheint. Irgendein prinzipieller Unterschied zwischen physikalischer und biologischer Gesetzmäßigkeit ist hier nirgends zu entdecken.

19. Gründliches und oberflächliches Erfassen des Naturgeschehens.

Wenn man eine Theorie für eine Gruppe von Naturerscheinungen aufstellt, so kann man sie damit mehr oder weniger gründlich erfassen. Wenn man sie nur in sehr großen Zügen und sehr ungenau darstellen oder vorhersagen kann, so wird man die Theorie eine „oberflächliche“ nennen.

Man kann sie um so „tiefgehender“ nennen, je genauer und sicherer wir mit ihrer Hilfe unsere zukünftigen Erfahrungen vorhersagen können. Wenn man z. B. in der Himmelsmechanik sagt, daß die Planeten ein Bestreben zur Vereinigung mit der Sonne haben, so sagt man damit etwas sehr Oberflächliches über sie aus. Wenn man aber sagt, daß ihre Beschleunigung die Richtung gegen die Sonne hat und verkehrt proportional dem Quadrat der Entfernung von ihr ist, so ist das eine sehr tiefgehende Behauptung über die Planetenbewegung.

Wenn ich nämlich jenes Streben etwas gründlicher zu deuten suche, so wird man hinzufügen müssen, daß es ein Streben nach Geschwindigkeitsänderung, also Beschleunigung ist; dann wird

man weiter ausführen, daß dieses Streben in der Nähe der Sonne immer lebhafter wird und schließlich daß dieses Streben gerade verkehrt proportional dem Quadrat der Entfernung ist. Wenn man also schließlich dieses Streben ganz gründlich charakterisiert hat, sagt man damit genau dasselbe aus wie mit dem Newtonschen Gravitationsgesetz. Wenn man dann das Wort „Streben“ noch fortläßt, so hat man nichts weggelassen, was zur Erfassung der Naturerscheinungen beiträgt; es fehlt nur eine lyrische Floskel.

Die Oberflächlichkeit aller solchen Gleichnisse mit dem menschlichen Seelenleben sieht man auch aus folgendem: Man erklärt das Zusammenhalten der Materie (Kohäsion) mit dem Streben der Teilchen nach Vereinigung (Attraktion). Da aber doch die Materie undurchdringlich ist, d. h. nicht auf ein beliebig kleines Volumen zusammengedrückt werden kann, muß man noch eine Abstoßung (Repulsion) annehmen. Die Teilchen der Materie haben also zugleich Attraktions- und Repulsionstrieb. Daß man aus einer solchen Behauptung nichts und zugleich alles schließen kann, ist klar. Und fast überall, wo man die Physik durch Anlehnung an das Seelenleben erfassen will, kommt man auf solche polare Gegensätze. Es ist eine Ironie der Geistesgeschichte, daß solche Auffassungen dann als ganz „tief fundiert“ bezeichnet werden.

Denn hier gilt wirklich das schon einmal zitierte Wort Nietzsches, der solche tiefe Erklärungen „noch nicht einmal oberflächlich“ nennt. Wenn man nämlich genau angeben soll, was dieser polare Gegensatz zwischen den der Materie eigenen Trieben zur Attraktion und Repulsion eigentlich für die konkrete Welt bedeutet, so muß man angeben, in welcher Entfernung der beiden Körper die Anziehung in die Abstoßung übergeht, d. h. man muß wieder die Funktion der Entfernung angeben, durch welche die Beschleunigung der Körper bestimmt ist. Das dürfte aber kaum mit Hilfe der Triebpsychologie gelingen; oder man müßte für die Materie eigene psychologische Gesetze aufstellen, die nur ein anderer Ausdruck für die Gesetze wären, nach denen die Beschleunigung als Funktion der Entfernung sich ändert.

20. „Verstehende“ Wissenschaften im Gegensatz zu bloß „ordnenden“.

Die im Kapitel I entwickelte Methode der Wissenschaft bezeichnet man oft als die „ordnende“. Sehr häufig wird die Ansicht

vertreten, die Naturwissenschaft müsse sich allerdings mit einer derartigen „Ordnung“ der Erlebnisse begnügen und könne zu einer tieferen Erfassung der Welt nicht vordringen. Wenn die Vertreter der exakten Wissenschaft ihre Aufgabe in einer ähnlichen Art schildern, wie dies im I. Kapitel geschehen ist, so wird darin ein Eingeständnis gesehen, daß die Naturwissenschaft eben auf jedes weitere Eindringen in die Natur verzichten müsse.

So sagt z. B. W. Sombart:

„Bei allen Naturerscheinungen stehe ich einem Rätsel gegenüber, das mit Bestimmtheit zu lösen mir versagt ist; alle Naturerscheinungen bleiben für mich ein Wunder, in dessen Tiefe mein Verstand nicht einzudringen vermag . . . Auf die wichtigste Frage: Warum geschieht das alles? vermag uns kein Weiser zu antworten. Und wenn wir wirklich eine Antwort zu geben versuchen, auf die ja die exakten Naturwissenschaften längst verzichtet haben, wie wir bereits feststellen konnten, so bleiben das Vermutungen, die keinen anderen Sinn haben als den: die beobachtbaren Erscheinungen in unserem Verstande zu ordnen . . .“

Gegen diese Feststellungen könnte man auch nichts einwenden, wenn damit nur die Methode der Naturwissenschaft charakterisiert werden sollte. Aber bei Sombart haben derartige Feststellungen ebenso wie bei vielen anderen Vertretern der Geisteswissenschaften immer auch den Nebensinn, daß jenes „Eindringen in die Tiefe“, auf das die exakte Wissenschaft verzichten muß, auf anderen Gebieten spielend leicht vor sich geht, nämlich in den Wissenschaften, die sich mit dem Menschen als Individuum oder mit den von ihm gebildeten Gesellschaften beschäftigen, wie Psychologie, Nationalökonomie, Geschichte usw.

Wenn ich unter so vielen gerade die Äußerung von Sombart herausgegriffen habe, so kommt das daher, daß er sich immer sehr klar und verständlich ausdrückt, während sonst auf diesem Gebiet ein etwas verschwommener Stil sehr verbreitet ist, der eine genaue Analyse der Behauptungen erschwert. W. Sombart gibt ganz konkrete und durchsichtige Beispiele dafür an, wie das „Verstehen“ in den Geisteswissenschaften im Gegensatz zum bloßen „Ordnen“ der Naturwissenschaften vor sich geht. Er stellt immer je zwei analoge Probleme aus den beiden Wissenschaftsarten zusammen, und aus dieser Gegenüberstellung geht deutlich hervor, um wieviel leichter das Verstehen und Eindringen in die Tiefe ist als das bloße Ordnen.

Ich will nur zwei seiner Beispiele herausgreifen, in denen je

ein Fall aus der „Natur“ einem aus der „Kultur“ oder „Gesellschaft“ gegenübergestellt ist.

„Natur: die Umdrehung der Erde um die Sonne; Kultur: das Kreisen des Tänzers um die Tänzerin. Natur: das Durcheinanderlaufen der einzelnen Ameisen in einem Ameisenhaufen; Kultur: das Durcheinanderlaufen der Menschen in der Straße einer Großstadt . . .“

Der Unterschied in der Möglichkeit tieferen Eindringens soll darin bestehen, daß die Gesetze für den Umlauf der Planeten um die Sonne nirgends in der Natur zu lesen sind, während die Tanzregeln durch Wort und Schrift mitgeteilt werden können. Ebenso müssen wir die Gesetze, nach denen sich die Ameisen bewegen, aus ihren Handlungen erschließen, während wir die Menschen nach den Gründen, warum sie gerade dorthin laufen, einfach fragen können. An dem letzten Beispiel sieht man sofort, daß hier unmöglich ein sehr tiefgehender Unterschied bestehen kann. Denn auch das Verständnis einer Sprache ist in letzter Linie nichts anderes als die Deutung von Ausdrucksbewegungen. Eine Sprache verstehen heißt ja nichts anderes als die Handlungen der Redenden aus ihr deuten können. Es müßte ja sonst die Schilderung des Benehmens von Völkern, deren Sprache ich nicht verstehe, zur Naturwissenschaft, wenn sie mir aber bekannt ist, zur Kulturwissenschaft gehören. Schließlich handelt es sich bei Ameisen wie bei Menschen nur um eine Zuordnung unserer Erlebnisse mit ihnen zu Beziehungen zwischen Symbolen, mag auch im Falle der Menschen die eine Erlebnisreihe, nämlich die mit ihren Handlungen verbundenen akustischen Signale, etwas mannigfaltiger sein als bei den Tieren. Auch beim Tanz verhält es sich nicht anders. Die Bewegung des Tänzers wird durch optische und akustische Signale, die Tanzregeln in Wort und Schrift, gelenkt. Das ist im Prinzip kein anderer Zusammenhang und daher auch kein tieferes Eindringen als die Beziehung zwischen den Bewegungen zweier Massen. Die Zuordnung der Tanzbewegungen zu den Tanzregeln erlaubt uns sogar nur, einen viel oberflächlicheren Zusammenhang zu erkennen als die der Planetenbewegung zum Gravitationsgesetz. Denn in diesem letzteren Fall fassen wir wirklich sehr komplizierte Erlebnisse in ein durch eine einfache Funktion ausdrückbares Gesetz zusammen, während wir es bei den Tanzregeln mit zwei gleich komplizierten Reihen zu tun haben, die wir aufeinander beziehen. Das würde etwa dem entsprechen,

daß wir den gemeinsamen Charakter der Bewegungen aller Planeten durch ungefähre Beschreibung ihrer Bahnkurven darstellten.

Davon, daß wir bei den Tanzbewegungen den Grund kennen, bei den Planetenbewegungen aber nicht, kann keine Rede sein. Die Tanzregeln sind auch ein „Grund“ der Bewegungen nur in dem Sinn, daß zwischen beiden eine eindeutige Zuordnung möglich ist; wenn ich das aber als „Grund“ bezeichnen will, so kann ich auch die Keplerschen Gesetze als Grund der Planetenbewegung, das Newtonsche Gravitationsgesetz als Grund der Keplerschen Gesetze, die Potentialgleichung als Grund des Newtonschen Gesetzes bezeichnen und so in beliebiger Reihe weiter. Hier gibt es keinerlei Unterschied.

Es scheint sich mir hier vielmehr nur um eine ziemlich oberflächliche Unterscheidung zu handeln, die mit rein gefühlsmäßigen Erwägungen zusammenhängt. Über die wirklichen Erlebnisse wird durch die Einteilung in „ordnende“ und „verstehende“ Wissenschaften nichts ausgesagt.

Von den Soziologen weist O. Neurath in seiner „Empirischen Soziologie“ mit voller Entschiedenheit den Anspruch eines über die Naturwissenschaft hinausgehenden Verstehens ab.

Unter den Vertretern der exakten Wissenschaften ist es heute vor allem R. v. Mises, der feststellt, daß die „heutige Naturwissenschaft, wie sie wirklich ist, sich keiner Methode verschließt, die geeignet ist, Erkenntnis zu vermitteln und daß sie keine anderen Grenzen besitzt als die, die menschlichem Wissen, d. h. mitteilbarem Erkennen, überhaupt gesetzt sind“, so daß es keine „Grenzen naturwissenschaftlicher Begriffsbildung“ u. ä. gegenüber einer „geisteswissenschaftlichen Methode“ geben kann.

21. Die Natur arbeitet möglichst sparsam.

Ein anderer sehr verbreiteter Weg, die Naturerscheinungen nach dem Gleichnis des menschlichen Seelenlebens zu behandeln, besteht in der Annahme, daß die Natur jede Wirkung mit der kleinstmöglichen Anstrengung hervorbringe. Als Beleg dafür werden die Minimalprinzipie der Mechanik und der Physik überhaupt herangezogen.

Wenn ein Massenpunkt mit der Masse m sich in einem Kraftfelde bewegt und seine Gesamtenergie E vorgegeben ist, so ist da-

durch seine Geschwindigkeit ihrem Betrage v nach in jedem Raumpunkt eindeutig bestimmt. Denn die lebendige Kraft $\frac{1}{2}mv^2$ ist die Differenz aus der Gesamtenergie E und der Energie der Lage V , die ja bei gegebenem Kraftfeld in jedem Raumpunkt bekannt ist. Man kann dann zeigen, daß der Massenpunkt sich zwischen zwei Raumpunkten A und B immer so bewegt, daß die Summe aus den Produkten „Geschwindigkeit v mal Wegelement“, längs der wirklichen Bahn gebildet, kleiner ausfällt als längs jeder anderen zwischen A und B gezogenen Kurve.

Dieses zuerst von Maupertuis unter dem Namen „principe de la moindre action“ aufgestellte Gesetz, das in der deutschen Literatur meist nicht sehr glücklich als „Prinzip der kleinsten Wirkung“ bezeichnet wird, pflegt so gedeutet zu werden, daß die Natur ein Streben hat, sich ihre Tätigkeit möglichst leicht zu machen. Ich sehe ganz davon ab, zu fragen, aus welchem Grunde der Natur gerade die Erzeugung eines großen Produktes aus Geschwindigkeit und Wegelement besonders schwer fallen soll und nicht z. B. aus lebendiger Kraft und Wegelement oder aus Geschwindigkeit und Zeitelement.

22. Der wissenschaftliche Sinn des Prinzips der kleinsten Wirkung.

Ich will vielmehr nur auf zwei Punkte hinweisen, die dem Mathematiker wohl allgemein bekannt sind, die aber bei der gefühlsmäßigen Verwendung dieses Prinzips sehr oft übersehen werden.

1. Die Bahn des bewegten Massenpunktes zwischen A und B (z. B. beim schiefen Wurf die Parabel) ist nur dann die Kurve kleinsten Wirkung, wenn A und B nahe genug beieinander liegen. Sonst nimmt sich die Natur ohne weiteres die Mühe, auch größere Anstrengungen zu machen. Denn es gibt dann Wege, längs deren die Anstrengung, nach dem von Maupertuis definierten Maß gemessen, unbedingt kleiner ist als längs der Parabel, die wirklich durchlaufen wird. So könnte z. B. die Natur den Massenpunkt von A aus vertikal nach aufwärts steigen lassen, bis die vorgegebene Energie aufgezehrt und seine Geschwindigkeit Null geworden ist. Von diesem Punkte A' aus (Abb. 2) könnte sich der Massenpunkt horizontal mit einer Ge-

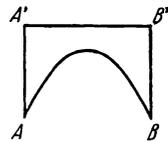


Abb. 2.

schwindigkeit, die nahe an Null liegt, bewegen, bis er in dem Punkt B' genau vertikal oberhalb B angekommen ist, und könnte dann im freien Fall vertikal nach B herunterfallen. Man kann beweisen, daß längs des Weges $AA'B'B$ die Summe aus den Produkten Geschwindigkeit mal Wegelement kleiner ist als längs der Parabel, die A mit B verbindet, wenn nur B von A genügend entfernt liegt. Und doch hat noch niemand einen Körper auf einem Wege $AA'B'B$ oder einem ähnlichen von A nach B kommen gesehen.

2. Für die Bahn, die ein Massenpunkt beschreibt, ist es gar nicht charakteristisch, daß für sie irgendeine Größe ihren kleinsten Wert annimmt. Wenn die Bahnkurven einem andern Gesetze genügten (das irgendeiner Differentialgleichung gehorcht), so gäbe es immer eine Größe, die von der Geschwindigkeit (bzw. Beschleunigung usw.) abhängt, und für die Bahnkurven kleiner ist als für irgendeine andere Kurve. Man würde dann eben diese Größe als Maß für die Anstrengung der Natur betrachten.

Man müßte also beweisen können, warum eine bestimmte Größe die Anstrengung der Natur bedeutet. Das könnte man aber nur, wenn es eine Art Psychologie der Natur gäbe. Damit käme man wieder zum reinen Anthropomorphismus zurück, zur animistischen Weltauffassung der vorwissenschaftlichen Periode. Man muß sich jedoch darüber klar sein, daß ohne eine solche Psychologie die Vorstellung einer kleinsten Anstrengung der Natur keinerlei Erkenntniswert besitzt, sondern nur eine ganz oberflächliche Analogie ist.

Nur eine bestimmte mathematische Vereinfachung liegt in den Minimalprinzipien der Mechanik. Durch sie lassen sich die Gesetze der Bahnkurven mit Hilfe von weniger Größen ausdrücken, als es bei direktem Anschreiben der Gleichungen nach den Regeln der analytischen Geometrie der Fall wäre. So kann man z. B. anstatt die Gleichungen der geraden Linien anzugeben, diese als Kurven kleinster Länge definieren. Aus dem einen Begriff „Länge“ läßt sich das ganze Bildungsgesetz der Geraden herleiten. Etwas Ähnliches ist bei allen Bahnkurven der Mechanik der Fall. An Stelle der komplizierten Gleichungen tritt der etwas weniger komplizierte Begriff „Aktion“ oder „Wirkung“. Das hat aber mit irgendwelchen Ersparungsmaßnahmen der Natur nichts zu tun,

da ein solcher Ausdruck für irgendwelche Kurvenscharen, wenn sie nur Differentialgleichungen genügen, existiert.

Für die Mechanik und Physik ist das alles eigentlich selbstverständlich und wird kaum von jemandem bestritten werden. Ich habe es nur so ausführlich besprochen, um zu zeigen, daß es sich in der Biologie nicht um ein Haar anders verhält.

23. Strebungen und Tendenzen als Bestandteile biologischer Theorien.

Bei der Darstellung der Vorgänge in den lebendigen Organismen, wie sie die Biologie unternimmt, ist der Vergleich mit dem Seelenleben des Menschen noch sehr verbreitet. Da wir in den meisten Fällen nicht imstande sind, Gesetze von der Präzision des Newtonschen Gravitationsgesetzes aufzustellen, spielen die oberflächlichen Gleichnisse noch eine viel größere Rolle als in der Physik. Je ungenauer ein Vorgang sich als ein gesetzmäßiger formulieren läßt, desto freigebiger ist man mit Ausdrücken wie: Der Körper „strebt“, die Schwungkraft der Natur „treibt“ ihn und ähnlichen.

Da wir nicht imstande sind, die Gesetze für die Entwicklung der Eizelle des tierischen Organismus in ähnlicher Weise ins Einzelne gehend aufzustellen wie etwa die für die Bewegung der Körper des Sonnensystems, so sucht man diese Lücke dadurch auszufüllen, daß man sagt, es liege in dem Ei ein Streben, eine Tendenz, eine bestimmte Gestalt anzunehmen. Insoweit diese Worte überhaupt einen konkreten Sinn haben, ist es kein anderer als derjenige, den die Behauptung hat, die Himmelskörper hätten ein Streben nach der Sonne hin, also eine ganz oberflächliche Analogie, deren Wert sofort verschwindet, wenn wir genaue Gesetze kennenlernen.

Eine noch größere Rolle spielen die Gleichnisse aus dem Seelenleben in der Stammesgeschichte der Organismen. Liest man z. B. die Darstellung der tierischen Entwicklungsreihe in dem bekannten Werke von Henri Bergson „*Evolution créatrice*“ (schöpferische Entwicklung), so glaubt man einen wahren psychologischen Entwicklungsroman vor sich zu haben. Um nur eine Stelle herauszugreifen:

„In zwei Richtungen des Lebens sehen wir den Trieb zur Bewegung die Oberhand gewinnen. Die Fische vertauschen ihren Schuppenharnisch

gegen bloße Schuppen, und längst vorher schon erscheinen die Insekten frei von dem Panzer, der ihre Vorfahren beschützt hatte. Dabei ersetzen sie beiderseits die Unzulänglichkeit ihrer Schutzdecke durch eine Behendigkeit, die ihnen gestattet, dem Feind zu entschlüpfen, die Offensive zu ergreifen und Ort und Zeit des Treffens zu wählen. Es ist der gleiche Fortschritt, der auch bei Entwicklung der menschlichen Bewaffnung zu beobachten ist. Die erste Regung geht immer auf Suchen einer Zuflucht, die zweite und bessere aber ist, sich so geschmeidig als möglich zu Flucht und vorzüglich Angriff zu machen. So ist der schwere Hoplit vom Legionär verdrängt worden, und der eisenstarrende Ritter hat dem frei beweglichen Soldaten Platz gemacht. Sowohl in der Gesamtentwicklung des Lebens wie in der menschlichen Gesellschaft hat immer der den größten Erfolg für sich gehabt, der das größte Wagnis auf sich genommen hat. Das wohlverstandene Eigeninteresse des Tieres ging also darauf, sich beweglicher zu machen.“

Aber Bergson verschmäht es, die Entwicklung auf so oberflächliche Phänomene wie den Egoismus zu begründen. Er will tiefer gehen, zu einer Art Unterbewußtsein der Organismenwelt vordringen. Die tiefere Ursache für die geschilderte Entwicklung ist nach ihm

„jener Impuls, der das Leben in die Welt hineinschleuderte, der es in Pflanzen und Tiere spaltete, der das Tier auf Geschmeidigkeit der Form einstellte, und der im Augenblick, wo das Tierreich von Betäubung bedroht war, an einigen Punkten wenigstens durchsetzte, daß es erwachte, und daß vorwärts gegangen wurde . . . Alles geht vor sich, als wäre ein breiter Strom von Bewußtsein in die Materie eingedrungen . . . Dieser Strom zwingt die Materie ins Organische hinein; nicht aber ohne daß seine Bewegung durch sie unendlich verlangsamt, unendlich zerteilt worden wäre. Denn einerseits hat sich das Bewußtsein einschläfern müssen und hat andererseits die vielen in ihm beschlossenen Tendenzen auf divergierende Organismenreihen verteilen müssen . . . Während aber die einen immer tiefer und tiefer entschliefen, sind die anderen im Lauf der Entwicklung um so entschiedener erwacht, und die Dumpfheit der einen stand im Dienste der Aktivität der anderen. Dieses Wachwerden indes konnte auf zweifache Art vor sich gehen. Das Leben konnte die Aufmerksamkeit entweder auf seine eigene Bewegung oder auf die Materie richten, die es durchquerte. Es orientierte sich so im Sinn der Intuition einerseits, des Intellekts andererseits . . . Das Schauspiel der Entwicklung der Lebewesen aber lehrt, daß die Intuition nicht allzuweit vorzudringen vermag.

So eingezwängt fand sich hier das Bewußtsein von seiner Umhüllung, daß es sich zum Instinkt verengen mußte, d. h. nur jenen winzigen Ausschnitt des Lebens umspannen konnte, der ihm praktisch wichtig war; umspannen obendrein nur im Dämmern, ihn berührend, fast ohne ihn zu sehen. Hier hat der Horizont sich sofort geschlossen. Umgekehrt scheint das auf Intellekt eingestellte, d. h. zunächst auf die Materie konzentrierte Bewußtsein sich hiermit aus sich selbst herauszusetzen . . . Einmal befreit

endlich vermag es sich nach innen zurückzuwenden und die in ihm noch schlummernden Möglichkeiten der Intuition zu wecken.“

Einem so feinen und scharfsinnigen Psychologen wie Bergson fallen natürlich viele und treffende Gleichnisse aus dem Seelenleben des Menschen ein, durch die einem die Entwicklung der Organismen irgendwie gefühlsmäßig nahegebracht werden kann. Ein Denker wie Bergson ist sich auch wohl bewußt, daß derartige Betrachtungen nicht im strengen Sinne wissenschaftlich sind. Er glaubt aber, daß beim Versagen der rein wissenschaftlichen Betrachtungsweise durch derartige mehr auf das Gefühl und den Instinkt wirkende Darlegungen nachgeholfen werden muß.

Andere weniger gute Psychologen begnügen sich bei ihren Gleichnissen mit der fortwährenden Anwendung derselben vulgärpsychologischen Begriffe wie Trieb, Streben usw. Sie versuchen keine förmliche Psychologie der schöpferischen Natur aufzustellen, sie erzählen keine Romane, sondern sind bestrebt, sich einer möglichst trockenen Terminologie zu bedienen. Weil ihre Betrachtungen deshalb äußerlich den in wissenschaftlichen Arbeiten angestellten ähnlich zu sehen scheinen, glauben sie, daß sie wirkliche Wissenschaft betreiben.

Aber alle diese Arten von Gleichnissen, mögen sie mehr phantasievoll oder mehr trocken pedantisch sein, sind sehr oberflächlich gegenüber den gesetzmäßigen Formulierungen. Selbst der Versuch einer solchen Formulierung, mag er sich auch als nicht zutreffend erweisen, bringt die Wissenschaft weiter als die schönsten Gleichnisse. Ich erinnere nur an die Darwinsche Theorie der Auslese, die Ansichten von Kammerer über die Vererbung der durch direkte Einwirkung der Umgebung auf die Organismen erworbenen Eigenschaften u. a.

24. Psychologie höherer Wesen als Grundlage der Biologie.

Die Einführung von Gleichnissen aus dem Seelenleben würde nur dann eine wissenschaftliche Vertiefung bedeuten, wenn man damit die Vorgänge in der Natur, etwa die Entwicklung der Organismen aus dem Ei, auf psychologische Gesetze zurückführen könnte. Man müßte etwa die Natur als ein Wesen betrachten, dessen Seelenleben man sehr genau kennt, also mindestens so gut wie das des Menschen, von dem man schon nicht viel Exaktes weiß.

Die wirkliche theologische Auffassung der Natur hat ihren wissenschaftlichen Sinn. Die Psychologie Gottes hat dort ihre Gesetze, die durch Offenbarung bekannt sind oder die sich aus der Erfahrung ableiten lassen. Selbst die ganz grobe Auffassung, nach der sich in der Natur Engel und Teufel betätigen, hat ihren Sinn, wenn man die Gesetze des Seelenlebens der Engel und Teufel kennt, die auch von jeder wirklich konsequenten Theologie aufgestellt werden. Der moderne vitalistische Biologe will aber keine übernatürlichen Intelligenzen anerkennen, und darum bleiben bloß Gleichnisse aus dem Seelenleben zurück, also eine sehr oberflächliche Erfassung der Natur.

Man darf nie vergessen, daß der eigentliche wissenschaftliche Sinn der psychologischen Naturauffassung einzig und allein darin bestehen kann, daß die unbekanntes biologischen Gesetze auf bekannte Gesetze der Psychologie zurückgeführt werden, daß also, ohne daß die Psychologie irgendeines Wesens zugrunde gelegt wird, die ganze vitalistische Biologie ihren Boden verliert. Darum steckt in dem psychologischen Entwicklungsroman eines Bergson immer noch mehr wissenschaftlicher Gehalt als in der sogenannten exakten Biologie unserer Neovitalisten. Man kann hier ruhig sagen: Je wissenschaftlicher der Vitalismus sein will, desto weiter entfernt er sich von der wahren Wissenschaft.

IV. Kausalität, Finalität und Vitalismus.

1. Das Zeitalter der Aufklärung und die Zweckursachen.

Wenn man sich ein Bild davon machen will, wie tief die „Zweckursachen“ mit unserer ganzen üblichen Darstellung der Naturwissenschaft verflochten sind, ist es vielleicht gut, nachzulesen, wie man im „materialistischen“ Zeitalter der Aufklärung darüber dachte. Wir schlagen etwa im „Dictionnaire Philosophique“ von Voltaire den Artikel „causes finales“ auf. Dort heißt es:

„Wenn eine Uhr nicht gemacht ist, um die Zeit anzuzeigen, so will ich zugeben, daß die Zweckursachen Schimären sind, und würde es für sehr berechtigt halten, daß man mich einen Zweckursachler, d. h. einen Dummkopf nennt. Alle Stücke der Maschine dieser Welt scheinen doch für einander gemacht zu sein. Einige Philosophen stellen sich, als würden sie sich über die Zweckursachen lustig machen, die schon von Epikur und Lukrez verworfen worden sind. Es scheint mir aber, daß man sich viel eher über Epikur und Lukrez lustig machen sollte. Sie sagen euch, daß das Auge nicht gemacht sei, um zu sehen, sondern daß man sich seiner nur zu diesem Zwecke bedient habe, als man seine Eignung dazu bemerkt hatte. Nach ihnen ist der Mund nicht gemacht, um zu sprechen und zu essen, der Magen nicht, um zu verdauen, die Füße nicht, um zu gehen, und die Ohren nicht, um zu hören. Diese Leute gestehen wohl zu, daß die Schneider ihnen Anzüge machen, um sie zu bekleiden und die Maurer Häuser bauen, um ihnen Wohnungen zu verschaffen. Sie wagen aber der Natur, dem großen Wesen, der universellen Intelligenz abzuleugnen, was sie ihren kleinsten Arbeitern, Schneidern und Maurern zugestehen.“

Hier ist der Grundgedanke der ganzen Teleologie enthalten, und wenn man alles nüchtern betrachtet, muß man sagen, daß auch heute im Wesentlichen nichts anderes behauptet wird. Wir wollen nun sehen, wie man versucht hat, an Stelle dieser ganz offen anthropomorphen Teleologie eine „wissenschaftliche“ zu setzen.

2. Sind „Kausalität“ und „Finalität“ Kennzeichnungen der wirklichen Welt?

Man findet oft die Auffassung vertreten, daß man zwischen Kausalität und Finalität unterscheiden müsse. Im ersten Fall

bestimmt der gegenwärtige Zustand die Zukunft, im zweiten ist der gegenwärtige Zustand durch die Zukunft bestimmt. Wenn ich eine Kanone abschieße, so ist durch die gegenwärtige Richtung und Ladung des Geschützes die Zukunft des Geschosses bestimmt. Wenn ich die Entwicklung eines Organismus aus der Eizelle betrachte, so ist durch den gegenwärtigen Zustand derselben (z. B. dadurch, daß sie in einem Seeigel entstanden ist), die Endgestalt bestimmt, die das Ei im Laufe der Entwicklung annehmen wird.

Wir können aber auch sagen: der Kanonier stellt sich vor, daß das Geschoß ein bestimmtes Ziel treffen soll und durch diese Zukunft ist die Einstellungsrichtung des Geschützes bestimmt, also eine Bedingtheit durch die Zukunft. Man kann jedoch diese Zukunft als wirkenden Faktor eliminieren, wenn man bedenkt, daß die Vorstellung eines bestimmten Zieles selbst ein Anfangszustand in dem Gehirn des Kanoniers ist. Wenn er sich verschiedene Ziele setzt, ist der Anfangszustand eben verschieden. Ob ich sage, daß die Gegenwart die Zukunft bestimmt oder umgekehrt, ist nur ein Unterschied in der Beschreibung desselben Tatbestandes, eine Lenkung der Aufmerksamkeit auf verschiedene Seiten desselben Vorganges.

Wenn eine Eizelle eines Seeigels sich zur Larve entwickelt, kann ich sagen, daß die Endgestalt als Ziel der treibende Faktor in der Entwicklung war. Ich kann aber ebenso gut sagen, daß der Anfangszustand der Eizelle, die sich in einem Seeigel entwickelt, eben ein ganz anderer ist als der jeder anderen Eizelle. In so einfacher Weise läßt sich also der Unterschied zwischen kausaler und finaler Auffassung nicht kennzeichnen.

So sagt M. Boll vollkommen zutreffend:

„Betrachten wir z. B., um eine bestimmte Idee vor Augen zu haben, die wohlbekannte ‚objektive‘ Beziehung zwischen dem Volumen und der Temperatur einer Flüssigkeit. Wenn man die Temperatur eines Zimmers kennenlernen will, so bedient man sich eines Thermometers: die Temperatur ist dann die Ursache und die Ausdehnung des Quecksilbers die Wirkung. Wenn man es aber umgekehrt mit einem Temperaturregulator zu tun hat, d. h. mit einem Apparat, bei dem die Ausdehnung des Quecksilbers die Stärke einer Gasflamme regelt, indem sie bald mehr, bald weniger Luft zuströmen läßt, ist das flüssige Volumen das Mittel und die konstant erhaltene Temperatur der Zweck. Wir haben hier ein und dieselbe Erscheinung vor uns, bei der bei einer Betrachtungsweise dasselbe Ursache (oder Mittel) ist, was bei der anderen als Zweck (oder Wirkung) erscheint.“

3. Erklärungen durch „Zweckstreben“ sind immer oberflächlich.

Wenn sich die Eizelle durch Furchung in zwei Zellen teilt, so wird bei Isolierung der einen von ihnen unter gewissen Umständen wieder die ganze Larve entstehen, während ohne diesen Eingriff eine Larve derselben Gestalt, nur von größeren Dimensionen, aus beiden Zellen zusammen entstanden wäre. Die Vitalisten legen Wert auf die Feststellung, daß es also nicht von jedem Teil einer Zelle feststeht, welcher Teil der Larve sich daraus entwickeln wird. Aus einem und demselben Teil einer gefurchten Eizelle wird etwas ganz Verschiedenes, je nachdem, ob die Zelle im Furchungsstadium isoliert wurde oder nicht. Die Vitalisten schließen daraus, daß man nicht annehmen könne, die Eizelle sei ein physikalisches System, aus dem sich nach kausalen Gesetzen die Endgestalt der Larve entwickelt, da ja doch beim Zerschneiden einer Maschine sich nicht wieder aus jedem Teil eine ganze Maschine derselben Gestalt entwickeln könne. Sie behaupten vielmehr, hier läge eine Zielstrebigkeit vor, jeder Teil der Eizelle strebe einer bestimmten Endgestalt zu und diese Zukunft sei der bedingende Faktor bei der Entwicklung.

In Wirklichkeit liegt aber die nüchterne Tatsache vor, daß sich die einzelnen Zellen je nach den äußeren Umständen, je nachdem, ob sie nämlich isoliert oder Teil eines Ganzen sind, in verschiedener Weise entwickeln. Also eine Bestimmung der Zukunft durch den gegenwärtigen Zustand. Wir kennen die Gesetze dieser Entwicklung noch nicht im Einzelnen. Und wir kennen kein allgemeines Gesetz, aus dem sich ableiten ließe, warum z. B. beim Seeigel, wenn der Furchungsprozeß bis zur Teilung in vier, sechzehn oder selbst zweiunddreißig Zellen vorgeschritten ist, noch immer aus jeder einzelnen Zelle eine ganze Larve werden kann, warum das aber z. B. bei der Teilung in 256 Zellen nicht mehr der Fall ist. Aber gerade hier sieht man, wie oberflächlich alle derartigen Erklärungen durch Strebungen sind; sie verhüllen nur das eigentliche Problem. Denn aus diesen Gleichnissen mit dem menschlichen Seelenleben läßt sich in keiner Weise eine Aussage darüber herleiten, in welchem Furchungsstadium dieses Streben nach Herstellung einer ganzen Larve aufhört. Was hier eigentlich vorliegt, ist nur die Konstatierung der Tatsache, daß im Verlaufe der Entwicklung der Organismen aus dem Ei unter gewissen Umständen immer wieder dieselben oder ähnliche Formen

hervorgehen, wobei man bis zu einem gewissen Grade die Bedingungen angeben kann, unter denen sich ein vollständiger Organismus entwickelt. Das ist aber erst das Rohmaterial der Wissenschaft. Daß man hierbei Worte wie Zweck, Plan, Streben oder sogar Entelechie einführt, hilft uns zu keinen tieferen Erkenntnissen, die man erst gewinnen könnte, wenn man ins Einzelne gehend eine Regel fände, aus der sich ableiten ließe, wie viel man von einer in Teilung begriffenen Eizelle wegnehmen kann, ohne dabei die Entstehung eines ganzen Organismus zu zerstören. Alle bekannten Regeln gelten nur für bestimmte Organismen, sind also rein empirisch; einen allgemeinen Zusammenhang zwischen dem Stadium der Furchung und der Möglichkeit einer Regeneration des Ganzen kennt man nicht. Wenn man auch im Allgemeinen sagen kann, daß mit fortschreitender Furchung die „Differenzierung“ wächst und damit jene Möglichkeit abnimmt, so läßt sich aus der Regeneration als „Zweck“ doch keine auch nur halbwegs präzise Regel über den Zusammenhang zwischen Furchungsstadium und Regenerationsmöglichkeit herleiten.

4. Die bloße Annahme der „Existenz eines Planes“ ist sinnlos.

Wenn man z. B. über die schweren Körper nur sagt, sie streben zum Erdmittelpunkt, die Natur verfolge den Zweck, alle schweren Körper im Erdmittelpunkt zu versammeln, es herrsche eine Tendenz, eine Gestalt herzustellen, bei der sich alle schweren Körper als eine große Kugel um das Zentrum gruppieren und es komme nur vor, daß die Körper auf ihrem Wege von einer äußeren Ursache aufgehalten werden, so sagt man mit alledem wohl etwas nicht geradezu Unrichtiges, aber sehr Oberflächliches über die Bewegungsvorgänge der schweren Körper aus. Die wissenschaftliche Erkenntnis sucht vielmehr nach einer Regel, aus der man ableiten kann, unter welchen Umständen ein schwerer Körper auf seinem Wege zum Zentrum aufgehalten wird, wie ihn ein solches Hindernis ablenken kann und wie im Einzelnen dabei seine Bewegung vor sich geht. Derartige Regeln finden wir aber eben in den Lehren der Mechanik vom Gleichgewicht und der Bewegung der Körper. Aus dieser Analogie sieht man ganz deutlich, daß die Betrachtungen über Zweck und Gestalt nur von vorläufiger und oberflächlicher Art sein können. Viel deutlicher wird die geringe wissenschaftliche Bedeutung derartiger

Zweckbetrachtungen, wenn wir uns der Entwicklung der gesamten Organismenwelt auf der Erde, der Stammesgeschichte zuwenden.

Wir sind gewohnt, das Ziel der Entwicklung in der Aufwärtsentwicklung oder Differenzierung zu suchen; niemand kann aber definieren, was Aufwärtsentwicklung heißt und in welcher Hinsicht die Differenzierung vor sich gehen soll. Niemand kann die zukünftige Entwicklung aus der Hypothese einer Planmäßigkeit voraussehen, da ja niemand diesen Plan kennt. Wenn jemand den Plan, den die Natur mit der Evolution der Organismen verfolgt, klar darlegen könnte, so wäre die Behauptung einer Zweckmäßigkeit in der Entwicklungsgeschichte eine wissenschaftliche Behauptung; denn aus ihr ließe sich die Zukunft voraussagen. Ein solcher konkreter Plan läßt sich aber, wie wir später sehen werden, grundsätzlich nicht von einem Kausalgesetz unterscheiden. Wenn aber der Plan nicht konkret dargelegt wird, sondern man nur die Behauptung aufstellt, daß ein solcher Plan existiere, so kann das nur dann eine Aussage über die Wirklichkeit sein, wenn damit die folgende Hypothese vereinigt ist: Es existiert eine höhere Intelligenz, die diesen Plan hat; und wir können über diese Intelligenz irgend etwas aussagen. Denn sonst wäre die Behauptung der Existenz eines Planes, über den wir nichts wissen, vollständig sinnlos.

Wenn wir uns in ein Unternehmen einlassen, von dem wir nicht viel wissen, aber einen Führer haben, dem wir vertrauen, so können wir sagen: Wir brauchen den Plan nicht zu kennen, wir folgen einfach dem Führer wie der Soldat sich auf den Schlachtplan des Feldherrn, der Arbeiter sich auf den Bauplan des Architekten verläßt. Dabei wird aber immer vorausgesetzt, daß der Arbeiter wenigstens im Allgemeinen weiß, was die Existenz eines Planes bedeutet und daß der Führer in einer verständlichen Sprache zu ihm sprechen kann.

Unsere Vitalisten wollen aber einen Plan voraussetzen, der weder von einer menschenähnlichen Intelligenz gefaßt, noch seinem Inhalte nach bekannt ist. Eine solche Behauptung ist ebenso inhaltslos wie die, daß überhaupt irgendeine Kausalität besteht, wenn über deren Art nichts ausgesagt wird. Doch davon wird noch später die Rede sein.

Als Beispiel für die unbestimmte Art, in der die Vitalisten

die Zweckmäßigkeit in der Entwicklung auffassen, will ich vielleicht eine Stelle aus einem Vortrag anführen, der einen Teil der Vortragsreihe „Der gegenwärtige Materialismus“ bildet, die von der Revue „Leben und Glauben“ vor einigen Jahren in Paris veranstaltet wurde. In dem Vortrag „Der Materialismus und die Wissenschaften vom Leben“ von Jean Friedel heißt es:

„Es scheint, daß die Zweckmäßigkeit sich zeigt, ohne daß die Wissenschaft sagen könnte, ob das die Zweckmäßigkeit eines vollkommenen Geistes ist, der außerhalb seiner Schöpfung steht und nach der besten Verwirklichung strebt, oder ob das nur die innere Zweckmäßigkeit einer dunklen, noch unvollkommen bewußten Kraft ist, die sich selbst zu verwirklichen strebt.“

Mit besonderem Eifer wird immer wieder versichert, daß der neue wissenschaftliche Vitalismus weit entfernt sei von der alten naiven Vorstellung, daß der Zweck der ganzen Organismenwelt in dem Wohle des Menschen bestehe.

„Es gab eine Zeit, in der man sich darin gefiel, in dem Menschen den König der Schöpfung zu sehen, für den alles ganz besonders zugerichtet ist; Bernardin de Saint Pierre sagte, daß die Melonen Rippen haben, um am Familientische bequemer verspeist zu werden . . . Die Zweckmäßigkeit, die man mit Hilfe der Wissenschaft wahrnimmt, hat kein privilegiertes Wesen zum Gegenstand, jedes Wesen hat seine eigene Zweckmäßigkeit. In der Natur ist kein Lebendiges je einfach ein Mittel, es ist immer ein Zweck, sein eigener Zweck.“

Man sieht leicht, daß dieser wissenschaftliche Vitalismus überhaupt nichts über die Wirklichkeit aussagt. Die Behauptung, daß alles für den Menschen geschaffen sei, mag wohl falsch oder sogar lächerlich gewesen sein, aber sie war eine konkrete Behauptung, aus der man irgend etwas schließen konnte. Die Behauptung, daß jedes Wesen für sich selbst geschaffen sei, ist aber völlig inhaltsleer, da ja die ganze Natur ein zusammenhängendes System bildet, und es gerade darauf ankommt zu wissen, was sich bei der Wechselwirkung zwischen den Organismen ereignet.

Diese, wie man sagt, wissenschaftliche Auffassung der Zweckmäßigkeit in der Entwicklung hat in Wirklichkeit viel weniger wissenschaftlichen Charakter als der rein theologische Standpunkt, nach welchem der Plan der Entwicklung ein Plan Gottes ist, wobei man unter Gott ein Wesen versteht, dessen Psychologie uns bis zu einem gewissen Grade verständlich ist.

5. „Bestimmtheit der Gegenwart durch die Zukunft“ in der Mechanik.

Wenn man sich klarmachen will, was es heißen kann, daß bei der sogenannten finalen Erklärungsweise die Gegenwart durch die Zukunft bestimmt wird, so ist es am besten, wenn man sich die analogen Gedankengänge an einem einfachen Beispiel aus der Mechanik näherzubringen sucht.

Wir beginnen mit etwas Selbstverständlichem und Trivialem. Eine gerade Linie kann man bestimmen: entweder durch einen Punkt A und eine Richtung durch diesen Punkt oder durch zwei Punkte A und B . Eine geradlinig gleichförmige Bewegung, die ein Massenpunkt ausführt, ist bestimmt durch die Lage und Geschwindigkeit des Punktes in einem Zeitpunkt A oder durch die Lage allein in zwei Zeitpunkten A und B . Dasselbe trifft auch zu, wenn der Massenpunkt unter dem Einfluß irgendwelcher Kräfte eine Kurve beschreibt, z. B. ein Geschöß unter dem Einfluß der Schwerkraft eine Parabel. Die Schußbahn ist entweder durch Lage und Geschwindigkeit des Geschosses in einem Zeitpunkte A bestimmt oder durch die Angabe zweier Punkte A und B der Bahn mit den dazugehörigen Zeiten.

Hier wird niemand auf den Gedanken kommen zu sagen: Man kann das Problem des Schießens einer Kugel aus einer Kanone kausal oder final erklären. Das erstemal wird die Bahn durch ihre Vergangenheit, das zweitemal durch ihre Zukunft bestimmt.

Etwas anders wird die Sache, wenn man sich den Kanonier dazudenkt, der einen bestimmten Punkt im Raum treffen will. Für ihn ist es praktisch, sich die Bahn durch zwei ihrer Punkte A und B bestimmt vorzustellen. Um nun aber wirklich zu schießen, muß er sich die Anfangsgeschwindigkeit im Punkte A aufsuchen, die zum Endpunkt B gehört.

Jede Bahn kann auf zwei gleichberechtigte Arten festgelegt werden: Durch den Punkt A und die Zielrichtung in A oder durch den Punkt A und den Zielpunkt B . Das sind zwei verschiedene mathematische Probleme, das Anfangswertproblem und das Randwertproblem. Jedes hat in der praktischen Anwendung seinen bestimmten Platz. Um richtig zu schießen, muß man beide gelöst haben.

Wenn man aber den Kanonier zum System dazurechnet, so ist die Vorstellung des Zielpunktes B , der Zweck, schon im an-

fänglichen Zeitpunkt in ihm vorhanden, das mechanische System, das aus Kanonier und Kanone besteht, hat für jedes B einen anderen Anfangszustand, so daß man die Bahn auch als durch den Anfangszustand des Systems bestimmt ansehen kann.

6. Auch der „gegenwärtige“ Zustand ist eigentlich der Zustand in mehreren Zeitpunkten.

Man muß dabei, um keine Übertreibung zu begehen, immer beachten, daß bei der Anwendung auf die Wirklichkeit der Unterschied zwischen den beiden Arten der Bestimmung einer Bahn kein prinzipieller, sondern nur ein gradweiser ist. Denn z. B. die Bestimmung einer geraden Linie durch zwei Punkte A und B oder durch einen Punkt A und eine Richtung durch A sind in den Anwendungen etwas nur quantitativ Verschiedenes. Denn jede Richtung durch A ist ja in der Praxis durch mindestens zwei, meist durch mehrere Punkte gegeben, nur müssen sie sehr nahe an A liegen. Der Unterschied besteht also eigentlich nicht zwischen der Bestimmung durch den Anfangszustand allein und der durch Anfangs- und Endzustand; sondern es liegt immer eine Bestimmung durch mehrere Punkte vor, und es handelt sich nur darum, ob die Punkte A und B nahe benachbarte oder entfernte sind. Was aber nahe und entfernt ist, hat nur relativ zu einem menschlichen Beobachter einen Sinn.

Dasselbe gilt beim Schießen eines Projektils. Die Geschwindigkeit in A ist aus der Beobachtung des Projektils in zwei Punkten bestimmbar, so daß es sich auch hier eigentlich immer um die Bestimmung der Bahn aus mehreren Punkten handelt. Der vorliegende Tatbestand ist immer der, daß aus einigen solchen Beobachtungen die ganze Bahn eindeutig bestimmbar ist.

7. Auch beim lebendigen Organismus ist die bloße Behauptung der „Zielstrebigkeit“ sinnlos.

Wenn wir nun zum lebendigen Organismus übergehen, so liegen die Verhältnisse im Prinzip nicht anders. Wenn ich eine Eizelle in einem Zeitpunkte A betrachte und den aus ihr hervorgegangenen Organismus im Zeitpunkte B , so stehen beide im selben Verhältnisse zueinander wie der geschleuderte Massenpunkt in den Zeitpunkten A und B . Ich kann mir die ganze Entwicklung durch ihr

Ziel, die Endgestalt des Organismus zur Zeit *B* bestimmt denken, so wie die Bahn eines Geschosses durch dessen Zielpunkt.

Daraus folgt nicht, daß es unmöglich sein muß, Merkmale der Eizelle zur Zeit *A* und deren unmittelbaren Nachbarschaft anzugeben, aus denen diese Entwicklung ebenso bestimmt werden kann. Es liegt ebensowenig Grund vor, in der Zelle eine geheimnisvolle Entelechie als wirkend anzunehmen, welche auf die Endgestalt hinstrebt, als es jemandem einfallen würde, in dem Geschöß eine Entelechie anzunehmen, die es zum Zielpunkt hintreibt. Wenn irgend etwas Derartiges einen Sinn haben soll, so könnte man nur die Vorstellung des Kanoniers von dem Ziel mit der Entelechie in der Eizelle in Analogie setzen; damit wären wir aber wieder bei der Auffassung der Entwicklung als Werk einer äußeren und höheren Intelligenz angelangt. Man wird vielleicht einwenden, daß die Materie des Geschosses gegenüber dem Ziel indifferent ist, daß jedes Geschöß zu jedem Ziel hingeschossen werden kann, während der Eizelle bereits in die Wiege gelegt ist, ein bestimmter Organismus zu werden, daß man also hier sehr gut von einer inneren Zielstrebigkeit sprechen könne. Demgegenüber muß man aber beachten, daß die einzelnen Kohlenstoffatome, aus denen die Eizelle besteht, auch jeden beliebigen Organismus bilden können, und daß nur durch die unmittelbare und weitere Umgebung innerhalb und außerhalb der Eizelle bestimmt ist, ob daraus ein Seeigel oder ein anderes Tier wird. Genau so ist es auch durch die Umgebung des Geschosses bestimmt, wohin es fliegen wird.

Die Bestimmtheit der Entwicklung durch den Anfangszustand scheint auch deshalb für die Eizelle so unwahrscheinlich zu sein, weil man immer an die primitiven Vorstellungen der klassischen Mechanik, die Bestimmung durch Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit der kleinen Massenteilchen anknüpft. Man braucht aber nur etwa an die Gravitationstheorie von Einstein zu denken, wo jeder Zustand durch eine bestimmte Raumstruktur gegeben ist oder gar an die Wellenmechanik von de Broglie und Schrödinger, nach welcher dem materiellen Geschehen ein Schwingungszustand des ganzen Raumes zugrunde liegt, um die ungeheure Mannigfaltigkeit zu erkennen, die nach der modernen Physik für den Anfangszustand der Eizelle zur Verfügung steht, und der sehr wohl so beschaffen sein kann, daß er erst im Laufe der Entwicklung im Einzelnen beobachtbar wird.

8. Nur Zwecke, die ein lebendiges Wesen anstrebt, sind sinnvoll.

Der Begriff der Finalität im Gegensatz zur Kausalität läßt sich aus dem bisher Gesagten also nicht herleiten. Er kommt erst durch Betrachtungen herein, die man auch am besten in Anlehnung an rein mechanische Vorgänge versteht. Man kann z. B. die Vorstellung des Zustandes „Zielpunkt *B*“, die im Gehirn des Kanoniers vorhanden ist, als Zweck der Schüsse ansehen. Sie ist ein Zweck, insofern sie der Kanonier bezweckt. Wenn ein Stein von einem Bau herunterfällt und zur Zeit *B* irgendwo ankommt, spricht man nicht von einem Zweck, der darin liegen soll, daß der Stein gerade dorthin gefallen ist, wo er liegt.

Wenn man den Endzustand des aus der Eizelle entstehenden Organismus als Zweck ansehen will, den eine Entelechie anstrebt, so muß man die Vorstellung dieses Zieles auch im Gehirn eines Wesens annehmen. Die Zweckbetrachtung hat wieder nur dann einen wissenschaftlichen Sinn, wenn man ein Wesen annimmt, das diesen Zweck anstrebt. Denn sonst kann man jeden Vorgang von vorn nach rückwärts und von rückwärts nach vorn betrachten, ohne daß eine der Richtungen ausgezeichnet ist. Wenn man in einer vitalistischen Theorie das Wesen, welches sich den Zweck stellt, einfach wegläßt, ist das Wort „Zweck“ vollkommen leerlaufend; es drückt keine wissenschaftliche Erkenntnis aus.

Ob wir einen Ablauf von rückwärts nach vorn oder umgekehrt betrachten, hat nur eine praktische Bedeutung. Wo uns das Ende mehr interessiert als der Anfang, das Ziel mehr als der Weg, stellen wir eine finale Betrachtung an; den Schützen interessiert das zu treffende Ziel mehr als der Schußvorgang, den Physiker aber umgekehrt. Der eine denkt final, der andere kausal. Was das organische Leben angeht, sind wir gewöhnlich mehr Schützen als Physiker. Das hat aber mit wissenschaftlicher Erkenntnis gar nichts zu tun.

9. Auch in der Geschichtswissenschaft ist die Einführung von Zwecken, die niemand bezweckt, etwas sehr Oberflächliches.

Nicht anders steht es mit den Zweckbetrachtungen in der Geschichtswissenschaft. In den historischen Schriften, in denen versucht wird, der kausalen Auffassung der Naturwissenschaften eine Zweckbetrachtung oder Sinnbetrachtung entgegenzustellen, die

für die Geschichtsdarstellung die einzig entsprechende sein soll, werden die geschichtlichen Abläufe nach irgendwelchen Gesichtspunkten geordnet, die den Menschen der Gegenwart gerade interessieren, und man kommt auf diese Weise zu vielen schönen und interessanten Regelmäßigkeiten. Man kann z. B. diese Abläufe so anordnen, daß jeder einzelne mit dem Untergange eines Großstaates oder einer Nation abschließt.

Es ist das gerade so, als würde man die Luftströmungen und Witterungsverhältnisse, die sich im Laufe der Zeit ereignet haben, nach dem Gesichtspunkte ordnen, daß überall die Vorgänge herausgegriffen werden, die den Menschen besonders angenehm oder unangenehm waren, wo z. B. eine Hungersnot gewütet hat oder der Landaufenthalt gut ausgenützt werden konnte. Eine solche Darstellung, die sich auf rein physikalische Ereignisse (Hydrodynamik der Atmosphäre) erstreckt, wäre auch final, schicksalsmäßig, nicht kausal. Hier im rein Physikalischen ist es klar, daß diese Betrachtungsweise eine sehr oberflächliche ist, daß sie nie zu den Grundgesetzen der Luftströmung führen kann.

Es kann sein, daß wir uns in der Geschichte meist mit solchen oberflächlichen Betrachtungen begnügen müssen; aber es heißt die Dinge auf den Kopf stellen und den Weg zum Fortschritt verammeln, wenn man hier einen Gegensatz zur Physik konstruieren will. An den Zweckmäßigkeitsbetrachtungen ist nur eines verdienstvoll. Sie beschäftigen sich mit Erscheinungsgruppen, die sich nicht nach den kausalen Methoden der Physik behandeln lassen. Sie suchen nach Gesetzmäßigkeiten, wo sie sich eben finden lassen, und diese wahllose Aufstellung irgendeiner Art von Gesetzmäßigkeit ist immer der erste, aber primitivste Versuch der wissenschaftlichen Erkenntnis; auf ihn folgt erst die Zurückführung auf eine möglichst geringe Anzahl von Zustandsgrößen.

Vollständig irrtümlich wäre es aber zu glauben, daß man damit etwas gegen die Allgemeingültigkeit des Kausalgesetzes ausgesagt hätte. Im Gegenteil. Die Anhänger des Finalismus und des Schicksals nehmen wohl an, daß die Gegenwart durch das zukünftige Ziel bestimmt ist; aber sie prophezeien genau so wie die Anhänger der Kausalität aus der bloßen Kenntnis der Gegenwart und Vergangenheit die zukünftige Entwicklung. Wenn man den nackten

Tatbestand hernimmt, ohne lyrische Begleitmelodien, so arbeiten sie genau wie jene damit, daß aus dem gegenwärtigen Zustand die Zukunft sich vorhersagen läßt. Wenn sie trotzdem oft behaupten, daß die Zukunft durch den Zustand der Welt zur gegenwärtigen Zeit *A* nicht bestimmt ist, sondern daß dieser Zustand nur dazu dienen kann, sich einzufühlen und dann auf Grund dieser Einfühlung in das Weltganze die Zukunft vorauszusagen, so muß man darauf mit O. Neurath erwidern, daß das auch nichts anderes heißt, als aus dem Zustand *A* die Zukunft vorhersagen, da ja das Ergebnis der Einfühlung durch den Zustand *A* bestimmt ist. Der Tatbestand ist also immer wieder derselbe, ob man ihn mit kausalen oder finalen Redewendungen begleitet.

10. Die „Autonomie“ der Lebenserscheinungen wird oft unbesehen hingenommen.

Viele sind geneigt, die anorganische Welt dem Wirken der blinden, mechanischen Kausalität zu überlassen, um wenigstens im Leben der Organismen ein Gebiet zu sichern, in dem nicht Kausalität sondern Finalität, nicht Ursache sondern Zweck herrscht. Diesem Ziele dienen die Beweise für die Autonomie der Lebensvorgänge, durch die gezeigt werden soll, daß die Lebensprozesse nicht als physikalisch-chemische Vorgänge aufgefaßt werden können, daß eine Maschinentheorie des Lebens unmöglich ist. Wer sich nur ein wenig mit den Grundlagenproblemen der exakten Wissenschaften beschäftigt hat und den Sinn der Worte „physikalisch-chemische Erklärung“ und „Maschinentheorie“ wirklich erfaßt hat, dem wird die Möglichkeit des Gelingens derartiger Beweise sehr unwahrscheinlich vorkommen.

Nur die große Abgeschlossenheit der einzelnen naturwissenschaftlichen Gebiete gegeneinander hat es zur Folge gehabt, daß man sich mit diesen Beweisen so wenig kritisch beschäftigt hat. Die Achtung vor der traditionellen Schulphilosophie, die um so stärker wird, je mehr man sich von seinem Fachgebiet entfernt und die deshalb unumschränkt herrscht, wo zwei Fachgebiete, Physik und Biologie, eine Rolle spielen, wo also niemand zugleich Fachmann sein kann, hat es zur Folge gehabt, daß selbst von scharfdenkenden Physikern, die sich mit den Grundlagen ihres Gebietes kritisch beschäftigt haben, die Autonomie der Lebenserscheinungen als eine bewiesene Sache angesehen wird.

Ich will mich mit zwei solchen Beweisen beschäftigen, die von H. Driesch herrühren. Es ist sein Verdienst, diese Gedankengänge mit so großer Schärfe formuliert zu haben, mit so großer Anlehnung an wirklich konstatierbare Tatbestände, daß es möglich ist, genau anzugeben, wo das Gebiet eines wirklich wissenschaftlichen Beweises verlassen wird. Viele andere Vitalisten sprechen so unbestimmt und pathetisch, daß sie schwer widerlegbar sind, weil sie sich hüten, irgendeine greifbare und daher angreifbare Behauptung zu formulieren.

11. Ein Beweis von H. Driesch für die Autonomie der Lebenserscheinungen.

Wir haben schon in Abschnitt 3 gesehen, wie die Entwicklung der Seeigellarve aus der Eizelle in der Weise geschieht, daß aus den durch Furchung und Zellteilung entstandenen Zellen wieder aus jeder einzelnen eine ganze Seeigellarve hervorgehen kann. Es gilt ferner auch, daß man nach Entfernung einer Anzahl der durch Furchung entstandenen Zellen aus dem Rest immer noch eine ganze Larve erhält. Wenn man den Furchungsprozeß sich selbst überläßt, so ordnen sich schließlich die entstandenen Zellen zu einer Hohlkugel an, die außen mit Wimpern besetzt ist.

Aus dieser Hohlkugel, der sogenannten Blastula, entwickelt sich im Laufe der Zeit durch Bildung des Darms und der übrigen Organe die vollendete Larve des Seeigels, ein Organismus von ganz charakteristischer Gestalt und bestimmten Symmetrieverhältnissen. Wenn man einen Teil der Blastula wegschneidet, so entwickelt sich unter gewissen Umständen der übrig gebliebene Teil zu einer Larve von genau derselben Gestalt wie beim ungestörten Entwicklungsprozeß, nur von kleineren Dimensionen. Dabei kann das weggeschnittene Stück von ziemlich beliebiger Gestalt sein; nur darf der übrig gebliebene Rest nicht zu klein sein. Immer wird dieser Rest sich zu einer Larve von der charakteristischen Art der Seeigellarve entwickeln. Auf diese Tatsache gründet H. Driesch seinen Beweis für die Unmöglichkeit, die Lebensvorgänge auf Grund einer mechanischen Gesetzmäßigkeit zu erklären.

Seine Argumentation ist etwa die folgende: Die mechanistische Theorie des Lebens stellt sich vor, daß in der Eizelle ein kleines Maschinchen steckt, das sich im Laufe der Entwicklung nach den

Gesetzen der Mechanik zu dem ausgewachsenen Organismus umformt. Wenn wir nun annehmen, unsere Blastula sei eine derartige Maschine, so müßte nach Wegschneiden eines beliebigen Teils dieser Maschine der übrig gebliebene Teil noch genau so funktionieren wie die ganze Maschine. Das widerspricht aber vollkommen einer mechanischen Maschine. Da nämlich der wegoperierte Teil stetig verändert werden kann, müßten innerhalb der Blastula kontinuierlich unendlich viele gleichbeschaffene Maschinen ineinander geschachtelt sein, damit beim Wegfallen eines beliebigen Stückes der Blastula noch immer eine unversehrte Maschine übrig bleiben kann.

Driesch versucht diesen ganzen Gedankengang auch in einer Art Formel darzustellen. Wenn wir irgendein Teilchen der Blastula betrachten, dessen Lage durch irgendwelche Koordinaten l gegeben ist, so verwandelt sich dieses im Laufe der ungestörten Entwicklung in ein ganz bestimmtes Organ der ausgewachsenen Larve. Wenn aber ein Teil der Blastula weggeschnitten wird, so wird aus demselben Teilchen l , das jetzt einem kleineren Stück der Blastula angehört, ein ganz anderes Organ.

Man kann also sagen, das Schicksal eines Teilchens der Blastula sei eine Funktion seiner Lage l und der absoluten Größe G des übrig gebliebenen Stückes, dem es angehört. Außerdem hängt dieses Schicksal natürlich von der Endgestalt ab, welcher die Seeigellarve zustrebt. Diesen Einfluß stellt Driesch durch eine Größe E in der Formel dar, von der er sagt, daß sie eine Konstante wie z. B. in der Physik die spezifische Wärme sei, aber nicht durch Zahlengrößen festgelegt werden könne. In dieser Größe E äußert sich vielmehr nach Driesch die charakteristische Eigenschaft der lebendigen Organismen, eine bestimmte Gestalt als Ziel anzustreben. In der Endformel, in welcher das Schicksal irgendeines Teilchens als Funktion von l , G und E dargestellt wird, also symbolisch $f(l, G, E)$ stehen daher unter dem Funktionszeichen zwei Zahlengrößen l und G und eine Naturtendenz E . Dieses E nennt Driesch im Anschluß an Aristoteles eine Entelechie. Ihre Wirksamkeit tritt bei ihm an Stelle oder besser gesagt als Ergänzung der mechanischen Gesetze auf.

12. Bedenken gegen den Beweis.

Der Beweis mit den ineinander geschachtelten Maschinen kommt einem sehr plausibel vor, wenn man sich dabei ein verkleinertes

Abbild der in technischen Betrieben aufgestellten Maschinen mit Kolben, Zahnrädern usw. vorstellt. Da kann man sich allerdings nicht denken, daß kontinuierlich unendlich viele derartige Vorrichtungen ineinander geschachtelt sind. Aber was hat diese Vorstellung mit einer physikalisch-chemischen Theorie des Lebens zu tun? Um einen Beweis der Unmöglichkeit einer solchen Theorie zu führen, der auf den von Driesch verwendeten experimentellen biologischen Tatsachen beruht, müßte man zumindest Beweise der folgenden Art versuchen: man müßte eine ganz bestimmte physikalisch-chemische Theorie zugrunde legen, z. B. um den einfachsten Fall zu nehmen, die Newtonschen Gleichungen der Mechanik mit bestimmten Kraftgesetzen und müßte zeigen, daß es keine Anfangszustände von Massenpunkten geben könne, die bei Entfernung einzelner Punkte zu ähnlichen Gruppierungen sich entwickeln wie das ursprüngliche System.

Es müßte also gezeigt werden, daß die Existenz derartiger Anfangszustände und Kraftgesetze mit den Differentialgleichungen der Newtonschen Mechanik unvereinbar ist. Das Gelingen eines derartigen Beweises scheint aber sehr unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, daß dabei Systeme mit sehr vielen Massenpunkten auftreten und die Wiederkehr ähnlicher Gruppierungen gar nicht mit mathematischer Präzision, sondern nur ungefähr verlangt werden muß. Aber auch das Gelingen eines solchen Beweises würde nicht viel bedeuten; denn man müßte ähnliche Beweise auf Grund sämtlicher physikalisch-chemischen Theorien führen, z. B. auf Grund der Diracschen Wellengleichungen oder der Einsteinschen Feldtheorie.

Aber selbst wenn sich das alles durchführen ließe, könnte man den Schluß von Driesch noch immer nicht ziehen. Denn wir wissen ja nicht, welche physikalisch-chemischen Theorien in Zukunft noch aufgestellt werden können. Wenn jemand mit Recht behaupten will, daß es für die geschilderten biologischen Tatsachen niemals eine physikalisch-chemische Erklärung geben werde, müßte er erst die Entwicklung der Physik für alle Zeiten vorhersagen können. Denn ein derartiger Beweis kann nur auf Grund einer bestimmten Theorie geführt werden.

Mit ähnlichen Argumenten wie denen von Driesch ließe sich z. B. auch folgendes beweisen: Wenn man irgendein Stück Eisen erhitzt, so sendet es ein Spektrum aus, das so kompliziert ist, daß

jede Verfeinerung unserer Beobachtungsmittel uns neue Feinheiten in der Struktur dieses Spektrums entdecken läßt. Man müßte sich vorstellen, daß nur eine ungeheuer komplizierte Maschine, die in diesem Eisen steckt, diese komplizierte Struktur hervorbringen kann. Nun kann man von diesem Eisenstück einen beliebig geformten Bruchteil wegschneiden und man erhält immer noch ein Spektrum genau derselben komplizierten Struktur, dem ursprünglichen vollkommen ähnlich gebaut, nur von geringerer Intensität. Es müßte also die in dem Eisen steckende Maschine beim Abbrechen eines beliebigen Stückes ihre Funktion vollkommen beibehalten. Es müßten kontinuierlich unendlich viele Maschinen ineinander geschachtelt sein, kurz es könnte die Aussendung des Eisenspektrums sich nicht auf Grund einer mechanischen Gesetzmäßigkeit erklären lassen.

Ich will natürlich damit nicht sagen, daß die Vorgänge bei der Aussendung des Eisenspektrums eine Ähnlichkeit mit den physikalischen Vorgängen in den lebenden Organismen haben. Es sollte nur an diesem Beispiel deutlich gemacht werden, daß die Argumentation mit sogenannten Maschinen vollkommen in die Irre führen kann. Es zeigt sich eben hier wieder wie so oft, daß jede Wissenschaft mit einem veralteten Zustand ihrer Nachbarwissenschaften zu arbeiten pflegt. Und dasjenige, was man heute unter einer physikalischen Theorie versteht, läßt sich in keiner Weise durch den primitiven Maschinenbegriff ersetzen.

13. Driesch will die Unvereinbarkeit der Lebensvorgänge mit der Newtonschen Mechanik beweisen.

Driesch hat einen Versuch gemacht, seinen erwähnten Beweis zu präzisieren. Er versucht zu zeigen, daß ein System von Massenpunkten, das sich nach den Newtonschen Bewegungsgesetzen verhält, nicht beim Weglassen einer beliebigen Anzahl von Punkten einer ähnlichen Konstellation zustreben kann wie das ursprüngliche System. Den Beweis führt er folgendermaßen: Wenn man einen Massenpunkt wegläßt, so muß das System, um trotzdem derselben Gruppierung zuzustreben, eine Bedingungsgleichung erfüllen. Und so zählt Driesch ab, wie viele Bedingungsgleichungen das System erfüllen müßte, um beim Weglassen beliebiger Punkte immer noch einem ähnlichen Endzustand zuzustreben. Er findet als Ergebnis dieser Abzählung eine so

große Anzahl von Bedingungsgleichungen, daß er es sehr unwahrscheinlich findet, ein System könne alle diese Bedingungen erfüllen. Ich will hier gar nicht die Frage aufwerfen, was für Arten von Bedingungen hier eigentlich gemeint sind und ob diese Abzählung wirklich zutreffend ist, sondern nur die, was denn in diesem Zusammenhange eigentlich das Wort unwahrscheinlich bedeuten soll.

In Kap. VI und VII werden wir noch ausführlich darüber sprechen, daß kein mechanisches System und keine Konstellation an sich einen bestimmten Grad der Wahrscheinlichkeit oder Unwahrscheinlichkeit besitzt, sondern daß diese Begriffe immer nur auf Teile einer Gesamtheit von Fällen angewendet werden können, die unter möglichst gleichen Bedingungen hergestellt sind, aber sich trotzdem noch irgendwie unterscheiden, wie es bei dem klassischen Beispiel aller Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen, dem Schleudern von Würfeln aus einem Becher, der Fall ist. Über irgendein einzelnes System, mag es noch so kompliziert gebaut sein, kann man niemals sagen, daß es unwahrscheinlich sei. Sonst müßte man ja behaupten, daß die Existenz einer Eizelle, aus der sich ein hochdifferenzierter Organismus entwickeln kann, auch bereits sehr unwahrscheinlich ist. Ja noch mehr: Auch die Existenz von Stoffen, die ein so kompliziertes und doch immer gleichgebautes Spektrum wie das des Eisens haben, müßte man als unwahrscheinlich bezeichnen.

Auch Driesch sieht die Unwahrscheinlichkeit des geschilderten mechanischen Systems noch nicht als völlig entscheidend für seine Unmöglichkeit an:

„Aber — und nun wird gleich die Empirie einsetzen und zur Entscheidung führen — ganz gewiß dürften wir in unserer Präzisionsmaschine, ob wir ihr schon nach Zeit und Ort beliebige Elemente nehmen dürfen, diejenigen Elemente, welche bleiben, auch nicht um das allergeringste aus ihrer Lage bringen; dann wäre es zu Ende mit der Präzisionseinrichtung. Denn Lageverrückungen sind unendlich viele möglich, auf eine unendliche mögliche Variation kann aber nichts ‚eingestellt‘ sein . . . Nun vertragen aber die biologischen Systeme (von der Art der betrachteten Blastula) nicht nur nach Zahl und Ort beliebige Entnahmen von Elementen, sondern auch beliebige Zerrungen, Verlagerungen und Verrückungen der verbleibenden. Sie geben immer das proportional Richtige, das Ganze. Also sind diese biologischen Systeme keine mechanischen Systeme im weitesten Sinne dieses Wortes.“

Auch hier liegt aber im Grunde genommen kein wirklicher

Beweis vor. Es wird als selbstverständlich hingestellt, daß ein mechanisches System bei Variation der Anfangsbedingungen einen ganz anderen Bewegungsverlauf nehmen muß. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Es gibt doch mechanische Systeme, in denen stabile Bewegungen vor sich gehen, d. h. solche, deren typischer Verlauf durch Variation der Anfangsbedingungen nicht gestört wird. Man denke z. B. an die so oft besprochene Stabilität des Planetensystems. Es müßte also bewiesen werden, daß die von Driesch betrachteten mechanischen Systeme keine stabilen Bewegungstypen liefern können. Ein solcher Beweis ist aber bei der großen Unbestimmtheit der ganzen Betrachtungen kaum möglich.

Man muß also wohl sagen: der von Driesch formulierte Satz „Gewisse Geschehnisse am belebten Körper sind von einer solchen Art, daß sie sich nicht aus einer Kenntnis der Koordinaten, Kräfte und Geschwindigkeiten der einzelnen körperlichen Elemente herleiten lassen“ ist erstens nicht bewiesen und würde zweitens, auch wenn er bewiesen wäre, noch nicht die Unmöglichkeit einer physikalisch-chemischen Beschreibung der Lebenserscheinungen bedeuten.

14. Versuch, die Behauptung des Vitalismus als Beschreibung eines beobachtbaren Tatbestandes zu formulieren.

Nehmen wir aber einmal an, die Grundbehauptung von Driesch wäre wirklich bewiesen, es wäre wirklich unmöglich, die Lebenserscheinungen mit Hilfe der bekannten physikalischen Gesetzmäßigkeiten darzustellen, so ist das zunächst eine negative Aussage. Wir wollen nun zusehen, welche positive Behauptung hinter dieser mehr oder weniger sinnvollen negativen steckt. Ich glaube, daß dieser positive Sinn sich nur so als eine wirkliche Aussage über die Welt formulieren läßt, daß man wieder auf die animistische Auffassung der primitiven Völker zurückgeht und die Naturerscheinungen durch Eingreifen menschenähnlicher, aber mächtigerer Wesen deutet. Wir wollen zeigen, daß der Vitalismus auch in seiner wissenschaftlichsten Form, wie sie ihm von Driesch gegeben wurde, nur auf die genannte Art als eine sinnvolle Aussage über die Wirklichkeit aufgefaßt werden kann.

Wir gehen vielleicht von der Gleichung aus, mit Hilfe deren Driesch, wie in Abschnitt 11 gezeigt wurde, das Schicksal irgendeines Teilchens der Blastula als Funktion seiner Lage l , der abso-

luten Größe G und einer Naturkonstanten E darstellt, also in der Form $f(l, G, E)$. Die Größe E stellt uns die Fähigkeit des betreffenden Organismus dar, auch bei beliebigem Abschneiden eines Stückes eine bestimmte Gestalt wiederherzustellen. Da durch die vorangehenden Beweise von Driesch, wie wir jetzt annehmen wollen, gezeigt ist, daß diese Eigenschaft keinem physikalisch-chemischen System zukommt, kann E nicht eine physikalisch-chemische Konstante oder eine Kombination aus solchen sein, sondern muß eine Naturkonstante ganz anderer Art sein, die sich nicht durch Zahlengrößen ausdrücken läßt. Sie ist, um mit Driesch zu reden, „keine extensive, sondern eine intensive“ Konstante. Da aber die formulierte Gleichung genau so wie eine Gleichung der Mechanik einen empirisch prüfbareren Tatbestand darstellt, bedeutet die Einführung der Größe E nach Driesch wohl ein Hinausschreiten über den Rahmen der physikalischen Gesetzmäßigkeit, keineswegs aber ein Verlassen des Bodens der empirischen Wissenschaft, keine Einführung anthropomorpher, seelenähnlicher Elemente.

Wenn man wirklich versucht, den Inhalt dieser Gleichung rein empirisch zu fassen, so wird man nur sagen können, das Schicksal irgendeines Teilchens sei außer von l und G noch von der Endgestalt der ausgewachsenen Larve abhängig. Diese Endgestalt läßt sich aber genau so wie Lage und Größe durch Zahlengrößen ausdrücken. Natürlich ist das nicht durch eine einzige Zahl, auch nicht durch mehrere Zahlen, sondern nur wieder durch Funktionen möglich, die uns etwa die Gleichungen der Begrenzungsflächen der Teile des ausgewachsenen Organismus aufzustellen gestatten. Es steht also an der Stelle der Funktion $f(l, G, E)$, wo Driesch die „intensive“ Naturkonstante E annimmt, bei rein empirischer Auffassung als Argument der Funktion f wieder eine oder mehrere Funktionen, welche die Endgestalt des Organismus bestimmen. Wir haben in f das vor uns, was man in der Mathematik ein Funktional oder eine Funktionenfunktion zu nennen pflegt. Die Behauptung, daß E keine extensive, zahlenmäßig ausdrückbare Größe ist, geht also selbst bei Anerkennung der Richtigkeit der Beweise von Driesch über die bloße Analyse des empirischen Materials hinaus.

Um uns den positiven Sinn der Einführung derartiger Konstanten klarzumachen, gehen wir davon aus, daß Driesch diesen

Konstanten in der Biologie eine ähnliche Rolle zuschreibt, wie sie die Materialkonstanten in der Physik spielen. Aber gerade daraus, daß Driesch diesen Konstanten, den „Entelechien“, wie er sie nennt, einen möglichst den physikalischen Größen ähnlichen Charakter geben will und jede Einmischung seelenähnlicher Faktoren zurückweist, wird sich zeigen lassen, daß in der Entelechie doch nichts anderes steckt als jener alte Animismus.

Es wird vielleicht gut sein, ehe wir diese Übereinstimmung ausdrücklich beweisen, noch einen anderen Beweis, den Driesch für die Unmöglichkeit der mechanischen Erklärungen der Lebenserscheinungen gibt, hier darzustellen. Denn in diesem zweiten Beweise wird die Entelechie bereits in einer Art auftreten, die viel mehr von allen physikalischen Konstanten entfernt ist, wodurch uns die Aufzeigung des animistischen Charakters der ganzen Theorie sehr erleichtert wird.

15. Ein anderer Beweis von Driesch: die Analyse der menschlichen Handlungen.

Die empirischen Tatsachen, von denen Driesch bei diesen Beweisen ausgeht, sind den Erfahrungen des täglichen Lebens entnommen. Jeder Mensch, der irgendeine Nachricht erhält, reagiert auf dieselbe durch irgendeine Handlung. Die Schallwellen der Luft, durch welche die Nachricht an sein Ohr gelangt, haben schließlich eine Bewegung bestimmter von seinen Organen zur Folge. Es erhebt sich die Frage, ob der Zusammenhang zwischen dem unstreitig mechanischen Reiz (z. B. den Schallwellen) und der ebenso unstreitig mechanischen Bewegung mit Hilfe einer rein mechanischen Gesetzmäßigkeit verstanden werden kann. Dabei ist zu beachten, daß Driesch besonders darauf Wert legt, dieses Problem vollkommen vom Standpunkt der Naturwissenschaft ohne jedes Hereinziehen psychologischer Begriffe zu behandeln.

Wenn jemandem z. B. mitgeteilt wird, „Mein Vater ist gestorben“ und ein anderes Mal „Dein Vater ist gestorben“, so sind die Schallschwingungen in beiden Fällen nur sehr wenig verschieden, die durch diese Reize ausgelösten Wirkungen aber in sehr hohem Grade. Im ersten Fall wird vielleicht überhaupt sehr wenig auf diese Nachricht erfolgen, während im zweiten schwere krampfartige Zusammenziehungen der Blutgefäße vor-

kommen können, gar nicht zu reden von den weiteren in Zukunft eintretenden Folgen.

Wenn ich aber z. B. einmal die Nachricht bekomme „Dein Vater ist gestorben“ und das andere Mal „Ton père est mort“, so werde ich, wenn ich französisch verstehe, dieselben Bewegungen ausführen, obwohl die Schallreize selbst keinerlei Ähnlichkeit miteinander haben.

Nach Driesch ist es nun mit den Eigenschaften eines mechanischen Systems unvereinbar, daß eine kleine Abweichung des Reizes eine vollständige Umwälzung in der Wirkung nach sich zieht, hingegen vollständig verschiedene Reize genau dieselbe Wirkung haben. Oder wie es Driesch irgendwie formelartig zu fassen sucht:

„Verändert man den Reiz a, b, c, d, e, f, g, h, i, zu a, b, γ , d, e, f, g, h, i, so ist der Effekt nicht mehr a₁, b₁, c₁, d₁, e₁, f₁, g₁, h₁, i₁, sondern m, n, o, p, q, r, s, t. Verändert man anderseits den Reiz a, b, c, d, e, f, g, h, i, zu α , β , γ , δ , ϵ , ι , κ , λ , μ , so bleibt der Effekt trotzdem a₁, b₁, c₁, d₁, e₁, f₁, g₁, h₁, i₁.“

Man kann also nicht jedem einzelnen Bestandteil des Reizes einen bestimmten Bestandteil der Wirkung zuordnen. Z. B. entspricht nicht jedem Buchstaben der Todesnachricht eine bestimmte Teilhandlung des Betroffenen, sondern nur der Nachricht als ganzer entspricht eine charakteristische Handlung. Eine derartige kausale Beziehung ist aber nach Driesch mit dem Wesen einer Maschine unvereinbar. Es widerspricht dem Begriffe der physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeit, daß ein System auf eine Anordnung typisch kombinierter Reize stets mit einem typisch kombinierten Reiz antwortet, obwohl die einzelnen Elemente des Effektes nicht in kausaler Abhängigkeit von den einzelnen Elementen der Ursache stehen.

16. Bedenken gegen den Beweis.

Es ist eigentlich nicht leicht zu verstehen, warum nach den Gesetzen der Mechanik ein so kleiner Unterschied, wie der in den Schallschwingungen von „mein“ und „dein“ nicht beliebig große Unterschiede in den Wirkungen hervorbringen können soll. Bei jedem mechanischen System, dessen Bewegungszustand ein labiler ist, hat jede noch so kleine Veränderung der Anfangsbedingungen große Änderungen in dem Bewegungsverlauf zur Folge. Und es ist ja sicher, daß wir es im Nervensystem des

Menschen, durch das die Vermittlung zwischen Reiz und Bewegung stattfindet, mit sehr labilen Systemen zu tun haben.

Man bedenke z. B., daß vor einigen Jahren Marconi von seinem Schiffe vom Hafen von Genua aus die ganze elektrische Straßenbeleuchtung der Stadt Sidney in Gang gesetzt hat. Von der in Genua erzeugten elektrischen Welle ist in Sidney eine Energiemenge angekommen, der gegenüber der Unterschied zwischen „mein“ und „dein“ in einer Schallwelle noch sehr groß ist. Trotzdem genügte sie, um Tausende von Glühlampen zum Leuchten zu bringen. Eine solche Wirkung, in der Technik Relaiswirkung genannt, ist dadurch zu erklären, daß die Energie der Beleuchtung nicht der Welle entnommen wird, sondern in Sidney bereits vorhanden war. Die Welle wurde nur dazu verwendet, die aufgespeicherte Energie zu Arbeitsleistung zu bringen, indem ein Stromkreis durch sie geschlossen wurde. Solche Relaiswirkungen spielen sicher auch im Nervensystem des Menschen eine Rolle.

Man könnte hier auch argumentieren: Man kann keine kausale Beziehung zwischen den einzelnen Teilvorgängen bei der Erregung der Welle und den einzelnen Glühlampen in Sidney herstellen, sondern nur die in Genua erzeugte Welle als Ganzes schaltet die Straßenbeleuchtung von Sidney als Ganzes ein. Infolgedessen läßt sich dieses Experiment durch keine physikalische Gesetzmäßigkeit erklären.

Auf der anderen Seite ist auch unverständlich, warum sehr verschiedene Reize wie z. B. die Schallwellen desselben Satzes in deutscher und französischer Sprache, unter Umständen nicht sehr ähnliche Wirkungen hervorbringen sollen.

Denn daß es sich hier um ähnliche, keinesfalls aber um gleiche Wirkungen handelt, ist doch klar. Es pflegt doch auch vorzukommen, daß der Ausdruck desselben Gedankens in verschiedenen Sprachen auf den Angeredeten, wenn er auch beide versteht, in ganz verschiedener Weise wirkt. Es wird also keineswegs durch zwei ganz verschiedene Schallreize genau dieselbe Handlung ausgelöst, obwohl auch das in einem mechanischen System nicht unmöglich wäre. Man muß doch bedenken, daß es auf eine Art Summenwirkung des ganzen Reizes ankommt, die bei ganz verschiedener Art des Reizes doch dieselbe sein kann. Eine mit Explosivstoff gefüllte Bombe kann genau so zur Entzündung gebracht werden, wenn man die nötige Erwärmung durch

ein brennendes Zündholz erzeugt wie durch einen Schlag mit einem Hammer, obwohl diese Reize keine größere Ähnlichkeit miteinander haben als die Schallreize eines und desselben Satzes in deutscher und französischer Sprache.

Mit diesen Vergleichen sollen natürlich keine mechanischen Analogien zu den Lebensvorgängen gesucht, sondern nur die logische Struktur der Beweise von Driesch nachgeahmt werden, um zu zeigen, daß man auf dieselbe Art auch beweisen könnte, daß die Entzündung einer Bombe nicht auf physikalisch-chemischem Weg zustande kommt. Um das noch einleuchtender zu machen, müßte man etwa noch hinzufügen, daß man den Reiz, der durch das Anbrennen des Zündholzes ausgeübt wird, nur ganz wenig zu ändern braucht, etwa durch Verschiebung des Hölzchens um den Bruchteil eines Millimeters, damit unter gewissen Umständen die Wirkung vollständig verändert wird, so daß z. B. nicht die früher explodierte Bombe, sondern eine in großer Entfernung sich entzündet.

Es scheint mir völlig klar zu sein, daß auch auf diesem Wege die Unmöglichkeit einer physikalisch-chemischen Theorie der Lebenserscheinungen nicht bewiesen werden kann. Und auf einen strengen Beweis kommt es Driesch ja gerade an. Die Möglichkeit eines derartigen Beweises scheint überhaupt sehr unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, wie viele Mühe z. B. darauf verwendet wurde, einen Beweis dafür zu finden, daß sich die elektromagnetischen Erscheinungen nicht auf mechanische zurückführen lassen und wie wenig befriedigend das Ergebnis war.

Trotz des Mißlingens aller derartiger Beweise versucht aber heute niemand mehr, die elektromagnetischen Erscheinungen auf mechanische zurückzuführen, sondern die heutige Physik ist vielmehr bestrebt, physikalische Gesetze so allgemeiner Art aufzustellen, daß sie mechanische und elektromagnetische Erscheinungen umfassen.

17. Positive Formulierungen des Vitalismus führen zum Spiritismus.

Wie versucht nun Driesch, die negative Behauptung, daß die menschlichen Handlungen sich nicht auf physikalische Gesetzmäßigkeiten zurückführen lassen, auch positiv zu formulieren? Bei den Experimenten an verstümmelten Seeigellarven wurde der Begriff einer Entelechie eingeführt, die ein Bestreben ist, eine

bestimmte Form wieder herzustellen. Hier läßt sich noch bis zu einem gewissen Grade der psychologische Begriff des Strebens eliminieren und die Wiederherstellung der Form als eine biologische Tatsache der Erfahrung im Raum darstellen. Nun versucht Driesch auch die Erscheinungen bei den menschlichen Handlungen durch den Begriff einer Entelechie zu erfassen. Hier ist aber das Ziel der Handlung nicht die Wiederherstellung einer bestimmten Form, sondern das Erzielen einer Wirkung, die durch die Natur des Organismus nicht in so anschaulicher Weise gegeben ist wie z. B. die Endgestalt der Seeigellarve.

Da Driesch auch die menschliche Handlung nicht psychologisch, sondern durch Beschreibung von äußeren Erfahrungen darstellen will, sucht er auch hier etwas der Entelechie bei den Restitutionserscheinungen Ähnliches einzuführen. Um aber auch die menschliche Handlung als eine Wiederherstellung aufzufassen, muß er das Ergebnis dieser Handlung als eine Art Normalzustand ansehen, der noch nicht hergestellt ist. Da dieses Ergebnis aber vor der Handlung nur als eine Vorstellung, ein Gefühl oder ein Wille vorhanden sein kann, ist Driesch trotz seines Widerstrebens genötigt, die Entelechie, die hier wirksam ist, noch viel mehr einem psychischen Faktor ähnlich zu machen, als bei den Restitutionserscheinungen an der operierten Seeigellarve. Um wenigstens einen kleinen Abstand vom Psychologischen zu gewinnen, nennt Driesch die bei den menschlichen Handlungen auftretende Form der Entelechie nicht eine Psyche, sondern ein Psychoid. Er nimmt an, daß die durch Schallreize ausgelösten Bewegungen durch Vorgänge vermittelt werden, die wohl nicht Gefühle und Vorstellungen sind, aber am besten in Analogie zu Gefühlen und Vorstellungen verstanden werden können.

Ich kann nicht finden, daß hier ein wirklicher Unterschied gegenüber der einfacheren und klareren Behauptung des alten Animismus besteht, daß die Naturvorgänge durch seelische Faktoren geleitet werden. Wenn Driesch versucht, seine Entelechielehre näher zu erläutern und ihre Beziehungen zu der Gesetzmäßigkeit der anorganischen Natur auseinanderzusetzen, nähert er sich immer mehr und mehr der echten animistischen Auffassung und kommt schließlich zu dem Satz:

„Entelechie wird von räumlicher Kausalität affiziert und wirkt auf räumliche Kausalität, als wenn sie von jenseits des Raumes herkäme: Sie

wirkt nicht im Raum, sie wirkt in den Raum hinein; sie ist nicht im Raum, im Raum hat sie nur Manifestationsorte. Diese Analogie mit gewissen theoretischen Ansichten, welche der sogenannte Spiritismus zur Erklärung der von ihm behaupteten Tatsachen vertritt, ist in der Tat eine ganz gute Beschreibung von dem, was in jedem natürlichen System geschieht, auf welches Entelechie wirkt.“

Hier ist der Animismus als Grundlage des wissenschaftlichen Vitalismus von Driesch selbst in unzweideutiger Weise festgestellt. Denn der Spiritismus ist doch nichts anderes als der moderne Ausdruck für die animistische Weltauffassung.

Da nun die Entelechie, die bei den früher besprochenen biologischen Experimenten von Driesch als wirksam angenommen wird, im Grunde dieselbe ist wie das Psychoid der menschlichen Handlungen, so ist auch bei diesen handgreiflichen biologischen Experimenten der Vitalismus immer bereit, eine Erklärung auf Grund der spiritistischen Auffassung als zutreffend anzusehen.

18. Der Vitalismus ist im strengen Sinn keine wissenschaftliche Theorie.

Ob man die vitalistische Auffassung der Lebenserscheinungen annehmen will, hängt also in keiner Weise von dem Stand unserer Erfahrungen ab, sondern nur davon, ob man glaubt, daß die spiritistische Hypothese eine brauchbare Grundlage für die Naturbetrachtung ist. Das bedeutet in letzter Linie, ob man die Psychologie von Dämonen so gut zu kennen glaubt, daß man aus ihr eine einfache Darstellung der beobachtbaren Erscheinungen an lebenden Organismen schöpfen kann. Mit den Ergebnissen der experimentellen Forschung ist aber ebensogut die mechanistische Hypothese vereinbar; denn wir haben die Unmöglichkeit aller Beweise einer solchen Unvereinbarkeit eingesehen. Wenn wir auch heute von einer physikalisch-chemischen Erklärung der Lebenserscheinungen weit entfernt sind, so sehen wir doch, daß die Hypothese einer solchen Möglichkeit uns zu immer neuen und neuen Kenntnissen führt und daß nur Gesetzmäßigkeiten von der Art der mechanischen im allgemeinsten Sinne uns die Möglichkeit geben, aktiv auf die Natur einzuwirken. Denn nur physikalisch definierte Anfangszustände können wir herstellen. Eine Gesetzmäßigkeit, die aber als Anfangszustände Seelenzustände von Dämonen enthält, ist nur dann für eine aktive Einwirkung verwendbar, wenn wir an die Möglichkeit glauben, auf

das Seelenleben der Dämonen einwirken zu können. Wenn also, und das soll nicht bestritten werden, eine vitalistische Darstellung der Naturerscheinungen möglich ist, so ist sie doch für die Wissenschaft in dem Sinne, wie dieser Begriff in unserer Zeit verstanden wird, sehr wenig brauchbar. Sie ermöglicht uns eine Art Einfühlung in die Natur, weil wir das Seelenleben der Dämonen nach der Analogie zu unserem eigenen konstruieren und ihm daher irgendwie mitfühlend gegenüberstehen, sie ermöglicht aber ein aktives Eingreifen nur demjenigen, der an die magischen Mittel glaubt, mit Hilfe deren die weisen Männer bei den Naturvölkern einen Zwang auf die Dämonen auszuüben pflegten.

Der scharfsinnigste philosophische Kopf unter den Vitalisten, Henri Bergson, gesteht auch vollkommen zu, daß die vitalistische Lehre in diesem Sinne keine wissenschaftliche ist. Er sagt:

„Daß nun die positive Wissenschaft so vorgehen darf und muß (im Sinne der mechanistischen Theorie), das leugne ich nicht. Nur unter dieser Bedingung allein gewinnt sie Zugang zu den organischen Körpern. Ihre Aufgabe in der Tat ist nicht, uns den Grund der Dinge zu offenbaren, sondern das beste Mittel zur Einwirkung auf sie zu liefern. Und nun sind Physik und Chemie schon vorgeschrittene Wissenschaften, und die lebende Materie leihet sich unserer Wirkung nur insoweit, als wir sie unseren physikalischen und chemischen Verfahren zu unterwerfen vermögen. Wissenschaftlich erforschbar also ist das Organische nur, wenn der Organismus zuvor einer Maschine angeähelt worden ist. Die Zellen sind die Maschinenteile, der Organismus ihr Gefüge. Dies der Standpunkt der Wissenschaft. Ein durch und durch anderer, unserer Überzeugung nach, ist jener der Philosophie.“

Von Bergson wird also ausdrücklich anerkannt, daß die vitalistische Auffassung sich nicht wissenschaftlich begründen läßt, sondern nur durch eine Betrachtungsweise, die von der wissenschaftlichen verschieden ist und die er die philosophische nennt. Innerhalb der Wissenschaft kann es also nach ihm keinen Streit zwischen Mechanismus und Vitalismus geben, sondern dieser Streit geht im Grunde nur darum, ob es außerhalb der wissenschaftlichen Erkenntnis noch eine andere wesensverschiedene Art der Erkenntnis gibt.

Mit dieser Formulierung kann ich mich auch ganz einverstanden erklären, wenn noch hinzugefügt wird, daß die vitalistische Auffassung, wie schon erwähnt, bei den primitiven Völkern eine wirklich wissenschaftliche genannt werden kann, weil sie mit dem Glauben

an die Möglichkeit einer Einwirkung auf die Willensentschlüsse der Dämonen verbunden war.

19. Versuche, den Vitalismus „positivistisch“ zu formulieren.

Die Einsicht, daß die Grundbehauptung des Vitalismus in der üblichen Formulierung von Driesch und gleich oder ähnlich denkenden Biologen eigentlich keine naturwissenschaftliche, sondern eine metaphysische Behauptung bildet, drängt sich auch dem vitalistisch Gestimmten oft so auf, daß immer wieder Versuche gemacht werden, nun aber einmal an Stelle des „metaphysischen Vitalismus“ von Driesch einen ganz unverfälscht „wissenschaftlichen Vitalismus“ zu setzen. In der letzten Zeit hat vielleicht L. v. Bertalanffy in mehreren sehr lesenswerten Aufsätzen am entschiedensten dieses Ziel angestrebt.

Bertalanffy geht davon aus, daß heute auch in der Physik nicht mehr die kausal-mechanistische Auffassung der Natur herrsche, sondern eine Annäherung an teleologische Denkweisen sich vollziehe. Er sagt:

„An Stelle der strengen Naturkausalität tritt (in der Physik) ein indeterministisches Weltbild, das mit ganz frühen primitiven Vorstellungen ebensoviel Ähnlichkeit hat, wie sich der moderne Psychismus und besonders die Lehre vom überindividuellen Seelischen (E. v. Hartmann, Becher, Driesch) mit dem mystischen Gefühl des vorwissenschaftlichen Menschheitszustandes deckt.“

Es wird in (Abschn. 26 und Kapitel VII, Abschn. 19—22) noch ausführlich dargelegt werden, daß diese Deutung der modernen Physik auch nicht im entferntesten zutreffend ist, wenn auch die Äußerungen mancher Physiker an ihr mitschuldig sind. Wenn man aber einmal diese Auffassung hat, so liegt es nahe zu versuchen, den Begriff der Finalität von seinen anthropomorphen aus der animistischen Periode stammenden Elementen ebenso zu reinigen wie dies etwa E. Mach, Kirchhoff und H. Hertz in der Physik für den Kausalbegriff unternommen haben.

Bertalanffy stellt der „falschen“ Kausalität: B „bewirkt“ A mit ihrem anthropomorphen Einschlag die „falsche“ Finalität an die Seite, die etwa behauptet: die „Absicht“ eines zu erreichenden B ist Bestimmungsgrund des gegenwärtigen A . In der Physik habe man nun die richtige Kausalität hergestellt, indem man sagte: das gegenwärtige A ist abhängig von einem vergangenen B . Ebenso müsse man auch die Finalität als eine Aussage über wirk-

liche Vorgänge formulieren, indem man sagt: das gegenwärtige *A* ist abhängig von einem zukünftigen *B*.

Wir haben schon in Abschnitt 2 gesehen, daß jede Abhängigkeit zweier Vorgänge in der Physik genau so gut als Abhängigkeit des späteren von dem vorhergehenden wie umgekehrt formuliert werden kann, daß also damit gar nichts über die Vorgänge selbst und erst recht nichts für die biologischen Vorgänge Charakteristisches ausgesagt wird. Durch die positivistische Reinigung des Finalitätsbegriffes verliert er überhaupt alles, was ihn für viele Naturforscher und Philosophen so reizvoll macht.

Wenn wir zusehen, wie Bertalanffy dann seine Finalität auf biologische Fragen anwendet, bemerken wir sofort, daß hier gar nicht die „gereinigte“, sondern die übliche anthropomorphe Finalität auftritt. So z. B. wenn er sagt:

„Um einen Ausdruck zu verwenden, den Driesch freilich im Sinne seines metaphysischen Vitalismus gebraucht: jener Chemismus ist das bloße Mittel, dessen sich das Leben (das wir keineswegs entelechisch zu deuten brauchen), bedient, um sich zu erhalten. Daß der Chemismus so angeordnet ist, daß er lebenserhaltend wirkt, darüber vermag der Physikochemiker nicht, nur der Teleologie Rechenschaft zu geben.“

Wenn eine derartige Ausdrucksweise etwas über wirkliche Vorgänge aussagen soll, so kann sie nur im selben Sinn gemeint sein, wie man auch sagen könnte: das Newtonsche Gravitationsgesetz ist das bloße Mittel, dessen sich die Planeten bedienen, um gerade in solchen Bahnen zu laufen, daß sich ihr ganzes System im Laufe der Zeit stabil erhält. Dann wäre darin aber gar nichts mehr für die Lebenserscheinungen Charakteristisches enthalten; das, was an den Ausdrücken „dient dazu“, „Mittel“, „lebenserhaltend“ viele Biologen so anzieht, ist gerade das Mitklingen der Bedeutung dieser Worte aus der alten anthropomorph-animistischen Periode, wo das alles einen wirklichen Sinn hatte. Es bleibt meiner Meinung nach nur einer von beiden Wegen offen: entweder eine Reinigung der Teleologie von allen anthropomorphen Elementen und damit die Verwischung jedes wirklichen Unterschiedes gegenüber der kausalen Betrachtung der Physik, wenn man aus dieser auch alle Anklänge des alten Animismus entfernt hat; oder man gibt eine wirkliche Teleologie, die aber dann in der Hypothese eines von einem wirklichen geistigen Wesen herrührenden Weltplanes bestehen muß, der wenigstens in seinen Hauptzügen konkret angegeben wird.

Klar und vollkommen zutreffend sagt der Zoologe J. Groß:
„Zu einer wirklichen von Anthropomorphismus freien Teleologie zu gelangen, ist und bleibt ein vergebliches Bemühen.“

In einer späteren Arbeit gibt Bertalanffy auch diese Abhängigkeit der Gegenwart von der Zukunft als Kennzeichen der Lebenserscheinungen auf und will den Unterschied gegenüber den physikalischen Vorgängen darin sehen, daß bei diesen die Vorgänge in jedem Volumelement nur durch die in der aller-nächsten Nachbarschaft beeinflußt sind, während im Lebewesen die Zukunft jedes Teilchens von dem ganzen Organismus abhängt. Der „Systemgedanke“ soll das Kennzeichen der biologischen Gesetzmäßigkeit sein.

Wir müssen aber bedenken, daß auch in den einfachsten von der Mechanik betrachteten Fällen die Zukunft jedes Massenteilchens von dem ganzen Fixsternsystem abhängt, weil ja z. B. die gerade Bahn, die jedes Teilchen nach dem Trägheitsgesetz beschreibt, erst durch Angabe des Systems von Körpern einen Sinn bekommt, in bezug auf die sie eine gerade Bahn sein soll. Wir können also die primitivste mechanische Aufgabe, die Bahn eines Teilchens, auf das keine Kräfte wirken, nicht lösen, ohne seine Geschwindigkeit gegenüber dem ganzen Fixsternsystem zu kennen. Der „Systemgedanke“ ist also der physikalischen Gesetzmäßigkeit genau so eigen und wird es mit dem Fortschritt der Physik immer mehr.

20. Dialektischer Materialismus und Vitalismus.

Auf die „Sondergesetzlichkeit“, „Autonomie“ der Lebenserscheinungen legt aber auch eine Denkrichtung Wert, die mit ganz besonderem Nachdruck alle metaphysischen, anthropomorphen oder mystischen Anklänge ablehnt, ja sich geradezu als „Materialismus“ bezeichnet. Es ist dies der dialektische Materialismus, wie er auf dem Gebiet der Naturwissenschaften besonders von Fr. Engels in seiner nachgelassenen Schrift „Dialektik der Natur“ ausgebaut wurde. Diese Lehre bildet die philosophische Grundlage der sozialdemokratischen und noch mehr der kommunistischen Weltanschauung und ist heute an allen Hochschulen Rußlands die von den Lehrern der Philosophie und der Grundlagen der Naturwissenschaften vorgetragene Theorie. Sie hat daher dort die ausführlichste Durchbildung erfahren. Wenn ich hier

einiges über diesen Versuch einer antimetaphysischen, ja materialistischen Begründung für die Sondergesetzlichkeit der Lebenserscheinungen sagen will, so ist es am besten, sich auf die Darstellung in der heutigen russischen Literatur zu stützen. So kennzeichnet A. Deborin im Anschluß an Fr. Engels die Grundaussage des dialektischen Materialismus:

„... die Dialektik im allgemeinsten Sinne ist eine Wissenschaft, deren Gegenstand die allgemeinsten Gesetze der Bewegung und Entwicklung bilden, die in gleicher Weise die Natur und das Denken, wie auch die menschliche Geschichte beherrschen... Diese Gesetze oder Formen sind die Grundbegriffe jeder wissenschaftlichen Erkenntnis. Sie sind einerseits Formen des Denkens, Begriffe, andererseits aber auch Formen des wirklichen Seins, objektive Prinzipien. So ist die Dialektik zugleich Logik, da sie es mit dem Denken zu tun hat, und Wissenschaft von der Wirklichkeit, da sie die realen Zusammenhänge zwischen den Dingen untersucht.“

Die Einheitlichkeit des Weltbildes besteht also nicht wie im Materialismus des 18. Jahrhunderts darin, daß alle Gesetzmäßigkeit auf mechanische zurückgeführt wird, sondern darin, daß die Gesetze der Natur und Geschichte formal dieselben sind wie die des menschlichen Denkens. Dabei wird natürlich nicht an die Gesetze der klassischen Logik gedacht, sondern an die dialektische Logik Hegels, welche die Gesetze des wirklichen Denkablaufs, soweit er bedeutungsvolle Ergebnisse liefert, feststellen will, wobei bekanntlich als wichtigstes Gesetz das des „Umschlags ins Gegenteil“ eine Rolle spielt. Was an dieser dialektischen Logik klar formuliert werden kann, scheint mir nur das zu sein, daß der Sinn eines Satzes klar erfaßt werden kann, wenn nicht auch sein Gegenteil sinnvoll erfaßt wird (siehe auch Kapitel I, Abschnitt 10). Dieses Umschlagen ins Gegenteil, die Vereinigung der Gegensätze in einer einheitlichen Auffassung auf einer breiteren Basis, der allmähliche Übergang von Quantitätsunterschieden in Qualitätsunterschiede, die im wirklichen Denken eine Rolle spielen, werden nun auch als Gesetze der wirklichen Vorgänge in der äußeren Welt angesehen. Während bei Hegel damit eine idealistische Gesamtanschauung verbunden war, nach der die Welt selbst das Denken eines Weltgeistes widerspiegelt, sahen K. Marx und Fr. Engels und mit ihnen die ganze Richtung des dialektischen Materialismus darin einfach ein Ergebnis der Tatsache, daß der menschliche Geist selbst ein Stück der Natur ist und daher an ihrer Gesetzmäßigkeit Teil hat, die im übrigen rein materialistisch

als Aussagen über das Verhalten raum-zeitlich bestimmter Objekte aufgefaßt wird. Dabei wird vom Materialismus des 18. Jahrhunderts also nicht mehr die Zurückführung auf die wirklichen Gesetze der Newtonschen Mechanik übernommen, sondern nur die Ablehnung geistiger Kräfte und die Deutung der Gesetze als Aussage über „Materie“, worunter hier raumzeitlich bestimmte, von unserer Willkür unabhängige Vorgänge zu verstehen sind, die objektiv feststellbaren Gesetzen genügen, die sich ohne Hilfe seelischer Faktoren aussprechen lassen.

Wenn wir nun die Stellung dieser Lehre zur Frage der Sondergesetzlichkeit des Lebens betrachten, so hat der alte Materialismus des 18. Jahrhunderts diese abgelehnt und in den Lebensvorgängen nur sehr verwickelte mechanische oder nach neuerer Auffassung physikalisch-chemische Vorgänge gesehen. Die biologischen Gesetze sind danach nur sehr verwickelte Kombinationen der physikalisch-chemischen Gesetze, eine „neue“ Gesetzmäßigkeit tritt bei den Lebewesen nicht auf. Für den dialektischen Materialismus besteht das Materialistische nicht in der Zurückführung auf die Gesetze der anorganischen Natur, sondern darin, daß es sich überall nur um Vorgänge an der Materie handelt. Die Gesetze selbst müssen nur überall formal gleicher Art sein, das heißt überall mit denen der dialektischen Logik übereinstimmen, können sich aber bei den organischen Vorgängen auf ganz andere Zustandsgrößen beziehen als in der unbelebten Natur.

Ja noch mehr. Die ganze Auffassung des dialektischen Materialismus ist eine entwicklungsgeschichtliche. So wie das Denken als ein wirklich vor sich gehender Vorgang betrachtet wird, so auch die Beziehung zwischen belebter und unbelebter Natur als die Frage der Entwicklung der belebten aus der unbelebten. Hier wird wohl ganz im Sinn des früheren Materialismus die genetische Herkunft der Lebewesen aus unbelebter Materie angenommen; aber es findet ein Übergang ins Gegenteil statt. Aus dem Unbelebten wird Belebtes. Die Gesetze der Lebewesen sind „qualitativ“ von den physikalischen verschieden. Es gibt wohl Mechanismen verschiedener Komplikation. Das sind aber nur quantitative Unterschiede, die bei der Entstehung der Lebewesen in „qualitative“ übergehen.

Schon Fr. Engels drückte sich aus:

„Obwohl die mechanischen Gesetze auf dem Gebiet der Lebewesen

fortfahren zu wirken, treten sie doch vor anderen, höheren Gesetzmäßigkeiten zurück.“

Diese Ausdrucksweise klingt schon sehr an die vieler Vitalisten an, und es ist kein Wunder, daß es immer viele Versuche gab, den Materialismus im alten Sinn auch innerhalb der dialektischen Richtung mehr beizubehalten.

21. Der Kampf gegen die „Mechanisten“ in Sowjetrußland.

Es gibt unter den Naturphilosophen der Marxistischen Richtung in Rußland auch heute sehr viele, die darauf hinweisen, daß auch mit der dialektischen Richtung des Materialismus die Auffassung vereinbar sei, daß die Erscheinungen an den Lebewesen sich auf physikalisch-chemische Gesetze zurückführen lassen. An ihrer Spitze steht der bekannte Physiker A. K. Timirjasew. Diese Richtung wurde aber in den letzten Jahren stark bekämpft. Ihre Anhänger, die „Mechanisten“, gelten oft beinahe ebenso als Feinde des herrschenden sozialen Systems wie die „Idealisten“ und „Machisten“. Die mechanistische Auffassung galt einige Zeit lang als die Ideologie des rechten Flügels der kommunistischen Partei, der sich der raschen Durchführung der Sozialisierung widersetzte.

So heißt es in einem unter dem Titel „Der XVI. Kongreß der kommunistischen Partei und die Aufgaben an der philosophischen Front“ in der führenden philosophischen Zeitschrift erschienenen Aufsatz:

„Ein erfolgreicher Kampf gegen die Bourgeoisideologie, für die Herrschaft des Marxismus auf dem Gebiete der Naturwissenschaft wären unmöglich ohne einen Kampf gegen die Mechanisten. Die Mechanisten treten gegen die marxistische Philosophie, gegen die methodologische Leitung der Naturwissenschaft durch den Marxismus unter der Losung auf: Die Wissenschaft ist selbst ihre eigene Philosophie. Sie ersetzen den dialektischen Materialismus durch den mechanistischen, den Marxismus durch den Positivismus.“

Die antimechanistische Richtung kämpft auch mit aller Schärfe gegen die Auffassung, daß die Gesetzmäßigkeit der Lebensvorgänge dieselbe sei wie die in der unbelebten Natur. So sagt z. B. A. Deborin:

„Es besteht zwischen der anorganischen und der organischen Welt nicht nur Verbindung und Einheit, sondern auch Verschiedenheit, ja ein Abgrund, ein entscheidender Sprung, wie Engels sich ausdrückt. Das Leben geht wohl genetisch auf anorganische Korpuskel zurück, welche die gemeinsame Basis für die anorganische und die organische Welt bilden. Aber je

mehr wir uns diesem gemeinsamen Ursprung nähern, desto mehr hört das Leben auf Leben zu sein, und der Organismus geht in sein eigenes Gegenteil über. Eine solche Zurückführung führt zur Verneinung dessen, was man zurückführen wollte. Insofern es sich um die Entstehung des Lebens handelt, ist dieser Weg richtig: Das Leben muß genetisch aus seinem Gegenteil hergeleitet werden. Aber andererseits ist es für jeden klar, daß das Leben eine besondere Kategorie, eine besondere Qualität ist . . . Es fragt sich, ob die Wechselwirkung der (den Organismus bildenden materiellen) Teile neue Gesetzmäßigkeiten aufweist, oder ob sie sich auf die einfachen Gesetzmäßigkeiten der Einzelteile zurückführen läßt. Wir glauben, daß das Leben solche Eigenschaften aufweist, solche Gesetzmäßigkeiten, die wir in der anorganischen Natur nicht beobachten, ja wir bemerken in der organischen Natur sogar Prozesse, die in der anorganischen Natur entgegengesetzt sind. Es wird genügen, darauf hinzuweisen, daß der Stoffwechsel in toten Körpern die Ursache ihrer Zerstörung ist, in lebenden aber die grundlegende Bedingung ihrer Existenz und Entwicklung.“

Ebenso wie die Zurückführung der biologischen Erscheinungen auf die physikalisch-chemischen, gilt auch die Zurückführung der sozialen Vorgänge auf die biologischen als mechanistisch. In der Besprechung eines Buches, in dem die Wichtigkeit einer Hebung der biologischen Erbfaktoren in der russischen Bevölkerung für die rasche Durchführung des Fünfjahrplanes hervorgehoben wird, sagt einer der bekanntesten Vertreter der antimechanistischen Form des dialektischen Materialismus, A. Maximow:

„Hier steckt ein schwerer mechanistischer Fehler: Die Zurückführung der Soziologie auf Biologie, der gesellschaftlichen auf biologische Gesetze. Ist nicht die Klassenerfahrung des Proletariats der Sowjetunion, der Enthusiasmus der Massen, die richtige Politik der kommunistischen Partei, eine Bürgschaft für die Durchführung des Fünfjahrplanes, soweit wir über die Bevölkerung sprechen?“

Man sieht, wie weit dieser russische Materialismus von dem entfernt ist, was man bei uns als Materialismus zu bezeichnen pflegt. In allerletzter Zeit macht sich allerdings in den leitenden kommunistischen Kreisen Rußlands ein starker Widerspruch gegen den allzu sehr „antimechanistischen“ Materialismus geltend, und anfangs 1931 wurde in einer Resolution des Zentralkomitees der kommunistischen Partei Rußlands die geschilderte Richtung Deborins ausdrücklich als „menschewisierender Idealismus“ verurteilt.

22. Welche Aussagen über die wirklichen Vorgänge enthält der dialektische Materialismus?

Wenn wir uns die Frage vorlegen, ob der dialektische Materialismus mit seinen Ansichten über die Sondergesetzlichkeit der

Lebenserscheinungen denselben Einwürfen ausgesetzt ist, die wir gegen die verschiedenen Formen des Vitalismus erhoben haben, so müssen wir folgendes beachten: Es ist nicht ganz leicht herauszuschälen, was eigentlich über die wirklichen Vorgänge behauptet wird, das einer Nachprüfung durch die Erfahrung fähig ist. Es wird ganz im Sinne der mechanistischen Auffassung angenommen, daß die Organismen aus dem leblosen Stoff tatsächlich entstehen. Sie müssen also nach den physikalisch-chemischen Gesetzen entstehen. In einem bestimmten Momente wird nun behauptet, daß diese Gesetzmäßigkeit in eine andere entgegengesetzte übergeht, unter der aber dennoch die physikalisch-chemischen Gesetze weiter bestehen bleiben. Wenn die biologischen Gesetze nur wegen ihrer größeren Komplikation spezifisch verschieden von den physikalischen genannt werden, so läßt sich nirgends die Stelle des Umschlagens ins Gegenteil aufzeigen.

Und hier scheint mir auch in dieser Auffassung der Sondergesetzlichkeit des Lebens ebenso wie im üblichen Vitalismus ein anthropomorphes Element zu stecken. Es wird ohne weiteres angenommen, daß der Übergang von den verschiedenen Mechanismen zu den Organismen ein Übergang von quantitativen Unterschieden zum Entstehen einer neuen Qualität ist. Ein solcher Übergang soll auch schon zwischen Mechanik und Elektrodynamik, Elektrodynamik und Chemie stattfinden. Dieser Gedanke, der auch dem üblichen Vitalismus nicht fremd ist, setzt als selbstverständlich voraus, daß Qualität und Quantität Grundeigenschaften der wirklichen Naturvorgänge sind. Das ist aber eine durchaus oberflächliche Auffassung. In unseren Erlebnissen sind uns nur qualitative Unterschiede gegeben. Den Unterschied zwischen „Groß“ und „Klein“ erleben wir zunächst nicht anders als den zwischen rot und blau. Erst durch die Zuordnung von Zahlen zu den Erlebnissen wird ein System von Zustandsgrößen geschaffen, zwischen denen quantitative Beziehungen bestehen. Das gilt auf allen Gebieten der Naturwissenschaft in ganz gleicher Weise. Die Behauptung, der Übergang von der Mechanik eines Massenpunktes zu der von tausend Massenpunkten sei nur ein quantitativer, hingegen der Übergang von der Mechanik zur Chemie ein qualitativer, sagt über die Vorgänge in der Natur überhaupt nichts aus. Solange ich von Erlebnissen spreche, ist der Unterschied zwischen einem Körper und tausend Körpern

genau so qualitativ wie der zwischen dem Ruhezustand und dem alkalischen Zustand eines Körpers. Wenn wir aber das wissenschaftliche System betrachten, so ist auch der Unterschied zwischen Mechanik und Chemie nur ein quantitativer. In beiden haben wir es mit denselben Zustandsgrößen zu tun, nur in verwickelteren Kombinationen.

Wenn also die Darstellungen der Vorgänge in der belebten und un belebten Natur durch die Gesetze der Dialektik auch keine von anthropomorphen Elementen freie Behauptungen zu sein scheinen, so hat sich der dialektische Materialismus doch in einer Beziehung große Verdienste um den Aufbau einer wissenschaftlichen Weltauffassung erworben. Ich glaube wohl nicht, daß man die Gesetze des menschlichen Denkens in so einfache Beziehungen zu den Gesetzen der äußeren Natur bringen kann, daß man auch hier überall Übergänge ins Gegenteil, von Quantität in Qualität sehen kann. Aber es ist doch sicher, daß die positivistische Weltauffassung allzu häufig darauf vergessen hat, daß man das Denken des wissenschaftlichen Forschers auch als einen Teil des Naturprozesses auffassen muß. Wenn also der dialektische Materialismus sich immer bemüht, die Auffassungen, die in der Wissenschaft einer Epoche herrschen, in Verbindung mit den sozialen Zuständen dieser Zeit zu bringen, so sagt er damit ohne Zweifel über wirkliche Vorgänge etwas aus, die einer Wissenschaftsauffassung entgegen, die im vorhinein das Denken des Forschers als einen der übrigen Welt getrennt gegenüberstehenden Vorgang betrachtet.

Die Stelle aber, an der man das Auftreten einer neuen Art von Gesetzmäßigkeit annimmt, ist völlig willkürlich. In der Mechanik zweier Massenpunkte gibt es Gesetze, die in der Mechanik eines einzelnen Massenpunktes nicht auftreten, z. B. das Gesetz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung. Bei drei Massenpunkten gibt es wieder neue Gesetze, z. B. die sich auf Formänderung des Gebildes beziehen. Man könnte also überall „Sprünge“ annehmen. Es scheint mir daher, daß man am besten tut, Begriffe wie „Sondergesetzlichkeit“, Auftreten eines „qualitativ Neuen“ oder „Spezifischen“ bei der Beschreibung der Naturvorgänge überhaupt nicht anzuwenden, da damit über die wirklichen Vorgänge nichts ausgesagt wird, sondern im besten Falle nur über unsere Gemütsstimmungen bei der Betrachtung gewisser Erscheinungen.

23. Biologen als Gegner von Vitalismus und Teleologie.

Wenn wir die Haltung der Forscher auf dem Gebiete der Biologie gegenüber den vitalistischen und teleologischen Auffassungen beobachten, so sieht man klar, daß es niemals Versuchsergebnisse oder Feststellungen wirklicher Vorgänge sind, die den Einzelnen zum Anhänger oder Gegner der genannten Auffassungen machen. Wir haben schon gesehen, daß die vitalistischen und finalistischen Theorien niemals Behauptungen über wirkliche Tatsachen sind, sondern nur über die Sympathie des betreffenden Forschers für gewisse metaphysische Stimmungen etwas aussagen. Gerade Philosophen mit stark vitalistischen Neigungen waren es oft, die klar erkannt haben, daß der Vitalismus keine naturwissenschaftliche Theorie ist. Ich erinnere nur an die Ansicht von H. Bergson (Abschnitt 18). W. Sombart nennt die Bewegung des Neovitalismus eine „Auflehnung des Philosophen gegen den Naturwissenschaftler“ und schon Hegel lehrte, daß Naturphilosophie und Naturforschung ganz verschiedene Funktionen haben, jene die teleologische, letztere die kausale Betrachtung der Naturerscheinungen.

Wenn auch viele Forscher auf dem Gebiete der Biologie geneigt sind, den aus der animistischen Periode der Wissenschaft stammenden Stimmungen nachzugeben, so gibt es doch auch eine Anzahl hervorragender Biologen, die in entschiedener Weise die Einmischung der unklaren teleologischen Begriffe in die Darstellung der Forschungsergebnisse ablehnen, weil sich mit ihrer Hilfe keine Aussagen über wirkliche Vorgänge formulieren lassen.

So sagt der bekannte Botaniker Fr. Knoll, der sich viel mit den Wechselbeziehungen von Insekten und Blüten beschäftigt hat, die besonders gerne „teleologisch“ dargestellt werden:

„So glaube ich heute, daß wir die teleologische Wertung ganz aus der biologischen Forschung ausschalten können und sollen. Es wird ja z. B. auch in der Mineralogie nicht gefragt, ob es zweckmäßiger ist, daß ein Mineral in monoklinen Kristallen auftritt, statt in rhombischen. Die Probleme liegen hier wie dort wo anders: in der Vergleichung und im Nachweis von Gesetzmäßigkeiten.“

Über die sogenannte Anpassung, die bei der teleologischen Betrachtung eine so große Rolle spielt, sagt Knoll sehr zutreffend:

„Die gesetzmäßigen (besser ausgedrückt: regelmäßigen) Beziehungen zwischen einem Organismus und seiner Umwelt kann man als Anpassungen an diese bezeichnen. Denn wenn die gegenseitigen Einwirkungen nicht

zueinander paßten, wäre die Einwirkung nicht zu einer regelmäßig vorhandenen geworden, sie wäre nicht im Gefüge der immer wiederkehrenden Wirkungen erhalten geblieben. Mit dem Worte „passen“ ist hier nur gesagt, daß sich die Wirkungen zu einem einheitlichen, andauernden oder regelmäßig wiederkehrenden Gefüge zusammengefunden haben: die Frage nach der Nützlichkeit bleibt auch hierbei unberührt. Wenn z. B. ein Felsstück auf ein bereits unten befindliches herabstürzt und darauf liegen bleibt, so paßt es in diesem Sinn an die betreffende Stelle, denn sonst wäre es dort nicht liegengeblieben, sondern weitergerollt oder umgefallen. Es wird manchem eine solche Auffassung des Begriffes zu roh vorkommen. Sie ist ja auch in gewissem Sinne eine ‚oberflächliche‘, aber bei ehrlicher Überlegung muß man eingestehen, daß unsere Erkenntnisse in diesen Dingen eben nicht ‚tiefer‘ eindringen können, und daß wir uns daher mit einer solchen Verwendung des Begriffes bescheiden müssen.“

Ich glaube, daß man sich hier sogar noch roher ausdrücken könnte; denn das „tiefere“ Eindringen ist, wenn man es im Sinne der Teleologen auffaßt, in Wirklichkeit ein Haften an den oberflächlichsten anthropomorphen Analogien, wie in Abschnitt 19 ausführlich gezeigt ist.

Sehr mit Recht weist Knoll auch darauf hin, daß man nicht dabei stehen bleiben dürfe, die Teleologie aus der systematischen Darstellung zu entfernen, sondern daß sie auch aus dem Unterricht der Naturwissenschaften verschwinden müsse, wo sie selbst manche prinzipielle Gegner nicht entbehren zu können glauben. Es ist richtig, daß die teleologischen Redensarten sehr eng mit der üblichen Darstellung, besonders der populären, verknüpft sind; ich glaube aber, daß man es mit der Forderung der Wahrhaftigkeit nicht vereinigen kann, für den Unterricht eine vom Forscher selbst als logisch unbegründet erkannte Darstellungsart zu verwenden. Wie schwer die konsequente Ausschließung aller derartiger Redewendungen ist, sieht man daraus, daß entschiedenem Gegnern der Teleologie wie dem hervorragenden Botaniker Goebel hier und da doch derartige Wendungen entschlüpfen. Es liegt hier ein ähnlicher Fall eines Überlebens von Redensarten über die durch sie ausgedrückten Begriffe vor wie in der Physik, wo viele Anhänger der Relativitätstheorie doch beim Unterricht ohne die Worte „absolute Bewegung“ oder „mitbewegter Äther“ nicht auskommen zu können meinen.

Ich glaube, daß W. James besonders treffend die schwache Seite unserer „wissenschaftlichen“ Teleologie gekennzeichnet hat, die immer von Planmäßigkeit spricht, ohne den Plan aufzuzeigen.

James sagt:

„Das Wort ‚Plan‘ hat an sich keinerlei Konsequenz und erklärt nichts. Es ist das sterilste aller Prinzipien. Die alte Frage, ob ein Plan in der Natur existiert, ist eine müßige Frage. Das wirkliche Problem besteht darin, was die Welt ist, und das kann man nur durch die Untersuchung der einzelnen Tatsachen wissen.“

Und weiter:

„Das abstrakte Wort Plan ist wie eine Patronenhülse, die nur Pulver, aber kein Geschoß enthält. Es drückt keine Idee aus, aus der irgend etwas folgen würde; man kann damit kein Ziel treffen. Welcher Plan herrscht in der Welt? Wer ist sein Urheber? Das sind die wirklich ernstesten Fragen.“

24. Was bedeuten die Aussagen der „Ganzheitsphilosophie“?

Es ist nahezu ein Gemeinplatz geworden, zu behaupten, daß der menschliche lebendige Körper ein „organisches Ganzes“ sei, hingegen Gebirge, Flüsse, Wolken u. ä. nur zufällige Anhäufungen ohne Ganzheitscharakter. Diese Unterscheidung bildet die Grundlage der heutigen vitalistischen und teleologischen Lehren, angefangen von der extrem metaphysischen „Ganzheitsphilosophie“ von O. Spann bis zu dem „positivistischen“ Vitalismus von Berthalanffy. Ich will hier gar nicht darüber sprechen, daß der Begriff der Ganzheit ähnlich wie der einer Finalität, wenn man ihn als eine Aussage über wirkliche Vorgänge auszusprechen sucht, gar kein Unterscheidungsmittel zwischen Physik und Biologie abgeben kann, da ja, wie schon gezeigt (Abschnitt 19), auch in der Physik, wo sie am mechanistischsten ist, Gesetze eigentlich nur für große Gesamtheiten aufgestellt werden können.

Es soll hier vielmehr von der anderen Seite her gezeigt werden, daß die „Ganzheitsphilosophie“ überhaupt kein Kriterium besitzt, um eine Ganzheit von einem bloßen „Zusammengeraten“ zu unterscheiden, daß vielmehr diese Unterscheidung im konkreten Fall niemals mit Hilfe der Theorie, sondern nur nach der gefühls- und willensmäßigen Einstellung des Aussagenden geschieht, z. B. nach seinen politischen und sozialen Sympathien.

Wir wollen als Beispiel die beiden Vertreter der „Ganzheitsphilosophie“ heranziehen, die in Deutschland vielleicht am klarsten diesen Standpunkt vertreten und durch ihre aller Verschwommenheit abholde Schreibweise eine wissenschaftliche Auseinandersetzung ermöglichen, nämlich O. Spann und H. Driesch. Beide sind sich einig, daß, wie eingangs erwähnt, eine große Kluft

besteht zwischen Ganzheiten wie dem lebenden Körper einerseits und bloßen Anhäufungen, Summen, wie Gebirgen, Inseln u. ä.

Nun, die gefühlsmäßige Einstellung zu Menschen und Steinen ist wohl allgemein die, daß man mehr Sympathie für die ersteren hat. Das wird aber vollkommen anders, wenn man Gegenstände betrachtet, denen gegenüber die gefühls- und willensmäßige Einstellung bei den Forschern wie bei allen Menschen sehr verschieden ist, z. B. die Gegenstände, auf die sich die politischen und sozialen Gegensätze beziehen. Für O. Spann sind, für ihn selbstverständlich, Staat und Nation typische Beispiele für Ganzheiten. Liest man aber die Ausführungen von H. Driesch, so findet man, daß er aus ganz derselben „ganzheitlichen“ Philosophie ableitet, daß die einzelnen Staaten und Nationen genau ebensolche zufällige Anhäufungen sind wie Gebirge oder Wolken und nur die gesamte Menschheit eine „Ganzheit“ ist. Gerade diese ist aber wieder Spann am wenigsten geneigt als Ganzheit anzuerkennen.

Der Grund, warum beide Philosophen bei gleicher theoretischer Grundanschauung zu ganz entgegengesetzten Folgerungen kommen, liegt einfach darin, daß der eine politisch rechts gerichtet ist, zum Nationalismus neigt, der andere hingegen links und mit dem Internationalismus etwas sympathisiert. Ja man kann noch weitergehen. Betrachten wir die Ausführungen von Driesch in seiner „Philosophie des Organischen“:

„Daß Staaten überhaupt sein können, das ist ein allgemeiner Ganzheitszug im Rahmen des Menschlichen; aber man darf die Möglichkeit von Staat überhaupt nicht mit einer Wesentlichkeit der einzelnen empirischen Staaten verwechseln. Daß sie Staaten schaffen kann, macht die Menschheit als Ganzes in gewissem Sinne zu einem Organismus, die empirischen Einzelstaaten sind Gebirgen ihrem logischen Wesen nach viel ähnlicher als einer Sonderbildung im Rahmen des Organischen.“

Auf der anderen Seite lesen wir in der „Empirischen Soziologie“ von O. Neurath, der eine Grundauffassung vertritt, die jener von Driesch diametral entgegengesetzt ist, nämlich eine entschiedene Ablehnung aller vitalistischen und teleologischen Anklänge:

„Eine auf materialistischer Basis betriebene Soziologie spricht von Völkern, Stämmen, Klassen, Staaten, so wie der Geologe von gewissen zusammenhängenden Gebilden wie von Inseln, Drusen, Höhlen und anderem.“

Man sieht, daß sich Driesch in der konkreten Anwendung seiner Philosophie Neurath stark nähert, daß also die Sozio-

logie auf materialistischer und die auf vitalistischer Basis genau zu demselben Ergebnis kommen kann, wenn die betreffenden Autoren ähnliche politische Sympathien haben, daß aber bei verschiedenen Sympathien auch die Gemeinsamkeit der theoretischen Grundlage nicht zu einem gemeinsamen Ergebnis führen muß.

Gehen wir in derselben Richtung noch ein Stück weiter. Eine ähnliche gefühls- und willensmäßige Einstellung, wie der Nationalist gegenüber der Nation, hat der Kommunist gegenüber der sozialen „Klasse“. Und demgemäß wird auch von den dialektischen Materialisten, welche die theoretische Grundlage des kommunistischen Klassenkampfes liefern, aus ihrer Theorie gefolgert, daß die gesellschaftliche Klasse keine bloße Anhäufung, sondern ein Ganzes ist. Ich führe als Beleg nur einen Satz von A. Deborin an:

„Ich wollte nur unterstreichen, daß die Klasse nicht nur ein Aggregat von Individuen ist, sondern ein Kollektiv, ein reales Kollektiv, ein lebendiges Ganzes.“

Wenn man das alles erwägt, wird man kaum bestreiten können, daß die Behauptung, in einem bestimmten Fall liege eine „Ganzheit“ vor, nur über die gefühls- und willensmäßige Einstellung des Behauptenden zu dem Gegenstand seiner Behauptung etwas Sinnvolles aussagt, wenn man unter „Ganzheit“ mehr verstehen will als eine Gruppe von Vorgängen, die untereinander enger zusammenhängen als mit anderen Vorgängen.

25. Der Vitalismus in der Biologie und die finalistischen Auffassungen in der Physik.

Die finalistische Betrachtungsweise wird oft mit einem gewissen Stolz als die für die Lebenserscheinungen allein angemessene bezeichnet, während für die Erscheinungen in der unbelebten Natur die kausale mechanistische Auffassung genügen soll. Andere wieder, und es scheinen mir dies die konsequenteren zu sein, halten die finalistische Auffassung auf dem ganzen Gebiete der Naturerscheinungen für geeignet, tiefere Einsichten zu verschaffen als die bloß kausale. So sagt z. B. O. Spann, daß „ein gegenständlicher Gesamtzusammenhang zwischen organischer und unorganischer Natur da ist; daß die beiden großen Reiche des Lebens und der sogenannten leblosen Materie nicht zusammengeraten sind, sondern gegenständlich zusammengehören, aufeinander hin-

geordnet sind“. Er findet den Begriff der Vollkommenheit, der ja der Grundbegriff jeder Zweckmäßigkeitbetrachtung ist, auch in der Physik und Chemie vor. So macht er darauf aufmerksam, daß der Kreislauf der Kohlensäure und des Wassers zur Erhaltung des Lebens ebenso notwendig sind wie die eigentlichen biologischen Prozesse. Die Eigenschaft des Eises, auf dem Wasser zu schwimmen, ermöglicht das Leben im Wasser. Kurz, er behauptet, „daß auch rein theoretische Fächer trotz ihres Kausalstandpunktes, ohne es zu wissen, mit Vollkommenheitsbegriffen immer und notwendig arbeiten“.

Es scheint mir auch richtig zu sein, daß eine Einführung seelenähnlicher Elemente in die Biologie nicht ohne die Einführung derartiger Faktoren in die Physik möglich ist, da ja physikalische und biologische Erscheinungen ein untrennbar zusammenhängendes System bilden. Die Frage ist nur, ob diese Elemente notwendige Bestandteile unseres heutigen wissenschaftlichen Systems sind oder vielleicht nur heute bereits überflüssige Reste aus der primitiven animistischen Periode der Wissenschaft.

Die meisten vitalistischen Biologen sehen ihre Betrachtungsweise aber als die Forderung einer „Sondergesetzlichkeit“ der Lebenserscheinungen an und sprechen von einer „Autonomie des Lebens“. Es scheint bei ihnen aber doch immer ein gewisses dunkles Gefühl dafür vorhanden zu sein, daß die kausale Betrachtungsweise eigentlich in der Richtung des wissenschaftlichen Fortschrittes liegt; denn je „wissenschaftlicher“ ein Vitalist sein will, desto mehr bemüht er sich, die Heranziehung der seelenähnlichen Faktoren (wie z. B. der Entelechie) einzuschränken.

Noch aus einem anderen Anzeichen sehen wir bei den Vitalisten die unbewußte Anerkennung einer einheitlichen Gesetzmäßigkeit auf dem ganzen Gebiete der Naturerscheinungen. Denn dieselben Biologen, die so großen Wert darauf legen, daß die Gesetzmäßigkeit der Lebenserscheinungen von ganz anderer Art ist als die der unbelebten Natur, bemühen sich immer wieder zu beweisen, daß auch in der Physik finalistische, teleologische Betrachtungen eine Rolle spielen. Sie weisen aber dabei nicht wie O. Spann an der genannten Stelle auf die Tatsache hin, daß die Vorgänge in der unbelebten Natur ja als Mittel zur Erreichung der Ziele des organischen Lebens dienen müssen, sondern sie

wollen in den physikalischen Gesetzen selbst eine nichtkausale, finalistische Seite entdecken.

So benutzte man zur Zeit von Descartes und Leibniz die Sätze von der Erhaltung der lebendigen Kraft, zur Zeit von Maupertuis und Euler das Prinzip der kleinsten Wirkung, um daran finalistische Auffassungen anzuknüpfen. Man sagte, die Natur habe das Bestreben, die Menge der Bewegungen in der Welt zu erhalten oder jede Bewegung einer Masse mit möglichst geringem Kraftaufwand durchzuführen.

26. Finalismus und Quantentheorie.

Man braucht sich daher nicht zu wundern, daß man auch die Bohrsche Theorie der Spektrallinien, die Quantentheorie, dazu verwendet hat, um in ihr nach nichtkausalen, finalistischen Auffassungen zu suchen. So sagt z. B. der bekannte Botaniker W. Troll:

„Es scheint uns jedoch, als habe man auf biologischer Seite bislang noch zu wenig Rücksicht auf die fundamentalen Wandlungen genommen, welche sich auf dem Gebiete der theoretischen Physik, also der exaktesten aller Wissenschaften, im Anschluß an die Entwicklung der Quantentheorie vollziehen und die, sowie sie für unsere gesamte Naturauffassung von epochaler Tragweite zu werden scheinen, auch eine Rechtfertigung für die Morphologie bedeuten, falls diese überhaupt eine solche nötig haben soll. Diese Wandlung bedeutet nichts Geringeres als das Eindringen der Teleologie in das Gebiet der Physik, so daß der finale Charakter der Naturkausalität just von der Seite der Naturwissenschaft eine Bestätigung erföhre, von woher man sie am wenigsten erwartet hätte.“

Man kann sich auch wirklich davon überzeugen, daß sich hervorragende Vertreter der exakten Wissenschaft gelegentlich in diesem Sinne über die Bedeutung der Quantentheorie äußern. So sagt z. B. H. Weyl, „daß die Welt heute weniger durch strenge Naturgesetze gebunden erscheint als in den Tagen Laplaces und schon in der Physik sich die Notwendigkeit teleologischer oder finaler Vorstellungen erweist“.

Und A. Sommerfeld sagt in seinem auf dem Prager Physiker-tag 1929 gehaltenen Vortrag:

„Die Kausalität des achtzehnten Jahrhunderts, die aus der Alleinherrschaft der klassischen Mechanik erwachsen war, bestimmte durch Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit den Ablauf der Erscheinungen . . . Die Kausalität des zwanzigsten Jahrhunderts darf sich nicht auf den Anfangszustand beschränken, sondern muß den Endzustand als mitbestimmendes Moment in Rechnung setzen . . . Der Folgezustand ist somit nicht zwangs-

läufig, sondern nur konditionell bestimmt auf Grund einer gewissen Voraussicht der zulässigen Möglichkeiten. Ob man dabei überhaupt noch von Kausalität sprechen soll, kann man bezweifeln. Man könnte auch Finalität sagen, da ja die Natur des Endzustandes wesentlich in die mathematische Formulierung des Geschehens eingeht. Um aber die Idee der Zweckmäßigkeit, welche mit dem Worte Finalität vielfach verknüpft wird, auszuschließen, wollen wir lieber von einer bedingten oder erweiterten Form der Kausalität sprechen, bedingt durch die quantenmäßige Vielfachheit der möglichen Endzustände, erweitert durch die Voraussicht dieser Endzustände. Ich glaube auch, daß wir auf diesem Wege dem Bedürfnisse der Biologie entgegenkommen, welche mit dem reinen Mechanismus nicht auszukommen scheint und der Wahrscheinlichkeit mehr Raum lassen muß, als es die klassische Physik tat.“

Wir wollen uns zunächst überlegen, welche Bestandteile der Quantentheorie sich für eine „finalistische“ Auffassung verwenden lassen. Nach den Annahmen von Rutherford besteht das Wasserstoffatom aus einem positiv geladenen Kern, um den ein negativ geladenes Elektron kreist. Nach der Quantentheorie, in der ihr von Niels Bohr gegebenen Gestalt kann nun das Elektron nicht eine Kreisbahn mit beliebigem Radius beschreiben, sondern es sind nur ganz bestimmte ausgezeichnete Bahnen möglich. Jeder dieser Bahnen entspricht eine bestimmte Energie, die Summe aus kinetischer und potentieller Energie. Wenn wir uns nach Bohr die Wirkung des Kerns auf das Elektron als elektrostatisch nach dem Coulombschen Gesetze vorstellen, so nimmt die Energie auf den einzelnen Bahnen von innen nach außen zu, da wir es mit einer anziehenden Kraft zu tun haben. Wir bezeichnen die Energie auf der innersten ausgezeichneten Bahn mit E_1 und auf den folgenden ausgezeichneten Bahnen von innen nach außen gezählt mit den zunehmenden Größen $E_2, E_3 \dots$ Nach der Quantentheorie gibt es zu jeder solchen ausgezeichneten Bahn immer eine noch weiter außen gelegene. Die Reihe der möglichen Energiewerte wächst ins Unendliche. Nach der Theorie der Spektrallinien von Bohr findet eine Lichtaussendung durch das Wasserstoffatom dann und nur dann statt, wenn das Elektron von einer Bahn mit der Energie E_k auf eine Bahn mit der kleineren Energie E_n überspringt. Die dabei frei werdende Energie $E_k - E_n$ wird dabei in Strahlung umgewandelt, wobei die Frequenz (Schwingungszahl) ν der Energiedifferenz proportional ist und sich aus der Formel

$$\nu = \frac{E_k - E_n}{h}$$

berechnen läßt, in der h eine universelle Konstante, das sogenannte Plancksche Wirkungsquantum bedeutet.

Nach dieser Theorie kann das Elektron von irgendeiner Bahn auf jede Bahn mit kleinerer Energie überspringen. Wenn z. B. das Elektron anfangs auf der Bahn mit der Energie E_3 kreist, so kann es ebensowohl auf die Bahn mit der Energie E_2 als auch auf die mit der Energie E_1 überspringen. Im ersten Fall wird es Licht von der Frequenz $\frac{E_3 - E_2}{h}$, im zweiten aber Licht von der größeren Frequenz $\frac{E_3 - E_1}{h}$ ausstrahlen. Nach dieser Theorie ist es durch den Anfangszustand, der in dem Kreisen auf der Bahn mit der Energie E_3 besteht, in keiner Weise vorhersagbar, ob der Sprung auf der innersten oder schon auf der benachbarten Bahn enden wird. Es ist also durch den Anfangszustand auch nicht bestimmt, ob das ausgesendete Licht die kleinere oder die größere der beiden genannten Frequenzen haben wird. Wenn hingegen außer dem Anfangszustand auch noch der Endzustand bekannt ist, läßt sich daraus die Frequenz nach der genannten Formel von Bohr berechnen.

Das ist der Tatbestand, der Sommerfeld zu den angeführten Betrachtungen veranlaßt. Ich glaube aber, daß es sehr schwierig sein wird, hier wirklich eine Ähnlichkeit oder eine Analogie zu dem Finalismus in der Biologie zu entdecken. Sommerfeld lehnt ja selbst jedes Hereinziehen von Zweckmäßigkeitsbetrachtungen ausdrücklich ab. Damit ist aber der eigentliche Kern des biologischen Finalismus preisgegeben. Denn wie wir gesehen haben, hat der Finalismus für die vitalistischen Biologen nur die Bedeutung einer Zurückführung der Erscheinungen an den Lebewesen auf seelenähnliche Faktoren. Der bloße Umstand, daß man zur Berechnung der Frequenz Anfangszustand und Endzustand braucht, bildet in gar keiner Weise eine Analogie zu der finalistischen Auffassung mancher Biologen.

Was Sommerfeld hier eigentlich meint, geht wohl aus seiner Bemerkung hervor, die er bei einer früheren Gelegenheit veröffentlicht hat:

„Auch im Prinzip der kleinsten Wirkung nehmen wir einen teleologischen, keinen kausalen Standpunkt ein.“

Nun haben wir ja schon in Abschnitt 5 und Kapitel III,

Abschnitt 22 zeigt, daß in diesem Prinzip nichts Teleologisches steckt, sondern nichts weiter als die einfache Tatsache, daß z. B. eine gerade Linie ebensowohl durch zwei ihrer Punkte wie durch einen Punkt und eine Richtung gegeben sein kann.

Das einzige, was in dem genannten Beispiele der Quantentheorie hinzukommt, ist der Umstand, daß man aus dem Anfangszustand eines Wasserstoffatoms nicht vorhersagen kann, auf welche Bahn das Elektron überspringen wird. Wenn am Anfang das Elektron auf der Bahn mit der Energie E_3 kreist, so läßt sich aus der Quantentheorie nur vorhersagen, was im Durchschnitt geschieht, wenn wir eine sehr große Anzahl von Atomen desselben Anfangszustandes betrachten. Es wird nämlich durch die Theorie das Verhältnis der Anzahl der Sprünge auf die Bahn mit der Energie E_2 zu denen auf die Bahn mit der Energie E_1 eindeutig bestimmt. Wir können das so ausdrücken: aus dem Anfangszustand läßt sich wohl nicht in jedem Einzelfalle die Frequenz des ausgesendeten Lichtes vorhersagen; wohl aber kann man voraussagen, wie oft bei sehr vielen Versuchen die größere Frequenz $\frac{E_3 - E_1}{h}$, und wie oft die kleinere Frequenz $\frac{E_3 - E_2}{h}$ ausgestrahlt wird. Wenn man aber bei einem Einzelversuch den Anfangszustand und den Endzustand kennt, so läßt sich daraus die Frequenz auch für jeden einzelnen Versuch an einem Atom vorhersagen.

Diesen Tatbestand drückt Sommerfeld so aus, daß hier statt der Kausalität die Finalität, die Bestimmung der Gegenwart durch die Zukunft eine Rolle spielt. Ich glaube aber, daß hier nur das Wort Finalität angewendet wird, aber in einem Sinne, der gar nichts mit dem zu tun hat, den die vitalistische Biologie verlangt.

Wenn man nämlich das Wort Finalität in dem von Sommerfeld verwendeten Sinne gebrauchen will, müßte man auch sagen: Beim Würfelspiel ist die vom Würfel beschriebene Bahn nicht kausal, sondern final bestimmt. Der Anfangszustand bei diesem Spiel besteht nämlich im Schütteln der Würfel in einem Becher. Daraus läßt sich nicht vorhersagen, in welcher Stellung der Würfel fallen wird. Man kann nie wissen, ob in einem Einzelfall z. B. die Augenzahl drei herauskommen wird. Wohl aber kann man wissen, daß bei einer großen Anzahl von Versuchen mit einem

Würfel ungefähr in einem Sechstel der Fälle die Zahl drei erscheinen wird. Wenn ich aber den Endzustand kenne, z. B. das Erscheinen der Zahl drei, so kann ich daraus etwas Näheres über die Wurfbahn des Würfels aussagen. Man könnte das auch so ausdrücken: diese Bahn ist nicht durch den Anfangszustand, sondern nur durch Anfangs- und Endzustand bestimmt.

Trotzdem wird niemand leugnen, daß es sich hier um ein rein mechanisches Experiment handelt, und niemand wird die Theorie dieses Experimentes so darstellen, daß der Würfel nicht durch den Anfangszustand in seine Bahn gestoßen, sondern durch den Endzustand gewissermaßen in eine bestimmte Bahn gezogen wird. Der wirklich vorliegende Tatbestand ist eben nur der, daß aus dem Anfangszustand sich nur statistische Aussagen über die Endzustände machen lassen. Sommerfeld ist sich auch vollkommen bewußt, daß in der Quantentheorie genau dieser Tatbestand vorliegt, denn er sagt:

„Die Frage ist nicht mehr: Gegeben der Anfangszustand in allen Details. Welches ist der Folgezustand? Zu dieser Fragestellung reicht die Genauigkeit der Kenntnis des Anfangszustandes gar nicht aus. Sondern die Frage ist: Gegeben gewisse Kenntnisse des Anfangszustandes und eine allgemeine Kenntnis der möglichen Endzustände. Welches ist die Wahrscheinlichkeit des Überganges aus jenem Anfangszustand in einen dieser Endzustände?“

In dieser Formulierung liegt aber bereits, daß hier das Kausalgesetz in genau demselben Sinne angewendet werden kann wie bei allen mechanischen Glücksspielen. Da Sommerfeld aus der Beschäftigung mit der exakten Wissenschaft gewohnt ist, alle Sätze vorsichtig und genau auszusprechen, kann bei seiner Formulierung kein Raum für die Einführung irgendeiner Finalität übrigbleiben. Wenn er das Wort Finalität trotzdem verwendet, so läßt sich das nur daraus erklären, daß der Physiker beim Verlassen seines Gebietes geneigt ist, nicht mehr so große Anforderungen an präzise Ausdrucksweise zu stellen und sich vielfach mehr von Gefühlsmomenten leiten läßt, die ihn meistens zu Aussprüchen im Sinne der überlieferten Schulphilosophie veranlassen.

Gegen den Ausdruck von Gefühlen ließe sich auch nichts einwenden, wenn nicht solche Äußerungen dann als Sätze der exakten Wissenschaft aufgefaßt und von Vertretern anderer Wissenschaften verwertet würden. Wenn die Biologie, wie Sommerfeld meint, „mit dem reinen Mechanismus nicht auskommen kann“, so geschieht das nicht deshalb, „weil sie der Wahrscheinlichkeit mehr

Raum lassen muß, als die klassische Physik tat“; denn diesem Bedürfnisse kommt ja bereits die statistisch-mechanische Theorie der Glücksspiele genügend entgegen, und die Verwendung des Kausalgesetzes bei den Vererbungsvorgängen nach den Lehren von G. Mendel ist genau dieselbe wie z. B. beim Würfelspiel. Die vitalistische Biologie lehnt den klassischen Mechanismus vielmehr deshalb ab, weil sie die Lebenserscheinungen in Analogie zum menschlichen Seelenleben erklären will.

Während also Sommerfeld jede Hereinziehung anthropomorpher Zweckbetrachtungen ausdrücklich ablehnt und daher vielleicht einige seiner Ausdrücke, aber gewiß nicht der Sinn seiner Ausführungen sich zugunsten der vitalistischen Biologie verwerten lassen, haben manche die Bohrsche Theorie geradezu anthropomorph aufgefaßt und dadurch wirklich eine Analogie zu der animistisch-spiritistischen Auffassung mancher Biologen bereits in der Physik hergestellt.

Sie sagten etwa folgendes: Wenn das Elektron von der Bahn mit der Energie E_3 abspringt, so kann es nur dann mit einer bestimmten Frequenz Licht aussenden, wenn es bereits weiß, ob es am Ende die Energie E_2 oder E_1 haben wird. Es muß also bereits den Endzustand vorherwissen, obwohl dieser durch den physikalischen Anfangszustand nicht vorherbestimmt ist. Das Elektron verhält sich also wie ein lebendes Wesen, das eine Willensfreiheit besitzt. Es kann sich, ohne durch den physikalischen Anfangszustand zu einer bestimmten Entscheidung gezwungen zu sein, frei entschließen, auf welche Bahn es springen will. Diese Auffassung hat z. B. der biologische Schriftsteller A. Koelsch in seinem Aufsatz „Die Verpersönlichung des Elektrons“ vertreten und zugunsten der vitalistischen Biologie verwertet.

Es braucht wohl nicht gesagt zu werden, daß mit dieser Auffassung gar nichts über die wirklichen Vorgänge ausgesagt wird. Die Beobachtungen schmiegen sich ja dem physikalischen Bilde gar nicht so enge an, daß wir wissen könnten, ob die Strahlung schon beginnt, bevor das Elektron im Endzustand angekommen ist. Es handelt sich hier wie so oft nur um ein Ausmalen eines Tatbestandes mit Hilfe unbestimmter Analogien aus dem Seelenleben. Wir werden ja noch Gelegenheit haben, ausführlicher über ähnliche Probleme zu sprechen, wenn wir uns mit dem beschäftigen werden, was man so oft und gern mit dem Worte „Willensfreiheit“ bezeichnet.

V. Physikalische Gesetzmäßigkeit und Kausalität.

1. Vorgänge ohne Energieänderung sollen keine mechanische Ursache brauchen.

Es ist ein Hauptzug der populären Kausalitätsvorstellung, daß Ursache und Wirkung einander irgendwie ähnlich oder doch wenigstens proportional sein müssen. Je kräftiger die Ursache, desto kräftiger die Wirkung. Es fehlte aber lange an einem geeigneten Maß für alle möglichen Ursachen und Wirkungen, um feststellen zu können, wann eine Portion Ursache gleich der entsprechenden Portion Wirkung war. Man glaubte aber immerhin ein gewisses Gefühl dafür zu haben.

In dem physikalischen Satz, daß ein System von Körpern nur soviel an Energie zunehmen kann wie den umgebenden Körpern entzogen wird, sah man schließlich die konkrete zahlenmäßige Formulierung der Tatsache vor sich, daß die Wirkung der Ursache gleich sein müsse. Driesch sagt geradezu: „Energie ist das Maß für Kausalität.“ Diese Auffassung führt dann zu der Annahme, daß Veränderungen, bei denen die Energie unverändert bleibt, überhaupt keine physikalische Ursache brauchen. Damit hoffen viele einen Weg gefunden zu haben, auf dem man das Eingreifen übernatürlicher, geistiger Faktoren in die Welt unserer physikalischen Erfahrung verstehen und mit den Ergebnissen der exakten Wissenschaft in Einklang bringen kann.

Ein solches Eingreifen braucht man z. B. oft zur Rettung der sogenannten Willensfreiheit. Es spielt aber in allen denjenigen Theorien eine Rolle, die eine lückenlose mechanische Kausalität auf dem Gebiet der menschlichen Handlungen nicht anerkennen wollen. Überall, wo Psychoide oder Entelechien eingeführt werden, steht man vor derselben Aufgabe, das Eingreifen nichtphysikalischer Faktoren mit den Gesetzen der Physik irgendwie zu vereinbaren. Dieser außerphysikalische Faktor ist für die Anhänger der „Willensfreiheit“ eben der freie Entschluß, der ja nur ein Spezialfall der Entelechie im Sinne von Driesch ist.

Da die Verschiebung eines Massenpunktes senkrecht zu den Kraftlinien, also längs der Niveauflächen des Potentials keine Arbeit erfordert, glauben viele Philosophen, daß man derartige Bewegungen als Wirkungen des freien Willens annehmen könne, wobei man an die Bewegungen der Atome im Gehirn denkt, die man nicht als vollständig von den mechanischen Gesetzen beherrscht annehmen will.

Wenn ein Massenpunkt sich geradlinig gleichförmig in einer Richtung a bewegt und dann durch irgendeine Ursache dazu gebracht wird, sich mit derselben Geschwindigkeit in einer anderen Richtung b zu bewegen, so hat die zweite Bewegung dieselbe Energie wie die erste. Es ist klar, daß beim Übergang von der ersten zur zweiten Bewegung keine Energieänderung stattfindet. Diese Richtungsänderung, die im Gegensatz zu einer Geschwindigkeitsänderung ohne Energiezufuhr stattfinden kann, hat viele Philosophen fasziniert. Sie glaubten hier endlich mechanische Veränderungen vor sich zu haben, die ohne mechanische Ursachen geschehen, und die man daher irgendwelchen anderen Faktoren zuschreiben könnte. Der freie Wille oder ähnliche überphysikalische Wesen sollten mit Hilfe solcher Richtungsänderungen imstande sein, die Gehirntätigkeit zu beeinflussen. Bei sehr vielen Philosophen, z. B. bei E. von Hartmann, spielt der Gedanke eine große Rolle, daß die „Seele“ wohl mechanische Energie nicht „schaffen“, aber die Bewegungen der Atome in beliebige Richtungen „lenken“ könne.

2. Die Rolle des Energiesatzes darf nicht übertrieben werden.

Was bedeutet nun in der Mechanik eigentlich der Energiesatz? Er sagt aus, daß eine bestimmte Funktion des Zustandes, d. h. der Lagen und Geschwindigkeiten der Massenpunkte ihren Wert während der ganzen Bewegung nicht ändern kann, solange das betrachtete System keinen äußeren Einflüssen unterworfen ist. Wenn wir Massenpunkte mit den Massen $m_1, m_2 \dots$ und den Geschwindigkeiten $v_1, v_2 \dots$ betrachten, die der Schwere unterworfen sind, und die sich in den Höhen $h_1, h_2 \dots$ über einem bestimmten Niveau befinden, so ist diese Funktion des Zustandes, die wir als Gesamtenergie E bezeichnen, durch den Ausdruck

$$E = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \dots + m_1 g h_1 + m_2 g h_2 + \dots$$

gegeben, in dem g die Schwerebeschleunigung bedeutet. Wie man sieht, läßt sich der Zustand des Systems, der durch die Größen $h_1, h_2 \dots$ und $v_1, v_2 \dots$ bestimmt ist, in sehr mannigfacher Weise ändern, ohne daß sich der Wert der Energie E selbst ändert. Dieser Zustand ist durch die Energie E um so weniger bestimmt, je komplizierter das System ist, aus je mehr Massen es besteht. Nur wenn wir einen einzigen Massenpunkt vor uns haben, auf den gar keine Kraft wirkt, ist durch die Energie $\frac{1}{2} m v^2$ der Zustand v eindeutig bestimmt. Im allgemeinen und insbesondere bei einem so komplizierten mechanischen System, wie es das menschliche Gehirn darstellt, bedeutet die Angabe der Energie eine so geringe Einschränkung für den Zustand des Systems, daß man ruhig sagen könnte, daß „fast alle“ Zustandsänderungen mit der Erhaltung der Energie vereinbar sind. Das Betätigungsfeld für den freien Willen wäre also noch sehr viel größer als es sich die Philosophen ausmalen. Es wären nicht nur Richtungsänderungen ohne mechanische Ursachen möglich; sondern mit demselben Recht könnte man auch beliebige Energieübertragungen zwischen den einzelnen Molekülen des Gehirns zulassen, wenn nur die Gesamtenergie erhalten bleibt, da ja nicht der mindeste Grund dafür vorliegt, anzunehmen, daß der „freie Wille“ oder die Entelechie gerade die Energie jedes Einzelmoleküls erhalten muß, um so mehr als durch das Vorhandensein der wechselseitigen potentiellen Energie sich eine Aufteilung der Gesamtenergie des Gehirns auf die einzelnen Teilchen gar nicht durchführen läßt.

Im allgemeinen gibt es aber noch viele andere Zustandsfunktionen, die nach den Gesetzen der Mechanik während der Bewegung ebenso konstant bleiben müssen wie die Energie, nämlich sämtliche Integrale der Bewegungsgleichungen. Ihr wichtigstes ist der Satz von der Erhaltung der Bewegungsgröße. In einem abgeschlossenen System muß nämlich die Summe aus den Bewegungsgrößen der einzelnen Massenpunkte konstant bleiben. Dabei versteht man unter der Bewegungsgröße einer Masse m mit der Geschwindigkeit v das Produkt mv , wobei v die Geschwindigkeit nach Größe und Richtung, also den Geschwindigkeitsvektor bedeutet. Demgemäß ist auch unter der Summe der Bewegungsgrößen die Summe im Sinne der Vektoraddition zu verstehen, also nach der Parallelogrammregel wie beim

sogenannten Kräfteparallelogramm. Die so erhaltene gesamte Bewegungsgröße des Systems besitzt dann selbst neben ihrem Betrage auch eine bestimmte Richtung, die sich beide nach dem Satze von der Erhaltung der Bewegungsgröße nicht ändern können, ohne daß von außen eine mechanische Kraft auf das System einwirkt.

Wenn also eine Masse die Richtung ihrer Bewegung ändert, aber dabei den Betrag v ihrer Geschwindigkeit beibehält, so ändert sie wohl nicht ihre Energie $\frac{1}{2}mv^2$, wohl aber ihre Bewegungsgröße mv .

Man kann nicht leicht einsehen, warum eigentlich der Satz von der Erhaltung der Energie etwas vor dem von der Erhaltung der Bewegungsgröße voraushaben soll. Wenn man schon nicht-physikalische Ursachen von der Art der Psychoide oder Willensentschlüsse zulassen will, so könnten diese ebensogut die Energie wie die Bewegungsgröße ändern. Die Ehrfurcht der Philosophen vor der Energie kommt wohl zum großen Teil von ihrem Namen, unter dem sie sich auch vielleicht irgend etwas seelenähnliches, „psychoidisches“ vorstellen mögen. Wenn einmal der Name „Impuls“ für die Bewegungsgröße so populär werden sollte wie die Bezeichnung „Energie“, so wird man vielleicht sagen: Es gibt auch solche Zustandsänderungen, bei denen sich weder Energie noch Impuls ändern, und solche Veränderungen können auch durch nichtmechanische Eingriffe, z. B. durch den freien Willen, hervorgerufen werden. Wenn zwei Massen m_1 und m_2 , die keine Kraft aufeinander ausüben, sich so einander nähern, daß ihr Schwerpunkt in Ruhe bleibt, und dann ihre Bewegungsrichtung umkehren und mit denselben Geschwindigkeiten auseinanderlaufen, so ist diese Änderung des Bewegungstypus weder mit einer Änderung der Energie, noch mit einer des Impulses verbunden. Vielleicht wird ein Philosoph einmal dem freien Willen nur mehr derartige Beeinflussungen der mechanischen Bewegungen gestatten.

Wer die Entwicklung der modernen theoretischen Physik ein wenig beobachtet, wird finden, daß Energie und Impuls eine einheitliche physikalische Größe bilden, die nur in willkürlicher Weise zerspalten werden kann. Damit ist es unvereinbar, daß es unmöglich sein soll, die Energie durch seelische Faktoren zu verändern, während der Impuls derartige Beeinflussungen zuläßt.

3. Gibt es eine besondere Energieform für die Lebensvorgänge?

Die vagen Vorstellungen von der „Energie“, an der auch die energetische Richtung unter den Physikern manche Schuld trägt, haben es mit sich gebracht, daß man an allen möglichen Stellen, wo man eine Schwierigkeit fand, diese durch Annahme einer „neuen Energieform“ zu lösen suchte. In Kapitel XI wird noch gezeigt werden, daß die „neuen“ Energieformen keineswegs die Rolle spielen, die man ihnen früher zuschrieb; hier wollen wir nur darauf hinweisen, daß die Einführung der Lebensenergie nur eine Folge der mystisch-animistischen Formulierung des Energiesatzes ist, wo die Energie als eine Art geistige Substanz auftritt. Wenn z. B. der bekannte Vitalist Rignano sagt, „man müsse untersuchen, ob nicht durch Voraussetzung einer neuen Art von Energie, die zwar in jeder Beziehung den allgemeinen Gesetzen der Energetik gehorcht, aber ganz bestimmte Elementareigenschaften aufweist, die sie von allen anderen Kräften der anorganischen Natur unterscheiden, also untersuchen, ob es durch eine solche Voraussetzung nicht möglich wäre, zu einer wirklichen Erklärung der so charakteristischen Eigentümlichkeiten des Lebens zu kommen“, so ist dabei folgendes zu beachten: wenn man den Energiesatz als eine Aussage über wirklich beobachtbare Vorgänge formuliert, wie das am besten M. Planck getan hat (siehe Kapitel XI, Abschnitt 4), so heißt die Existenz einer Lebensenergie nur so viel, daß die Energiebilanz der physikalischen Energien beim lebenden Körper nicht stimmt. Aber selbst die Vitalisten geben zu, daß ein solches Defizit noch nie beobachtet wurde. Wenn sie trotzdem eine besondere „Lebensenergie“ annehmen, so wird dabei das Wort „Energie“ nicht in dem Sinne gebraucht, den es im Satz von der Erhaltung der Energie hat. Denn dort heißt „Energieänderung“ eines Systems immer die Leistung oder wenigstens die Möglichkeit der Leistung mechanischer Arbeit bei dem Vorgang, der von der fraglichen Energieänderung begleitet sein soll. Da wir aber nirgends eine aus nichts entstehende mechanische Arbeit beobachtet haben, ist für die Lebensenergie kein Platz, so daß selbst manche Vitalisten, wie z. B. Driesch, auch auf sie verzichten.

4. Worin besteht die besondere Rolle des Energiesatzes?

Wenn es also auch unmöglich ist, die Energie einfach allgemein als Maß der Kausalität anzusehen, so hat trotzdem der Energie-

begriff eine gewisse Bedeutung für die Festlegung des Begriffes der mechanischen Beeinflussung eines Systems durch äußere Ursachen. Diese Bedeutung bekommt der Energiebegriff aber erst bei sehr komplizierten mechanischen Systemen, und wir werden bei ihrer Darlegung schon zu statistischen Betrachtungen hinübergeführt. Wenn wir ein sehr kompliziertes System betrachten, als dessen typischen Vertreter wir etwa die Billionen Moleküle ansehen können, aus denen ein in einem festen Gefäß eingeschlossenes Gas besteht, so setzt sich die Energie des ganzen Systems aus Billionen Summanden zusammen. Wenn die Gesamtenergie E gegeben ist, so können die einzelnen Moleküle noch Billionen verschiedener Zustände haben, ohne daß der Energiewert E geändert wird.

Um die Eigenschaften eines solchen Gases abzuleiten, geht man meist von der Annahme aus, daß im Laufe der Zeit das Gas allen diesen Zuständen, die derselben Gesamtenergie E entsprechen, beliebig nahe kommt, ganz unabhängig davon, wie der Anfangszustand des Gases war. Immer wird dieselbe Reihe von Zuständen durchlaufen, die annähernd sämtliche mit dem Gesamtwert E überhaupt verträglichen Einzelzustände umfaßt.

Wenn also eine äußere Einwirkung stattfindet, die den Zustand des Gases ändert, ohne den Energiewert E zu beeinflussen, so wird das Gas trotzdem im Großen genommen dieselbe Zukunft haben wie ohne diese Einwirkung. Wenn ich mich nicht für die Zustände in einzelnen Zeitmomenten, sondern nur für das durchschnittliche Verhalten interessiere, so werden nur diejenigen äußeren Einwirkungen eine Veränderung dieses durchschnittlichen Verhaltens zur Folge haben, welche die Gesamtenergie E des Gases ändern. Wir sehen daher, daß für alle derartigen mechanischen Systeme (man pflegt sie ergodische Systeme zu nennen) die Änderung der Energie ein Maß für die Größe der äußeren Einwirkung darstellt, wenn man sich nur auf die Betrachtung des durchschnittlichen Verhaltens beschränkt. Wenn man hier im Sinne der erwähnten philosophischen Theorien nur solche Eingriffe nichtphysikalischer Faktoren gestatten würde, die an der Gesamtenergie des Systems nichts ändern, so könnten sie das durchschnittliche Verhalten des Systems überhaupt nicht beeinflussen, sie würden, statistisch genommen, überhaupt keine „Wirkung“ haben.

5. Sind Ursache und Wirkung vertauschbar?

Wenn man die Begriffe Ursache und Wirkung genau analysieren will, so ist es wohl am meisten zu empfehlen, von den am leichtesten durchschaubaren Fällen auszugehen, und das sind wieder Massenpunkte, die sich nach den Gesetzen der klassischen Mechanik Newtons bewegen. Wir betrachten etwa eine geworfene Masse, die unter dem Einfluß der Schwerkraft eine parabelförmige Bahn beschreibt. Die gewöhnliche Redeweise ist dann die: „Die Abschleuderung des Körpers ist die Ursache seiner Bewegung“ und „die Schwerkraft ist die Ursache der Krümmung seiner Bahn“. Beides sind Spezialfälle des Satzes „Die Kraft ist die Ursache der Beschleunigung“.

Wenn man den Sinn dieses Satzes als Aussage über einen empirisch greifbaren Tatbestand verstehen will, muß man in unserem Falle wohl so sagen: Durch die Nähe des Erdkörpers zu unserer geschleuderten Masse entsteht eine Beziehung der beiden Körper, die wir die ausgeübte Kraft nennen, und die sich empirisch so äußert, daß jeder Körper eine bestimmte Beschleunigung erhält, die durch seine Distanz vom Erdkörper bestimmt ist. Also müßte man genau genommen sagen: „Die Lage unseres Massenpunktes in bezug auf die Erde ist die Ursache seiner Beschleunigung.“

In dieser Aussage ist vor allem auffallend, daß darin gar nichts über eine Aufeinanderfolge enthalten ist; zwei gleichzeitig existierende Größen, Lage und Beschleunigung werden miteinander verknüpft, ebenso wie etwa im Boyle-Mariotteschen Gesetz Druck und Volumen eines Gases. Die Kenntnis der Beschleunigung gestattet uns aber, wenn die Anfangsgeschwindigkeit gegeben ist, für ein kurzes Zeitelement die Bewegung zu berechnen. In diesem Sinne ist der Satz „Die Schwerkraft ist die Ursache der Beschleunigung“ auch eine Aussage über die zeitliche Aufeinanderfolge von Ereignissen. Diese Aufeinanderfolge bezieht sich aber nicht auf Kraft und Beschleunigung, sondern auf die Lage in verschiedenen Zeitpunkten. Wenn man also zeitliche Aufeinanderfolge als wesentlich für Ursache und Wirkung ansehen wollte, so müßte man sagen: „Die Lage der Masse in einem Zeitpunkt ist die Ursache der Lage im nächsten Zeitpunkt“, aber nicht „Kraft ist die Ursache der Beschleunigung“.

Man wird dagegen einwenden, daß doch hier auch irgendeine Reihenfolge festgelegt sein muß; denn man sagt wohl, „Kraft ist

die Ursache der Beschleunigung“, aber nicht „Beschleunigung ist die Ursache der Kraft“. Dieser Tatbestand läßt sich wohl am besten an dem einfachen Beispiel des Boyle-Mariotteschen Gesetzes klarmachen. Hier sagt man auch oft: „Der Druck ist die Ursache des Volumens“, aber kaum „Das Volumen ist die Ursache des Druckes“, obwohl im Ausdruck des Gesetzes: „Das Produkt aus Druck und Volumen ist konstant“ Druck und Volumen genau so gleichberechtigt auftreten wie Kraft und Beschleunigung in der Gleichung „Masse mal Beschleunigung ist gleich Kraft“.

E. Zilsel hat mit Recht darauf hingewiesen, daß man im Boyle-Mariotteschen Gesetze meist die Druckänderung als Ursache der Volumänderung ansieht und nicht umgekehrt, weil man den Druck willkürlich variieren und dadurch eine beliebige Änderung des Volumens erzielen kann, aber nicht umgekehrt bei konstanter Temperatur durch willkürliche Änderung des Volumens eine Druckvermehrung. Betrachtet man wieder das Gay-Lussacsche Gesetz der Proportionalität von Volumen und Temperatur, so ist beim Thermometer die Temperatur die „Ursache“ des Volumens, beim Temperaturregulator das Volumen die „Ursache“ der Temperatur (s. die Bemerkungen von M. Boll in Kap. IV, Abschn. 2).

Der Hauptpunkt, der hier zu beachten ist, scheint mir aber der folgende zu sein: Die Behauptung von Zilsel über die Bevorzugung des Druckes vor dem Volumen bezieht sich gar nicht auf das Boyle-Mariottesche Gesetz selbst; denn in diesem ist über Druckveränderungen gar nichts ausgesagt, sondern nur über die Beziehung von Druck und Volumen im Gleichgewichtszustand. Wenn wir den wirklichen Sinn dieser Betrachtungen erfassen wollen, müssen wir von einem allgemeineren Gesetze ausgehen, das etwas darüber aussagt, mit welcher Geschwindigkeit das Volumen eines Gases sich ändert, wenn eine Differenz zwischen dem im Gase herrschenden Innendruck und dem von außen auf dasselbe ausgeübten Druck, dem Außendruck, vorhanden ist. Dieses Gesetz muß sich durch eine Formel ausdrücken lassen, in der die Geschwindigkeit der Volumänderung als Funktion der äußeren Umstände, also z. B. der genannten Druckdifferenz dargestellt ist. Wenn wir das Volumen des Gases mit v bezeichnen, so ist der Innen-

druck im Gleichgewichtszustand nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz durch

$$p = \frac{RT}{v}$$

gegeben, wo T die absolute Temperatur und R die Gaskonstante bedeutet. Bezeichnen wir den Außendruck mit P und die Zeit mit t , so kann man das gewünschte Gesetz etwa in der Form ansetzen, daß $\frac{dv}{dt}$ eine Funktion der Druckdifferenz $P-p$ ist, also in der Gestalt

$$\frac{dv}{dt} = f(P - p) = f\left(P - \frac{RT}{v}\right).$$

In dieser Formel ist aber Druck und Volumen nicht mehr gleichberechtigt; denn in ihr kommt wohl die Geschwindigkeit $\frac{dv}{dt}$ der Volumänderung, aber nicht die Geschwindigkeit $\frac{dP}{dt}$ der Druckänderung vor, sondern nur der Druck selbst.

Und so können wir sagen, daß der Satz von Boyle-Mariotte ein Kausalgesetz ist, in dem der Druck p die Ursache und das Volumen v die Wirkung ist. Die Beziehung zwischen Kraft und Beschleunigung ist aber in diesem Sinne überhaupt kein Kausalgesetz. Man könnte es aber sofort auf eine solche Gestalt bringen, wenn man an Stelle der Beschleunigung den Differentialquotienten der Geschwindigkeit nach der Zeit setzt. Dann kann man nämlich das Gesetz „ $mw = k$ “, wo k die Kraft und w die Beschleunigung bedeutet, auch in die Form setzen

$$\frac{dv}{dt} = \frac{k}{m},$$

wo jetzt v die Geschwindigkeit ist. Dieses Gesetz hat nun dieselbe Gestalt wie die erwähnte Verallgemeinerung des Boyle-Mariotteschen Gesetzes für mit der Zeit veränderliche Zustände; wir können also auch hier von einem Kausalgesetz sprechen. Man muß dann sagen: „Die Kraft ist die Ursache und die Geschwindigkeit (oder die Änderung der Geschwindigkeit) die Wirkung“; denn man kann mit Hilfe der Kraft die zukünftige Geschwindigkeit aus der gegenwärtigen vorausberechnen.

6. Die kausale Form physikalischer Gesetze.

Die Kausalgesetze in der Physik haben also die Form, daß sie die zeitlichen Änderungen der Zustandsgrößen als bestimmte

Funktionen der augenblicklichen Werte dieser Größen darstellen. Wenn wir z. B. die Bewegung schwerer Körper betrachten, so ist der Zustand derselben durch Lage und Geschwindigkeit gegeben. Die Newtonschen Bewegungsgleichungen geben uns die zeitlichen Änderungen dieser Größen als bestimmte Funktionen dieser Größen selbst. Diese Funktionen sind im Falle des homogenen Schwerefeldes einfach Konstante, bei Durchlaufung größerer Raumstrecken fallen sie aber mit dem Newtonschen Gravitationsgesetz $\frac{Mm}{r^2}$ zusammen. Beim Boyle-Mariotteschen Gesetz, wenn wir es in der kausalen Form betrachten, sehen wir die Änderung des Volumens als abhängig vom Außendruck und dem durch Volumen und Temperatur gegebenen Innendruck an.

Der Zustand eines Systems zu irgendeiner Zeit hängt also ab: erstens vom Anfangszustand, zweitens vom kausalen Gesetz seiner Änderungen. Beim elektromagnetischen Feld ist der Anfangszustand durch die elektrische und magnetische Feldstärke \mathfrak{E} und \mathfrak{H} gegeben. Da die Feldgleichungen

$$\frac{d\mathfrak{H}}{dt} = \text{rot } \mathfrak{E} \quad \text{und} \quad \frac{d\mathfrak{E}}{dt} = -\text{rot } \mathfrak{H}$$

lauten, sind die Ursachen der Änderung von \mathfrak{H} und \mathfrak{E} die Ausdrücke $\text{rot } \mathfrak{E}$ und $\text{rot } \mathfrak{H}$. Wenn man nun z. B. beim Gesetz der elektromagnetischen Induktion gewöhnlich das Umgekehrte sagt, nämlich daß die induzierte elektromotorische Kraft \mathfrak{E} von der Änderung der magnetischen Feldstärke $\frac{d\mathfrak{H}}{dt}$ verursacht wird, so liegt darin kein Widerspruch gegen unsere Aussage. Denn der Vorgang der Induktion, wie er etwa bei der Dynamomaschine erfolgt, läßt sich nicht nach den beiden Feldgleichungen allein behandeln, sondern nur mit Hilfe einer Kombination von elektromagnetischen und mechanischen Gesetzen, wobei dann Größen wie z. B. die Geschwindigkeit der Drahtspulen als Zustandsgrößen hinzukommen; die Ursache der induzierten Lageänderung der Elektronen ist dann die Drehung dieser Spulen.

Es läßt sich im vorhinein nicht sagen, welche Größen als Zustandsgrößen anzusehen sind, sondern man kann nur einen Satz der folgenden Art aufstellen: Es gibt meßbare Größen $u_1, u_2 \dots u_n$ und Funktionen $\mathfrak{F}_j(u_1, u_2 \dots u_n)$ derselben, so daß durch diese Funktionen eine Änderung der $u_1, u_2 \dots u_n$ verursacht wird, was

bedeutet, daß die Änderungsgeschwindigkeiten der $u_1, u_2 \dots u_n$ sich mit Hilfe jener Funktionen aus den augenblicklichen Werten berechnen lassen, also durch Gleichungen von der Form

$$\frac{du_j}{dt} = \mathfrak{F}_j(u_1, u_2 \dots u_n), \quad (j = 1, 2 \dots n).$$

Wenn die zukünftigen Werte der $u_1, u_2 \dots u_n$ sich aus den gegenwärtigen mit Hilfe solcher Gleichungen voraussagen lassen, nennt man die $u_1, u_2 \dots u_n$ „Zustandsgrößen“ und diese Gleichungen „Kausalgesetze“.

Man muß als Anfangszustand nicht gerade die Zustände in einem Augenblick ansehen; man kann z. B. die ganze Bewegung der Erde um die Sonne als Anfangszustand betrachten und untersuchen, ob es ein Gesetz gibt, nach dem diese Bewegung sich ändert, und das ist eigentlich der allgemeine Fall der Beziehung von Ursache und Wirkung, von dem oft nicht gesprochen wird. Diese Unterlassung ist einer der Gründe dafür, daß sehr oft zwischen der Verwendung der Worte „Ursache und Wirkung“ im gewöhnlichen Leben und in der physikalischen Terminologie ein Unterschied besteht, der zu vielen Mißverständnissen geführt hat. In der mathematischen Physik spricht man nämlich oft nur von der Änderung eines momentanen Zustandes als Wirkung einer Ursache, während man doch auch hier ebenso gut von der Änderung ganzer Bewegungsabläufe ausgehen könnte.

7. Die Störungen der Planetenbahnen als Beispiel.

Als ein typisches Beispiel für eine derartige Betrachtung kann man die Störungstheorie in der Himmelsmechanik ansehen. Man beschreibt etwa die Bahn der Erde um die Sonne auf folgende Art: Unter dem Einfluß der Sonne allein würde sie eine elliptische Bahn durchlaufen, die relativ zum Fixsternhimmel eine konstante Lage hat. Wegen der Störung durch die anderen Planeten aber finden Abweichungen von der Ellipsenbahn statt, die man sich annähernd so vorstellen kann, daß die Bahnellipse sich langsam in ihrer Ebene dreht, während gleichzeitig diese Ebene selbst ihre Stellung im Raum relativ zu den Fixsternen ändert. Man sagt dann: Die anderen Planeten sind die „Ursachen“ der Änderung in der Lage der Bahnellipse; oder genauer ausgedrückt: Eine bestimmte Funktion, die von der Lage der Bahnellipse relativ zu den Fixsternen und den übrigen Planeten abhängt, ist das Maß

für die Ursache der Abweichung der Bahnellipse aus ihrer ursprünglichen Lage. Diese Funktion nennt man Störungsfunktion und die Theorie, die sich mit der Berechnung dieser Abweichung beschäftigt, Störungstheorie.

Wenn wir etwa die Störung der Erdbahn durch den Planeten Jupiter betrachten, so läßt sich die Änderung der Bahnellipse vorhersagen, ohne daß man wissen muß, an welcher Stelle ihrer Bahn sich die Erde in jedem Zeitpunkte befindet. Das Wesentliche dieser Betrachtungsweise besteht darin, daß das ganze mechanische System in zwei Teile zerlegt wird, etwa A und B . Aus der Kenntnis der Bewegung von B läßt sich die von A berechnen. So läßt sich aus der Kenntnis der Bewegung des Jupiter die Störung der Erdbahn vorhersagen. In diesem Falle ist der Jupiter so groß gegen die Erde, daß man die Störung der Erdbahn aus der Annahme berechnen kann, die Bewegung des Jupiter erfolge so, als wäre die Erde gar nicht vorhanden; d. h. der Einfluß der Erde auf den Jupiter wird vernachlässigt. Schwankungen der Erdbahn unter dem Einfluß des Planeten Jupiter sind also „erzwungene“. Hingegen lassen sich die Schwankungen der Jupiterbahn nicht aus der Kenntnis der Erdbahn vorhersagen, da wir ja zur Kenntnis der Erdbahn bereits die des Jupiter kennen müssen. Die Bewegung des Jupiter können wir also nicht als „erzwungene“ auffassen.

8. „Freie“ und „erzwungene“ Bewegungen in der Mechanik.

Am gebräuchlichsten ist der Ausdruck „erzwungen“ bei den Schwingungsbewegungen. Die Schwingung eines Pendels unter dem Einfluß der Schwerkraft pflegt man als eine „freie“ Schwingung zu bezeichnen. Wenn ich hingegen das Pendel mit einem irgendwie schwingenden Körper K von sehr großer Masse verbinde, so daß durch die Schwingungen von K das Pendel mit der gleichen Schwingungszahl hin und her gezogen wird, so bezeichnen wir diese Pendelschwingungen als „erzwungene“; sie lassen sich aus der Kenntnis der Bewegung von K vorhersagen. Ähnlich nannten wir auch die ungestörte Bewegung der Erde um die Sonne eine „freie“ Bewegung, die durch den Jupiter gestörte eine „erzwungene“.

Zwischen freien und erzwungenen Bewegungen gibt es alle möglichen Zwischenstadien. So ist z. B. die Bewegung des Jupiter

um die Sonne bei Anwesenheit der Erde nicht frei; denn sie wird durch die Erde gestört. Sie ist aber auch nicht erzwungen; denn sie läßt sich aus der Kenntnis der Erdbewegung allein nicht vorhersagen. Die Schwingung eines Pendels, die durch Verbindung mit einem schwingenden Körper K erregt wird, ist nur dann eine erzwungene, wenn die Masse von K sehr groß gegen die des Pendels ist. Ist die Masse von K aber nicht so groß, so findet eine Rückwirkung des Pendels auf K statt; die Pendelschwingung ist wohl nicht frei, sondern gestört, aber doch nicht „erzwungen“, weil sich die Bewegung des Pendels nicht aus der Kenntnis der Bewegung von K allein vorhersagen läßt. Die wirkliche Bewegung des Pendels stellt ein Kompromiß zwischen seiner freien Schwingung und der Bewegung von K dar, die erst bei sehr großer Masse allein ausschlaggebend wird.

Ein mechanisches System heißt also frei, wenn seine Schicksale allein durch den Anfangszustand seiner eigenen Teile bestimmt sind, aber nicht durch die Lage zu Körpern, die ihm nicht angehören. Wird aber deren Einfluß maßgebend, so hört das System auf ein freies zu sein, es wird zu einem gestörten. Je mehr diese äußeren Einflüsse entscheidend werden, desto unfreier wird das System. Der extreme Fall tritt ein, wenn nur die äußeren Bedingungen entscheidend werden, wenn sie allein die Bewegung bestimmen. Dann wird die Bewegung des Systems eine „erzwungene“. Dies tritt z. B. ein, wenn ich mit menschlicher oder maschineller Kraft die Körper des Systems erfasse und sie willkürlich bestimmte Bahnen mit willkürlicher Geschwindigkeit entlang führe. In dem Begriff der erzwungenen Bewegung ist vielleicht die populäre Vorstellung von Ursache und Wirkung am besten begrifflich herausgearbeitet.

9. „Freie“ und „erzwungene“ menschliche Handlungen.

Diese Begriffe spielen eine wesentliche Rolle für das Verständnis der Gesetzmäßigkeiten im menschlichen Handeln. Hier entsteht für viele das Problem der sogenannten Willensfreiheit. Die Erörterungen desselben sind oft, wie M. Schlick in seinen „Fragen der Ethik“ sich ausdrückt, ein ausgesprochener Skandal. Sie zeigen am deutlichsten, daß in dem, was an unseren Hochschulen unter dem Titel Philosophie gelehrt wird, noch starke Restbestände des primitiven Dämonenglaubens stecken. Man sucht keineswegs die

wirkliche Welt zu erkennen, d. h. unsere Wahrnehmungen auf ein System logisch zusammenhängender Sätze abzubilden, sondern man will gewissen Gefühlsregungen zuliebe die Willensfreiheit beweisen, sie „retten“. Je besser das einem Philosophen gelingt, desto reiner, edler, hochstehender nennt man seine Lehre.

Man kann den Sachverhalt, um den es sich hier handelt, entweder mit unseren unmittelbaren psychischen Erlebnissen als Elementen beschreiben oder auch mit Hilfe von physikalischen in Raum und Zeit lokalisierten Zustandsgrößen. Im ersten Fall sprechen wir mit R. Carnap von einer Darstellung mit eigenpsychischer, im zweiten Fall mit materialistischer Basis. Man kann sich als solche z. B. die Bewegung von Massenpunkten nach den Gesetzen der Newtonschen Mechanik denken.

Auf dieser zweiten Basis, auf die wir uns zunächst stellen wollen, ist der Mensch ein physikalisch-chemisches System, das in Wechselwirkung mit seiner Umgebung steht.

Man kann dann durchaus sinnvoll die Frage aufwerfen, inwiefern seine Handlungen, also materialistisch gesprochen, die physikalischen Zustände seines Körpers, durch die Zustände der Umwelt bestimmt sind. Man fragt gewöhnlich, ob die „äußeren Motive“ die Handlungen eindeutig bestimmen. Diese äußeren Motive kann man aber auf der materialistischen Basis nur als physikalische Zustände der Umgebung auffassen, z. B. die Worte, die man hört, als Luftschwingungen und das Gelesene als elektromagnetische Wellen, die von außen durch die Trennungsfläche der Haut in den Körper eindringen.

Das Operieren auf der materialistischen Basis ist für die Anhänger der „Willensfreiheit“ das günstigste, weil es hier am klarsten zu sein scheint, daß die Handlungen des Menschen durch die eindringenden Licht- und Schallwellen nicht eindeutig bestimmt sein können. Wenn man sich die Sachlage nüchtern überlegt, so geht es hier zu wie bei allen mechanischen Systemen.

Die extremsten Fälle sind: entweder ist das System „frei“, d. h. durch die Zustände im Innern desselben ist seine Zukunft schon eindeutig bestimmt; oder durch die Vorgänge in der Umgebung ist die Zukunft des betrachteten Systems eindeutig bestimmt, die Vorgänge in ihm sind „erzwungene“. Auf den Menschen angewendet, besagt das: im einen extremen Fall sind seine Handlungen vollkommen durch die Zustände in seinem

Innern bestimmt, er handelt „frei“, am anderen äußersten Ende steht der Fall, daß die Handlungen vollkommen durch die Vorgänge in der Außenwelt bestimmt sind, die Handlungen sind „erzwungene“. Dazwischen gibt es aber einen stetigen Übergang von Mittelfällen.

Um gleich mit einem Beispiel für den zweiten Extremfall zu beginnen: wenn ein sehr kräftiger Mensch einen schwachen umherzerret, so hängt der zurückgelegte Weg gar nicht davon ab, was im Innern des schwachen vorgeht; alles läßt sich aus der Kenntnis der Bewegungen des Starken vorhersagen. Etwas Ähnliches geht vor, wenn jemandem ein starkes Betäubungsmittel eingeflößt wird. Er mag sich früher gedacht haben, was er will, das Ende ist immer dieselbe Bewußtlosigkeit, wobei natürlich für jeden inneren Zustand die betreffenden Nervenprozesse einzusetzen sind.

10. Die Frage der „Freiheit“ der menschlichen Handlungen hat nichts mit der des Determinismus zu tun.

Das entgegengesetzte Extrem, die vollkommen freie Handlung, kann man sich viel schwieriger realisiert denken. Es wird wohl am ehesten eintreten, wenn der Mensch ganz in sich versunken dem Spiel seiner Gedanken nachhängt und plötzlich auf Grund einer in ihm durch das Spiel der Assoziationen oder durch Aufsteigen aus dem Unbewußten entstehenden Vorstellung eine Handlung ausführt. Etwas Ähnliches wird auch bei manchen Arten des Wahnsinns auftreten, wo die Handlungen von äußeren Einflüssen sehr wenig bestimmt werden. Der Grenzfall der freien Handlung, die nur durch die inneren Zustände des Menschen bestimmt ist, wird sich also immer nur näherungsweise verwirklichen lassen.

Wenn man die Bewegungen der Menschen beobachtet, so wird man finden, daß im allgemeinen weder der eine noch der andere extreme Fall eintritt, weder Zwang noch Freiheit, sondern daß sich die Handlungen aus der Wechselwirkung zwischen dem inneren Menschen und der Umgebung erklären lassen. Daher kann man auf den Menschen im allgemeinen durch äußere Mittel so einwirken, daß sein innerer Zustand und damit seine Handlungen sich ändern. Die sogenannten Strafen, durch die man versucht, bei den Menschen das zu erzielen, was man im Sinne der eben herrschenden Anschauungen eine „Besserung“ nennt, können nur

dann ihren Zweck erfüllen, wenn die Handlungen, die verhindert werden sollen, nicht unter Zwang erfolgen. Denn durch die Strafen soll der innere Zustand der Menschen so geändert werden, daß sie anders handeln als ohne diese. Dadurch können aber Handlungen, die vom inneren Zustand gar nicht abhängen, nicht beeinflußt werden. So kann durch keinerlei Strafe verhindert werden, daß jemand einen Mord begeht, bei dem ihm ein viel Stärkerer die Hand führt. Man sagt dann, daß der betreffende für seine Tat „nicht verantwortlich“ sei. Mit Recht hat Schlick ausgeführt, daß unter diesem Worte, wenn man darunter eine Aussage über die wirkliche Welt und nichts Metaphysisches verstehen will, nichts anderes gemeint sein kann als die Unmöglichkeit, durch äußere Einwirkung auf den inneren Menschen die Tat zu verhindern. Im selben Sinne kann aber eine Unverantwortlichkeit auch im Extremfalle der freien Handlung eintreten, nämlich dann, wenn die Freiheit daher rührt, daß eine Einwirkung auf das Innere des Menschen von außen her überhaupt unmöglich wird, wie z. B. bei manchen Fällen des Wahnsinns.

Man sieht, daß die ganze Frage, ob der Mensch frei oder gezwungen handelt, gar nichts mit der Frage der Kausalität oder des Determinismus zu tun hat, sondern sich nur innerhalb des als gültig angenommenen Determinismus abspielt. Es handelt sich ja nicht darum, ob die Handlungen des Menschen überhaupt bestimmt sind, sondern nur darum, wodurch sie bestimmt sind. Der ganze Apparat von Vergeltungsmaßnahmen, auf denen unser herrschendes Rechtssystem aufgebaut ist, beruht auf einer rein mechanistischen kausalen Auffassung der menschlichen Handlungen. Jede Zulassung einer Unbestimmtheit in der Beziehung zwischen äußeren Maßnahmen, Veränderungen des inneren Menschen und menschlichen Handlungen würde ja den Sinn des ganzen Strafsystems zunichte machen. Die Frage der strafrechtlichen Verantwortung muß die Frage des Determinismus im menschlichen Handeln vollkommen beiseite lassen.

Bei dieser Frage handelt es sich nämlich, wie wir später sehen werden, um etwas ganz anderes, nämlich darum, ob es überhaupt möglich ist, aus dem beobachtbaren gegenwärtigen Zustand eines Systems dessen Zukunft eindeutig vorherzusagen. Es handelt sich also nicht wie beim Problem der Verantwortung um den Unterschied zwischen „freien“ und „erzwungenen“ Bewegungen,

der ja auf einer Einteilung der Welt in das „Innere“ und das „Äußere“ eines bestimmten Systems beruht, sondern darum, ob ein nach außen abgeschlossenes System, zu dem auch menschliche Wesen gehören können, in allen Einzelheiten seines zukünftigen Schicksals durch Kenntnis des gegenwärtigen Zustandes bestimmt ist.

11. Für die Welt als Ganzes verliert das Wort „frei“ seinen Sinn.

Die ganze Frage des Unterschiedes zwischen Freiheit und Zwang bekommt einen ganz anderen Charakter, wenn wir nicht mehr ein System betrachten, dessen Zukunft sich aus bekannten Bewegungsgleichungen berechnen läßt. Auch hier müssen wir zunächst eine Einteilung des Gesamtsystems in ein inneres System und dessen Umgebung vornehmen. Man kann dann die Frage stellen: Was bedeutet die Aussage, daß die Vorgänge im Innern durch die Zustände in der Umgebung bestimmt sind? Das kann heißen: Jede Wiederkehr des Zustandes der Umgebung hat eine Wiederkehr aller Vorgänge im Innern zur Folge. Will man aber den Begriff der Wiederkehr nicht verwenden, so muß man die Bestimmtheit als Vorhandensein einer Formel deuten, mit Hilfe deren man aus den Zuständen der Umgebung die inneren Vorgänge berechnen kann. Wir haben aber schon in Kap. I, Abschn. 15 und 16 gesehen, daß die bloße Behauptung von der Existenz einer Formel nichts über die wirkliche Welt aussagt, wenn nicht irgend etwas über die spezielle Art dieser Formel bekannt ist.

Da die Wiederkehr des Zustandes in einem Teile der Welt vorkommen kann, so kann auch zwischen dem Fall der Bestimmtheit der Zukunft durch den Zustand der Umgebung (den Fall des Zwanges) und der Bestimmtheit durch den eigenen Zustand des Innern (den Fall der Freiheit) in vielen Fällen entschieden werden. Je komplizierter ein System ist, desto weniger kommt eine Wiederkehr des Zustandes in Frage, desto weniger sagt also die Behauptung einer Bestimmtheit aus, desto mehr verschimmt der Unterschied zwischen Freiheit und Zwang.

Betrachten wir schließlich die Welt als Ganzes, so sagt der Satz über die Bestimmtheit durch den Zustand der Umgebung nichts mehr aus, da keine Umgebung mehr existiert, aber ebenso wenig die Behauptung einer Bestimmtheit durch den inneren Zustand, da eine Wiederkehr nicht zu erwarten ist. Für die ganze

Welt haben die Ausdrücke „frei“, „unfrei“ und „erzwungen“ keinen Sinn mehr. Die Welt ist insofern frei, als ihre Zukunft nicht von außen bestimmt ist, sie gleicht in dieser Hinsicht dem Menschen, auf den seine Umgebung keinen Einfluß hat. Die Behauptung einer Vorausbestimmtheit des Schicksals der ganzen Welt sagt nichts über die wirkliche Welt aus, wie bereits in Kap. I, Abschn. 14 und 15 gezeigt ist.

12. Die Einteilung menschlicher Handlungen in „freie“ und „erzwungene“ ist eine naturwissenschaftliche und bildet keine Brücke zur Metaphysik.

Auf den Unterschied und den allmählichen Übergang zwischen freien und erzwungenen Veränderungen läßt sich auch eine Einteilung der menschlichen Handlungen begründen. Es gibt Handlungen, die auf denselben äußeren Reiz bei allen Menschen und bei demselben Menschen zu verschiedenen Zeiten ungefähr in gleicher Weise erfolgen. Andere wieder lassen sich mehr aus der besonderen inneren Anlage als aus den äußeren Anlässen verstehen. Es gibt Handlungen, die gerade nur ein bestimmter Mensch und in einem bestimmten Augenblick ausführen würde. Es ist eine Aufgabe der Psychologie, die menschlichen Handlungen unter diesem Gesichtspunkte in eine Reihe zu ordnen, die von den „erzwungenen“ beginnend allmählich zu den „freien“ hinüber führt. Nach allem Gesagten ist es klar, daß diese Einreihung gar nichts mit dem Problem des Determinismus zu tun hat, sondern nur mit der Zerlegung eines Systems in zwei Teilsysteme. Sie ist nicht einmal für die Psychologie charakteristisch, sondern findet sich bereits bei rein mechanischen Systemen.

Je komplizierter das betrachtete „innere“ System im Vergleich zu seiner Umgebung ist, desto mehr werden die inneren Zustände für die zukünftige Entwicklung maßgebend sein und in desto mannigfaltigerer Weise wird ein System bei gleichbleibenden äußeren Einflüssen reagieren. Es ist daher zu erwarten, daß auf dem Gebiet der menschlichen Handlungen, wo das innere Teilsystem aus dem unermesslich kompliziert gebauten Zentralnervensystem besteht, die vollständig erzwungenen Bewegungen ebenso selten sein werden wie die vollständig freien.

Es ist aber ganz unmöglich, diese Einreihung der menschlichen Handlungen, die vollständig auf dem Gebiete der deterministi-

schen Psychologie möglich ist, mit dem metaphysischen Begriff der sogenannten Willensfreiheit in Beziehung zu bringen, wie dies z. B. H. Bergson getan hat. Er analysiert mit großer psychologischer Feinheit die menschlichen Handlungen nach dem angedeuteten Gesichtspunkt:

„Wenn in der Früh die Stunde schlägt, zu der ich gewöhnlich aufstehe, so wird meistens dieser Gehörseindruck anstatt mein ganzes Bewußtsein zu erregen wie ein Stein, der in ein Wasserbecken fällt, sich damit begnügen, eine Idee in Bewegung zu setzen, die sozusagen an der Oberfläche meines Bewußtseins eine feste Gestalt angenommen hat, nämlich die Idee, aufzustehen und meiner gewöhnlichen Beschäftigung nachzugehen . . . Die Handlung folgt auf den Sinneseindruck, ohne daß meine Persönlichkeit sich dafür interessiert; ich bin hier ein bewußter Automat . . . Man sieht leicht, daß die Mehrzahl unserer täglichen Handlungen auf diese Weise vor sich geht.“

Das ist die psychologische Beschreibung einer Handlung, die im wesentlichen von den äußeren Einflüssen abhängt. Über die Handlungen des entgegengesetzten Typus sagt Bergson:

„Man tut Unrecht, wenn man zum Beweis dafür, daß der Mensch fähig ist, ohne Motiv zu wählen, darangeht, die Beispiele unter den gewöhnlichen und sogar gleichgültigen Umständen des Lebens zu suchen. Man kann mühelos zeigen, daß diese bedeutungslosen Handlungen immer an irgendein bestimmtes Motiv geknüpft sind. Es sind vielmehr die feierlichen Umstände, bei denen es sich um die Meinung handelt, die wir den anderen und vor allem uns selbst von uns beibringen wollen, wo wir ohne Berücksichtigung dessen handeln, was man ein Motiv zu nennen pflegt.“

Damit sollen offenbar diejenigen Handlungen beschrieben werden, die vollkommen unter dem Einflusse der inneren Zustände vor sich gehen. Denn Bergson sagt weiter:

„Denn es ist die ganze Seele, aus der die freie Entscheidung entspringt; und der Willensakt wird um so freier sein, je mehr die dynamische Reihe, an die er anknüpft, sich mit dem fundamentalen Ich zu identifizieren sucht.“

Da die freie Handlung, wie wir schon früher gesehen haben, nur als ein Grenzfall möglich ist, sagt auch Bergson:

„So verstanden, sind die freien Willensentscheidungen selten, sogar bei denen, die am meisten gewohnt sind, sich selbst zu beobachten und über das, was sie tun, sich Rechenschaft zu geben.“

Daraus, daß hier die freie Handlung als eine Ausnahmeerscheinung geschildert wird, läßt sich ersehen, daß es sich nur um eine psychologische Einteilung handeln kann, daß unter Freiheit nur ein psychologisches oder physiologisches Merkmal zu verstehen ist, das den menschlichen Handlungen in größerem oder geringerem Maße zukommt. Auch mit der größten Mühe kann

man in dieser Betrachtung nichts entdecken, was über den Rahmen der empirischen Wissenschaft hinausgeht. Und nur aus dem Bestreben, um jeden Preis eine Beziehung zu der von der traditionellen Philosophie geforderten „Willensfreiheit“ herzustellen, läßt sich erklären, daß bei der Beschreibung von Tatbeständen der wissenschaftlichen Psychologie Ausdrücke wie „freie Willensentscheidung“, „Handlungen ohne Motiv“ usw. verwendet werden, aber auch nur die Ausdrücke; denn irgendeine Aussage über die wirkliche Welt ist damit nicht verbunden; es kann dadurch nichts geändert werden, wenn man zur Beschreibung psychologischer Tatsachen sich einzelner Worte bedient, die aus der Metaphysik herübergenommen sind.

VI. Kausalität und Zufall.

1. Ein Ereignis kann nur in bezug auf ein bestimmtes kausales Gesetz „Zufall“ heißen.

Im gewöhnlichen Leben wird das Wort „Zufall“ meist für ein Ereignis verwendet, das eingetreten ist, ohne daß man es beabsichtigt hat. Wenn man z. B. sagt „ich habe heute zufällig den N. N. getroffen“, so will man damit sagen „ich habe ihn getroffen, ohne daß ich oder er dies beabsichtigt hätten“. Hingegen wird das Wort nicht verwendet, wenn ein Ereignis eintritt, das wir ausdrücklich vermeiden wollten. Wenn jemand zum Beispiel beim Eislaufen während der Ausführung einer komplizierten Figur umfällt, so wird er kaum sagen: „ich bin zufällig umgefallen“, wohl wird er sich aber so ausdrücken, wenn er über ein nicht-gesehenes Hindernis stürzt. Wenn ein Projektil abgeschossen wird und das Ziel verfehlt, weil ein plötzlicher Windstoß dazwischengekommen ist, so sagen wir, daß ein Zufall den Fehlschuß verursacht hat.

Wenn wir uns weniger anthropomorph, ohne Einführung psychologischer Begriffe ausdrücken wollen, so müssen wir sagen: ein Zufall ist ein Ereignis, das eintritt, obwohl es nach dem verwendeten Kausalgesetz nicht vorhergesehen werden konnte. Wenn das Geschoß nicht dorthin fällt, wo es nach dem verwendeten Wurfgesetz zu erwarten war, sprechen wir von einem Zufallstreffer. Damit ist aber nicht gesagt, daß es überhaupt unmöglich gewesen wäre, das Erreichen des Zieles vorherzusagen. Nur wäre diese Vorhersage nicht mit Hilfe der Wurfgesetze, sondern vielleicht aus den Gesetzen der Luftströmungen vorzunehmen gewesen. Es gibt also nur einen Zufall „in bezug auf ein bestimmtes Kausalgesetz“. Ein Zufall schlechthin, also gewissermaßen ein absoluter Zufall wäre dann ein Ereignis, das in bezug auf alle Kausalgesetze ein Zufall ist, das also nirgends als Glied eines Kausalgesetzes auftritt.

Die Aussage aber, daß ein bestimmtes Ereignis A in keinem

Kausalgesetz als Glied auftritt, hätte offenbar nur dann einen Sinn, wenn man ein Verzeichnis sämtlicher Kausalgesetze besäße. Dann würde man daraus ersehen, ob es Ereignisse gibt, die in diesem Verzeichnis gar nicht vorkommen; diese wären dann absolut zufällige Ereignisse. Diese sind also nur innerhalb eines sämtliche Naturgesetze umfassenden Systems definiert. Nur die Annahme einer höheren, alles umfassenden Intelligenz könnte daher dem Begriff des absoluten Zufalls einen wirklichen Sinn geben. Für den forschenden Menscheng Geist ist aber nur der folgende Tatbestand feststellbar: es treten manchmal Ereignisse auf, die in den Kausalgesetzen, die wir anzuwenden pflegen, nicht vorkommen.

Man kann nun zwei Hypothesen machen, wenn wir das Wort „Hypothese“ in dem Sinn anwenden, wie es in der exakten Wissenschaft brauchbar ist, also zwei Annahmen über unsere kommenden Erlebnisse. Erstens: das Ereignis A ist kein „absolut zufälliges“, d. h. wir werden noch einmal ein Kausalgesetz kennenlernen, in dem A als Glied auftritt; diese Annahme kann einmal von der Erfahrung bestätigt werden. Die entgegengesetzte aber „das Ereignis A ist absolut zufällig“, d. h. A wird niemals als Glied einer Kausalkette auftreten, ist grundsätzlich keiner Prüfung durch die Erfahrung zugänglich; denn wir können die Grenzen dessen, was wir noch ein „Gesetz“ nennen, niemals im Vorhinein genau abstecken. Wir können von „Gesetz“ nur dann sinnvoll sprechen, wenn die Art des Gesetzes irgendwie näher bezeichnet wird.

2. „Zufälligkeit eines Ereignisses“ sagt etwas negatives aus.

„Gesetzmäßigkeit“ und „Gesetzlosigkeit“ sind nur dann kontradiktorische Gegensätze, wenn man unter dem letzteren Ausdruck die Unmöglichkeit versteht, mit Gesetzen einer bestimmten Art, z. B. der Newtonschen Mechanik, bei bestimmten vorhandenen Massen für die Darstellung der fraglichen Ereignisse auszukommen. Dann würde aber „absoluter Zufall“ nur bedeuten, daß das Ereignis A nicht Glied eines Kausalgesetzes von der Art sein kann, daß es sich aus Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit gegebener Massen nach der Newtonschen Mechanik vorhersagen ließe. So ist der Begriff noch halbwegs faßbar, obwohl streng genommen eine wirkliche Verifikation seines Zutreffens auch hier kaum möglich ist.

Wir vergleichen nun die allgemeineren Hypothesen: „Es gibt keinen absoluten Zufall“ und „es gibt absolute Zufälle“. Natürlich ist der empirische Sinn des ersten Satzes noch immer viel reicher als der des zweiten; denn im ersten Fall drücken wir die Hoffnung aus, alle Ereignisse allmählich durch eine bestimmte Art von Gesetzen ordnen zu können. Im zweiten Fall aber wird behauptet, daß es eine solche Gesetzmäßigkeit, der alle Ereignisse unterworfen sind, nicht gibt. Damit ist aber über wirkliche Erlebnisse nichts ausgesagt, weil der Begriff der Gesetzlosigkeit nicht als eine Aussage über Erlebnisse ausdrückbar ist.

Der Begriff des Zufalls in dem bisher betrachteten Sinn hat also nur einen negativen Inhalt, und wir müssen zu einer ganz anderen Klasse von Erlebnissen übergehen, um damit den Begriff eines Zufalls im positiven Sinn so fassen zu können, daß mit seiner Hilfe Aussagen über die Welt unserer wirklichen Erlebnisse gemacht werden können.

3. Das Glücksspiel und der positive Zufallsbegriff.

Es gibt Versuchsanordnungen, bei denen das Ergebnis nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden kann; wie genau wir auch die Versuchsbedingungen festlegen, so ist doch der Ausgang nicht eindeutig bestimmt. Man kann z. B. beim Schießen nach einer Scheibe das Gewehr in einen festen Apparat einklemmen, so daß seine Stellung während aller Versuche fixiert bleibt. Trotzdem wird das Geschoß nicht immer denselben Ring der Scheibe treffen. Man spricht dann von einer „Streuung“. Wenn man den Versuch in luftleerem Raum macht, so läßt sich das Ergebnis besser vorher sagen, als wenn durch die Luft geschossen wird. Aber eine Streuung bleibt auch hier übrig. Dabei findet man, daß eine bestimmte Abweichung vom Zentrum, z. B. die Abweichung um zwei Ringe, wohl nicht vorhergesagt werden kann, daß aber bei Beobachtung zahlreicher unter denselben Bedingungen abgegebenen Schüsse immer ein bestimmter Bruchteil darunter ist, für den die Abweichung vom Zentrum zwei Ringe beträgt. Ebenso gibt es einen bestimmten Bruchteil, bei dem der Schuß ins Zentrum trifft.

Das bekannteste Beispiel dieser Art sind die Glücksspiele. Wenn ich einen Würfel in einem Becher schüttele und dann auf den Tisch werfe, kann ich nicht vorhersagen, welche der Zahlen von eins bis sechs oben zu liegen kommen wird. Wohl aber zeigt

sich, daß nach sehr vielen Versuchen jede Augenzahl ungefähr gleich oft vorkommen wird. Man wird hier vielleicht einwenden, daß die Versuchsbedingungen nicht genau definiert sind. Das Schütteln des Bechers ist ja ein sehr unbestimmter Vorgang. Man könnte aber anstatt des Schüttelns den Becher auch mit Hilfe eines Motors hundertmal um seine Achse drehen und dann den Würfel durch eine damit verbundene mechanische Vorrichtung herausschleudern lassen. Die Resultate werden genau dieselben bleiben. Man hat hier vom empirischen Standpunkt ganz genau festgelegte Versuchsbedingungen, ohne daß man das Ergebnis voraussagen könnte. Die Resultate der einzelnen Würfe sind in bezug auf das Kausalgesetz, durch das sie mit den definierten Versuchsbedingungen verknüpft sind, „zufällig“. Doch könnte natürlich das Ergebnis der einzelnen Würfe in anderen Kausalgesetzen vorkommen, die es z. B. mit den kleinen Luftströmungen im Becher und den kleinen Rauigkeiten seiner Wand verknüpfen.

Aus den empirischen Anfangsbedingungen des Versuches, die durch eine bestimmte maschinelle Fabrikation des Bechers und des Würfels sowie durch eine mechanische Methode des Ausschleuderns festgelegt werden können, ist also wohl nicht der Ausgang des einzelnen Versuches, wohl aber das Ergebnis einer großen Anzahl von Versuchen im Durchschnitt vorherzusagen. Man sieht auch hier bereits die großen Schwierigkeiten in der empirischen Festlegung der Anfangsbedingungen. Denn man könnte auch bezweifeln, daß durch gleiche maschinelle Prozesse hergestellte Becher als empirisch gleich anzusehen sind. Man könnte auch noch verlangen, daß die zur Herstellung des Bechers verwendeten mechanischen Vorrichtungen auch selbst auf gleiche Weise mechanisch hergestellt sind und würde so auf eine ganze Kette von Maschinen kommen, von denen jede die nächste erzeugt. Es bleibt nichts übrig, als schließlich Vorrichtungen als gleich anzusehen, mit denen solche Anfangsbedingungen erzeugt werden können, daß die Versuchsergebnisse immer die gleichen sind oder daß wenigstens im Durchschnitt sich ein bestimmtes Verhältnis zwischen den auftretenden Anzahlen der möglichen Ergebnisse einstellt.

Die Erfahrungstatsachen, die wir an Glücksspielen beobachten, ermöglichen es uns, den Begriff des zufälligen Ereignisses auch positiv zu definieren. Wenn wir solche Versuchsbedingungen

haben, daß aus ihnen nur die Häufigkeit vorhergesagt werden kann, mit der jedes einzelne mögliche Ergebnis innerhalb einer großen Versuchsreihe auftritt, nennt man das Ergebnis des einzelnen Versuches ein zufälliges. Der Zufall gehorcht dann Gesetzen; denn das Ergebnis der Einzelversuche muß wenigstens im Durchschnitt ein bestimmtes sein. Wegen dieser sogenannten „Zufallsgesetze“ kann bei den Glücksspielen das Wort „Zufall“ auch in der exakten Wissenschaft verwendet werden. Und zwar haben wir gesehen, daß diese Zufallsgesetze nicht nur in den Fällen eintreten, die man gewöhnlich als Glücksspiele bezeichnet, sondern daß sie bei allen physikalischen Experimenten eine Rolle spielen. Das Schießen aus einem Gewehr verhält sich im Grunde genommen nicht anders wie das Würfeln aus einem Becher. Man pflegt im ersteren Falle von „Versuchsfehlern“ zu sprechen; dadurch wird wohl eine gewisse Seite dieser Erscheinung richtig gekennzeichnet, die Analogie mit den Glücksspielen aber verdunkelt. Denn es wird der Anschein erweckt, als könnte es Versuche ohne die genannte Streuung geben, als würde diese nur von der Ungeschicklichkeit des Experimentators herrühren. Über das Unzutreffende dieser Auffassung werden wir später noch ausführlich sprechen.

In den zuletzt besprochenen Fällen enthält der Begriff des zufälligen Ereignisses nicht nur die negative Bedeutung, daß dieses Ereignis mit den Anfangsbedingungen nicht durch ein Kausalgesetz verknüpft ist, sondern sagt darüber hinaus positiv aus, daß für den Kollektivversuch eine gesetzmäßige Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen existiert. Zufällige Ereignisse sind hier solche, die nicht Glieder eines bestimmten Kausalgesetzes sind, aber doch Glieder eines Kollektivversuches, dessen Durchschnittsergebnisse wir als Glieder einer kausalen Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen auffassen können. Für Ereignisse, die wir nicht als Glieder eines derartigen Kollektivversuches auffassen können, hat die Bezeichnung „zufällig“ keinen positiven Sinn mehr.

4. Jede physikalische Versuchsreihe ist Ergebnis eines Glücksspiels.

Wenn ich ein Ereignis betrachte, das Glied eines bekannten Kausalgesetzes ist, z. B. das Abschießen eines Projektils auf ein Ziel, so wird dieses Gesetz auf folgende Art empirisch geprüft: Wir berechnen nach den Formeln für die Bewegung von ge-

worfenen Körpern unter dem Einfluß der Schwere und des Luftwiderstandes die Lage des Projektils für jeden Zeitpunkt. Wenn ich nun die in bestimmter Weise beobachteten Lagen damit vergleiche, so werden sie nicht ganz mit den berechneten übereinstimmen. Dann läßt sich aus dem Ergebnis eines Einzelversuches weder etwas Positives, noch etwas Negatives über die Richtigkeit der verwendeten Formel entnehmen.

Wir machen nun eine große Anzahl von Versuchen unter denselben, d. h. empirisch gleichen Anfangsbedingungen. Wenn ich jedesmal die Endlage zu einer bestimmten Zeit beobachte und der Durchschnitt aus diesen Lagen mit der aus der Formel berechneten Lage übereinstimmt, so pflegt man zu sagen, daß die Formel „richtig“ sei, oder genauer gesagt, daß man diejenigen Versuchsbedingungen realisiert hat, die als Glieder in dem Kausalgesetz, das unsere Formel darstellt, vorkommen. Unsere Formel läßt sich also empirisch nur durch eine Versuchsreihe bestätigen. Sie sagt nichts über einen Einzelversuch aus, sondern nur über eine große Anzahl von Versuchen. Die Bestätigung durch einen Einzelversuch bedeutet nichts, da es ja möglich wäre, daß nur gerade „zufällig“ bei ihm die Formel zutrifft. Es könnte ein Zufallstreffer sein, der an dem berechneten Punkt einschlägt, obwohl auf einen anderen gezielt wurde.

Die in unseren physikalischen Lehrbüchern für diesen Tatbestand übliche Ausdrucksweise ist dabei die folgende: Wenn man die Versuchsbedingungen genau festlegen könnte, ließe sich das Ziel des Schusses, also die Lage des Projektils zu einer beliebigen Zeit genau vorhersagen. Die mathematische Formel ist eine Wiedergabe dieses exakten Kausalgesetzes, des mathematischen Gesetzes der Wurfbahn, das in den Versuchsergebnissen durch die „Versuchsfehler“ verschleiert wird. Man muß aus den Versuchsergebnissen die Versuchsfehler zu eliminieren suchen, um zu dem exakten Kausalgesetz für die Wurfbahn zu gelangen. Wenn wir uns darauf beschränken, aus dieser Behauptung das herauszuschälen, was eine Behauptung über Tatsachen ist und nicht nur eine andere Ausdrucksweise als die früher verwendete, wo man etwas über den Kollektivversuch aussagte, so ist es etwa das folgende:

5. Die Hypothese des Determinismus.

Man kann durch die Fortschritte unserer technischen Fähigkeiten mit der Zeit sich immer mehr dem Ziel nähern, wo empirisch gleiche Versuchsbedingungen empirisch gleiche Endergebnisse zur Folge haben, wo z. B. aus der technischen Festlegung des Abschußapparates und des Abschußvorganges die Abweichung des Geschosses zur Zeit t vom berechneten Zielpunkt immer kleiner wird; oder anders ausgedrückt: Die Streuung des Zielpunktes, z. B. gemessen durch die Summe der Abweichungsquadrate, läßt sich durch technische Verfeinerung des Abschußvorganges unter jede Grenze herabdrücken. Man sieht, daß alle diese Aussagen etwas über das Ergebnis von Kollektivversuchen behaupten.

Diese Aussagen bilden auch den sachlichen Inhalt des Satzes, daß für jeden einzelnen Versuch durch den Anfangszustand der Endzustand eindeutig bestimmt ist. Auch er läßt sich nur durch Aussagen über Kollektivversuche ausdrücken, doch enthält er eine Behauptung über Tatsachen, die wenigstens grundsätzlich einer empirischen Prüfung fähig sind.

Die Behauptung, daß eine solche Verfeinerung möglich ist, bezeichnen wir als die deterministische Hypothese. Sie sagt etwas über die wirkliche Welt aus, nämlich über den zu erwartenden Fortschritt in den Ergebnissen der physikalischen Experimente.

Die entgegengesetzte Hypothese ist die, daß es auch bei fortschreitender Verfeinerung aller Experimentiermittel nicht möglich sein wird, auf empirischem Wege durch Fixieren der Anfangsbedingungen die Streuung der Endergebnisse beliebig herabzudrücken, sondern daß diese Streuung niemals unterhalb eine bestimmte Grenze gebracht werden kann. Diese Grenze müßte sich dann zahlenmäßig ausdrücken lassen, wobei die Zahlen, die dabei vorkommen, sogenannte universelle Konstanten, d. h. in der empirischen Struktur der wirklichen Welt begründet sein müßten, wie z. B. die Lichtgeschwindigkeit, das elektrische Elementarquantum oder das Plancksche Wirkungselement.

VII. Kausalität und Quantenmechanik.

1. Der Determinismus und die Laplacesche Weltauffassung.

Bei der Besprechung der Laplaceschen Hypothese haben wir gesehen, daß nach ihr aus dem gegenwärtigen Zustand der Welt die ganze Zukunft eindeutig vorhergesagt werden kann, oder anders gesagt: aus der bekannten Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit der Massen folgt eine bestimmte Endlage. Nun sind sowohl Anfangs- als Endlage nur mathematische Begriffe, im letzten Grunde Zahlenwerte von Koordinaten. Wenn wir die Laplacesche Hypothese als eine Aussage über die wirkliche Welt ansehen wollen, so muß es nach ihr möglich sein, aus dem beobachteten Anfangszustand auf den zu beobachtenden Endzustand eindeutig zu schließen, d. h. man muß durch Verfeinerung der Beobachtungsmittel den Anfangszustand so genau zahlenmäßig festlegen können, daß auf denselben Anfangszustand ein bestimmter Endzustand folgt; die Streuung des beobachteten Endzustandes bei vielen Versuchen muß beliebig klein gemacht werden können. Die Laplacesche Auffassung der Welt schließt also die deterministische Hypothese im Sinne des Kap. VI, Abschn. 5 stillschweigend in sich ein. Sie kann das nur stillschweigend tun, weil sie sich nicht darüber ausspricht, wie man jene den Anfangszustand der Massen zugeordneten Zahlen wirklich finden kann.

Jede Messung eines Zustandes (Lage und Geschwindigkeit) ist ja selbst ein physikalisches Experiment; es wird die physikalische Wirkung der beobachteten Massen auf andere Massen beobachtet. Die deterministische Hypothese behauptet, daß man den Beobachtungsvorgang so einrichten kann, daß die Beobachtungen der Anfangslage eindeutig mit den Beobachtungen der Endlage durch Gesetze in mathematischer Form verknüpft werden können. Da jede Beobachtung eine Einwirkung des Beobachteten auf ein Meßinstrument voraussetzt, die wieder mit einer Rückwirkung dieses Instrumentes auf das zu Beobachtende verknüpft ist, so sagt jede Messung nicht nur über das zu Messende, sondern damit

auch über die Wirkung des zu Messenden auf das Meßinstrument etwas aus.

Die Laplacesche Hypothese muß, um eine Aussage über Tatsachen zu machen, so gedeutet werden, daß sie annimmt, die Wirkung des Meßinstrumentes auf das Beobachtete sei klein gegenüber den umgekehrten Wirkungen. Das gilt in demselben Sinne, wie wir z. B. die Wirkung des Jupiter auf die Erdbahn als ein Maß für die vom Jupiter ausgehende Kraft ansehen können, hingegen die Wirkung der Erde auf die Bahn des Jupiter nicht als Maß der von der Erde ausgeübten Kraft gelten kann, weil darin noch die Wirkung des Jupiter auf die Erde steckt, welche die Erdbahn, und damit indirekt die Wirkung der Erde auf den Jupiter beeinflusst. Das Meßinstrument ist im ersten Falle die Erde, im zweiten der Jupiter; die Messung ist grundsätzlich möglich, wenn die Rückwirkung des Meßinstrumentes (in unserem Falle wegen seiner Masse) auf das zu Messende vernachlässigt werden kann.

2. Der Determinismus verlangt exakte Zahlenwerte für die Zustandsgrößen.

Wenn man also die Lage und Geschwindigkeit der Massenpunkte im Sinne von Laplace genau messen will, so muß man sich Meßinstrumente vorstellen, deren Einfluß auf die Lage der Massenpunkte beliebig klein sein kann. Benutzen wir z. B. einen Maßstab, so muß die nach der klassischen Mechanik von ihm auf die Massenpunkte ausgeübte Kraft vernachlässigt werden können. Man könnte ja diese Kraft auch abschätzen; man darf aber nicht vergessen, daß eine solche Abschätzung immer nur eine „Fehlerabschätzung“ geben kann, aber nie die exakten Werte für die Koordinaten der Massenpunkte. Die Vorstellung einer unbegrenzten Steigerung der Meßgenauigkeit würde verlangen, daß man die Wirkung der Maßstäbe unter jede Grenze herabdrücken könnte, was man in keiner Weise auch nur plausibel machen kann. Dasselbe gilt für Messungen mit Hilfe von Lichtstrahlen; hier müßte die Wirkung des Lichtes auf die Massen vernachlässigt werden können, was streng genommen nicht erlaubt ist.

Die deterministische Hypothese führt schließlich in der Physik der Kontinua zu der Vorstellung, daß die physikalischen Größen (elektrische Feldstärke, Dichte usw.) als kontinuierliche Funk-

tionen des Ortes und der Zeit gegeben sind, und daß aus ihrer augenblicklichen Werteverteilung die zukünftige sich eindeutig berechnen läßt. Diese Vorstellung fordert, um sinnvolle Sätze über die Wirklichkeit zu ergeben, die Angabe der Meßmethoden, mit Hilfe deren in jedem Raumpunkte und in jedem Zeitmoment für die Zustandsgrößen (z. B. elektrische und magnetische Feldstärken) sich bestimmte Zahlenwerte eindeutig finden lassen. Man stellt sich das immer so vor, daß man im leeren und fast leeren Raum die Feldstärken an einzelnen Punkten messen und dann durch möglichst glatte Ausfüllung die Zwischenwerte durch Interpolation berechnen kann.

Aber wie sieht es denn im Innern der Materie aus? Wo nahe aneinander elektrische Ladungen ihren Sitz haben, wechselt die Feldstärke fortwährend ihr Vorzeichen, und es ist selbst in kleinen Bereichen nicht möglich, aus zwei gemessenen Werten durch Interpolation die Werte in den Zwischenpunkten zu finden. Denn jede Interpolation setzt voraus, daß man innerhalb bestimmter Größenordnungen für die Wertänderung der unabhängigen Veränderlichen, also hier der Raumpunkte, den Verlauf der Feldstärken (Funktionen des Ortes und der Zeit) als „glatt“ ansehen kann. Damit ist gemeint, daß nicht auf kleinen Strecken beliebig viele Schwankungen vorkommen können. Die Möglichkeit einer Interpolation setzt also bereits eine Kenntnis darüber voraus, in welchen räumlichen Bereichen die Feldstärken noch als glatt verlaufende Funktionen angesehen werden können, d. h. eine Kenntnis über die Größenordnung in der körnigen Struktur der Materie. Damit sind aber bereits auch gewisse universelle Konstanten, die Molekulardimensionen gegeben.

3. Atomistische Auffassung und Determinismus.

Die Kontinuumsvorstellung ist also, worauf ich schon (im Kapitel II, Abschnitt 8—11) hingewiesen habe, niemals eine wirkliche Vorstellung von der Materie gewesen, sondern immer nur ein mathematisches Hilfsmittel. Der Vorstellung von Feldgrößen als stetigen Funktionen des Ortes kann man überhaupt keine Tatsachen der wirklichen Welt zuordnen, wenn man diese Vorstellung konsequent auf beliebig kleine Bereiche anwendet. Die Feldstärken sind als physikalisch beobachtbare Größen ebenso nur als Mittelwerte über kleine Volumelemente definiert, wie wir dies

schon für die Geschwindigkeiten der Flüssigkeitsteilchen festgestellt haben (Kapitel II, Abschnitt 10, Kapitel III, Abschnitt 7). Die deterministische Hypothese der klassischen Physik mündet daher notwendig in die atomistische Vorstellung.

Wenn aber keine beliebig kleinen Massenteilchen und beliebig kleinen elektrischen Ladungen existieren, so kann grundsätzlich die Wirkung des Gemessenen auf das Meßinstrument nicht beliebig klein gemacht werden. Also ist die Hypothese, eine unendliche Verfeinerung der Meßtechnik sei möglich, und damit die Definition eines exakten Zahlenwertes der gemessenen Größe durch einen Grenzprozeß hinfällig. Jedes Meßinstrument ist ebenso aus Atomen und Elektronen aufgebaut wie der zu messende Körper; das Meßinstrument wird bei der Messung immer in endlicher Weise beeinflusst. Wenn also auch bei vielen Versuchen für alle der gleiche Anfangszustand gemessen wird, läßt sich daraus der Endzustand nie eindeutig vorhersagen, da immer eine Streuung vorhanden ist.

Diese Tatsache, die Streuung der Endzustände bei gegebenem Anfangszustand, kann man auf zwei Arten beschreiben.

Erstens: es gibt exakte Kausalgesetze. Jedem bestimmten Anfangszustand entspricht ein bestimmter Endzustand. Aber hinter jedem gemessenen Anfangszustand sind sehr verschiedene wirkliche Zustände versteckt. Die Streuung der Endzustände rührt von der Unsicherheit in der Messung der Anfangszustände her.

Zweitens: es existieren keine exakten Kausalgesetze, sondern man kann nur aussagen, daß aus einem bestimmten Anfangszustand ein bestimmter Endzustand mit einer gewissen relativen Häufigkeit folgt, so daß bei gegebenem Anfangszustand sich unter vielen Versuchen eine Streuung der Endzustände bemerkbar macht.

Wir werden später noch genauer sehen, daß diese beiden Behauptungen nur verschiedene Formulierungen desselben Tatbestandes sind, nicht aber zwei Hypothesen, von denen die eine die strenge Gültigkeit, die andere die Ungültigkeit des Kausalgesetzes behauptet, wenn man unter diesem Gesetz eine Behauptung über wirkliche Erlebnisse versteht.

4. Der Determinismus war nie restlos durchgeführt.

Die deterministische Hypothese galt in der klassischen Physik immer als eine selbstverständliche Voraussetzung. Nach dem früher Gesagten ist es aber wohl klar, daß ihre Prüfbarkeit in der

Erfahrung, ja sogar ihre Möglichkeit im Sinne einer widerspruchsfreien Durchführbarkeit kaum jemals wirklich untersucht worden ist. Um das zu verstehen, muß man bedenken, daß ich hier immer die deterministische Hypothese im Sinne einer Aussage über die wirkliche Welt meine; in vielen Betrachtungen wird sie aber von einer ebenso genannten tautologischen Aussage nicht unterschieden. Es werden eben nur Größen, die durch Kausalgesetze verknüpft sind, als physikalische Größen definiert, ohne viel darauf zu achten, wie diese Größen mit wirklichen Erlebnissen verknüpft sind.

Trotzdem gibt es auch in der klassischen Physik Erscheinungen, für die man eigentlich niemals ein Kausalgesetz zu formulieren versucht hat. Dazu gehört z. B. der radioaktive Zerfall. Das Grundgesetz dieses Prozesses lautet bekanntlich, daß in jeder Zeiteinheit ein bestimmter Bruchteil der Atome (z. B. des Radiums) zerfällt; aber kein Gesetz sagt etwas darüber aus, welches der vorhandenen Atome zerfällt. Man machte sich natürlich irgendeine vage Vorstellung darüber, daß die einzelnen Atome in verschiedenen Zuständen sind und daher dem Zerfall näher oder ferner sein können; aber man hat niemals versucht, diese Zustände messend zu verfolgen.

Nun hat gerade diese Theorie des radioaktiven Zerfalls sich als ein Muster erwiesen, nach dem weitere Theorien über die Vorgänge in den Atomen konstruiert wurden. So hat Einstein die Gesetze für die von einem Körper ausgesendete Strahlung aus der Annahme abgeleitet, es seien nur gewisse diskrete Zustände $Z_1, Z_2, Z_3 \dots$ der Atome des Körpers möglich, in denen diese bestimmte Energien $E_1, E_2, E_3 \dots$ besitzen. Jedes Atom kann dann spontan von einem Zustand höherer in einen Zustand niedriger Energie übergehen, wobei die Energiedifferenz $E_2 - E_1$, um die sich die Energie des Körpers vermindert, in Form von Strahlung ausgesendet wird.

Dabei wird immer ein bestimmter Bruchteil der Atome, die sich im Zustand Z_2 befinden, in den Zustand Z_1 übergehen; es ist aber nicht bestimmt, welche von den Atomen in einem bestimmten Zeitpunkte in den neuen Zustand übergehen. Diese Auffassung hat eine noch konkretere Gestalt in der Theorie der Spektren von N. Bohr angenommen (siehe auch Kapitel IV, Abschnitt 26).

5. Die Bohrsche Atomtheorie und der Determinismus.

In der Bohrschen Theorie sind die Zustände $Z_1, Z_2 \dots$, etwa beim Wasserstoffatom, ellipsenförmige Bahnen eines negativ geladenen Elektrons um den positiv geladenen Atomkern, und die Übergänge sind Sprünge der Elektronen aus der Bahn mit der Energie E_2 auf die Bahn mit der Energie E_1 . Dabei wird Licht von einer Frequenz ν ausgesendet, die mit der Energiedifferenz durch die sogenannte Einsteinsche Beziehung

$$h \nu = E_2 - E_1$$

zusammenhängt. Aber auch hier ist nicht bestimmt, bei welchen von den vorhandenen Wasserstoffatomen in einem bestimmten Zeitpunkt ein solcher Sprung stattfindet; es gibt nur ein Gesetz darüber, welcher Bruchteil der vorhandenen Atome in der Zeiteinheit einen solchen Übergang durchmacht.

In der Bohrschen Theorie tritt die Leugnung der deterministischen Hypothese, wie man sie im Anschluß an Laplace zu formulieren pflegt, deshalb besonders deutlich hervor, weil die Bahnen der Elektronen um den Kern nach ganz denselben Keplerschen Gesetzen erfolgen wie die der Planeten um die Sonne und trotz der Beschreibung durch genau dieselben Zustandsgrößen der strenge Determinismus der Planetenbewegung sich scharf gegenüber dem Indeterminismus der Elektronenbewegung abhebt. Denn hier kann ganz derselbe Anfangszustand bei ganz denselben Kräften (die man sich vom Kern ausgehend denkt) einmal zum Sprung auf eine Bahn mit kleineren Energien führen und einmal nicht.

Die Leugnung des Kausalgesetzes schien hier ganz deutlich zu sein, da man, wie in der klassischen Mechanik den Zustand des Systems durch Lage und Geschwindigkeit der Massenpunkte als bestimmt ansah, gleichzeitig aber annahm, daß durch diese Zustandsgrößen die Zukunft des Systems nicht eindeutig festgelegt sei. Neben den kausal verknüpften Vorgängen: „Umlauf des Elektrons von einem Punkt der Bahnellipse zu einem anderen Punkte derselben Bahn“ gibt es auch Vorgänge, nämlich das Springen von einer Bahn zur anderen, die durch die augenblicklichen Werte der Zustandsgrößen nicht determiniert sind, sondern nach „Zufallsgesetzen“ stattfinden. Nur die Anzahl der Atome mit Elektronen auf der zweiten Bahn, in denen in der nächsten

Zeiteinheit ein Überspringen der Elektronen auf die erste Bahn stattfinden wird, ist innerhalb einer bestimmten Menge von Atomen bestimmt. Der Übergang eines einzelnen Elektrons ist ein Zufall im Sinne der positiven Zufallsdefinition von Kapitel VI, Abschnitt 3.

Wie gesagt, schien diese Auffassung besonders paradox durch die Analogie zwischen dem Atom und dem Planetensystem, in dem es keine Zufallsgesetze, sondern nur strenge Kausalität gibt. Aber diese enge Analogie zwischen den Vorgängen im Großen und im Kleinen, im Makrokosmos und im Mikrokosmos, wie man sich gerne in Anlehnung an die mystische Literatur ausdrückte, war gerade ein Grund für die große Wirkung der Bohrschen Theorie, die so gut gewisse Wünsche nach Verständnis der Welt durch anschauliche Bilder zu befriedigen schien.

Da man diese Analogie solange als möglich festzuhalten suchte, hielt man es für selbstverständlich, daß die deterministische Hypothese im Planetensystem und im Atom ganz in derselben Weise gelten sollte, ohne zu bedenken, daß sie in beiden Fällen nur ganz äußerlich und als tautologischer Satz betrachtet dieselbe Bedeutung hat, als Aussage über die wirklichen Tatsachen aber in beiden Fällen etwas ganz verschiedenes besagt, wenn sie sich auch durch dieselben Worte ausdrücken läßt, die aber in beiden Fällen in ganz verschiedener Weise auf wirkliche Erlebnisse zurückzuführen sind.

6. Der Satz: „Was im Kleinen gilt, gilt auch im Großen“.

Zu den vielen Gedankengängen, die leicht zu Irrtümern führen, wenn man nicht genügend darauf achtet, daß jeder Satz, wenn er nicht tautologisch oder sinnlos sein soll, über wirkliche Erlebnisse etwas aussagen muß, gehört das oft angewendete Argument: „Wie es sich im Kleinen verhält, so vermutlich auch im Großen und umgekehrt.“ Bekannt ist die Anwendung dieses Gedankens in der Geometrie. Weil unsere Erlebnisse uns gezeigt haben, daß aus starren Stäben bestehende Dreiecke eine Winkelsumme von 180° haben oder, was dasselbe ist, daß man durch einen Punkt A außerhalb einer Geraden a nur eine einzige Gerade ziehen kann, die a nicht schneidet, schließt man oft, daß es ganz unwahrscheinlich ist, es könnte Dreiecke aus noch so langen Stäben geben, die eine von 180° verschiedene Winkelsumme haben.

Daher kommt die oft vertretene Ansicht, die Euklidische Geometrie sei in der „Natur des Raumes“ begründet, die Nichteuklidische aber nur ein „Gedankenspiel“. In Wirklichkeit zeigen unsere Erfahrungen nur, daß die Winkelsumme der Dreiecke, mit denen wir es zu tun haben, ungefähr 180° ist. Die Abweichungen von 180° könnten aber doch die Eigenschaft haben, daß sie sich mit wachsender Länge der Dreiecksseiten vergrößern. Wenn wir das Gesetz dieser Vergrößerung nicht kennen, so können wir auch nicht wissen, was unsere Erfahrungen an Dreiecken gewöhnlicher Größe für beliebig große Dreiecke bedeuten. Wenn wir etwa annehmen, daß die Abweichung der Winkelsumme von 180° dem Flächeninhalt des Dreiecks proportional wächst, so kann die Erfahrung nur dann über das wirkliche Auftreten einer solchen Abweichung entscheiden, wenn wir die Proportionalitätskonstante in diesem Gesetz kennen; denn sonst könnte man immer einwenden, daß unsere Erfahrungen sich noch in dem Gebiete bewegen, wo die Abweichungen von 180° noch unmerklich klein sind. Wenn man unsere wirklichen Erlebnisse betrachtet, so wird man finden, daß alle in ihnen vorkommenden Dreiecke unterhalb einer bestimmten Größe liegen; die Aussagen über größere Dreiecke sind Hypothesen und keine Aussagen über Erfahrungen. Man kann daher ebenso gut die Euklidische Annahme (Winkelsumme = 180°) machen, als die Nichteuklidische (Winkelsumme verschieden von 180°), ohne der Erfahrung zu widersprechen. Um die Unrichtigkeit der Schlüsse vom Kleinen auf das Große zu zeigen, will ich vielleicht ein etwas groteskes Beispiel verwenden.

Ich hatte im Gymnasium einen Lehrer der Physik und Mathematik, der das Ohmsche Gesetz der Proportionalität von elektrischem Strom und Spannung folgendermaßen zu beweisen pflegte: Nehmen wir an, die Beziehung zwischen Strom und Spannung sei durch eine beliebige Kurve gegeben und betrachten wir ein kleines Stück dieser Kurve. Wenn es klein genug ist, können wir es als geradlinig ansehen, also ist in diesem Bereich der Strom der Spannung proportional. „Was für ein kleines Stück gilt, wird wohl auch für die ganze Kurve gelten.“ Also — ist der Strom überhaupt der Spannung proportional. So lächerlich diese Argumentation jedem erscheinen wird, da ja aus ihr folgen würde, daß jede Kurve eine gerade Linie ist, so ist sie doch ihrer logischen Struktur nach nicht um ein Haar verschieden von dem Gedanken-

gang derjenigen, welche die Euklidische Geometrie als eine Aussage über den wirklichen Raum, die Nichteuklidische aber als eine mathematische Spielerei ansehen. Denn hier wird ebenso von den Erfahrungen an kleinen Dreiecken auf die an beliebig großen geschlossen, wie in dem erzählten Beispiel von dem kleinen Stück einer Geraden auf beliebig große Stücke.

Ein ganz ähnlicher Gedankengang ist aber auch derjenige, mit Hilfe dessen aus der Richtigkeit der deterministischen Hypothese im Großen z. B. bei der Planetenbewegung und in der Maschinenlehre auf ihre Gültigkeit für die feinsten Vorgänge im Inneren der Atome geschlossen wird.

7. Der Determinismus bei den feinsten Vorgängen.

Die deterministische Hypothese, wie sie in der Lehre von den Bewegungen der Körper im Großen angewendet wird, besagt, wenn wir sie als eine Aussage über die wirkliche Welt formulieren, nach allem, was wir bisher gesehen haben, folgendes:

Man kann etwa aus dem Erlebnis, daß man von einer Konstellation der Himmelskörper zur Zeit t_0 hat, auf das Erlebnis schließen, das man nach einer bestimmten Zeit $t_1 - t_0$, also zur Zeit t_1 haben wird. Dieses Erlebnis kann man als ein Erlebnis von den Lagen und Geschwindigkeiten der Himmelskörper deuten, wenn man nach den Lehren der klassischen Physik den Lagen und Geschwindigkeiten der Himmelskörper bestimmte beobachtbare Vorgänge in den Beobachtungsinstrumenten, z. B. den Fernrohren, zuordnen kann. Diese Zuordnung ist eindeutig nur bei Verwendung der uns bekannten Gesetze über das Verhalten der starren Körper und der Lichtstrahlen möglich.

Ist dieser Vorgang ohne weiteres auf die Vorgänge im Inneren der Atome übertragbar? Nach dem beliebten Schema „wie im Großen, so im Kleinen“ pflegt man zu sagen: ebenso wie ich aus der Lage und Geschwindigkeit der Himmelskörper zur Zeit t_0 deren Werte zur Zeit t_1 vorhersagen kann, muß es auch Gesetze geben, die aus den Werten der Lage und Geschwindigkeiten der Elektronen im Atom zur Zeit t_0 deren Werte zur Zeit t_1 vorherzusagen ermöglichen. Dasselbe Gesetz wie im Großen gilt auch im Kleinen.

Daß diese Übertragung nicht selbstverständlich ist, hat schon Laplace sehr gut gewußt; denn in seiner berühmten Formulierung der Naturgesetzlichkeit für das Weltganze (siehe Kapitel II,

Abschn. 1) sagt er ausdrücklich, daß diese Gesetzmäßigkeit mit derselben Strenge wie für die Bewegung der großen Himmelskörper auch für die der kleinsten Teilchen gelten soll, an deren Schicksal auch nichts zufällig sei. Laplace empfindet also noch die Notwendigkeit, die Gültigkeit der mechanischen Gesetze für die kleinsten Teilchen als eine besondere Hypothese zu formulieren, während man später leicht geneigt war, sie als selbstverständlich anzusehen. Nun haben wir aber gesehen, daß man die deterministische Hypothese als Aussage über wirkliche Erlebnisse nur dann formulieren kann, wenn die Gesetze bekannt sind, nach denen die Lagen und Geschwindigkeiten der Himmelskörper mit den Beobachtungen verknüpft sind, also die Gesetze der klassischen Mechanik und Optik.

Es haben aber die neuen Erfahrungen über die Erscheinungen, die wir Atomvorgänge nennen, also die Erscheinungen, die wir mit der feinsten Struktur der Körper verknüpfen, immer mehr und mehr gezeigt, daß die Gesetze der Optik und Mechanik nur im Großen so lauten, wie es die klassische Physik annahm, daß aber bei Berücksichtigung der feinsten Vorgänge jeder Lichtstrahl, mit dessen Hilfe materielle Punkte direkt im Auge oder in einem Beobachtungsinstrument abgebildet werden, den Zustand (Lage und Geschwindigkeit) des zu Messenden so verändert, daß die beobachtete Erscheinung, das mit den materiellen Punkten verknüpfte wirkliche Erlebnis, in keiner Weise mit deren Lage und Geschwindigkeit in einen eindeutigen Zusammenhang gebracht werden kann. Es kann durch kein Verfahren die Verschiedenheit der Lagen und Geschwindigkeiten, die zu einem und demselben Erlebnis gehören, beliebig klein gemacht werden; für die den Zuständen der materiellen Punkte zugeordneten Zahlenwerte bleibt trotz der genauesten Beobachtung immer eine Streuung übrig.

8. Bruch zwischen der Mechanik im Großen und im Kleinen.

Wir haben schon früher gesehen, daß in der Erfahrung immer nur das Ergebnis eines Kollektivversuches als Anfangszustand und das Resultat eines anderen Kollektivversuches als Endzustand gegeben ist und daß empirisch nachprüfbar Regeln die Ergebnisse dieser beiden Kollektivversuche verknüpfen. Es herrschte aber oft die Vorstellung, daß man durch eine Art „Reinigungsprozeß“

aus dem Kollektivversuch den Anfangszustand für den Einzelversuch herausbekommen könne, wie es nach den Methoden der Fehlerrechnung in der Astronomie wirklich geschieht, einen Anfangszustand, den man dann als Lage und Geschwindigkeit eines Einzelteilchens auffaßt. Da aber die Gesetze der theoretischen Mechanik diese Zustandsgrößen zur Zeit t_0 mit denen zur Zeit t_1 verknüpfen, stellte man sich vor, daß bei genügender „Reinigung“ auch die Erlebnisse zur Zeit t_0 mit denen zur Zeit t_1 sich werden eindeutig verknüpfen lassen, daß man also auch eine Determiniertheit des Einzelerlebnisses zur Zeit t_1 durch das zur Zeit t_0 annehmen könne und müsse. Die Vorstellung der streng kausalen Verknüpfung der Einzelerlebnisse zu verschiedenen Zeiten zog ihre Kraft aus der mathematischen Verknüpfung der Zustandsgrößen (Lage und Geschwindigkeit). Nun liegt, wie wir gesehen haben, kein Grund vor, aus der Verknüpfung zwischen Erlebnissen und mathematischen Zustandsgrößen, wie sie sich im Großen durchführen läßt, auf ihre Durchführbarkeit im Kleinen zu schließen, ja im Gegenteil: die Erfahrungen über die Atomvorgänge scheinen einer solchen Durchführbarkeit zu widersprechen.

Man kann daher nicht annehmen, daß sich auch im Kleinen der Übergang von dem Ergebnis eines Kollektivversuchs zum Einzelversuch in derselben Weise durchführen läßt wie im Großen, und wir können nicht erwarten, auch hier zu einer streng kausalen Verknüpfung zwischen den Einzelerlebnissen zur Zeit t_0 und zur Zeit t_1 zu gelangen. Lage und Geschwindigkeit des Teilchens kann nicht mehr als ein gereinigtes Einzelerlebnis aufgefaßt werden. Es ist dann nicht mehr so paradox, daß in der Bohrschen Quantentheorie der Spektrallinien, wo mit der Lage und Geschwindigkeit der Partikel operiert wird wie in der Himmelsmechanik, schließlich angenommen werden muß, daß der Zustand wohl durch Lage und Geschwindigkeit bestimmt ist, daß dieser Zustand aber die Zukunft nicht mehr eindeutig determiniert. In der Bohrschen Mechanik ist der Bruch zwischen der Mechanik im Großen und im Kleinen klar zum Vorschein gekommen.

Aus dem bisherigen haben wir gesehen, daß wir beim Übergang zu dem Atomvorgängen nicht mit den Sätzen der klassischen Mechanik selbst in Widerspruch geraten, soweit diese Aussagen über die wirkliche Welt machen; der Inhalt der Mechanik besteht nämlich aus zwei Teilen: aus dem Formelsystem und

aus den Sätzen, die über den Zusammenhang der in den Formeln vorkommenden Größen mit den wirklichen Erlebnissen etwas aussagen. Dieser Zusammenhang kann aber im Großen und Kleinen nicht derselbe sein. Wenn ich also auch das Formelsystem für Körper beliebiger Größe festhalte, so sagt es doch nicht überall dasselbe über die Wirklichkeit aus. Denn die in der klassischen Mechanik angewendeten Sätze über den Übergang von den Zustandsgrößen zu den Erlebnissen lassen sich, wie wir schon angedeutet haben und später noch ausführlich sehen werden, auf die Vorgänge im Kleinen, z. B. auf die Atomvorgänge, überhaupt nicht anwenden. Als Aussage über die wirkliche Welt sagt daher die klassische Mechanik über die feinsten Vorgänge überhaupt nichts aus, steht also mit keiner Theorie über sie im Widerspruch, wenn diese nur die Eigenschaft hat, in der Grenze für große Körper in die klassische Mechanik überzugehen.

In der weiteren Entwicklung der Quantenmechanik wurde dann versucht, ein System der Mechanik aufzustellen, das diese Bruchstelle nicht besitzt.

9. Die beliebig genaue Messung aller Zustandsgrößen ist prinzipiell unmöglich.

In dieser neuen Quantenmechanik wird der Versuch vollkommen aufgegeben, die physikalischen Erscheinungen dadurch zu beschreiben, daß jedem Einzelteilchen bestimmte Werte von Lage- und Geschwindigkeitskoordinaten zugeschrieben und Gesetze aufgestellt werden, mit deren Hilfe man die Lage und Geschwindigkeit zur Zeit t_1 eindeutig aus den Werten derselben Größen zu einer anderen Zeit t_0 berechnen kann. Man versucht im vorhinein nur, Gesetze für Kollektivversuche aufzustellen. Die neue Quantenmechanik geht davon aus, daß es unmöglich ist, durch Verfeinerung der Versuchsbedingungen dahin zu gelangen, ein empirisches System von Anfangsbedingungen so festzulegen, daß aus ihm eindeutig ein bestimmter empirischer Endzustand folgt. Man begnügt sich damit, Gesetze aufzustellen, nach denen wir bei möglichst genauer Herstellung eines bestimmten empirischen Anfangszustandes einen bestimmten empirischen Endzustand mit angebbarer Genauigkeit vorhersagen können. Und in der Angabe dieser Genauigkeit, oder konkreter gesagt, der Häufigkeit, mit der die einzelnen empirischen Endzustände auf

den möglichst genau bestimmten Anfangszustand folgen, besteht die Vorhersage der Zukunft in der neuen Theorie.

In der klassischen Mechanik wird etwa das Problem der kräftefreien Bewegung eines Massenpunktes in folgender Weise formuliert: Wenn ein Massenpunkt zur Zeit t_0 in eine bestimmte Anfangslage P_0 gebracht und ihm dort eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit v erteilt wird, welche Entfernung hat dann seine Lage zur Zeit t_1 von der Ausgangslage P_0 ? Als Antwort wird darauf gegeben: Die Entfernung der Lage P_1 zur Zeit t_1 von der Ausgangslage P_0 hat genau den Wert $v(t_1 - t_0)$. Will man diesen Satz experimentell prüfen, so sucht man möglichst viele Massen möglichst genau in die Lage P_0 zu bringen und ihnen dort möglichst genau die Geschwindigkeit v zu erteilen, z. B. indem man sie jedesmal aus einem Geschütz mit genau derselben Pulverladung abschießt. Wenn man dann jedesmal die Entfernung zwischen P_1 und P_0 mißt, soll man als Durchschnittswert genau $v(t_1 - t_0)$ erhalten. Die Abweichungen, die bei den einzelnen Versuchen von diesem Durchschnittswert eintreten, und deren Größe für die ganze Versuchsreihe man etwa durch die Streuung, d. h. die Quadratwurzel aus dem Mittelwert der Fehlerquadrate messen kann, führt man in der klassischen Mechanik darauf zurück, daß es nicht gelingt, bei jedem Versuch wirklich genau dieselbe Anfangslage P_0 und genau dieselbe Anfangsgeschwindigkeit v zu erzielen. Man glaubte aber, daß man durch Verfeinerung der Versuchsbedingungen sich einer Versuchsreihe, in der die Werte von P_0 und v genau festgelegt sind, beliebig nähern könne.

Die Erfahrungen über die Atomvorgänge deuten aber darauf hin, daß auch eine noch so weit getriebene Verfeinerung der Versuchsbedingungen nicht zu dem Resultat führen kann, bei beliebig kleineren Massenteilchen P_0 und v in einer ganzen Versuchsreihe genau festzulegen. Heisenberg hat zuerst darauf hingewiesen, daß die genaueste Festlegung einer Anfangslage P_0 mit Hilfe von Längenmessungen durch Interferenz von Lichtstrahlen geschieht, wodurch die Lage des Teilchens auf einen Maßstab abgebildet werden kann. Diese Abbildung kann aber nur mit einer Genauigkeit von der Größenordnung der Wellenlänge des verwendeten Lichtes geschehen, da feinere Strukturen wegen der Beugungserscheinungen nicht mehr abgebildet werden können. Die Festlegung von P_0 kann also um so genauer ge-

schehen, je kleiner die Wellenlänge des verwendeten Lichtes ist. Nun tritt aber beim Auffallen des Lichtes auf kleine Teilchen der sogenannte Comptoneffekt ein, der darin besteht, daß in unregelmäßiger Weise mechanische Impulse von den im Lichtstrahl enthaltenen Lichtquanten auf das Teilchen übertragen werden. Diese Impulse sind um so größer, je größer die Schwingungszahl, je kleiner also die Wellenlänge des verwendeten Lichtes ist. Durch diese Übertragung mechanischer Impulse wird aber die Anfangsgeschwindigkeit des Teilchens in unberechenbarer Weise geändert. Da aber zur Festlegung der Anfangslage P_0 diese Bestrahlung notwendig ist, läßt sich eine einheitliche Anfangsgeschwindigkeit für die ganze Versuchsreihe nicht herstellen, da ja bei jedem Einzelversuch in unberechenbarer Weise eine Geschwindigkeitsänderung durch die Bestrahlung stattgefunden hat, von der man nur weiß, daß sie um so größer ist, je kleiner die verwendete Wellenlänge ist, je genauer man also P_0 festgelegt hat. Es erscheint also nicht möglich, durch Verfeinerung der Meßmethoden zu einer immer genaueren Festlegung von P_0 und v zu gelangen, da nach empirisch feststellbaren Naturgesetzen die Bemühung um die möglichst genaue Messung der einen Größe die der anderen geradezu vereitelt. Will man die genaue Festlegung von P_0 anstatt durch Interferenzversuche auf andere Weise vornehmen, so treten ähnliche Schwierigkeiten ein.

10. Die Heisenbergschen Unschärfebeziehungen.

Das Abfliegen von Elektronen aus einem Metall, wie es etwa beim lichtelektrischen Effekt stattfindet, kann also nicht als eine Erscheinung aufgefaßt werden, die ganz wie das Abfeuern einer Kanonenkugel vor sich geht. Denn bei den kleinen Teilchen ist es nicht möglich, Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit (P_0 und v) so einzurichten, daß man das Erreichen eines bestimmten Zielpunktes mit Sicherheit vorhersagen kann.

¶ Wenn man die Versuche zu einer möglichst genauen Bestimmung von P_0 und v im einzelnen verfolgt, so findet man nach Heisenberg, daß sich innerhalb einer Versuchsreihe, bei der man versucht, bei gegebener Streuung von P_0 den Wert von v möglichst genau festzulegen, ein bestimmter Zusammenhang zwischen diesen Streuungen, die wir mit ΔP_0 und Δv bezeichnen, angeben läßt. Es ist nämlich das Produkt $\Delta P_0 \cdot \Delta v$

in dem genannten günstigsten Fall, wo es möglichst klein gemacht ist, immer noch von der Größenordnung $\frac{h}{m}$. Hier bedeutet h das sogenannte Plancksche Wirkungsquantum, d. h. eine universelle Konstante mit dem Zahlenwert 6.5×10^{-27} im cm/g/sec-System und m die Masse des beobachteten Teilchens. Man sieht, daß dieses Produkt bei großen Massen m verschwindend klein ist, also z. B. einer genauen Festlegung von P_0 und v für materielle Punkte mit den Massen von Himmelskörpern oder selbst Kanonenkugeln nichts im Wege steht, daß aber für kleine m die Streuungen ΔP_0 und Δv nicht beide beliebig klein gemacht werden können. Diese Beziehung zwischen den Streuungen ist unter dem Namen der Heisenbergschen Unschärferelation bekannt geworden. Man sieht z. B. aus ihr, daß ein Verschwinden der Streuung für die Anfangslage innerhalb einer Versuchsreihe, also $\Delta P_0 = 0$, ein Anwachsen von Δv ins Unendliche, also eine völlige Unbestimmtheit der Anfangsgeschwindigkeit zur Folge hätte.

Eine gewisse Vorhersage aus den empirischen Anfangsbedingungen des Versuches ist aber immer möglich. Wenn die Anfangsstreuung ΔP_0 von P_0 für eine Versuchsreihe gegeben ist, so läßt sich die Größenordnung der unvermeidlichen Streuung Δv der Anfangsgeschwindigkeit bei möglichst scharfer Herstellung eines bestimmten v aus der Heisenbergschen Unschärferelation berechnen. Wenn ferner der Durchschnittswert v der Anfangsgeschwindigkeit bekannt ist, so läßt sich der Durchschnittswert der Entfernung der Endlage P_1 von P_0 mit Sicherheit vorher-sagen. Er hat wieder den Wert $v(t_1 - t_0)$. Es läßt sich aber ebenso, da Δv bekannt ist, die auch im günstigsten Fall noch vorhandene Streuung ΔP_1 der Endlage vorhersagen.

Der von den physikalischen Gesetzen für die Bewegung sehr kleiner Teilchen beschriebene Tatbestand ist also niemals der folgende: „Ein Teilchen bewegt sich unter gegebenen Anfangsbedingungen in bestimmter Weise“, sondern vielmehr: „Wenn wir einen Kollektivversuch machen, bei dem die Anfangslagen eine gegebene Streuung haben, und die Anfangsgeschwindigkeiten die kleinste mögliche Streuung um die mittlere Geschwindigkeit v , die überhaupt erzielt werden kann, so wird sich die Endlage im Durchschnitt und in ihrer Streuung für die ganze Versuchsreihe aus den genannten Anfangsbedingungen eindeutig vorhersagen lassen.“

Da die Gesetze der klassischen Mechanik ja im Groben sicher richtig sind, so ergibt sich, daß sich die durchschnittliche Endlage aus der durchschnittlichen Anfangslage und dem Mittelwert der Anfangsgeschwindigkeit genau so berechnen läßt wie in der klassischen Mechanik.

11. Die Unmöglichkeit, aus den Versuchsbedingungen des Einzelversuches dessen Ergebnis vorherzusagen.

Wenn wir z. B. einen kleinen Hügel vor uns haben, dessen höchste Erhebung die Höhe h über dem Ausgangsniveau P_0 des Wurfversuches hat (siehe Abb. 3), so ist nach der klassischen Mechanik eine ganz bestimmte Anfangsgeschwindigkeit v im Punkte P_0 notwendig, um eine Masse m über den Hügel hinwegschleudern zu können.

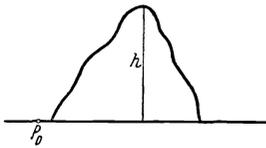


Abb 3.

Die lebendige Kraft $\frac{1}{2}mv^2$ muß nämlich genügen, um die Potentialdifferenz mgh , die dem Niveauunterschied zwischen P_0 und dem Scheitel des Hügels entspricht, überwinden zu können. Wenn man der Masse m eine Anfangsgeschwindigkeit gibt, die größer als $\sqrt{2gh}$ ist, so wird sie sicher über den Hügel gelangen, wenn sie kleiner ist, sicher wieder zurückrollen.

Nach der neuen Quantenmechanik hingegen wird es niemals möglich sein, mit Sicherheit vorherzusagen, ob bei einem bestimmten Wurf die Masse m über den Hügel kommt oder nicht.

Wenn man einen Kollektivversuch macht, in dem die durchschnittliche Anfangsgeschwindigkeit gerade den von der klassischen Mechanik zur Überwindung des Hügels notwendigen Wert $\sqrt{2gh}$ hat, dann wird bei der Hälfte der Versuche die Masse über den Hügel hinüberkommen, bei der anderen Hälfte aber nicht. Da man die Anfangsgeschwindigkeit nicht ohne Streuung festlegen kann, ist es aber nicht möglich vorherzusagen, bei welchem einzelnen Versuch die Masse über den Hügel kommen wird, sondern es läßt sich nur die relative Häufigkeit eines solchen Ereignisses bei einer großen Anzahl von Versuchen vorhersagen.

Dieser Umstand hat eine große Bedeutung in dem Fall, wo an Stelle des Hügels eine elektrische Kraft tritt, welche dem Austritt eines elektrisch geladenen Teilchens aus einem größeren

Gebilde entgegenwirkt. So ist z. B. an den positiven Atomkern jedes negativ geladene Elektron durch eine so große Kraft gebunden, daß die Geschwindigkeit der Elektronen nicht ausreichen würde, um die Anziehungskraft so zu überwinden, daß ein Elektronenaustritt aus dem Atom ohne Einwirkung sehr großer äußerer Kräfte möglich wäre. Nun sehen wir bei der Aussendung der β -Strahlen des Radiums den Austritt negativ geladener Elektronen aus dem Atomkern vor uns. Diese Erscheinung wurde von Gamow auf die neue Quantenmechanik zurückgeführt. Er wies darauf hin, daß auch bei einer Anfangsgeschwindigkeit v , die zur Überwindung eines Niveauunterschiedes nach der klassischen Mechanik nicht ausreicht, nach der Quantenmechanik innerhalb einer großen Versuchsreihe immer ein Bruchteil von Versuchen vorhanden ist, bei dem die Massen das Hindernis überwinden. Denn was als „Anfangsgeschwindigkeit v “ festgelegt werden kann, ist bei so kleinen Teilchen immer nur die Durchschnittsgeschwindigkeit. Es gibt immer einen Bruchteil von Versuchen, bei dem die Anfangsgeschwindigkeit des Einzelteilchens ausreicht, um über den Hügel zu kommen; nur ist dieser Bruchteil um so kleiner, je weiter die Durchschnittsgeschwindigkeit unterhalb des nach der klassischen Mechanik zur Überwindung des Hindernisses notwendigen Wertes liegt. Genau dasselbe gilt nach Gamow für die Geschwindigkeit eines β -Teilchens, die zum Austritt desselben aus dem Atomkern des Radiums notwendig ist.

12. Von der klassischen Mechanik zur neuen „Wellen“mechanik.

Die Gesetze, die für die Vorgänge im Atom an Stelle der nach der klassischen Mechanik für die gröberen Vorgänge geltenden Gesetze treten, lassen sich viel durchsichtiger formulieren, wenn man nicht mit den Streuungen innerhalb großer Versuchsreihen rechnet, einer Vorstellung, die nur wegen des Anschlusses an die klassische Mechanik eingeführt wird, sondern wenn man im Vorhinein gleich eine Theorie aufbaut, die von ganz anderen Grundbegriffen Gebrauch macht als die klassische Mechanik. Wenn man wie bisher Lagen und Geschwindigkeiten von Massenpunkten als Grundbegriffe der Mechanik einführt, könnte es scheinen, als würde die Unmöglichkeit, in einer ganzen Versuchsreihe bei jedem Einzelversuch genau denselben Anfangszustand zu reproduzieren, nur in „technischen Schwierigkeiten“ ihren Grund haben, die

sich mit der Zeit vielleicht beseitigen lassen werden. Es gibt aber eine vollkommen davon verschiedene Theorie der Bewegung, die von Anfang an mit solchen Begriffen arbeitet, daß eine Herstellung gleicher Anfangszustände bei einer großen Anzahl von Versuchen mit den Eigenschaften der wirklichen Welt als unvereinbar erscheint. Diese neue Theorie ist die von de Broglie begründete und von Schrödinger mathematisch durchgeführte Wellenmechanik, die durch die Arbeiten von Born und anderen auch zu einer Lehre über das Ergebnis von mechanischen Kollektivversuchen ausgebildet wurde.

Man kann sich vielleicht die Grundgedanken der Wellenmechanik, soweit sie für uns hier von Wichtigkeit sind, am besten klar machen, wenn man von den gewöhnlichen optischen Vorgängen ausgeht und sie mit Hilfe der Annahme darzustellen versucht, daß die Lichtenergie nicht stetig in der ganzen Lichtwelle verteilt, sondern in kleinen Portionen, den Lichtquanten, einer Art Teilchen, konzentriert ist. Diese Annahme, die Lichtquantenhypothese, mußte ja bekanntlich Einstein schon im Jahre 1905 machen, um die von Lenard entdeckten Eigenschaften der lichtelektrischen Erscheinungen darstellen zu können. Wenn nämlich Licht auf gewisse Metalle fällt, senden diese elektrisch geladene Teilchen aus, deren kinetische Energie von der Energiedichte des einfallenden Lichtes ganz unabhängig, und nur der Schwingungszahl dieses Lichtes proportional ist. Das führte zur Annahme, daß die Lichtenergie in Portionen konzentriert ist, die der Schwingungszahl ν dieses Lichtes proportional sind und daher in Anlehnung an die Quantenhypothese von Planck als Energiequanten von der Größe $h\nu$ angenommen wurden, wo h die universelle Plancksche Konstante ist, die bekanntlich den Wert $6,5 \times 10^{-27}$ hat.

Entschließt man sich aber einmal zu dieser Annahme, so muß man sie so durchführen, daß in jeder Lichtwelle die Energiedichte durch die Anzahl der Lichtquanten in der Volumeinheit gegeben ist, so daß diese Anzahl dem Quadrate der Wellenamplitude proportional ist. Da aber die Verteilung der Intensität des Lichtes durch die Gesetze der Welleninterferenz beherrscht wird, darf man nicht annehmen, daß die Lichtquanten sich nach den Gesetzen der Mechanik bewegen, weil sonst niemals eine Abnahme der Intensität durch Überlagerung von Wellen entstehen könnte; sondern man muß annehmen, daß die Bewegung der Teilchen

nach dem folgenden Gesetz erfolgt: die Wellen verhalten sich nach der Wellentheorie des Lichtes, und die Teilchen bewegen sich so, daß immer ihre Zahl in der Volumeinheit dem Quadrate der durchschnittlichen Wellenamplitude (der Lichtintensität), in dem betreffenden Raumteil entspricht.

Man sieht hier sofort, daß durch eine derartige Gesetzmäßigkeit die Bahn des einzelnen Teilchens überhaupt nicht bestimmt ist, sondern nur die Bewegung einer großen Menge von Teilchen im Durchschnitt.

Man drückt das oft so aus: die eigentlichen physikalischen Gesetze sind die der Wellenfortpflanzung und Wellenüberlagerung; die Bewegung der Teilchen wird durch diese Wellen „gesteuert“. Dabei darf man natürlich an keine mechanische Wirkung der Wellen auf die Teilchen denken; denn dann würden ja wieder die mechanischen Bewegungsgesetze für die Teilchen vorausgesetzt werden; sondern das Wort „gesteuert“ drückt nur die Tatsache aus, daß die Teilchenzahl nur durch die Amplitude der Welle bestimmt ist, die sich nach den Wellengesetzen verhält.

Der Grundgedanke der Wellenmechanik ist nun der, daß man sich die materiellen Teilchen ebenso durch „Materiewellen“ gesteuert denkt wie die Lichtquanten durch Lichtwellen, daß also für die materiellen Teilchen, wenn sie nur klein genug sind, die Gesetze der Newtonschen Mechanik nicht mehr gelten, sondern daß nur ihre Anzahl durch die Amplituden von Wellen bestimmt wird, die sich nach „Wellengesetzen“ verhalten, die natürlich nicht genau mit denen für die Lichtwellen übereinstimmen müssen. Es wäre nun sehr falsch, sich diese „Materiewellen“ als irgendwelche materielle Schwingungen vorzustellen; denn sonst wären doch die schwingenden Teilchen erst recht durch die Newtonsche Mechanik in ihrer Bewegung bestimmt. Sondern die Annahme von Materiewellen bedeutet nur die Behauptung, daß die Anzahl der Teilchen in der Volumeinheit sich daraus berechnen läßt, daß man Gesetze für Wellen angibt und dann aus ihrer Amplitude die Teilchenzahl ableitet. Die Frage nach der „Realität“ der Materiewellen ist daher sinnlos. Um ihr einen Sinn zu geben, müßte man einen beobachtbaren Vorgang angeben, der für „reale“ Wellen anders verläuft als für „nichtreale“.

Die Sinnlosigkeit einer solchen Vorstellung ist aber klar. Denn das einzig beobachtbare an den Materiewellen ist eben die Dichte

der materiellen Teilchen, die von ihnen gesteuert werden. Man kann „neben“ ihnen die Wellen selbst ebensowenig beobachten wie „neben“ der beobachtbaren Lichtintensität noch die Licht-„wellen“ erblickt werden können.

13. Wellenoptik und Unschärfebeziehungen.

An dem Beispiel der Optik kann man sich auch leicht überzeugen, daß aus der Steuerung von Teilchen durch Wellen die Unmöglichkeit folgt, beliebige Anfangszustände im Sinne der Newtonschen Mechanik für sämtliche Teilchen eines großen Schwarmes herzustellen.

Wenn ich z. B. versuche, einem Lichtteilchen in einem bestimmten Raumpunkt P_0 eine bestimmte Geschwindigkeitsrichtung v zu erteilen, so kann ich das etwa in folgender Weise versuchen: ich erzeuge ein paralleles Bündel von Lichtstrahlen, das die vorgegebene Richtung hat und lasse es durch eine kleine Öffnung (eine Blende) in einem Schirm hindurchgehen. Diese Öffnung lasse ich nun immer kleiner und kleiner werden, so daß sie immer enger den Punkt P_0 umschließt, und suche mich möglichst eng dem Grenzfall zu nähern, wo die Öffnung eine „punktförmige“ wird und geradezu den Punkt P_0 darstellt. Wenn für die Lichtteilchen die Gesetze der Mechanik gültig wären, hätte jedes durch die Öffnung tretende Lichtteilchen hinter dem Schirm die verlangte Lage und Geschwindigkeitsrichtung. Stellen wir gegenüber der Öffnung einen Schirm zum Auffangen des Lichtes auf, so könnten wir erreichen, daß alle Teilchen eine bestimmte Stelle treffen wie von einem Schützen abgeschossene Geschosse.

Da aber nach unserer bewährten Optik die Lichtteilchen von Wellen gesteuert werden und nicht den Gesetzen der Newtonschen Mechanik gehorchen, trifft das alles nicht zu. Bekanntlich treten ja, je kleiner die Öffnung eines Schirmes ist, desto mehr die Erscheinungen der Beugung in den Vordergrund. Ein immer größerer Teil der Lichtintensität geht nicht geradlinig weiter, sondern wird nach verschiedenen Richtungen abgelenkt. Wenn das ursprüngliche Lichtbündel senkrecht zum Schirm einfällt, entstehen „Beugungsmaxima“ unter den Winkeln φ gegen die ursprüngliche Richtung, die durch die Gleichungen $a \sin \varphi = \lambda$, $a \sin \varphi = 2\lambda$, $a \sin \varphi = 3\lambda \dots$ gegeben sind, in denen λ die Wellenlänge des Lichtes und a die Breite der Öffnung bedeutet. Man sieht, daß die

Ablenkung φ mit abnehmendem a immer größer wird. Wenn wir annehmen, daß die Lichtintensität der Anzahl der Lichtteilchen in der Volumeinheit proportional ist, so bedeutet das, daß nicht sämtliche Teilchen nach dem Trägheitsgesetz in derselben Richtung weitergehen, sondern unter jedem Winkel ein bestimmter Bruchteil abgelenkt wird, wobei besonders viele in die Richtungen der „Beugungsmaxima“ gehen. Durch Verkleinerung der Öffnung, also kleines a , kann man allerdings erreichen, daß die Teilchen immer genauer durch den Punkt P_0 hindurchgehen; dafür halten sie aber um so weniger die vorgeschriebene Richtung der Anfangsgeschwindigkeit v ein.

Man kann daher auch niemals erreichen, daß sämtliche Teilchen eine bestimmte Stelle einer gegenüber aufgestellten Zielscheibe treffen. Die Gesetze der Lichtfortpflanzung gestatten kein Scheibenschießen mit den Lichtteilchen; sie sagen überhaupt nichts über das Schicksal der einzelnen Teilchen aus, sondern nur darüber, welcher Bruchteil der Gesamtintensität, also der Teilchenzahl, unter bestimmten Winkeln abgelenkt wird.

Ebensowenig ist es möglich, ein bestimmtes kleines Raumbstück mit Lichtintensität einer bestimmten Wellenlänge λ so zu erfüllen, daß außerhalb die Intensität nahezu verschwindet, wenn dieses Raumbstück beliebig klein sein soll. Oder anders gesagt: es ist unmöglich, beliebig kleine Lichtpünktchen bestimmter Farbe zu erzielen. Das ist aber sehr leicht einzusehen. Damit eine Welle von der Wellenlänge λ überhaupt definiert werden kann, muß ein Raum zur Verfügung stehen, der mindestens die Linearausdehnung λ hat. Wenn diese Ausdehnung aber klein gegen λ ist, hat die Existenz einer Welle von dieser Wellenlänge überhaupt keinen Sinn. Ein derartig kleines Lichtpünktchen kann aus Wellen der Länge λ gar nicht aufgebaut werden. Oder: man kann Lichtteilchen, die einer bestimmten Wellenlänge entsprechen, niemals alle näherungsweise in einem Raumpunkt versammeln. Der Begriff einer Menge von Lichtteilchen in einem beliebig kleinen Volumelement ist sinnlos. Hingegen ändert sich alles, wenn ich Wellen verschiedener Wellenlänge (oder, was auf dasselbe hinauskommt, Schwingungszahl) zulasse.

Wie ja jetzt durch die Beschäftigung mit dem „Radio“ in weitesten Kreisen bekannt sein dürfte, erhält man durch Überlagerung zweier Wellen von etwas verschiedener Wellenlänge

eine sogenannte „modulierte Welle“. Wenn die beiden Wellenlängen nahe benachbart waren, besteht der Effekt darin, daß im Ganzen die ursprüngliche Schwingungszahl erhalten bleibt, aber die Amplitude der Welle selbst eine viel langsamere Schwingung ausführt, deren Schwingungszahl der halben Differenz der beiden Schwingungszahlen gleich ist. Man kann also erreichen, daß die mittlere Amplitude in gewissen Raumteilen größer ist als in anderen (Abb. 4¹). Wenn man nun verschiedene Wellen geeigneter Amplitude und Schwingungszahl überlagert, kann man auch erzielen, daß die Amplitude nur innerhalb eines beliebig kleinen Raum-

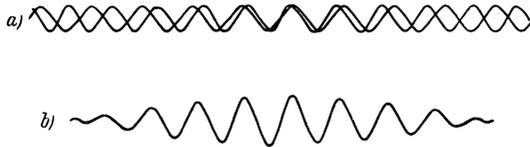


Abb. 4 a und 4 b.

stücks einen beträchtlichen Wert hat und außerhalb nahezu verschwindet. Damit haben wir ein beliebig kleines Lichtpünktchen erzeugt. Die Wellen, aus denen es besteht, haben aber verschiedene Schwingungszahl. Man kann das so ausdrücken: wollen wir einer Menge von Lichtteilchen möglichst dieselbe Anfangslage geben, so können wir das nur, wenn wir annehmen, daß sie zu Licht von verschiedener Farbe gehören. Je genauer die Lage dieser Teilchen übereinstimmen soll, desto größer muß der Unterschied in den Wellenlängen des verwendeten Lichtes sein, da bei kleinen Unterschieden die mittlere resultierende Amplitude nur in großen Raumteilen konstant bleibt.

14. Materiewellen und Unschärfebeziehungen.

Der Grundgedanke der Wellenmechanik von de Broglie und Schrödinger ist, wie schon bemerkt, nun der, daß die materiellen Teilchen, z. B. die Elektronen, genau so von Wellen „gesteuert“ werden wie die Lichtquanten von den Lichtwellen, daß aber der Einfluß dieser Steuerung bei steigender Masse der Teilchen immer

¹ Zur Abb. 4: In a) sind zwei Wellen gezeichnet, deren Schwingungszahlen sich wie 8:9 verhalten, in b) der durch die Überlagerung der beiden entstehende Wellenzug, an dem deutlich sichtbar ist, wie in der Mitte der Abbildung die mittlere Amplitude größer ist als an den beiden Seiten.

geringer wird, so daß für große Massen sich wieder die Gesetze der Newtonschen Mechanik ergeben.

Die Lichtwellen haben (wenn wir uns nur auf den leeren Raum beschränken) alle dieselbe Geschwindigkeit c , unabhängig von ihrer Wellenlänge λ , die mit der Schwingungszahl ν daher immer durch die Gleichung $\lambda\nu = c$ verknüpft ist. Wenn durch Überlagerung einfacher (monochromatischer) Wellen, von denen also jede ein bestimmtes λ hat, irgendein Wellenzustand entsteht, so entsprechen ihm in jedem Volumenelement so viele Lichtquanten eines bestimmten λ wie das Amplitudenquadrat der entsprechenden Teilwelle (die Intensität des Lichtes der Wellenlänge λ), in dem durch Überlagerung entstandenen Zustand beträgt.

Die Materiewellen müssen aber nicht nur die Lage der einzelnen Teilchen wiedergeben, sondern auch ihre Geschwindigkeit. Nach der Wellenmechanik entsprechen einer Welle von bestimmter Wellenlänge lauter Teilchen derselben Bewegungsgröße (= Masse \times Geschwindigkeit). Einem einfachen Wellenzug, der mit derselben Wellenlänge sich bis ins Unendliche ausdehnt, entsprechen dann bei konstanter Amplitude lauter Teilchen derselben Bewegungsgröße, die mit gleicher Raumdichte verteilt sind. Wenn wir durch Überlagerung von Wellen verschiedener Wellenlänge neue Wellenzustände bilden, so stellt ein derartiger Zustand des ganzen Raumes eine Schar von Teilchen dar, deren Raumdichte durch das mittlere Amplitudenquadrat an der betreffenden Raumstelle bestimmt ist, während wir den Bruchteil der Teilchen, die eine bestimmte Bewegungsgröße haben, erhalten, wenn wir untersuchen, mit welchem Amplitudenquadrat die Welle einer bestimmten Wellenlänge in dem ganzen durch Überlagerung entstandenen Zustand als Teilwelle enthalten ist.

Die Beziehung zwischen Wellenlänge und Teilchengeschwindigkeit v hat de Broglie (für v , die klein gegen die Lichtgeschwindigkeit c sind) in der Form $mv\lambda = h$ angesetzt, wo m die Masse des Teilchens und h das Plancksche Wirkungsquantum bedeutet. Man sieht, daß nur für gleiche Massen (z. B. Elektronen) gleichen Geschwindigkeiten auch gleiche Wellenlängen zugeordnet sind, während bei wachsender Masse m die entsprechende Wellenlänge λ bei beliebigem v gegen Null geht. Die Geschwindigkeit der Materiewellen w ist nach de Broglie durch $wv = c^2$ gegeben, so daß Teilchen verschiedener Geschwindigkeit auch Materiewellen ver-

schiedener Fortpflanzungsgeschwindigkeit entsprechen. Da diese Wellen auch verschiedenes λ haben, kann man diese Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit als Dispersion bezeichnen.

Wenn wir an die Bemerkungen über Wellenoptik in der vorigen Nummer zurückdenken, wird sofort klar, daß nicht jeder beliebige Anfangszustand von Teilchen im Sinne der klassischen Mechanik hergestellt werden kann. Wenn wir etwa versuchen, irgendein Gesetz der klassischen Mechanik dadurch zu prüfen, daß wir immer wieder einem Massenteilchen dieselbe Lage und Geschwindigkeit erteilen und nachsehen, ob sich daraus der Endzustand nach den Newtonschen Gesetzen entwickelt, so stoßen wir bei kleinen Teilchen sofort auf große Hindernisse.

Die Aufgabe, bei einer Reihe von Versuchen an gleichbeschaffenen Teilchen immer wieder die gleiche Anfangslage P_0 und Anfangsgeschwindigkeit v zu erzeugen, bedeutet ja, durch Überlagerung einfacher Wellen gleicher Wellenlänge λ einen Wellenzustand zu erzeugen, dessen Amplitude nur in der unmittelbaren Nähe von P_0 von Null verschieden ist, sonst aber überall nahezu verschwindet. Das wäre aber dasselbe wie in der Optik die Erzeugung eines (gegen λ kleinen) einfarbigen Lichtpunktes P_0 , von dessen Unmöglichkeit wir uns schon in Abschnitt 13 überzeugt haben. Es liegt also bereits in der Grundannahme über die „Steuerung“ der Materieteilchen durch Wellen, daß jede scharfe Herstellung einer Lage P_0 nur durch Überlagerung von Wellen verschiedener Wellenlänge, also durch eine Streuung Δv der Geschwindigkeit v erzielt werden kann. Verfolgt man das rechnerisch, so kommt man darauf, daß bei gegebener Streuung ΔP_0 der Lage die geringste erzielbare Streuung Δv der Geschwindigkeit durch $m \Delta P_0 \Delta v = h$ gegeben ist; das ist aber die uns aus Abschnitt 10 bekannte Heisenbergsche Unschärfebeziehung.

So wie nur solche einfarbige Lichtpünktchen unmöglich waren, deren Ausdehnung klein gegen die Wellenlänge ist, so lassen sich durch Überlagerung von Materiewellen bestimmter Wellenlänge auch nur solche scharfe Lagen P_0 von Massenteilchen nicht erzeugen, deren erlaubte Streuung ΔP_0 klein gegen die Wellenlänge der Materiewellen ist. Da aber bei genügend großen Massen m diese Wellenlänge beliebig klein wird, kann man auch bei bestimmten Geschwindigkeiten eine beliebig geringe Streuung der

Lage P_0 erzielen. Für große Massen gibt es also bestimmte Anfangszustände im Sinne der klassischen Mechanik.

Ebensowenig kann man einem kleinen Massenteilchen in einem bestimmten Punkte P_0 eine bestimmte Richtung der Geschwindigkeit erteilen. Wir müßten ja zu diesem Zwecke einen Schwarm von Teilchen, ähnlich wie in der Optik einen Lichtstrahl, durch eine kleine Öffnung in einem Schirm senkrecht zu diesem hindurchtreten lassen, um eine bestimmte Geschwindigkeitsrichtung zu definieren. Wegen der Steuerung der Teilchen durch die Wellen würden aber ebenso wie beim Licht nicht alle Teilchen nach dem Hindurchtreten durch den Schirm ihre Bahn nach dem Trägheitsgesetz geradlinig fortsetzen; sondern je kleiner die Öffnung ist, desto mehr von den hindurchgehenden Teilchen würden abgelenkt werden, und zwar die meisten nach den Richtungen der Beugungsmaxima. Die erste dieser Richtungen, die auch am meisten Teilchen aufnimmt, schließt mit der Einfallrichtung der Teilchen einen Winkel φ ein, der wie in der Lichtbeugung durch $a \sin \varphi = \lambda$ hier wegen $mv\lambda = h$ (s. S. 185) durch

$$\sin \varphi = \frac{h}{mva}$$

gegeben ist. Man sieht wieder, daß für großes m die Ablenkung verschwindet. Für kleine Teilchen aber sieht man deutlich, daß es unmöglich ist, durch Verkleinerung der Öffnung zu erzielen, daß bei einem Kollektivversuch alle Teilchen durch denselben Punkt P_0 in derselben Richtung hindurchgehen.

Die Prüfung der Erscheinungen beim Hindurchgang von Elektronen durch kleine Öffnungen hat diese Theorie von der „Steuerung“ kleiner Massenteilchen durch Wellen auch experimentell bestätigt. Die mit der Beugungstheorie übereinstimmenden bei diesen Versuchen gemessenen Ablenkungswinkel haben es erlaubt, die grundlegende Beziehung von de Broglie zwischen λ und v auch durch direkte Messung zu bestätigen (Elektroneninterferenzen).

15. Es gibt kein Scheibenschießen mit beliebig kleinen Massenteilchen.

Aus all dem folgt aber, daß man bei sehr kleinen Teilchen nicht mehr durch irgendwelche experimentelle Maßnahmen so scharf bestimmte Anfangslagen und Anfangsgeschwindigkeiten her-

stellen kann, daß bei einer großen Anzahl von Versuchen bei gleichen Anfangszuständen alle oder wenigstens nahezu alle Teilchen eine bestimmte Stelle eines Schirmes oder einer Scheibe treffen.

Wollen wir ein kleines Massenteilchen, etwa ein Elektron, vom Punkte P_0 aus in einer bestimmten Richtung abfliegen lassen, so müssen wir ähnlich wie beim Licht aus einem Schwarm von Teilchen, der in der gewünschten Richtung fliegt, durch eine kleine Öffnung in einem Schirm solche Teilchen herausgreifen, die durch den gewünschten Anfangspunkt P_0 hindurchfliegen. Bei großen Teilchen, wo die Steuerung durch die Wellen gering ist, spielt die Beugung durch die Öffnung keine Rolle. Je kleiner aber die Teilchen werden, desto größer wird die nach der Formel von de Broglie mit ihnen verbundene Wellenlänge der Materiewellen, ein desto größerer Bruchteil der Massenteilchen, die unter experimentell gleichen Anfangszuständen abgeflogen sind, wird aus der geradlinigen Bahn abgelenkt. Wenn daher die Öffnung so eng wird, daß man aus geometrischen Gründen erwarten könnte, daß sie alle nahezu eine bestimmte Stelle eines der Öffnung gegenüberliegenden Schirmes erreichen, wird die Beugung so stark, daß ein erheblicher Bruchteil der Massenteilchen die gewünschte Stelle der Scheibe nicht trifft. Es gibt also keinen Versuch, bei dem man unter experimentell gleichen Anfangsbedingungen jedesmal auch nur annähernd dieselbe Stelle der Scheibe treffen könnte.

Auch beim gewöhnlichen Scheibenschießen kann man beim wirklichen Versuch nicht angeben, wo jedes einzelne Geschöß bei gleichen Abschußbedingungen auftreffen wird; aber man nimmt in der klassischen Mechanik an, daß man durch Verfeinerung der Versuchsbedingungen, also genauere Justierung der Abschußvorrichtung grundsätzlich die Streuung beliebig klein machen kann. Aus der Wellenmechanik folgt aber, daß bei sehr kleinen Massenteilchen diese Streuung nicht unter einen gewissen Betrag herabgedrückt werden kann, der durch die Heisenbergsche Unschärfebeziehung gegeben ist und für große Massen sich der Null nähert.

Wenn es irgendwie unserem Gefühl widerstrebt, anzunehmen, daß man nicht durch genauere Versuchsbedingungen des Schusses auch die Treffgenauigkeit beliebig steigern könne, so muß man folgendes bedenken: dieses Widerstreben kommt von einer nicht

genauen Unterscheidung zwischen den beobachtbaren Vorgängen und den Symbolen, aus denen das wissenschaftliche System besteht. Wie wir gesehen haben, gibt es in der Wellenmechanik überhaupt kein Symbol, dem die Beobachtung „Teilchen an einem bestimmten Ort mit einer bestimmten Geschwindigkeit“ zugeordnet ist. Da aber die wissenschaftlichen Aussagen nur von den Symbolen handeln, kann in der Wellenmechanik die Frage, was geschieht, wenn man immer wieder den Teilchen dieselbe Anfangslage und -geschwindigkeit gibt, überhaupt nicht formuliert werden. Die Überlegungen, daß wegen der Beugung an einer kleinen Öffnung die bestimmten Anfangsbedingungen nicht hergestellt werden können, dienen nur dazu, um sich klarzumachen, wieso die Versuche scheitern müssen, diejenigen beobachtbaren Vorgänge zu realisieren, die nach der klassischen Mechanik dem dort vorkommenden Symbol „Teilchen an bestimmtem Ort mit bestimmter Geschwindigkeit“ zugeordnet sind.

Der wesentliche Unterschied zwischen der Symbolik der Wellenmechanik und klassischen Mechanik ist der, daß nach dieser ein Massenteilchen an einem bestimmten Raumpunkt lokalisiert ist, während nach der heutigen Auffassung auch der einfachste Zustand als Wellenzustand den ganzen Raum erfüllt. Jedem beobachtbaren Vorgang ist als Symbol ein Zustand des ganzen unendlichen Raumes zugeordnet. Wenn wir das Symbol aufsuchen, das der Beobachtung eines kleinen Teilchens am Ort P_0 mit der Geschwindigkeit v entspricht, so müssen wir einen Zustand des ganzen Raumes aufsuchen, von dem wir aber gezeigt haben, daß er durch Überlagerung von Wellenzügen der betrachteten Art überhaupt nicht hergestellt werden kann.

Es gibt also kein wirkliches Argument dafür, daß auch mit den kleinsten Teilchen ebenso durch geeignete Abschußvorrichtung ein bestimmter Zielpunkt erreicht werden kann wie bei großen Geschossen, es sei denn, man würde das Argument „wie im Großen, so im Kleinen“ anwenden, dessen Hinfälligkeit wir schon an mehreren Stellen besprochen haben. Es tritt eben die „Steuerung“ durch die Materiewellen hinzu, deren Wirkung erst bei sehr kleinen Teilchen sich bemerkbar macht.

16. Die Aussagen der Wellenmechanik.

Der Inhalt der Wellenmechanik selbst besteht nun darin, daß sie Gesetze angibt, nach denen sich aus der anfänglichen Verteilung des Wellenzustandes im Raum diese Größe für jede spätere Zeit berechnen läßt. Die Grundformel der Wellenmechanik, die Schrödingersche Wellengleichung, hat die Form eines physikalischen Kausalgesetzes, wenn wir den Wellenzustand in einem Zeitpunkt als Zustandsbeschreibung im Sinne der klassischen Physik gelten lassen wollen. Denn es lassen sich ja dann aus der gegenwärtigen Zustandsverteilung alle zukünftigen eindeutig vorhersagen. Aber die Beziehungen dieser Zustandsgrößen zu wirklich beobachtbaren Größen sind ganz andere, als wir es in der klassischen Mechanik gewöhnt sind.

Denn durch einen Kollektivversuch zur Bestimmung der Zahl der Massenteilchen in einem Volumenelement läßt sich nur das mittlere Amplitudenquadrat an der betreffenden Raumstelle beobachten; aus einem Kollektivversuch über die Anzahl der Teilchen mit bestimmter Geschwindigkeit v findet man nur das mittlere Amplitudenquadrat der Teilwelle mit der v entsprechenden Wellenlänge

$$\lambda = \frac{h}{mv};$$

dadurch sind aber die einzelnen Elementarwellen mit ihren Phasendifferenzen nicht eindeutig bestimmt, und nur deren Kenntnis würde uns den Anfangszustand kennen lehren, aus dem wir nach der Schrödingerschen Gleichung eindeutig die Zukunft vorhersagen könnten. In jedem beobachteten Anfangszustand stecken eben viele mathematische Anfangszustände. Es ist dies so, wie man beim Lichte aus der anfänglichen Intensitätsverteilung die künftige nicht vorhersagen kann, weil es nicht von der Intensität, sondern von den Phasendifferenzen (z. B. der Frage der Kohärenz der Teilwellen), abhängt, ob die Wellen sich in der Zukunft stärken oder schwächen werden. Aus der gegenwärtigen Intensitätsverteilung ist daher die zukünftige nicht bestimmbar; die Gesetze der Optik lassen sich daher auch nicht mit Hilfe der Intensitäten, sondern nur mit Hilfe der elektromagnetischen Feldstärken formulieren, obwohl optisch nur die Intensitäten beobachtbar sind.

Es genügt also nach der Wellenmechanik zu einer Vorhersage der Zukunft nie, daß am Anfang der Zeit die räumliche Verteilung

der Teilchendichte und der Teilchengeschwindigkeit, d. h. das Ergebnis eines Kollektivversuches gegeben ist; sondern es muß die räumliche Verteilung des Wellenzustandes selbst gegeben sein. Es muß z. B. angenommen werden, daß durch gewisse Versuchsbedingungen kohärente „Materiewellen“ oder „De Broglie-Wellen“ hergestellt werden können, deren Interferenzerscheinung sich vorhersagen läßt, ebenso wie in der Optik etwa bei der Beugung an einem Gitter nicht nur die Intensitätsverteilung vor dem Gitter bekannt sein muß, sondern außerdem noch die Kohärenzverhältnisse des Lichtes, d. h. etwas über die Phasendifferenzen. Dann kann der Wellenzustand und daraus die Teilchendichte, d. h. das Ergebnis eines Kollektivversuches, zu einer beliebigen Zeit vorhergesagt werden, aber nichts über das Schicksal des einzelnen Teilchens, ebenso wie in der Optik nichts über das des einzelnen Lichtquants.

17. Wellenmechanik und Laplacescher Geist.

Was ist nun in der neuen Wellenmechanik aus dem alten Programm von Laplace geworden? Kann nach ihr eine „höhere Intelligenz“ aus dem gegenwärtigen Zustand der Welt den künftigen vorhersagen? Es entsteht hier sofort die Schwierigkeit, daß man wie bereits in der klassischen Mechanik eigentlich nicht weiß, was man einer höheren Intelligenz alles zumuten kann. Nach Laplace muß sie offenbar folgendes imstande sein:

1. Alle Gesetze für die zwischen den Massen wirkenden Kräfte zu kennen.
2. Die Lagen und Geschwindigkeiten aller Massen im gegenwärtigen Weltzustand numerisch genau festzustellen.
3. Die komplizierten Differentialgleichungen bis zu numerisch angebbaren Lösungen für jeden Zeitpunkt aufzulösen.
4. Aus der Kenntnis der Lage und Geschwindigkeit der Massenpunkte die Erlebnisse anzugeben, die damit für die Menschen verknüpft sind.

Wir wissen, daß die genaue Kenntnis des gegenwärtigen Weltzustandes für den Menschen unmöglich ist, wenn man die wirklich genau zahlenmäßige Kenntnis verlangt, die zur Vorhersage der Zukunft notwendig ist. Ob wir das einer höheren Intelligenz trotzdem zumuten können, ist so sehr Sache der Willkür, daß man hier ganz deutlich sieht, wie vollkommen unwissenschaftlich die Ein-

führung eines solchen Geistes ist, wenn man damit nicht nur einen abkürzenden Ausdruck für ganz bestimmt definierte Annahmen versteht.

Wenn man nun einen für die Wellenmechanik passenden Laplaceschen Geist einführen wollte, der mit Hilfe der Schrödingerschen Wellengleichung die Zukunft vorhersagen könnte, so müßte man von ihm folgendes verlangen:

1. Wie bei Laplace die Kenntnis der Kraftgesetze, weil sie in der Wellengleichung vorkommen.
2. Er müßte im gegenwärtigen Zeitpunkte die Verteilung des Wellenzustandes über den ganzen Raum kennen.
3. Er müßte die Schrödingersche Wellengleichung für alle Zeiten auflösen können.
4. Er müßte wissen, welche menschlichen Erlebnisse einem beliebigen Wellenzustand zugeordnet sind.

Die ersten drei Aufgaben sind genau so einer unendlichen Intelligenz vorbehalten wie in der klassischen Mechanik. Was die vierte betrifft, so ist die Zuordnung eine andere als bei Laplace und nicht so stark ins einzelne gehend durchführbar. Da nach der Wellenmechanik mit der Kenntnis des Wellenzustandes zu irgendeiner Zeit nur die Häufigkeit verknüpft ist, mit der gewisse Lagen und Geschwindigkeiten von Massen innerhalb einer langen Versuchsreihe vorkommen, so kann auch die höhere Intelligenz nicht vorhersagen, an welcher Stelle des Raumes sich zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes Massenteilchen befinden wird. Sie könnte z. B., selbst wenn man ihr die Kenntnis des Wellenzustandes in einem Radiumatom in einem bestimmten Zeitpunkt zugestehen wollte, doch niemals vorhersagen, ob in einem bestimmten Zeitpunkt ein α -Teilchen ausgeschleudert werden wird, sondern nur, wie viele Teilchen im Durchschnitt herausdringen werden, d. h. wie groß die Zerfallskonstante des Radiums ist.

18. Die Vorhersage der Zukunft in der Wellenmechanik.

Etwas anders steht es, wenn man nicht fragt, ob eine höhere Intelligenz die Erlebnisse eines künftigen Zeitpunktes aus denen des gegenwärtigen vorhersagen kann oder nicht, sondern wenn man fragt, bis zu welchem Grade dem Menschen, der die physikalischen Kenntnisse der heutigen Wissenschaft besitzt, eine solche Vorhersage gelingen kann.

Es handelt sich zuerst darum, den gegenwärtigen Zustand der Materiewellen zu bestimmen. Die Aufgabe besteht darin, einer empirisch als Erlebnis gegebenen Versuchsanordnung einen Wellenzustand im Raume zuzuordnen. Die analoge Aufgabe gab es auch in der klassischen Mechanik. Hier mußte man jede beliebige Versuchsanordnung durch Angabe der Lage und Geschwindigkeit eines Systemes materieller Punkte ausdrücken. Dazu gehörte eine ganze physikalische Theorie, welche angab, wie die einzelnen empirisch gegebenen Körper (Kristalle, Metalle, Gase usw.) sich durch Gruppen von Massenpunkten darstellen ließen. Ebenso gehört hierzu auch in der Wellenmechanik eine Theorie, die den empirisch gegebenen Anfangszustand mit bestimmten Zuständen der Materiewellen verknüpft. Irgendein Gesetz, durch das ein empirischer Tatbestand eindeutig auf eine Gruppe von Massenpunkten führen mußte, gab es in der klassischen Physik auch nicht und konnte es für alle möglichen Fälle überhaupt nicht geben. Die Annahme einer solchen Zuordnung war auch immer nur hypothetisch; und ebenso erfordert der Ansatz für die Darstellung irgendeiner Versuchsanordnung in der Wellenmechanik eine hypothetische Annahme über den anfänglichen Wellenzustand.

Stellen wir die Frage, ob es zu einem und demselben empirischen Tatbestand verschiedene Wellenzustände geben könne, so ist diese Frage kaum zu beantworten. Denn man kann einen empirischen Tatbestand nicht vollkommen genau charakterisieren. Wir können nicht angeben, wie viele und wie beschaffene Versuche notwendig sind, um die Identität zweier empirischen Tatbestände zu erkennen. Wenn man unter einem empirischen Tatbestand nur die Häufigkeit der Lagen und Geschwindigkeiten der Teilchen in einem Kollektivversuch versteht, so können jedenfalls verschiedene Wellenzustände der gleichen Lagen- und Geschwindigkeitsverteilung der Teilchen entsprechen. Eine Vorhersage wird jedenfalls nur dann möglich sein, wenn alle Wellenzustände, die den beobachteten Anfangswerten entsprechen, in Zukunft nicht allzu verschiedene beobachtbare Teilchenverteilungen ergeben.

Aus dem einmal hypothetisch angenommenen anfänglichen Wellenzustand kann man den Wellenzustand zu einer beliebigen Zeit und daher das Ergebnis eines Kollektivversuchs mit Teilchen eindeutig vorhersagen, z. B. die Streuung der α -Teilchen

beim Durchgang durch Materie, aber durchaus nicht das Schicksal jedes einzelnen Teilchens.

Der wesentliche Unterschied gegenüber Laplace liegt also darin, daß nur das Ergebnis des Kollektivversuchs vorhergesagt werden kann, nicht das des Einzelversuchs. Wenn Laplace meinte, daß für die kleinsten Teilchen dieselben Naturgesetze gelten wie für die Himmelskörper, darf dieses „Gelten“ jedenfalls nicht in dem Sinne verstanden werden, daß aus den Anfangsbedingungen eines Versuchs die Zukunft jedes einzelnen Elektrons so sicher vorhergesagt werden kann wie die jedes Planeten. Mit wachsender Masse des Teilchens lassen sich dann die Kollektivversuche mit immer genauer feststellbaren einheitlichen Anfangslagen und -geschwindigkeiten der Teilchen anstellen, so daß sich das Ergebnis jedes einzelnen Versuches immer genauer aus den Anfangsbedingungen vorhersagen läßt.

Die deterministische Hypothese von Laplace erscheint so als bloß näherungsweise zutreffend, da die Erscheinungen nie vollständig im Einzelnen vorhergesagt werden können, aber um so besser, je größer die Masse der einzelnen Teilchen ist.

19. Die Verwendung der Wellenmechanik zur Überwindung der kausal-mechanischen Weltauffassung.

Die Bestrebungen, im Sinne der alten Vorstellung des primitiven Menschen zur Darstellung der Naturvorgänge Analogien mit dem menschlichen Seelenleben heranzuziehen, sind nie verschwunden. In der Physik pflegen sie, wenn eine exakt mathematisch durchgearbeitete Theorie lange Zeit herrscht, etwas einzuschlafen, führen aber immer noch eine gewisse unterirdische Existenz. Auch in der Zeit der unumschränkten Herrschaft der klassischen Mechanik konnte E. Mach in seiner historisch-kritischen Darstellung der „Mechanik in ihrer Entwicklung“ den „theologischen, animistischen und mystischen Gesichtspunkten in der Mechanik“ ein ganzes Kapitel widmen.

Wenn aber irgendeine Erschütterung des physikalischen Systems eintritt, wenn neue Theorien sich bilden, wenn also einige Zeit Unklarheiten in der Zuordnung von Theorie und Erfahrung in hohem Maße herrschen, da verwandeln sich jene unterirdischen Strömungen in gewaltige Ströme, die das durch lange geduldige Arbeit kultivierte Land überschwemmen und vorübergehend un-

fruchtbar machen. Als die energetische Darstellung der Erscheinungen mit der traditionellen Auffassung von Newton und Laplace, die eine Darstellung aller Erscheinungen durch Bewegung materieller Punkte forderte, im Kampf lag, war dieser Kampf von begeisterten Artikeln „Überwindung des Materialismus“, oder „Der Sturz der mechanischen Naturauffassung“ begleitet, woran sich bald die Vorstellung von der Wiedereinführung eines geistigen Faktors an Stelle der blinden mechanischen Kausalität reihte, da doch die Energie immerhin dem Geiste schon ähnlicher sei als die tote Materie.

Ein ähnliches Schauspiel erlebten wir zur Zeit, als die elektromagnetische Auffassung der Materie entstand. Auch hierin sah man eine Zurückdrängung der mechanistischen Naturauffassung, da an Stelle der Materie der Äther, ein masseloses Fluidum, eingeführt wurde. Da man damals aber die elektromagnetischen Gleichungen noch nicht so geläufig handhaben konnte wie die mechanischen, begrüßte man in der neuen Auffassung den Bruch mit dem öden Materialismus, die Einführung eines irrationalen, nicht mehr nur geometrischen, sondern nur „dynamisch“, „lebendig“ erfaßbaren Elementes. Ähnliches wiederholte sich beim Aufkommen der relativistischen Mechanik an Stelle der Newtonschen und in ganz großem Maßstab seit der Aufstellung der neuen Quanten- und Wellenmechanik.

Es erweckt fast den Eindruck, daß jede vorübergehende Trübung des klaren Aufbaues der physikalischen Wissenschaft die triumphierende Entdeckung „irrationaler“, „geistiger“, kurz mystischer Momente in der Physik zur Folge hat. Die Möglichkeit solcher Entdeckungen läßt sich, wie mir scheint, mit Hilfe des einfachen deutschen Sprichwortes „Im Trüben ist gut fischen“ erklären. Jede restlos konsequente Durchleuchtung des Systems der physikalischen Aussagen, der Verkettung von Beobachtung und Rechnung, von Erlebnis und Hypothese bringt jene irrationalen Faktoren immer wieder mit Sicherheit zum Verschwinden.

In der Quantenmechanik sind es in der Hauptsache drei Stellen, an denen man irrationale Faktoren, Einwirkung seelenähnlicher Agentien am Werke zu sehen glaubte:

1. Die Bestimmung der Frequenz des Lichtes, das von einem Atom bei einer sprunghaften Zustandsänderung ausgestrahlt wird, hängt nicht nur vom Anfangszustand, sondern auch vom End-

zustand ab, was ein Beleg für die in der Biologie so beliebte Annahme von Zweckursachen, einer Einwirkung der Zukunft auf die Gegenwart sein soll.

2. Die Auffassung der Wellenmechanik, daß die physikalischen Erscheinungen manchmal durch die Vorstellung von Massenteilchen, die annähernd den Gesetzen der klassischen Mechanik genügen, manchmal aber durch Wellen, die den ganzen Raum erfüllen, besser dargestellt werden, ist eine dualistische Auffassung. Sie behauptet, daß die Welt gleichzeitig aus Korpuskeln und aus Wellen besteht, obwohl diese beiden Vorstellungen einander zu widersprechen scheinen. Der Zusammenhang dieser beiden Vorstellungen ist ein geheimnisvoller, der mit den Mitteln der Physik nicht aufzuklären und den Beziehungen zwischen Leib und Seele, von Ich und Nichtich ähnlich ist.

3. Am wichtigsten für die Verwertung der Quantenmechanik gegen die mechanistische Weltauffassung ist die Behauptung, daß durch den Anfangszustand eines Systems der Endzustand nicht eindeutig bestimmt ist. Nur das Ergebnis eines Kollektivversuchs ist vorhersagbar, das Schicksal der einzelnen Massenteilchen ist aber aus den empirischen Anfangsbedingungen nicht bestimmbar, muß also durch nichtphysikalische, seelische oder vielleicht gar übernatürliche Agentien bestimmt werden.

20. Die Wellenmechanik bringt kein „irrationales“ Element in die Naturauffassung.

Was den Punkt 1 betrifft, so habe ich ihn schon in dem Kapitel über finalistische Strömungen (Kapitel IV, Abschn. 26) besprochen. Die unter 2. angeführte Auffassung gehört wohl nicht ganz zum Gegenstand dieses Buches, ich will aber trotzdem einige Worte darüber sagen. Unter den Physikern wird sie auch gelegentlich von Sommerfeld vertreten. Er sagt u. a.:

„Wird sich dieser Dualismus heben lassen? Es sieht nicht so aus, als ob dies in der physikalischen Arena möglich sein wird. Eher vielleicht durch eine Art philosophischer Synthese . . . Weder der spiritua- listische, noch der materialistische Monismus hat bisher die Zwitternatur des organischen Daseins in Leib und Seele befriedigend gelöst. Jetzt sehen wir einen ähnlichen Dualismus in den Grundlagen der Physik auftreten.“

Wenn man den Tatbestand, der in der heutigen Physik vorliegt, ganz nüchtern betrachtet, handelt es sich um folgendes:

man kann weder aus dem Bilde der Wellen, noch aus dem der Korpuskeln allein alle physikalischen Erscheinungen vorhersagen. Aus der Wellenverteilung zu irgendeiner Zeit kann z. B. nicht abgeleitet werden, daß ein Elektron die bestimmte geradlinige Bahn beschreiben wird, die sich aus den Spuren in der Wilsonschen Nebelkammer feststellen läßt. Aus den Wellengesetzen ergibt sich vielmehr nur, daß sich zu einer bestimmten Zeit ein bestimmter Bruchteil der Elektronen, die bei einem Kollektivversuch beobachtet werden, innerhalb eines bestimmten Volumenelementes befindet, während sich nach dem Wilsonschen Versuch aus dem Anfang einer Spur, also der Anfangsgeschwindigkeit, die Fortsetzung der Spur in gerader Linie vorhersagen läßt. Eine solche Vorhersage läßt sich aber nur machen, wenn man das Elektron als Korpuskel auffaßt, auf das man näherungsweise das Newtonsche Trägheitsgesetz anwenden kann. Aus der Korpuskelvorstellung läßt sich wieder nicht vorhersagen, daß von den Elektronen, die durch ein kleines Loch in einem Schirm hindurchtreten, nur ein Teil seine Bahn hinter dem Schirm geradlinig fortsetzt, während ein anderer Teil, wie die Versuche über Elektronenbeugung zeigen, unter bestimmten Winkeln abgelenkt wird. Das läßt sich nur vorhersagen, wenn man den Vorgang als die Ausbreitung einer Welle auffaßt, die unendlich ausgedehnt ist, also durch den Schirm gestört wird und durch Interferenz Abbeugung liefert. Nahezu punktförmige Korpuskeln müßten ja unabgelenkt hindurchgehen.

Man muß also bald das „Korpuskelbild“, bald das „Wellenbild“ anwenden, um einen Ausdruck von Heisenberg zu gebrauchen. Dieser „Dualismus“ hat aber gar nichts Mystisches an sich, sondern ist nur ein Merkmal der gegenwärtigen theoretischen Physik, vielleicht eine Unvollkommenheit, die einmal verschwinden wird, vielleicht aber auch eine bleibende unangenehme Eigenschaft. Einen ähnlichen „Dualismus“ hat es in der Feldtheorie seit jeher gegeben. Schon die Lorentzsche Elektronentheorie besteht einerseits aus den Gleichungen für das elektromagnetische Feld im „Äther“, andererseits aus den Bewegungsgleichungen der Elektronen. Beides waren Aussagen ganz verschiedener Natur und wurden es noch mehr, als der Äther den Charakter eines „materieähnlichen“, Bewegungsgesetzen gehorchenden Agens immer mehr verlor. Denn damit gab man die Versuche auf, alles

in letzter Linie auf Bewegungsgesetze des Äthers zurückzuführen und die Elektronen nur als singuläre Punkte des Äthers oder, wie man sich oft ausdrückte, als „Löcher im Äther“ anzusehen, deren Bewegungen durch die des Äthers bestimmt sein müßten.

Derselbe Dualismus erhielt sich zunächst in allen Feldtheorien, wie z. B. auch in der allgemeinen Relativitätstheorie von Einstein, wo sich die Feldgleichungen der Gravitation und die Bewegungsgleichungen der Massenpunkte (geodätische Linien) gegenüberstanden. Hier sehen wir aber, daß eine große Arbeit aufgewendet wurde, um die Bewegungsgleichungen der Massenpunkte als besondere Annahmen auszuschalten und anstatt dessen aus den Feldgleichungen zu beweisen, daß die singulären Stellen des Feldes sich nach denselben Gesetzen bewegen, die man früher für die Massenpunkte aufgestellt hatte. Am weitesten ist in dieser Richtung wohl C. Lanczos gekommen.

Es war auch innerhalb der Theorie des elektromagnetischen Feldes immer unverständlich, wie die Teile eines negativ geladenen Korpuskels zusammenhalten können, da sie sich doch nach den Feldgesetzen abstoßen müssen und nach der reinen Feldauffassung nichts als elektromagnetisches Feld vorhanden sein soll. Es wurde daher die der Feldtheorie eigentlich ganz fremde Annahme des „Elektrons“ schon von H. A. Lorentz eingeführt, d. h. ein Gebilde aus negativer Elektrizität, das kraft einer besonderen Annahme, wenn es eine bestimmte Ladung, das Elementarquantum hat, zusammenhalten soll, obwohl dies den Feldgesetzen widerspricht. Die Ableitung der Möglichkeit eines solchen Elektrons wird in neuerer Zeit durch eine Theorie versucht, die sowohl das elektromagnetische als das Gravitationsfeld mit Hilfe eines einheitlichen Systems von Feldgleichungen darstellen (Weyl, Kaluza u. a.), wie es am konsequentesten in der neuen „Feldtheorie“ von Einstein geschieht.

Jedenfalls hat man immer in dem Dualismus zwischen Korpuskel und Feld in den Feldtheorien eine Unvollkommenheit gesehen, die man durch vollkommeneren Theorien zu beseitigen suchte. Diese Beseitigung wurde aber nie in einer „höheren Ebene“, etwa einer „Philosophie“ versucht, sondern immer durch Ausbau des mathematischen Schemas, durch das die Naturerscheinungen dargestellt werden. Es liegt also auch kein Grund vor, den Dualismus

von Korpuskelbild und Wellenbild anders aufzufassen und die „physikalische Arena“ zu verlassen.

21. Die Wellenmechanik und die „Lücken“ in der mechanischen Kausalität.

Eine wesentliche Bedeutung für den Gegenstand dieser Schrift hat aber die in Punkt 3 des Abschn. 19 erwähnte Ansicht, daß die Quantenmechanik die Möglichkeit eines Eingriffes „übernatürlicher“ oder „seelenähnlicher“ Mächte in das Getriebe der mechanischen Kausalität zulasse. Es handelt sich hier wieder einmal um die sogenannten „Lücken“ in den Naturgesetzen, von denen schon in Kapitel III, Abschnitt 12 die Rede war, und durch die man sich gern wie durch Lücken in einer feindlichen Front, die Truppen einzuziehen dachte, die für eine „höhere Gesetzmäßigkeit“ kämpfen, als es die der Körperwelt ist.

Wenn wir aber die Behauptung der Quantenmechanik möglichst nüchtern zu formulieren suchen, so sagt sie über das Problem, von dem hier die Rede ist, nur etwas Negatives aus. Die heutige Physik kennt keine Gesetze, durch welche man aus dem beobachtbaren Anfangszustand eines Systems bis in die feinsten Einzelheiten den beobachtbaren Endzustand vorhersagen könnte, sondern nur Gesetze, mit Hilfe deren man aus dem nicht beobachtbaren Wellenzustand in einem Zeitpunkt den ebenfalls nicht beobachtbaren Wellenzustand in einem späteren Zeitpunkt eindeutig vorhersagen kann; andererseits aber Gesetze, nach denen man aus den Versuchsbedingungen das beobachtbare Ergebnis eines Kollektivversuches vorhersagen kann, ohne daß darin Aussagen über das Schicksal jedes einzelnen Teilchens enthalten wären. Hier liegt in gewissem Sinn wirklich eine Lücke vor. Sie könnte nur ausgefüllt werden, wenn man Gesetze fände, die das Schicksal des einzelnen Teilchens bestimmen. Behauptungen wie: die Zukunft des Einzelteilchens ist wohl nicht durch die Gesetze der Physik, aber doch irgendwie bestimmt, sind entweder tautologische (siehe Kapitel I, Abschnitt 15), wenn man „bestimmt“ in dem Sinne versteht, daß sich in Wirklichkeit immer ein bestimmtes Verhalten zeigen muß, oder theologisch, wenn man darunter meint, daß ein höheres Wesen dennoch die Zukunft eindeutig müsse vorhersagen können. Die Quantenmechanik ließe sich nur dann zugunsten eines derartigen Eingreifens

ausnutzen, wenn man die Gesetze angeben könnte, durch welche die Schicksale des Einzelteilchens bestimmt sind und sich eine Ähnlichkeit derselben mit den psychologischen Gesetzen feststellen ließe, durch welche die Handlungen belebter Wesen geregelt sind. Dafür hat aber noch niemand auch nur die Andeutung eines Beweises erbracht. Alle Autoren beschränken sich auf die Aufzeigung der Lücken und den Hinweis auf die Möglichkeit des Eingreifens persönlicher Mächte.

Große Erwartungen in dieser Beziehung wird man kaum haben, wenn man bedenkt, daß wohl nicht das Schicksal des Einzelteilchens, aber das durchschnittliche Schicksal einer großen Zahl von Teilchen, durch die Gesetze der Quantenmechanik eindeutig bestimmt ist, daß also das Schicksal der Welt im Großen und Ganzen auch nach der Quantenmechanik durch keinerlei persönliche oder individuelle Einwirkung beeinflusst werden kann, daß vielmehr dadurch immer nur kleine Einzelheiten geändert werden können und der Weltverlauf immer noch der „blinden“ mechanischen Kausalität überlassen bliebe.

Eine derartige nüchterne Auffassung der Quantenmechanik erscheint mir für die Stellung der Physik innerhalb der Wissenschaften und aller übrigen Gebiete unseres heutigen Lebens von großer Wichtigkeit. Denn auf der einen Seite sind viele Angriffe, denen die moderne Physik ausgesetzt ist (z. B. die von J. Stark, einem der hervorragendsten Experimentalforscher unserer Zeit), dadurch veranlaßt oder wenigstens begünstigt, daß manche Vertreter der heutigen physikalischen Theorien gern eine Ausdrucksweise anwenden, die den Anschein erwecken kann, als wären jene animistisch-theologischen Deutungen mit der heutigen Physik notwendig verbunden.

Auf der anderen Seite aber ist es heute üblich geworden, auf Gebieten, die noch keiner so exakten Darstellung fähig sind wie die Physik und wo die animistische Betrachtungsweise noch einen großen Raum einnimmt, diese Betrachtungsweise als eine ganz besonders moderne zu bezeichnen und das mit dem Hinweis darauf zu rechtfertigen, daß die moderne Physik selbst wieder zur animistischen Auffassung zurückkehrt.

22. Wellenmechanik und „Willensfreiheit“.

Eine spezielle Form, in der jene irrationalistischen Deutungen der Quantenmechanik auftreten, ist die, in der sie zur Rettung

der Willensfreiheit verwendet werden. Die vielen philosophischen Arbeiten, welche dieser Rettungsarbeit dienen, kommen mir oft so vor, als würde in ihnen das Problem behandelt werden, wie man irgendeine der vielen Bedeutungen des Wortes „Freiheit“ mit dem menschlichen Handeln in eine, wenn auch noch so lose Beziehung bringen könne, um damit ein Gemütsbedürfnis zu befriedigen, das teils darin besteht, jede eigene Handlung mit einem gewissen angenehmen Selbstgefühl zu begleiten, teils darin, die „schlechten“ Handlungen anderer mit einem gewissen Genuß zu verurteilen. Ich glaube kaum, daß irgend jemandem die Quantenmechanik diese Genüsse wird verschaffen können.

Wenn man die Quantenmechanik z. B. auf die kleinsten Teilchen des menschlichen Zentralnervensystems anwendet, so folgt daraus, daß man aus einer noch so genauen Beobachtung des Zustandes innerhalb des Nervensystems in einem bestimmten Zeitpunkt und der wirkenden äußeren Reize, wie z. B. Schall- und Lichtwellen, das zukünftige Verhalten des Systems, also den Ablauf der Reize in den Nervenbahnen und damit die nach außen gerichteten menschlichen Handlungen, nicht bis in ihre kleinsten Details vorhersagen kann, sondern nur im Durchschnitt. Es bliebe also die Möglichkeit, daß eine psychische Kraft, die „Kraft des freien Willens“ hier eingreift und die Regelung der Einzelheiten übernimmt. Hier gilt genau dasselbe wie im vorigen Abschnitt 21. Damit eine solche Behauptung einen Sinn hätte, müßte man die psychische Gesetzmäßigkeit und die Art, wie sie die Detailvorgänge im Zentralnervensystem regelt, irgendwie angeben oder wenigstens die Art ihrer Wirksamkeit skizzieren, wobei man selbst die phantastischsten Hypothesen zulassen könnte. In Wirklichkeit hat aber nie jemand etwas Ähnliches auch nur andeuten können, weil es keine angebbaren Vorgänge gibt, in denen sich eine solche zusätzliche Regelmäßigkeit zeigt. Wir können also über die menschlichen Willenshandlungen genau so wie über alle mechanischen Vorgänge nur sagen, daß wir mit Gesetzen arbeiten, die es nicht gestatten, die Vorgänge bis in die kleinsten Einzelheiten vorherzusagen.

Diese Unmöglichkeit, selbst unter der Annahme, daß man die Vorgänge innerhalb seines eigenen Großhirns beobachten könnte, die künftigen Vorgänge im Nervensystem und damit seine Handlungen vorauszusagen, hat N. Bohr mit der Lehre von der „Willens-

freiheit“ in Beziehung gebracht. Er weist noch darauf hin, daß durch die Beobachtung selbst der gegenwärtige Zustand im Großhirn und damit die begleitenden seelischen Zustände beeinflußt werden, so wie es in der Physik der Atome der Heisenbergschen Unschärfebeziehung entspricht. Damit ist aber wieder nichts anderes gesagt, als daß die menschlichen Handlungen sich genau so verhalten wie alle mechanischen Vorgänge. Ob die Erkenntnis von der Unmöglichkeit einer Vorhersage den Menschen jenes angenehme Gefühl verschaffen kann, das man mit dem Namen Willensfreiheit zu verknüpfen pflegt, ist mir dabei zweifelhaft.

Man muß allerdings zugeben, daß unter allen Versuchen, die menschlichen Handlungen aus dem Reiche der mechanischen Kausalität auszuschalten, der einzig sinngemäße der ist, die prinzipielle Unmöglichkeit ihrer Vorhersagbarkeit im Einzelnen festzustellen oder anders gesagt, darauf hinzuweisen, daß diese Einzelheiten vom „Zufall“ abhängen. Schon lange vor der Quantenmechanik hat W. James in seinem Aufsatz „Das Dilemma des Determinismus“ die Annahme einer Willensfreiheit der Annahme einer Zufälligkeit im Weltgeschehen gleichgesetzt. Seiner Ansicht nach ist es für den Menschen ein angenehmes Gefühl, sich zu denken, daß alles Böse in der Welt nicht notwendig, sondern nur zufällig ist. Mir scheint aber, daß auch in dieser Ansicht das Tröstliche nur solange vorhanden ist, als man den Unterschied zwischen Notwendigem und Zufälligem in einer metaphysischen Weise auffaßt, die es nicht gestattet, diesen Unterschied als einen Unterschied zwischen beobachtbaren Tatsachen auszudrücken. Denn das Zufällige des Bösen ist ja nur deshalb ein Trost, weil man annimmt, es sei durch entsprechende willkürliche Eingriffe zu beseitigen. Da aber die menschlichen Handlungen nur so weit determiniert sein sollen, daß mit ihrer Gesetzmäßigkeit das Böse noch vereinbar ist, so ist der Gedanke an die Möglichkeit einer Beseitigung des Bösen eigentlich der, daß neben der gewöhnlichen Determiniertheit noch eine höhere Gesetzmäßigkeit existiert, durch welche auch das Zufällige noch gelenkt werden kann. Damit wird aber der Unterschied zwischen „notwendig“ und „zufällig“ als ein Unterschied zwischen beobachtbaren Tatsachen aufgegeben, und es wird wieder die primitive animistische Auffassung der Natur eingeführt.

In geistreicher Weise zeigt M. BOLL, daß man die Argumente,

mit deren Hilfe H. Bergson die „Willensfreiheit“ aus der Nichtvorhersagbarkeit der menschlichen Handlungen beweist, nur Wort für Wort zu wiederholen braucht, um die „Freiheit“ eines Würfels zu beweisen, der aus einem Becher geschüttelt wird. Auf das Aussichtslose aller Versuche, die Quantenmechanik zugunsten der von vielen Philosophen behaupteten Willensfreiheit und einer teleologischen (finalistischen) Naturauffassung zu verwerten, hat sehr zutreffend H. Bergmann hingewiesen.

Wir sehen aus alledem, daß es nicht die Quantenmechanik ist, durch die irrationale Momente in die Physik eingeführt werden; sondern die seit jeher vorhandenen und auf eine Betätigung lauern den animistischen Gedankengänge benützen jede Umwälzung in der Physik, um sich wieder zur Geltung zu bringen. Wir sehen aber auch, daß jede genaue und nüchterne Formulierung diese Gesichtspunkte wieder als unfruchtbar entfernen muß.

VIII. Kausalität, Zufall oder Plan in der Weltentwicklung?

1. Gesetzmäßigkeit in verschiedenen Zustandsgrößen bedeutet etwas Verschiedenes.

Die klassische Physik nahm an, es gebe Gesetze, nach denen man aus der Kenntnis des Anfangszustandes aller kleinsten Teilchen der Materie den Endzustand eindeutig vorhersagen könne. Man nannte diese Kenntnis die Kenntnis des Mikrozustandes. Der Erfahrung zugänglich sind aber nur gewisse Durchschnittswerte, z. B. anstatt der Lage aller einzelnen Teilchen nur die Dichte der Materie, die Masse in der Volumeinheit, während die Lage der einzelnen Teilchen selbst nicht beobachtet werden kann. Ebenso läßt sich nicht die Geschwindigkeit jedes einzelnen Teilchens, sondern nur die mittlere lebendige Kraft, die Temperatur, beobachten. Dichte und Temperatur bestimmen den Makrozustand des Körpers. Einem und demselben Makrozustand können offenbar sehr viele Mikrozustände entsprechen, da derselbe Durchschnittswert sich aus sehr verschiedener Verteilung der Einzelwerte ergeben kann; durch den Makrozustand ist daher die Zukunft nicht eindeutig bestimmt.

Es gibt also nach der klassischen Physik eine strenge Kausalität nur für Mikrozustände, aber nicht für Makrozustände. Man kann aus der Kenntnis von Lage und Geschwindigkeit aller Einzelteilchen in einem Zeitpunkt t_0 die Werte derselben Größen in einem Zeitpunkt t_1 eindeutig vorherzusagen, aber nicht aus der Kenntnis von Dichte und Temperatur in einem Zeitpunkt t_0 mit Sicherheit auf die Verteilung von Dichte und Temperatur in einem späteren Zeitpunkt schließen. Diesen Unterschied zwischen Mikrozustand und Makrozustand gibt es überall, wo es sich um Vorgänge an sehr vielen gleichartigen oder ähnlichen Objekten handelt.

Wenn wir etwa die Handlungen der Menschen betrachten, die einen großen Teil der Erde bewohnen, so können wir die Gesetze, nach denen der einzelne handelt, die Gesetze der Individual-

psychologie, als Mikrogesetze annehmen, etwa die Gesetze über den Zusammenhang der Reize und deren Leitung in den Nervensystemen der einzelnen Menschen.

Nach der Hypothese von Laplace müßten wir annehmen, daß alle Handlungen der Menschen aus den augenblicklichen psychophysischen Zuständen (z. B. der genauen Kenntnis ihres Nervensystems und der von der Umgebung ausgeübten Reize) eindeutig vorhergesagt werden können. Mit Hilfe der von der Individualpsychologie festgestellten Gesetzmäßigkeiten wäre es dann prinzipiell möglich, das Schicksal aller Individuen einer Gesellschaft, also z. B. eines einzelnen Staates oder der ganzen Menschheit vorhersagen.

Die historischen und soziologischen Wissenschaften haben es aber nicht mit den psychologischen Zuständen des einzelnen Menschen zu tun, sie sprechen von sozialen Zuständen wie Bevölkerungsdichte, Krankheiten, politischen Parteien, Staatsverfassungen usw. Man fragt dann oft, ob man aus der Kenntnis der sozialen Zustandsgrößen der Gegenwart die der Zukunft vorhersagen kann. Diese Frage wird oft in folgender Weise ausgesprochen: Gibt es streng kausale geschichtliche oder soziologische Gesetzmäßigkeiten?

Nach dem vorhergehenden sehen wir, daß aus der Existenz individual-psychologischer Gesetze, der Mikrogesetze, noch nicht die Existenz strenger soziologischer Gesetze folgt. Man kann nicht fragen, ob es überhaupt Gesetze gibt, sondern nur, in welchen Zustandsgrößen man Gesetzmäßigkeiten feststellen kann. Grundsätzlich kann man im Sinne der klassischen Physik immer annehmen, daß es Gesetze gibt, wenn man zu immer feineren Strukturen zurückgeht. Wir müssen aber annehmen, daß alle beobachtbaren Zustandsgrößen nur einen Makrozustand definieren, für den es überhaupt nie eine strenge Gesetzmäßigkeit gibt, sondern, wie wir später sehen werden, nur Vorhersagungen über das durchschnittliche Verhalten.

2. Eine Eigenschaft der soziologischen und historischen Gesetze.

Die verschiedenen Theorien der historischen und soziologischen Gesetzmäßigkeit unterscheiden sich also im Wesentlichen dadurch, daß sie verschiedene makroskopische Zustandsgrößen benutzen. So nimmt z. B. die materialistische Geschichtsauffassung an, daß

man aus der Kenntnis der gegenwärtigen wirtschaftlichen Zustände allein im Wesentlichen schon die zukünftige soziologische Entwicklung vorhersagen könne. Sie sieht also die wirtschaftlichen Zustände als die makroskopischen Zustandsgrößen an, aus denen man ihre zukünftigen Werte annähernd vorhersagen kann, ohne auf die sogenannten psychologischen Begleitumstände wie etwa die Gedanken der einzelnen Individuen zurückgehen zu müssen, ebenso wie man aus Dichte und Temperatur eines Gases im gegenwärtigen Zeitpunkt deren zukünftige Werte vorhersagen kann, ohne auf den Zustand der einzelnen Gasmoleküle zu achten, wobei natürlich nur eine Vorhersage der am häufigsten eintretenden Folgezustände möglich ist, da im Sinne der klassischen Physik nur die Kenntnis des Mikrozustandes streng eindeutige Vorhersagungen gestattet.

Zu demselben wirtschaftlichen Zustand können verschiedene individual-psychologische Zustände als Mikrozustände gehören. Die materialistische Geschichtsauffassung behauptet nun, daß die Kenntnis dieser einzelnen individuellen Nervenzustände für die Kenntnis der Zukunft nicht notwendig ist. Aus dem vorher Gesagten sieht man, daß eine solche Theorie nur den Sinn haben kann, daß im Allgemeinen und im Großen die individuellen Stimmungen nicht für die zukünftige Wirtschaftsentwicklung von Einfluß sind. Aber auch bei einem Gase kann es vorkommen, daß etwa aus einer gleichmäßigen Dichteverteilung sich entgegen den üblichen makroskopischen Gesetzen von selbst Dichteunterschiede bilden, weil unter der makroskopisch beobachtbaren gleichmäßigen Dichteverteilung ein Mikrozustand versteckt war, wie er nur selten vorkommt, bei dem etwa die einzelnen Moleküle gerade solche Geschwindigkeiten hatten, daß sie sich in einem einzelnen Volumteil anzuheften streben. Ebenso kann auch die materialistische Geschichtsauffassung niemals in dem Sinne gelten, daß man ohne Kenntnis der individuellen Nervenzustände die Zukunft mit Sicherheit vorhersagen kann. Es kann immer von Zeit zu Zeit der Fall eintreten, daß (ähnlich wie bei dem betrachteten Gase) ein Wirtschaftszustand von ungewöhnlichen individuellen Stimmungen begleitet ist, so daß auf ihn ganz andere Wirtschaftszustände folgen als den üblichen Gesetzen über die Aufeinanderfolge von Wirtschaftszuständen entspricht.

3. Die Rolle von Kausalität und Zufall in der materialistischen Geschichtsauffassung.

Bei der Geschichtsbetrachtung spielt seit jeher die Frage eine große Rolle, ob die maßgebenden Faktoren der historischen Entwicklung die „großen Männer“ oder die allgemeinen sozialen Zustände sind. Im ersten Falle müßte man dem Zufall eine große Rolle in der Geschichte zuschreiben, da ja die Geburt eines großen Mannes nur als Zufall aufgefaßt werden kann. Für die materialistische Geschichtsauffassung, deren Grundbehauptung man, wenn sie etwas über wirklich beobachtbare Vorgänge aussagen soll, nur so aussprechen kann, daß die Gesetzmäßigkeiten der historischen Entwicklung sich nur mit den ökonomischen Zuständen als Zustandsgrößen darstellen lassen, bietet die Rolle der großen Männer immer eine gewisse Schwierigkeit. Wenn wir zusehen, wie sich die Anhänger der materialistischen Geschichtsauffassung, insbesondere die wissenschaftlich denkenden unter ihnen, mit dieser Frage auseinandergesetzt haben, so werden wir sehen, daß hier ganz ähnliche Gedanken aufgetaucht sind, wie sie in der Physik ausgesprochen werden, wenn zwischen den großen makroskopischen Gesetzen, etwa dem des Temperatenausgleiches, und den relativ zufälligen Bewegungen des einzelnen Gasteilchens unterschieden wird.

So sagt z. B. schon Fr. Engels:

„Jetzt kommen wir zu der Frage über die sogenannten großen Männer. Der Umstand, daß dieser bestimmte große Mann in einem gegebenen Lande zu einer bestimmten Zeit auftritt, ist natürlich rein zufällig. Wenn wir diesen Mann austreichen, so erhebt sich die Frage, wodurch er ersetzt werden kann. Und ein solcher Ersatzmann findet sich, schlecht oder recht; aber im Laufe der Zeit findet er sich. Daß Napoleon gerade dieser Korse war, daß er gerade der Militärdiktator war, den die französische Republik, aus Kriegen hervorgegangen, brauchte, das war eine Zufälligkeit. Aber wenn Napoleon nicht gewesen wäre, so hätte seine Rolle ein anderer ausgefüllt. Das ist zweifellos, weil immer, wenn man einen solchen Mann brauchte, er sich gefunden hat: Cäsar, Augustus, Cromwell usw. . . .“

Genau so steht die Sache mit allen Zufälligkeiten oder mit allem scheinbar Zufälligen in der Geschichte. Je weiter das Gebiet, mit dem wir uns beschäftigen, von dem ökonomischen entfernt ist, je mehr es sich dem rein abstrakt Ideologischen nähert, desto mehr werden wir finden, daß seine Entwicklung von Zufälligkeiten bedingt ist, desto mehr zickzackartig wird die Kurve dieser Entwicklung erscheinen. Wenn wir die mittlere Achse der Kurve zeichnen, so werden wir finden: je länger die betrachtete Periode, je größer das untersuchte Gebiet ist, desto mehr nähert sich diese Achse der Achse der ökonomischen Entwicklung, desto mehr läuft sie ihr parallel.“

Vielleicht noch deutlicher wird dieser Gedanke von dem bedeutendsten russischen Vertreter der materialistischen Geschichtsauffassung G. Plechanow in seinem Aufsatz „Zur Frage über die Rolle der Persönlichkeiten in der Geschichte“ ausgesprochen. Es heißt dort:

„Die Möglichkeit der Beeinflussung der sozialen Vorgänge öffnet die Tür dem Einfluß von sogenannten Zufällen auf die historischen Geschehnisse der Völker. Die Genußsucht Ludwigs XV. war kausal bedingt durch den Zustand seines Organismus. Aber in bezug auf den allgemeinen Gang der Entwicklung Frankreichs war dieser Zustand etwas Zufälliges . . . Der Tod Mirabeaus war natürlich kausal bedingt durch vollkommen nach Gesetzen verlaufende pathologische Prozesse. Aber die Notwendigkeit dieser Prozesse ergab sich durchaus nicht aus dem allgemeinen Gang der Entwicklung Frankreichs, sondern aus einigen speziellen Besonderheiten des Organismus des berühmten Redners und aus den physischen Bedingungen, unter denen dieser erkrankte. In bezug auf den allgemeinen Gang der Entwicklung Frankreichs erscheinen aber diese Besonderheiten und diese Bedingungen als zufällige. Im übrigen war dann der Tod Mirabeaus von Einfluß auf den weiteren Gang der Revolution und bildete von da an eine der Ursachen, die diesen Gang bestimmten.“

Man sieht hier sehr deutlich, daß die eigentliche Aussage der materialistischen Geschichtsauffassung darin besteht, daß sich historische Gesetzmäßigkeiten um so eher aufstellen lassen, je mehr man makroskopische Zustandsgrößen wie ökonomische und soziale Zustände verwendet, während für die mikroskopischen Zustandsgrößen, d. h. hier die individuellen Eigenschaften von Persönlichkeiten, nur die Gesetze der individuellen Physiologie oder Psychologie gelten. Die persönlichen Schicksalsspiele aber vom Standpunkt der sozialen und historischen Gesetzmäßigkeiten aus dann nur die Rolle relativ zufälliger Vorgänge (siehe Kapitel VI, Abschn. 1).

Wenn man in den landläufigen Polemiken über den historischen Materialismus oft darüber streitet, ob die Persönlichkeit durch die sozialen Zustände bedingt ist oder umgekehrt, so sind das Fragen, die man im Sinne von Kapitel I, Abschn. 6 nicht als wissenschaftlich sinnvolle bezeichnen kann, sondern nur als metaphysische, die bloß in der Welt, wie sie sich der primitive Animismus vorstellt, einen Sinn haben. Wissenschaftlich kann vielmehr die Frage nur so formuliert werden, in welchen Zustandsgrößen sich Gesetze am besten aufstellen lassen, die über die beobachteten sozialen Vorgänge etwas Richtiges aussagen. Daß die Aussage

des historischen Materialismus nur dann eine wissenschaftlich sinnvolle ist, wenn sie eine Behauptung über diese Zustandsgrößen ist, also z. B. die ökonomischen Zustände als die geeignetsten hinstellt, hat O. Neurath sehr scharf hervorgehoben. Die materialistische Geschichtsauffassung sieht keineswegs Gesinnungen und Ideale eines Volkes als bedeutungslos an, sondern glaubt nur nicht, daß sich mit Hilfe derartiger Zustandsgrößen auch nur halbwegs zutreffende Gesetzmäßigkeiten formulieren lassen.

4. Die Zustandsänderungen in einem Gase als Beispiel.

Um den in Abschnitt 1 und 2 nur kurz skizzierten Charakter der makroskopischen Gesetzmäßigkeit genauer einzusehen, gehen wir etwa von einem der bekanntesten makroskopischen physikalischen Gesetze aus, das besagt: Wenn in einem sich selbst überlassenen Gase zu einer Zeit t_0 zwischen den einzelnen Teilen Temperatur- und Dichteunterschiede vorhanden sind, so werden zu einer Zeit t_1 diese Unterschiede um so geringer sein, je größer die zwischen t_0 und t_1 verflossene Zeitstrecke ist. Wir wissen nun, daß dieses Gesetz nicht streng gilt, sondern daß vorübergehend immer wieder Abweichungen davon auftreten, die man als „spontane Schwankungen“ der Dichte und Temperatur bezeichnet.

Man pflegt mit solchen Ereignissen gewöhnlich nicht zu rechnen, sondern vielmehr das makroskopische Gesetz der Dichteausgleichung anzuwenden, obwohl es nicht immer zutreffen wird. Die Begründung dieser Anwendbarkeit besteht darin, daß unter den makroskopisch gleichen Zuständen (bei denen z. B. im ganzen Gase konstante Dichte und Temperatur herrscht), nur sehr wenige sein werden, unter denen solche Mikrozustände versteckt sind, die eine Abweichung vom makroskopischen Gesetze des Dichteausgleichs mit sich ziehen, bei denen z. B. die Teilchen solche Geschwindigkeiten haben, daß eine Anhäufung an einer bestimmten Stelle stattfindet. Anders ausgedrückt: Wenn ein bestimmter Makrozustand (z. B. konstante Dichte und Temperatur) vorliegt, geschieht meistens, was nach dem makroskopischen Gesetze geschehen soll, und nur selten treten solche Ereignisse ein, die dem Makrogesetz widersprechen, wie die spontane Anhäufung der Teilchen an einer Stelle.

Wie kann man aber aus dem Makrozustand entscheiden, welches die ihm entsprechenden Mikrozustände sind und

welche Geschwindigkeitsverteilung der einzelnen Teilchen mit ihm (z. B. mit einer konstanten Dichte und Temperatur) mehr oder weniger häufig verbunden ist? Gibt es ein Kriterium, aus dem man im vorhinein erkennen kann, ob es unter diesen Umständen häufiger vorkommt, daß die einzelnen Teilchen verschiedene Geschwindigkeitsrichtungen haben als einheitliche?

Man pflegt oft zu sagen: Die verschiedenen Mikrozustände, die hinter dem Makrozustand versteckt sind, haben verschiedene Wahrscheinlichkeiten, und diese Wahrscheinlichkeiten, von denen die Häufigkeit des Vorkommens abhängt, lassen sich im vorhinein feststellen. Als Beispiel einer solchen Feststellung wollen wir den einfachen Fall betrachten, daß wir drei Teilchen vor uns haben, von denen jedes nur zwei Geschwindigkeitsrichtungen annehmen kann, entweder nach rechts oder nach links. Wir wollen nun angeben, wie man festzustellen pflegt, daß der Fall, wo alle Teilchen sich nach rechts oder alle nach links bewegen, weniger wahrscheinlich ist als der Fall, bei dem sich einige nach rechts und einige nach links bewegen.

Bezeichnen wir die Teilchen mit 1, 2, 3, die Richtungen nach rechts und links mit R und L , so soll z. B. das Symbol 1 R , 2 L bedeuten, daß sich das erste Teilchen nach rechts und das zweite nach links bewegt. Dann sind offenbar im ganzen die folgenden acht Möglichkeiten vorhanden:

- | | | |
|----|--------------------------|--------------------------|
| I. | 1. 1 L , 2 L , 3 L | 5. 1 R , 2 L , 3 L |
| | 2. 1 L , 2 L , 3 R | 6. 1 R , 2 L , 3 R |
| | 3. 1 L , 2 R , 3 L | 7. 1 R , 2 R , 3 L |
| | 4. 1 L , 2 R , 3 R | 8. 1 R , 2 R , 3 R |

Unter diesen acht möglichen Fällen sind nur zwei, nämlich der erste und der letzte, wo alle Teilchen nach derselben Seite gehen, während in allen anderen sechs Fällen ein Teil der Teilchen nach rechts und der andere nach links geht. Diesen Fall, daß die Teilchen gemischte Geschwindigkeitsrichtungen haben, nennt man daher dreimal so wahrscheinlich als den Fall einheitlicher Geschwindigkeitsrichtung. Je mehr Teilchen wir betrachten, desto ungünstiger wird dieses Verhältnis für eine einheitliche Geschwindigkeitsrichtung. In einem Gase mit sehr vielen Teilchen ist es also höchst unwahrscheinlich, daß alle Teilchen dieselbe Geschwindigkeitsrichtung haben. In diesem Sinne pflegt man zu sagen, daß hinter dem Makrozustand konstanter Dichte und

Temperatur nur höchst selten ein Mikrozustand versteckt ist, bei dem alle Teilchen gleiche Geschwindigkeitsrichtung haben und daher im Begriffe sind, sich in einem bestimmten Volumteil anzusammeln und dadurch spontane Dichteunterschiede zu erzeugen.

Diese ganze Betrachtung hat aber nur dann einen Sinn, wenn man voraussetzt, daß alle acht in unserer Tabelle zusammengestellten Fälle gleich wahrscheinlich sind; denn nur dann kann man schließen, daß die Wahrscheinlichkeiten der einheitlichen und der gemischten Geschwindigkeitsverteilung sich wie 2:6 oder 1:3 verhalten. Diese Annahme hat aber im vorhinein nichts Zwingendes. Wir könnten ja auch ganz anders schließen. So brauchen wir z. B. die drei Teilchen nicht im vorhinein voneinander zu unterscheiden und könnten sagen: es gibt nur vier mögliche Fälle:

- II. 1. Alle drei Teilchen nach links 3. Eines nach links, zwei nach rechts
 2. Zwei nach links, eines nach rechts 4. Alle drei nach rechts.
 rechts

Von diesen vier Fällen sind zwei solche mit gemischter Geschwindigkeitsrichtung, nämlich 2. und 3. Die Wahrscheinlichkeiten für einheitliche und gemischte Geschwindigkeit sind daher gleich groß, sie verhalten sich wie 2:2.

Man kann also ebenso gut beweisen, daß einheitliche Geschwindigkeitsrichtungen viel weniger wahrscheinlich sind als gemischte, wie man beweisen kann, daß beide gleich wahrscheinlich sind, wenn man nämlich, wie es oft geschieht, unter „wahrscheinlich“ das Resultat einer derartigen Abzählung verstehen will. Das Ergebnis hängt aber davon ab, welche Fälle ich von vorne herein als gleich wahrscheinlich definiere.

Eine Aussage, die auf einer derartigen Definition der Wahrscheinlichkeit durch Abzählung beruht, kann niemals etwas über das mehr oder weniger häufige Vorkommen eines Zustandes bei einem wirklichen Gase aussagen. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung ist in diesem Sinne ein Teil der reinen Mathematik, und alle ihre Aussagen sind nur Umformungen ihrer Definitionen, also rein tautologische Sätze.

5. Die verschiedene Wahrscheinlichkeit der einzelnen Zustände.

Wenn irgend etwas über die Wirklichkeit ausgesagt werden soll, darf das Wort „wahrscheinlich“ nicht in dem in Abschnitt 4 verwendeten Sinn gemeint sein, wo einfach definiert wurde, was

gleich wahrscheinliche Fälle sind, bei der ersten Betrachtung die Fälle 1—8 bei der zweiten die Fälle 1—4. Wenn wir sagen, daß bei einem bestimmten Makrozustand gemischte Geschwindigkeitsrichtungen wahrscheinlicher sind als einheitliche, so müssen wir damit etwas über die wirkliche Welt, ein konkret vorliegendes Gas, aussagen; denn sonst könnte ja daraus kein physikalischer Satz folgen, der an der Erfahrung nachgeprüft werden kann wie der, daß bei konstanter Dichte und Temperatur in den meisten Fällen diese Konstanz erhalten bleibt und nur sehr selten sich von selbst Dichteunterschiede ausbilden.

Wenn man behauptet, daß diejenigen Mikrozustände am wahrscheinlichsten sind, bei deren Vorhandensein die makroskopischen Gesetze genau gelten (wie z. B. die Erhaltung einer konstanten Dichte), so kann das Wort „wahrscheinlich“ nur in einem Sinne gemeint sein, in dem die gemischte Geschwindigkeitsverteilung wahrscheinlicher ist als die einheitliche. Weil nämlich aus der Erfahrung bekannt ist, daß eine konstante Dichte fast immer erhalten bleibt, folgt, daß bei Herstellung eines Gases von konstanter Dichte solche Versuchsbedingungen vorliegen, nach denen gemischte Geschwindigkeitsrichtungen viel häufiger eintreten als einheitliche.

Im Sinne von Kapitel VI, Abschnitt 3 liegen dann solche Anfangsbedingungen des Versuches vor, daß aus ihnen nicht die Geschwindigkeit jedes Einzelteilchens vorhergesagt werden kann, wohl aber die relative Häufigkeit, mit der gemischte und einheitliche Geschwindigkeitsverteilungen auftreten. Damit ist für jeden Fall ein physikalischer Wahrscheinlichkeitsbegriff gegeben, nämlich die Häufigkeit, mit welcher die betreffende Verteilung bei gegebenen Versuchsbedingungen auftritt. Hier ist also die Wahrscheinlichkeit eines Zustandes immer nur in bezug auf bestimmte Versuchsbedingungen definiert.

Man kann natürlich versuchen, auch ein rechnerisches, abzählendes Verfahren anzugeben, nach dem diese empirischen Wahrscheinlichkeitszahlen berechnet werden können. Und dann sieht man in der Tat, daß nach unserer ersten auf Abzählung beruhenden Wahrscheinlichkeitsdefinition wirklich die empirischen Wahrscheinlichkeitszahlen herauskommen, nämlich für die Zustände mit einheitlich gerichteten Geschwindigkeiten sehr kleine Wahrscheinlichkeitszahlen. Man pflegt die Berechnung der Wahr-

scheinlichkeit auf Grund der Definition I, d. i. aus den acht gleich wahrscheinlichen Fällen in Abschnitt 4 als die Boltzmannsche Statistik zu bezeichnen.

Damit ist aber nicht gesagt, daß bei anderen Versuchsbedingungen die Berechnungsmethode II mit den vier gleich wahrscheinlichen Fällen nicht die empirische Wahrscheinlichkeit der einzelnen Zustände ergibt. Es scheint sogar in neuerer Zeit, daß diese Definition II die empirische Wahrscheinlichkeit dann wiedergibt, wenn man sie nicht auf Versuche mit Gasmolekülen, sondern mit Lichtquanten anwendet. Die Gesetze für das makroskopische Verhalten eines Lichtquantengases, d. i. der schwarzen Strahlung in einem Hohlraum, haben Bose und Einstein auf Grund der Berechnungsmethode II mit Erfolg abgeleitet. Man nennt daher die auf II gegründete Berechnungsmethode der Wahrscheinlichkeit gewöhnlich die Bose-Einsteinsche Statistik. Bei sehr tiefen Temperaturen lassen sich auch die Häufigkeiten der Zustände eines Gases nicht mehr nach der Boltzmannschen Statistik berechnen.

Man sieht: makroskopische Gesetze, die von beobachtbaren Größen handeln, sind nur dann streng richtig, wenn man sie als Gesetze auffaßt, die denjenigen zeitlichen Verlauf dieser Größen schildern, der am häufigsten eintritt, wenn wir gewisse Anfangsbedingungen schaffen; z. B. wird durch das Gesetz von dem allmählichen Ausgleich der Dichte und Temperatur nichts Bestimmtes über die wirkliche Dichte und Temperatur ausgesagt, sondern nur beschrieben, was meist zu beobachten ist, wenn wir durch ganz bestimmte Verfahren Unterschiede der Dichte erzeugen. Wenn Ausnahmen von diesen Gesetzen sehr selten sind, muß eine Wahrscheinlichkeitsdefinition für die Mikrozustände möglich sein, nach der die Zustände, bei deren Auftreten die makroskopischen Gesetze ungültig werden, nur sehr selten vorkommen, also sehr unwahrscheinlich sind.

Wenn das nicht der Fall ist, d. h. wenn die Häufigkeit dieser Zustände genau so groß ist wie die der Zustände, bei denen die makroskopischen Gesetze gelten, so haben diese empirisch keinen Sinn mehr. Man kann dann sagen: Es gibt keine makroskopischen Gesetze. Wenn z. B. bei makroskopisch konstanter Dichte und Temperatur die Mikrozustände mit einheitlicher Geschwindigkeitsrichtung genau so häufig wären wie die mit gemischter

Geschwindigkeit, so gäbe es kein makroskopisches Gesetz von der Erhaltung konstanter Dichte und Temperatur.

6. Die Wahrscheinlichkeit verschiedener Dichteverteilungen in einem Gase.

Wir haben in Kapitel II, Abschnitt 6 (Anmerkung), Kapitel III, Abschnitt 4, 5 und 7 bereits gesehen, daß die Newtonschen Gleichungen der Mechanik nicht dazu verwendet werden können, um aus dem beobachtbaren Zustand eines Gases in einem Zeitpunkt auf den in der Zukunft eintretenden zu schließen. Es müssen vielmehr statistische Gesetze aufgestellt werden. Man macht gewöhnlich die Hypothese, daß ein Gas, wenn es sich selbst überlassen ist, alle Mikrozustände durchläuft, die als gleich wahrscheinlich angenommen werden, und in jedem derselben gleich lange Zeit verweilt, wenn wir es genügend lang beobachten. Diese Hypothese, die ungefähr mit der sogenannten Ergodenhypothese übereinstimmt, sagt offenbar etwas ganz Verschiedenes aus, je nachdem, welche Mikrozustände man als gleich wahrscheinlich ansieht, ob man z. B. die Annahme I oder II des Abschnittes 4 macht. Aus unserer Annahme folgt dann sofort, daß die von einem Gas in jedem beobachtbaren Makrozustand zugebrachte Zeit von der Anzahl der hinter ihm versteckten Mikrozustände abhängt, also von der „Wahrscheinlichkeit“ des Makrozustandes im Sinne von Abschnitt 4 und 5. Durch Beobachtung der Häufigkeit der einzelnen Makrozustände eines sich selbst überlassenen Gases kann man dann auch entscheiden, ob die zugrunde gelegte Annahme über die gleich wahrscheinlichen Mikrozustände richtig war, ob man z. B. die Zukunft des Gases besser mit Hilfe der Boltzmannschen oder der Bose-Einsteinschen Statistik vorhersagen kann.

Man findet bei sehr langer Beobachtung eines sich selbst überlassenen Gases, daß gewisse Makrozustände, die Gleichgewichtszustände, sehr lange anhalten und alle anderen nur sehr selten vorkommen. Man kann dann für jeden makroskopischen Zustand des Gases, wenn man es lange beobachtet, den Bruchteil der Zeit angeben, den das Gas in diesem Zustand verbringt. Diesen Bruchteil nennt man die relative Häufigkeit oder die Wahrscheinlichkeit dieses Zustandes. Man kann also für die verschiedenen Makrozustände, die in einem sich selbst überlassenen

Gase mit der Zeit auftreten, den Begriff der Wahrscheinlichkeit zunächst rein empirisch definieren. Nach der aufgestellten statistischen Grundhypothese sind diese Wahrscheinlichkeiten, wie in Abschnitt 4 und 5, der Anzahl der hinter jedem Makrozustand versteckten Mikrozustände proportional. Wenn wir verschiedene Dichteverteilungen in einem Gase mit konstanter Temperatur vergleichen, hat offenbar der Zustand räumlich konstanter Dichte die größte Wahrscheinlichkeit. Wir wollen die Berechnungsmethode nicht im einzelnen verfolgen, sondern nur ihr Resultat angeben und erläutern.

Wenn wir die mittlere Dichte des Gases ϱ_0 einführen, d. h. die Dichte, die herrschen würde, wenn das Gas gleichmäßig über sein Volumen verteilt wäre, und wir mit ϱ die Dichte in einem bestimmten kleinen Volumelement v des Gases bezeichnen, so können wir die mittlere Abweichung von der konstanten Dichteverteilung im ganzen Gase durch die Größe U messen,

$$U = \sum_k (\varrho_k - \varrho_0)^2 v_k = (\varrho_1 - \varrho_0)^2 v_1 + (\varrho_2 - \varrho_0)^2 v_2 + \dots$$

die wir als die Ungleichmäßigkeit der Dichteverteilung bezeichnen wollen. Es ist klar, daß ein makroskopischer Zustand des Gases um so seltener vorkommen muß, je größer die für ihn berechnete Ungleichmäßigkeit U ist. Es läßt sich in der Tat jedem Zustand mit der Ungleichmäßigkeit U als Wahrscheinlichkeitszahl eine Größe $e^{-\alpha U}$ zuordnen, in der α eine von der Temperatur abhängige Konstante ist, und die in der Tat mit wachsendem U immer kleiner wird. Die aus dieser Formel berechneten Wahrscheinlichkeitszahlen stimmen mit den aus der Beobachtung gewonnenen relativen Häufigkeiten des makroskopischen Zustandes von der ungleichmäßigen Dichteverteilung U überein.

7. Die „Nichtumkehrbarkeit“ der Naturvorgänge.

Wenn wir zwei Zustände Z_0 und Z_1 des Gases betrachten, von denen Z_0 der Gleichgewichtslage sehr nahe liegt und Z_1 sehr weit davon entfernt ist, so wird Z_0 viel öfter auftreten als Z_1 , weil die Größe U für Z_0 , die wir in diesem Falle U_0 nennen wollen, viel kleiner ist als die Ungleichmäßigkeit U_1 für Z_1 . Wenn wir daher das Gas in einem Zustand mit großen Dichtedifferenzen, d. h. großem U betrachten und sein künftiges Schicksal ins Auge fassen, so werden wir finden, daß sich bald ein Zustand mit

kleinerem U , der in der Nähe von Z_0 liegt, einstellen wird, aber fast nie ein Zustand mit noch größerem U .

Das ist die wirkliche Tatsache, auf der das beruht, was man oft die „Nichtumkehrbarkeit“ oder „Irreversibilität“ der Naturvorgänge nennt. Aus Z_1 entsteht fast immer ein Zustand mit kleinerem U (etwa Z_0), aber fast nie einer mit größerem U . Dadurch ist in den Zuständen eine gewisse Ordnung je nach der Größe des U , das ihnen zukommt, festgelegt. An Stelle der Größe U wird sehr häufig die durch Umkehrung des Vorzeichens aus ihr entstehende Größe $-U$ verwendet, die man die Entropie nennt, und die wir mit S bezeichnen wollen. Dann kann man die Aussage machen: Aus irgendeinem Zustande Z_1 , der vom Gleichgewichtszustand Z_0 weit entfernt ist, entsteht fast immer ein Zustand mit größerer Entropie S (kleinerem U).

Diese Behauptung drückt man in der in den physikalischen Lehrbüchern noch häufig üblichen anthropomorphen Sprechweise so aus: Die Entropie eines Systems hat die Tendenz, immer zuzunehmen und strebt einem Maximum zu. Wenn man die Tatsache, die damit gemeint ist, gut verstehen will, wird man zunächst die nichtssagenden und irreführenden Worte, wie „Tendenz“ und „Streben“, entfernen und gelangt dann auf die oben gewählte Formulierung.

Zum näheren Verständnis derselben ist folgendes zu beachten: Es ist nicht richtig zu sagen, daß von den Zustandsfolgen Z_1 , Z_0 und Z_0 , Z_1 die erste häufiger vorkommt als die zweite. Wenn Z_1 ein Zustand mit sehr großem U ist, so kommt er an sich sehr selten vor. Man muß vielmehr sagen: Wenn man von einem seltenen Zustand Z_1 ausgeht, so folgt darauf fast immer ein Zustand in der Nähe des Gleichgewichtszustandes Z_0 . Diese Nichtumkehrbarkeit gilt daher nur, wenn man von einem an sich sehr seltenen Zustand ausgeht. Wenn man ein sich selbst überlassenes Gas betrachtet, so wird es den Zustand Z_0 fast nie verlassen, und man hat nicht viel Gelegenheit, den Satz von der Nichtumkehrbarkeit anzuwenden.

Von praktischem Interesse aber ist für uns hauptsächlich der Fall, wo ein Gas durch einen äußeren Eingriff in einen seltenen Zustand mit großen Dichteunterschieden versetzt und dann sich selbst überlassen wird. In diesem Falle gilt der Satz, daß fast immer ein Zustand Z_1 größerer Entropie darauf folgt, oder an-

ders ausgedrückt, daß sich das Gas nach den makroskopischen Gesetzen der Diffusion verhält.

Es wäre aber vollständig falsch, zu behaupten, daß infolge der Nichtumkehrbarkeit zwischen der Vorhersage der Zukunft aus dem gegenwärtigen Zustand und einem Schließen auf die Vergangenheit ein wesentlicher Unterschied besteht. Man sagt oft: Wenn ein Zustand mit großen Dichteunterschieden vorhanden ist, kann man vorhersagen, daß er bald in einen Zustand mit kleinen Dichteunterschieden übergehen wird. Wenn hingegen ein Zustand konstanter Dichte herrscht, so weiß man nicht, ob das immer so gewesen ist, oder ob er einmal aus einem Zustand mit Dichteunterschieden entstanden ist. Diese Auffassung ist aber eine ganz oberflächliche; sie würde nur zutreffen, wenn die makroskopische Gesetzmäßigkeit streng gültig wäre und beruht dann auf einer mathematischen Eigenschaft der Diffusionsgleichung.

8. Zustandswahrscheinlichkeit und Entropie.

Wenn man ein Gas betrachtet, das durch so lange Zeit sich selbst überlassen ist, daß es Zeit hat, auch die seltensten Zustände öfter zu verwirklichen, kann man aus einer gleichmäßigen Dichte im gegenwärtigen Zeitpunkt genau so für die Vergangenheit wie für die Zukunft angeben, mit welcher Häufigkeit jeder Zustand angenommen wird; nämlich jeder Zustand, dem die Ungleichmäßigkeit U bzw. die Entropie $S = -U$ zukommt, tritt mit der Häufigkeit

$$e^{-\alpha U} = e^{\alpha S}$$

auf. Wenn ein Zustand mit großem U vorhanden ist, kann ich nichts anderes sagen, als daß er mit großer Wahrscheinlichkeit in einen Zustand mit kleinem U , einen ausgeglichenen Zustand übergehen wird; aber ebenso sicher kann ich sagen, daß er fast immer erst vor kurzem aus einem Zustand mit kleinem U entstanden ist, weil ja Zustände mit großen Ungleichmäßigkeiten nur sehr selten auftreten und dann fast immer eine sehr kurze Dauer haben. Man kann allerdings nie mit Sicherheit sagen, innerhalb welcher Zeit dieser Übergang stattfindet, sondern immer nur mit welcher Häufigkeit jeder einzelne Zustand eintritt. Das alles gilt aber genau so für die Vergangenheit wie für die Zukunft.

Die Meinung, daß die Prophezeiung der Zukunft nach dem Satze von der Nichtumkehrbarkeit leichter sei als der Schluß auf

die Vergangenheit, entstand daraus, daß man in beiden Fällen ganz verschiedenartige Aufgaben miteinander verglich. Für die Vorhersage der Zukunft betrachtete man den Fall, daß die Dichteverteilung in einem mechanischen System durch äußere Eingriffe erzeugt ist. Dann kann ich nach dem früher Gesagten annehmen, daß mit sehr großer Wahrscheinlichkeit ein Zustand mit größerer Entropie, d. h. mit kleinerem U darauf folgen wird. Wenn ich aber auf die Vergangenheit schließen will, so kann ich ja niemals wissen, ob in der Vergangenheit äußere Eingriffe stattgefunden haben, sondern ich muß den Fall betrachten, daß das ins Auge gefaßte System immer sich selbst überlassen war, bis es den im gegenwärtigen Zeitpunkt beobachteten ausgeglichenen Zustand erreicht hat. Daraus kann ich natürlich nur schließen, daß in der Vergangenheit irgendwann Zustände mit größerem U mit bestimmter Häufigkeit vorhanden waren; ich kann aber nie angeben, was mit überwiegender Wahrscheinlichkeit oder fast sicher im unmittelbar vorhergehenden oder irgendeinem anderen bestimmten Zeitpunkt geschehen ist. Dieser ganze Unterschied rührt also nicht von dem Unterschiede zwischen Vergangenheit und Zukunft, sondern nur von dem Unterschiede zwischen der Betrachtung eines sich selbst überlassenen Gases und der eines durch einen äußeren Eingriff erzeugten sehr großen U , aus dem dann für den nächsten Zeitpunkt ein kleines U mit überwiegender Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden kann.

Man kann also auch nur unter der Annahme einer strengen Gültigkeit der makroskopischen Gesetze davon sprechen, daß durch sie, wie z. B. das Gesetz vom Ausgleich der Dichte und Temperatur, die Zeitrichtung in die Zukunft von der in die Vergangenheit sich unterscheiden läßt. Wenn man die Schwankungsercheinungen berücksichtigt, besteht keine Auszeichnung eines bestimmten Zeitsinnes.

Die Definition der Wahrscheinlichkeit des Zustandes hat also für ein mechanisches System nur dann einen Sinn, wenn dieses so lange Zeit sich selbst überlassen bleibt, daß alle seine Zustände mit der Zeit wiederkehren, so daß das Verhältnis der Zeit, die das System in dem betrachteten Zustand zubringt, zu der ganzen verfloßenen Zeit einem Grenzwert zustrebt, den man als Wahrscheinlichkeit dieses Zustandes bezeichnet. Treffen diese Voraus-

setzungen für ein System nicht zu, so hat es auch keinen Sinn, von der Wahrscheinlichkeit eines Zustandes zu sprechen.

So haben Sätze, in denen von der Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Zustandes der Welt die Rede ist, nur dann einen Sinn, wenn man die Welt als ein mechanisches System auffaßt, das immer wieder dieselben Zustände mit einer bestimmten Häufigkeit durchläuft. Nur unter dieser Annahme hat auch der Begriff der Entropie eines Zustandes, wie er aus dessen Wahrscheinlichkeit abgeleitet wird, einen konkreten Sinn. Durch Auflösung der Formel für die Wahrscheinlichkeit w eines Weltzustandes mit der Entropie S , also $w = e^{\alpha S}$, erhält, man die bekannte Boltzmannsche Formel

$$S = \frac{1}{\alpha} \log_{\text{nat}} w,$$

Die Entropie eines Systems wird dann Schwankungen unterliegen, die durch die Häufigkeit bedingt sind, mit der es die einzelnen Zustände annimmt. Der Satz „Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu“ würde dann nicht zutreffen, weil dieses Maximum dem Gleichgewichtszustand entspräche, der ja immer wieder verlassen wird, so daß wohl selten, aber doch mit einer ganz bestimmten Häufigkeit immer wieder auch Zustände größerer Ungleichmäßigkeit, also kleinerer Entropie, auftreten.

Wollte man aber die Welt nicht als ein System auffassen, das alle Zustände immer wieder mit einer gewissen Häufigkeit durchläuft, so würde der Begriff der Zustandswahrscheinlichkeit überhaupt und mit ihm die Beziehung zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit ihren Sinn verlieren. Auch der Satz, daß die Welt dem wahrscheinlichsten Zustand zustrebt, würde damit sinnlos werden.

9. Die „Unwahrscheinlichkeit“ regelmäßiger Figuren.

Der Begriff von der Wahrscheinlichkeit eines Zustandes hat durch die unklare Fassung, in welcher er oft auftritt, Anlaß zu merkwürdigen Spekulationen gegeben. Wenn wir in einer Wüste auf dem Boden eine Anhäufung von Sand antreffen, welche die Form eines regelmäßigen Fünfeckes hat, so wird man schwer glauben, daß diese Anhäufung durch das Spiel des Windes mit dem Sande und die gegenseitigen Stöße der Sandteilchen entstanden ist. Man sagt, es sei nicht „wahrscheinlich“, daß eine

solche Anhäufung durch „Zufall“ entstanden ist, sondern man müsse annehmen, daß hier das Ergebnis einer Tätigkeit von Menschen vorliegt oder eine bestimmte Gesetzmäßigkeit in der Natur.

Man sieht ja ohne jede Rechnung sofort ein, daß nur ein sehr kleiner Bruchteil aller möglichen Verteilungen jene regelmäßige Gestalt ergeben. Und nur diese Behauptung wollen wir ausdrücken, wenn wir sagen, daß ein Zustandekommen eines Fünfeckes durch Zufall „unwahrscheinlich“ ist.

Dieses Ergebnis erhalte ich aber nur dadurch, daß ich zwischen den einzelnen unregelmäßigen Figuren keinen Unterschied mache. Ich sage „eine unregelmäßige Figur“ und meine damit eine „Figur von beliebiger Gestalt“. Nun gibt es natürlich unvergleichlich viel mehr Arten der Verteilung von Sandkörnern, die eine unregelmäßige als eine regelmäßige Figur bilden, weil es viel mehr unregelmäßige als regelmäßige Figuren gibt. In diesem Sinne kann ich sagen: Eine unregelmäßige Figur ist weit wahrscheinlicher als eine regelmäßige; aber jede einzelne bestimmte unregelmäßige Figur ist ebenso unwahrscheinlich wie eine bestimmte regelmäßige.

Die ganze Unwahrscheinlichkeit der regelmäßigen Figur liegt darin, daß wir ihr unser Interesse individuell zuwenden, während uns die Abweichungen der unregelmäßigen Figuren voneinander nicht interessieren. Wenn wir uns aber z. B. für eine bestimmte unregelmäßige Figur interessieren, die etwa an den Gesichtsausdruck eines guten Bekannten sehr stark erinnert, werden wir ihr Zustandekommen durch Zufall sofort als unwahrscheinlich empfinden. Immer dann, wenn wir einem einzelnen Individuum ein besonderes Interesse zuwenden und es nicht mit anderen vermischen wollen, können wir nicht zugeben, daß es durch Zufall entstanden ist.

Derartige Gedankengänge spielen in der hergebrachten „Naturphilosophie“ eine große Rolle. Man sagt etwa: Wie ein regelmäßiges Fünfeck nicht durch das „blinde Spiel“ der Sandteilchen entstanden sein kann, so ist es noch unwahrscheinlicher, daß die komplizierten, zweckmäßig gegliederten Gestalten der lebenden Organismen sich durch das „blinde Spiel der Kräfte“ aus den Atomen der leblosen Materie gebildet haben. Man müsse in diesen höheren Gestalten die Wirksamkeit von Faktoren erkennen, die ähnlich dem Eingreifen menschlicher Wesen und nur mit höherer

Intelligenz ausgestattet, aus den Atomen die Organismen planmäßig gebildet haben wie der Mensch das regelmäßige Fünfeck aus dem Sand der Wüste.

10. Die Entstehung der Organismen durch „Zufall“ soll „unendlich unwahrscheinlich“ sein.

Den Gipfelpunkt erreicht dieses Gefühl des Unwahrscheinlichen, wenn man die Frage behandelt, ob die tierischen oder gar die menschlichen Organismen durch das zufällige Spiel der Atome entstanden sein können. Hier kommt es einem ganz selbstverständlich vor zu sagen, man könne es sich doch nicht vorstellen, daß ein so komplizierter Organismus durch Zufall entstanden sein könne. Denn es müssen doch so unermesslich viele Umstände zusammenkommen, um das Entstehen zu ermöglichen, daß man nicht annehmen könne, alle diese Umstände seien unabhängig voneinander. In Wahrheit ist es aber genau so unwahrscheinlich, daß ein bestimmtes Sandkorn gerade an einer bestimmten Stelle der Wüste liegt und dort eine bestimmte Zeit liegen bleibt. Denn wie viele Umstände mußten zusammenkommen, um das Sandkorn an diese Stelle zu bringen. Die Windverteilung auf der ganzen Erde, die Wasser- und Elektrizitätskonzentrationen in der ganzen Atmosphäre mußten bestimmte Eigenschaften haben, damit an jener bestimmten Stelle gerade diejenige Windgeschwindigkeit und Feuchtigkeit herrschte, durch die ein Ablagern und Liegenbleiben des Sandkornes ermöglicht wurde. Hier spricht aber niemand von Unwahrscheinlichkeit, solange man die einzelnen Sandkörner nicht unterscheidet, weil niemanden das Schicksal der einzelnen Sandkörner interessiert. Daß wir aber hier an den einzelnen Individuen keinen Anteil nehmen, kommt nur von unseren menschlichen Interessen her, hat aber mit den Eigenschaften von Sand und Wind nichts zu tun.

11. Das Zeitalter der Aufklärung und die Frage von der Entstehung der Ilias durch Zufall.

Die Frage, ob das Vorhandensein höherer Gestalten in der Welt etwas für das Vorhandensein eines Weltenplanes beweise, wurde schon von den französischen Enzyklopädisten mit der Frage in Verbindung gebracht, ob man sich die Entstehung eines Werkes der Dichtkunst durch zufälliges Würfeln mit Buchstaben vor-

stellen könne. Wenn man etwa liest, was Diderot in seinen „philosophischen Gedanken“ über diesen Gegenstand geschrieben hat, so wird man kaum finden, daß durch unsere heutige „Ganzheitsphilosophie“, in der die Unsinnigkeit einer solchen Entstehung ein Lieblingsthema bildet, große wissenschaftliche Fortschritte erzielt worden sind.

Es heißt dort:

„Ich öffne die Hefte eines berühmten Professors und lese: ‚Ihr Atheisten, ich gestehe euch zu, daß die Bewegung der Materie wesentlich zukommt, was schließt ihr daraus? . . . daß die Welt ein Ergebnis des zufälligen Spiels der Atome ist? Dann könntet ihr mir ebenso gut sagen, daß die Ilias von Homer oder die Henriade von Voltaire ein Ergebnis des zufälligen Spiels der Buchstaben ist.‘ Ich würde mich sehr hüten, einem Atheisten diese Überlegung vorzubringen: dieser Vergleich würde ihm leichtes Spiel geben. Nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit darf ich nicht erstaunt sein, wenn ein Ereignis eintritt, das möglich ist, und daß die Unwahrscheinlichkeit des Ereignisses durch die große Zahl der Versuche kompensiert wird. Es gibt eine bestimmte Anzahl von Würfeln, bei der ich mit Vorteil darauf wetten könnte, mit hunderttausend Würfeln zugleich hunderttausendmal sechs Augen zu werfen. Welches auch die Anzahl der Buchstaben ist, aus denen ich mir vornehme, die Ilias durch zufällige Würfe herzustellen, so gibt es immer eine endliche Anzahl von Würfeln, welche die Wette für mich vorteilhaft machen werden, daß mir die Herstellung gelingen wird: Mein Vorteil wird sogar unendlich groß werden, wenn die Anzahl der mir erlaubten Würfe unendlich wäre.

Sie werden wohl gerne mir darin recht geben, würde er fortfahren, daß die Materie seit aller Ewigkeit existiert, und daß die Bewegung ihr als wesentliches Merkmal zukommt. Als Dank für diese Freundlichkeit werde ich wieder mit Ihnen voraussetzen, daß die Welt keine Grenzen hat, daß die Anzahl der Atome unendlich ist, und daß die Ordnung in der Welt, über die Sie so erstaunt sind, sich nirgends verleugnet.“

Nun: aus diesen gegenseitigen Zugeständnissen folgt nichts anderes, als daß die Wahrscheinlichkeit einer Entstehung des Universums durch Zufall sehr klein ist, daß aber die Anzahl der Würfe unendlich ist, d. h. daß die Schwierigkeit des Ereignisses mehr als ausreichend durch die Anzahl der Würfe kompensiert wird. Wenn also irgend etwas der Vernunft widerstrebt, so ist es die Annahme, daß man trotz der seit Ewigkeit dauernden Bewegung der Materie und der in der unendlichen Anzahl von Kombinationen vorhandenen wunderbaren Anordnungen nicht in der unendlichen Reihe nacheinander vorkommender Kombinationen auch einmal eine der wunderbaren Anordnungen antreffen würde. Der Verstand muß also viel mehr über die hypothetische

Dauer des Chaos staunen, als über die wirkliche Entstehung des Universums.

Um derartige Betrachtungen, die seit jeher zu den beliebtesten einer oberflächlichen „Naturphilosophie“ gehören, richtig würdigen zu können, müssen wir vor allem die in ihnen steckenden tautologischen Elemente von dem zu trennen suchen, was sie über die wirkliche Welt aussagen. Was bedeutet zunächst die Behauptung, es sei „unwahrscheinlicher“, daß sich durch das Spiel der Sandteilchen, die zufällig durcheinander gewürfelt werden, eine Anhäufung von der Form eines regelmäßigen Fünfecks bildet als irgendeine unregelmäßige Gestalt?

Wenn wir auf das Beispiel des vorigen Abschnittes 9 zurückgehen, wo wir die Wahrscheinlichkeit makroskopischer Dichteverteilungen definiert haben, so müssen wir im Falle unserer Sandhaufen gerade so wie dort von der empirischen Definition der Wahrscheinlichkeit ausgehen. Wenn wir fragen wollen, wie groß die Wahrscheinlichkeit der Bildung eines regelmäßigen Fünfecks durch Sandanhäufung ist, müssen wir folgende Tatsache ins Auge fassen: Durch das Spiel des Windes können sich alle möglichen Formen von Sandhaufen bilden, darunter auch regelmäßige Fünfecke; und zwar muß dieses Spiel so lange dauern, daß jede Form, also auch die des regelmäßigen Fünfecks, sehr oft auftritt. Wenn wir das für möglich halten, so kommt es darauf an, die Zeiten, innerhalb deren das regelmäßige Fünfeck besteht, ohne vom Wind zerstört zu werden, durch die ganze verflossene Zeit zu dividieren. Dann erhalten wir die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung des regelmäßigen Fünfecks durch Zufall. Damit eine solche Wahrscheinlichkeit überhaupt einen Sinn hat, muß die Möglichkeit der Entstehung des Fünfecks schon vorausgesetzt werden, und zwar sogar die oftmalige Entstehung.

Man kann aber ebenso wie bei den Dichteschwankungen auch hier versuchen, die Wahrscheinlichkeitszahl durch ein bestimmtes Rechenverfahren zu erhalten. Man muß dann alle möglichen Verteilungen der Sandkörner aufzählen und aus ihnen die Zahl der Verteilungen herausheben, die einem regelmäßigen Fünfeck entsprechen. Der Quotient dieser beiden Zahlen ist die Wahrscheinlichkeit für die Bildung eines Fünfecks. Diese ist allerdings

sehr klein; damit ist aber nach Abschn. 9 nur gesagt, daß wir die verschiedenen Arten unregelmäßiger Fünfecke absichtlich nicht voneinander unterscheiden wollen.

12. Die „Wahrscheinlichkeit“ einer Entstehung der Organismen durch Zufall ist ganz undefiniert.

Woher ist man überhaupt auf den Gedanken gekommen, die Organismen durch Zufall aus der anorganischen Materie entstehen zu lassen? Offenbar dadurch, daß man keine makroskopischen, physikalischen Gesetze kannte, nach denen sich die Entstehung eines Organismus aus den Atomen verstehen ließ. Die ältere Vorstellung, die der animistischen Periode des menschlichen Denkens nahe lag, war die, daß die Organismen von einer höheren Intelligenz planmäßig erzeugt wurden, wie die Maschinen von Menschen erzeugt werden. An Stelle dieses mehr oder weniger menschenähnlich gedachten Demiurgen, Weltenbaumeisters, trat dann verblaßt der Weltgeist, die Lebenskraft, der élan vital.

Als man erkannte, daß in den Organismen keine anderen materiellen Substanzen enthalten sind als in den leblosen Körpern, sah man das Leben der Organismen als eine Bewegung genau derselben Atome an, die in den unbelebten Körpern eine Rolle spielen, wie z. B. bei den Veränderungen in der Erdkruste.

Das Leben war also in diesem Sinne ein physikalisch-chemischer Vorgang. Man kannte nur keine physikalischen Gesetze, aus denen sich die Entstehung der Organismen vorhersagen ließ. Man kam daher auf den Gedanken, die Entstehung der Organismen nicht auf die makroskopischen, physikalischen Gesetze zurückzuführen, sondern auf die Abweichungen von diesen Gesetzen, die dadurch entstehen, daß jedem Makrozustand viele Mikrozustände entsprechen. Die Organismen entstehen nach dieser Auffassung durch äußerst seltene Mikrozustände bei gewöhnlichen Makrozuständen.

Ob die Wahrscheinlichkeit einer solchen Entstehung groß oder klein ist, könnte man nur beantworten, wenn man diese Entstehung innerhalb eines geschlossenen Systems annähme, in dem sie sich immer wieder, wenn auch nach sehr langen Zwischenräumen, wiederholten. Da aber von einem solchen geschlossenen System keine Rede sein kann, da wir von einem Zyklus der Vorgänge im bekannten oder hypothetisch angenommenen Weltall

gar nichts wissen, hat man nicht die mindeste Schätzung über die Wahrscheinlichkeit für die Bildung einer organischen Substanz. Die Behauptung, daß man sich ihre Entstehung wegen der kleinen Wahrscheinlichkeit nicht erklären könne, ist vollkommen unhaltbar, da man überhaupt nur von Wahrscheinlichkeit oder Unwahrscheinlichkeit sprechen kann, wenn die Möglichkeit der Entstehung selbst zugegeben wird. Die Behauptung, daß es unwahrscheinlich sei, daß gerade wir das Glück haben, Zeugen eines so unermeßlich seltenen Ereignisses zu sein, ist auch vollkommen unbegründet, da, wie wir gesehen haben, alles andere, was vorgeht, genau so unwahrscheinlich ist, wie z. B. daß ein bestimmtes Staubteilchen gerade an dieser Stelle eines Felsens liegt.

Irgend etwas Widersinniges liegt also in dieser Theorie von der Entstehung der Organismen durch Zufall nicht; es fragt sich aber, ob diese Theorie viel besagt. Sie sagt eigentlich nur aus, daß wir keine makroskopischen physikalischen Gesetze kennen, aus denen die Entstehung der Organismen folgt. Wollte man die Hypothese aussprechen „Es gibt keine solchen Gesetze“, so ist damit, wie schon früher oft bemerkt wurde, fast nichts ausgesagt. Soll die Aussage von der „zufälligen“ Entstehung der Organismen etwas Positives über die wirkliche Welt behaupten, so ist es die Hypothese der ewigen Wiederkehr des Gleichen, weil der Begriff Zufall (Kapitel VI, Abschnitt 3) nur dann einen positiven Sinn hat, wenn die relative Häufigkeit eines Zustandes definierbar ist.

13. Aus der Ablehnung des Zufalls folgt aber nicht die Existenz einer Planmäßigkeit.

Die besprochene Behauptung wurde ursprünglich aufgestellt, um der Annahme des Eingreifens einer menschenähnlichen Intelligenz, „übernatürlicher“ Kräfte und ähnlichem zu entgegen. Läßt man die Hypothese der fortwährenden Wiederkehr fort, bei der die Entstehung der Organismen mit einer bestimmten, wenn auch sehr geringen relativen Häufigkeit vorkommen soll, so bedeutet die Behauptung einer Entstehung durch Zufall genau so wie die der Entstehung durch ein unbekanntes physikalisches Gesetz eigentlich nur die Ablehnung eines übernatürlichen Eingriffs. Über wirkliche Tatsachen wird durch sie nichts ausgesagt.

Was bedeutet aber die Behauptung von der Entstehung der Organismen durch den Plan einer mehr oder weniger menschen-

ähnlichen Intelligenz, was sagt die Annahme der Einwirkung eines planmäßig wirkenden Strebens über die wirkliche Welt aus? Wenn wir in der Wüste im Sande Eindrücke sehen, wie wir sie als Spuren von Automobilreifen wahrzunehmen gewohnt sind, so werden wir nicht annehmen, daß sie durch „Zufall“ entstanden sind. Und zwar nicht aus dem Grunde, weil die Entstehung durch Zufall unmöglich oder unwahrscheinlich wäre, sondern weil wir ein konkretes Kausalgesetz kennen, nach dem solche Eindrücke durch fahrende Automobile entstehen. Wir kennen diese Eindrücke als Glieder eines makroskopischen Gesetzes und ordnen sie demgemäß ein.

Wenn wir einen Sandhügel von der Gestalt eines genauen Würfels sehen, so werden wir annehmen, daß er von Menschen errichtet ist, weil wir wissen, daß Menschen derartige Gestalten zu erzeugen pflegen. Wir werden das nicht annehmen, weil ein Würfel unwahrscheinlicher ist als irgendein spezieller unregelmäßiger Sandhaufen. Sondern wir wissen positiv, daß nach den Kausalgesetzen, die in der menschlichen Arbeit wirksam sind, derartige Hügel viel öfter entstehen als nach den Kausalgesetzen, gemäß deren der Wind auf Sand einwirkt. Die Unwahrscheinlichkeit der Gestalt an und für sich hat damit gar nichts zu tun, sondern nur die geringe Häufigkeit, die sich für das Auftreten einer solchen Gestalt aus den gegebenen oder von uns angenommenen Anfangsbedingungen ergibt. Denn wenn wir z. B. einen Würfel aus Steinsalz sehen, werden wir nicht sagen, daß er ohne menschliche Tätigkeit nicht entstanden sein kann, da wir ja wissen, unter welchen Umständen solche Würfel entstehen, nämlich durch Kristallisation aus einer Lösung.

Wenn wir also die Frage aufwerfen, ob die ersten Organismen durch Zufall entstanden sein können, oder ob dazu eine besondere in der Welt wirksame Tendenz zu einer höheren Gestaltung, eine Lebensschwungkraft oder etwas Ähnliches notwendig war, so kann man aus der bloßen Unwahrscheinlichkeit eines gestalteten Organismus nicht schließen, daß zu seiner Entstehung irgendeine schöpferische Tendenz zu dem bloßen Spiel der Naturkräfte hinzutreten mußte. Man muß vielmehr positiv angeben, unter welchen kausalen Bedingungen solche Organismen zu entstehen pflegen. Wenn man keine solchen Bedingungen kennt, so kann man die Hypothese einführen, daß ein menschenähnliches Wesen, das aber größere Fähigkeiten besitzt, lebende Organismen er-

zeugen kann, wie etwa der Mensch gewöhnliche chemische Synthesen durchführt. Diese Hypothese hat dann einen Wert, wenn man aus ihr noch andere Tatsachen erschließen und mit der Erfahrung vergleichen kann. Die Hypothese eines über alle menschlichen Fähigkeiten genialen synthetischen Chemikers mag vielleicht nicht viele Tatsachen exakt vorherzusagen gestatten, aber sie hat den Charakter einer wirklichen wissenschaftlichen Hypothese, genau wie die Annahme eines fahrenden Automobilisten aus den Spuren im Wüstensand.

Dieser Charakter ändert sich aber sofort, wenn man jenen Schöpfer immer mehr dem Menschen unähnlich macht, ihn, wie man sagt, immer mehr vergeistigt. Denn der einzige wissenschaftliche Wert dieser Hypothese besteht darin, daß man die Gesetze der menschlichen Arbeit in gesteigerter Form auf die Entstehung der Organismen anwendet. Wenn man aber sagt, hier habe eine über der physischen Welt schwebende Kraft gewirkt, die zu höherer Gestaltung hindrängt, so ist dieser Satz vollkommen nichtssagend; er ist vielmehr nur gleichbedeutend mit dem Satz: wir kennen kein physikalisches makroskopisches Kausalgesetz, aus welchem die Entstehung der Organismen folgen würde und glauben auch nicht, daß sie aus Abweichungen von den makroskopischen Gesetzen, die den physikalischen Schwankungen analog sind, hervorgehen können. Damit ist aber nichts ausgedrückt, als ein persönlicher Verzicht auf eine Darstellung der Entstehungsgeschichte der Organismen in der Form von physikalischen Gesetzen; über die wirkliche Welt ist überhaupt nichts Positives gesagt, da dem Schöpfungsgedanken sein einziger positiver Gehalt, die Analogie mit den im menschlichen Handeln wirksamen Gesetzen, entzogen ist.

IX. Schwierigkeiten bei der Formulierung eines allgemeinen Kausalgesetzes.

1. Vorläufige Übersicht über einige Schwierigkeiten.

Obwohl es ziemlich klar ist, was man unter einem Kausalgesetz versteht, so ist es doch schwer zu formulieren, was man unter dem Kausalgesetz verstehen soll. Versuchen wir etwa zu sagen: durch den Zustand A_0 der Welt im gegenwärtigen Zeitpunkt t_0 ist der Zustand A_1 in jedem folgenden Zeitpunkt t_1 eindeutig festgelegt. Das kann zweierlei heißen; entweder: so oft die Welt den Zustand A_0 annimmt, nimmt sie nach der Zeit $t_1 - t_0$ den Zustand A_1 an. Oder wir können sagen: es gibt ein Gesetz, welches für jeden Zustand A_0 zur Zeit t_0 den Zustand A_1 zur Zeit t_1 zu berechnen gestattet, wenn t_1 größer als t_0 ist.

Da wir aber den Zustand A der Welt im Ganzen niemals kennen, ist es notwendig, den Satz so zu formulieren, daß nur ein endliches Stück der Welt vorkommt. Dann kann aber die Zukunft dieses Stückes nicht von seinem Anfangszustand allein abhängen, sondern es muß außerdem noch der Zustand der außerhalb dieses Volumstückes V gelegenen Welt herangezogen werden. Wenn man dazu die ganze Welt brauchte, so würde man wieder auf dieselben Schwierigkeiten kommen wie oben; man muß daher annehmen, daß die Kenntnis der äußeren Welt durch die Kenntnis der Trennungsfläche F ersetzt werden kann, die das Volumen V gegen die übrige Welt abgrenzt.

Dann muß man sagen: durch die Kenntnis des Zustandes im Volumstück V zur Zeit t_0 und der Zustände auf der Trennungsfläche F in allen Zeitpunkten von t_0 bis t_1 ist der Zustand von V zur Zeit t_1 bestimmt. Dabei gibt es immer die beiden Bedeutungen des Wortes „bestimmt“. Entweder bedeutet es, daß jede Wiederkehr des Anfangszustandes in V und auf F immer auch die Wiederkehr aller folgenden Zustände in V nach sich zieht, oder: Es gibt ein Gesetz, das aus dem Zustande von V (für t_0) und F (zwischen t_0 und t_1) den Zustand in V vorauszusagen gestattet.

In jeder dieser Formulierungen stecken große Schwierigkeiten, von denen wir teilweise schon gesprochen haben und die mit der Möglichkeit der Wiederkehr eines Zustandes auf der einen Seite und mit dem Begriff der Existenz eines Gesetzes andererseits zusammenhängen. Wenn man aber selbst diesen Begriff für klar definierbar hält, so beginnen die Schwierigkeiten, die sich an den Begriff des Zustandes knüpfen und die von zweierlei Art sind.

Erstens läßt sich ein Kriterium dafür, ob zwei Zustände gleich oder auch nur ähnlich sind, sehr schwer angeben, ohne das Kausalgesetz selbst zu verwenden. Denn wir werden zwei Zustände nur dann als gleich bezeichnen, wenn sich aus ihnen dasselbe entwickelt. Sonst werden wir sie nur als „scheinbar“ gleich ansehen. Eine derartige Verwendung des Kausalgesetzes darf aber nicht vorkommen, weil es sich dadurch in einen tautologischen Satz, eine bloße Definition der Zustandsgleichheit verwandeln würde.

Wenn man aber selbst die Möglichkeit einer solchen Definition unabhängig vom Kausalgesetz zugibt, erhebt sich eine neue Schwierigkeit, die vielleicht die größte von allen ist. Diese besteht nämlich darin, daß die Zustandsgrößen, mit denen das Kausalgesetz rechnet, wie etwa Dichte und Temperatur an bestimmten Orten und zu bestimmten Zeiten, elektrische Feldstärken an bestimmten Orten und zu bestimmten Zeiten, Wellenzustände im Sinne der Optik oder der Wellenmechanik usw. niemals den beobachtbaren Größen, den Erlebnissen des Menschen, eindeutig zugeordnet werden können. Ohne die Kenntnis dieser Zuordnung wird aber das Kausalgesetz sofort zu einem tautologischen Satz. Die einzelnen Kausalgesetze würden dann nur die Definitionen der einzelnen Zustandsgrößen enthalten und nichts über die wirkliche Welt aussagen.

Die Schwierigkeit der Zuordnung der Zustandsgrößen zu den Beobachtungen war prinzipiell immer in der Physik vorhanden. Sie kam daher, daß Größen, deren empirische Werte aus Kollektivversuchen abgeleitet waren, und Beziehungen, die zwischen den Ergebnissen von Kollektivversuchen erfahrungsgemäß bestanden, in der physikalischen Theorie durch Größen dargestellt wurden, denen scharfe mathematische Werte für jeden Raum- und Zeitpunkt zugeschrieben wurden. Diese Schwierigkeit bestand schon für das System der elektromagnetischen Feldgleichungen von Maxwell, noch mehr für die Elektronentheorie

von H. A. Lorentz, wo überall den einzelnen Raum- und Zeitpunkten mathematisch bestimmte Werte der Feldstärken, sogar innerhalb des Elektrons, zugeordnet wurden, obwohl die Beobachtung nur räumliche und zeitliche Mittelwerte von Feldstärken ergeben konnte.

Diese Schwierigkeit spielt aber eine viel größere Rolle in der modernen Wellenmechanik, bei deren Darstellung fast immer ein eigenes Kapitel mit der Bezeichnung „Interpretationsfragen“ jenem Zuordnungsproblem gewidmet wird, während die Lehrbücher der älteren Theorien diesem Problem nur gelegentlich Beachtung schenken.

2. Formulierungen mit Hilfe der Wiederkehr gleicher Zustände.

Wenn man das Kausalgesetz so ausspricht, daß auf einen Zustand A immer wieder, wenn er eintritt, derselbe Zustand B folgt, so ist es klar, daß dieser Satz nur angewendet werden kann, wenn der Zustand A öfters wiederkehrt. Wenn der Zustand A dabei ein Zustand der ganzen Welt wäre, so könnte man den Kausalsatz überhaupt nur unter der Voraussetzung anwenden, daß die ganze Welt immerfort einen Kreisprozeß durchläuft, daß eine „ewige Wiederkehr des Gleichen“ stattfindet. Wir wollen die Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit eines derartigen Prozesses hier gar nicht erörtern, sondern sofort von einer Formulierung des Kausalgesetzes ausgehen, wo der Anfangszustand A_0 nur der Zustand eines von einer Fläche F begrenzten Volumstückes V ist. Dann muß nur der Zustand innerhalb dieses Volumens in einem bestimmten Zeitpunkt und der Zustand längs der Begrenzung F während einer ganzen Zeitstrecke wiederkehren, um das Kausalgesetz anwenden zu können.

Die Anwendbarkeit beruht also darauf, daß aus der Welt Stücke herausgegriffen werden können, innerhalb deren der Zustand A_0 immer wiederkehrt. Denn streng genommen läßt sich der Satz nur anwenden, wenn wirklich der Zustand A_0 genau wiederkehrt, worauf dann alle anderen das erstemal auf A_0 folgenden Zustände auch wiederkehren müssen. Trotzdem muß V keine wirklichen Kreisprozesse durchlaufen. Denn es kann sein, daß nach Ablauf der nach dem Kausalgesetz auf A_0 folgenden Zustände $A_1, A_2 \dots$ die Begrenzungsfläche F ganz andere Zustände annimmt, als in unserem Kausalgesetz vorkamen, also einige Zeit

hindurch innerhalb V ganz andere Dinge vorgehen, bis wieder auf F solche Zustände eintreten, daß sich innerhalb V aus dem Zustand A_0 wieder die ganze Reihe $A_1, A_2 \dots$ ergibt. Der Prozeß in V muß daher kein Kreisprozeß im strengsten Sinne sein, wo jeder Zyklus aus denselben Zuständen besteht, aber doch ein „teilweiser“ Kreisprozeß, insofern die Zustände in V verschiedene Zyklen durchlaufen, deren jeder die Reihe $A_0, A_1 \dots$ enthält, ohne in allen anderen Zuständen übereinzustimmen.

Ein Beispiel für derartige Zustandsreihen sind etwa die Planeten bei ihrem Umlauf um die Sonne. Wenn man von den Störungen absieht, entstehen hier Kreisprozesse im strengen Sinne des Wortes. Wenn Störungen hinzutreten, so wird der Planet nicht immer wieder die alten Zustände durchlaufen; wenn er aber wieder einen schon einmal durchlaufenen Zustand annimmt, und dieselben Störungen wie das erstmal erleidet, die hier die Rolle der Zustände auf der Begrenzungsfläche F spielen, wird er wieder dieselbe Zustandsreihe durchlaufen wie das erstmal.

Wenn ich aber gar einen Versuch in einem irdischen Laboratorium mache, z. B. einen Schuß auf eine Scheibe abgebe, so kann ich zwischen diesem und einem folgenden Schuß mit dem Gewehr und der Scheibe etwas ganz Beliebiges tun; wenn ich sie wieder in dieselbe gegenseitige Lage bringe, wird wieder derselbe Ring der Scheibe durchlöchert werden. Hier haben wir einen teilweisen Kreisprozeß vor uns, weil nur der Schuß und seine Folgen sich wiederholen, während die dazwischen liegenden Zustandsreihen jedesmal ganz andere sein können.

3. Teilweise Kreisprozesse.

Hier stehen wir aber vor einer Schwierigkeit. Das Volumstück der Erde, in dem wir schießen, nimmt ja im Raum zwischen den Himmelskörpern nicht immer dieselbe Stelle ein; der Versuch findet wohl immer im selben Volumstück der Erde, aber nicht im selben Volumstück des Fixsternhimmels statt. Trotzdem gibt es immer dieselben Resultate. Man muß also für das Volumen V gar nicht immer genau denselben Anfangszustand A_0 annehmen, z. B. sind viele Versuchsreihen von der Lage des Volumstückes im Sternenraum unabhängig. Das gilt aber offenbar nicht für alle beliebigen Versuche. Es zeigt sich, daß es schon ausreicht, wenn ein Teil der Zustandsgrößen, die den Zustand

des Volumstückes V festlegen, ihre alten Werte nochmals annehmen, um die Wiederkehr einer ganzen Zustandsreihe $A_1, A_2 \dots$ vorhersagen zu können.

Beim Schußexperiment ist es z. B. gleichgültig, mit welcher Farbe ich das Geschloß anstreiche, welche Gase den Raum erfüllen, wenn sie nur gleiche Reibung haben, wo auf der Erde der Schuß abgegeben wird, wenn nur die geographische Breite dieselbe ist. Wenn ich mit Geschossen verschiedener Farbe schieße, so werden immer dieselben Lagen und Geschwindigkeiten durchlaufen; trotzdem haben wir keinen Kreisprozeß im strengen Sinne vor uns. Die Kreisprozesse der Wirklichkeit sind also nicht nur aus dem Grunde nur teilweise Kreisprozesse, daß vor und nach der immer wiederkehrenden Zustandsreihe $A_0, A_1 \dots$ immer verschiedene Zustände eingeschaltet sein können, sondern auch dadurch, daß nur ein Teil der Zustandsgrößen des Volumstückes V seine alten Werte wieder annimmt.

Jedenfalls ist es so, daß durch das Kausalgesetz die Existenz derartiger teilweiser Kreisprozesse in der Welt behauptet wird. Das Kausalgesetz will aber offenbar mehr sagen, als daß derartige Kreisprozesse irgendwo und irgendwann existieren. Es will behaupten, daß alle Vorgänge in der Welt als Glieder derartiger teilweiser Kreisprozesse aufgefaßt werden können. Es behauptet, daß eine Auflösung des ganzen Weltgeschehens in solche teilweise Kreisprozesse möglich ist.

Um das noch zu verdeutlichen, muß man sich klarmachen, daß z. B. alle frei fallenden Körper als Glieder desselben teilweisen Kreisprozesses aufgefaßt werden können. Der Anfangszustand eines solchen Prozesses ist einfach ein Körper, der sich gegenüber der Erde in ihrer Nähe in einem luftleeren Raum befindet. Die übrigen Zustandsgrößen sind für den betrachteten Teil des Kreisprozesses nicht maßgebend. Man sieht daraus, wie stark die unmittelbaren Beobachtungen bearbeitet werden müssen, ehe man sie in einem Kreisprozeß anordnen kann; man sieht, wie unbestimmt die Behauptung ist, daß sich alle Vorgänge in solche Kreisprozesse gliedern lassen.

Dabei muß man beachten, daß nach dieser Formulierung des Kausalgesetzes eine wirkliche Wiederkehr verlangt wird. Je weniger eine solche Wiederkehr stattfindet, desto weniger sagt der Satz „Wenn A wiederkehrt, folgt auch B wieder“ über die

wirkliche Welt aus. Denn für einen nie wiederkehrenden Zustand A ist die Aussage immer richtig, sagt also gar nichts über die wirkliche Welt aus. Die Behauptung „Alle Zustände lassen sich in solche teilweise Kreisprozesse eingliedern“, ist so zu verstehen, daß man jeden Zustand als Wiederkehr eines schon einmal dagewesenen auffassen kann.

Der ideale Fall solcher Prozesse ist der, daß wir einen bestimmten Versuch mit denselben Anfangsbedingungen wiederholen und immer dasselbe Ergebnis erzielen. Auf diese Weise entstehen die speziellen Kausalgesetze, bei denen im vorhinein nur ganz spezielle Zustandsgrößen berücksichtigt werden. Je größer das Volumen V ist, innerhalb dessen die Wiederkehr des Zustandes A_0 stattfinden soll, desto seltener wird sie wirklich eintreten. Die Aufteilung des gesamten Weltgeschehens in die beschriebenen teilweisen Kreisprozesse wird in der Physik praktisch so durchgeführt, daß alles Geschehen in die Schicksale kleiner Teilchen aufgelöst wird. Die kleinen Gruppen solcher Teilchen, etwa die Elektronen, die ein Atom bilden, die Atome in einem Molekül, die Moleküle in einem Kristallgitter können dann derartige Kreisprozesse durchmachen, ohne daß dabei größere Stücke der Welt in ihren Anfangszustand zurückkehren müssen.

4. „Wiederkehr eines Zustandes“ kann sehr Verschiedenes bedeuten.

Wenn wir den Verlauf des Wetters in einem Lande betrachten, so werden die Zustandsgrößen, die eine bestimmte Wetterlage A_0 beschreiben, wie Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit, Windstärke und -richtung, Dichte der elektrischen Ladungen usw. nur sehr selten oder gar nicht mit genau denselben Werten aller dieser Größen wiederkehren. Eine gewisse einfache Art der Wetterpropheteiung geht von dieser wenigstens annähernden Wiederkehr der makroskopischen Wetterlage A_0 aus und sagt: Wenn das erstemal auf A_0 die Wetterlagen $A_1, A_2 \dots$ gefolgt sind, so wird das bei jedem weiteren Auftreten von A_0 auch der Fall sein. Der ganze Witterungsverlauf wird in Zyklen der Wetterlagen aufgelöst. Die Prophezeiung nach dieser Methode hat den Vorteil, mit sehr handgreiflichen, direkt beobachtbaren Größen zu arbeiten, aber den Nachteil, daß ihre Anwendung an die nicht sehr häufige Wiederkehr einer Wetterlage gebunden ist.

Je kleiner der betrachtete Raum V ist, desto häufiger ist wohl

die Wiederkehr derselben Wetterlage, desto mehr muß man aber auch auf die Zustände an der Trennungsfläche F achten, was oft sehr schwierig ist.

Wie man zu einer Verfeinerung dieser Methode der Vorhersage kommen kann, sieht man ein, wenn man eine sehr vollkommene Theorie, wie z. B. die Theorie der Bewegung eines Körpers unter dem Einfluß der Schwere im luftleeren Raum, also den freien Fall, betrachtet. Eine Wiederkehr findet hier statt, wenn sich der Körper frei gegenüber der Erde befindet, ohne daß Hindernisse seinem Fall entgegenstehen. Dann wird er immer wieder mit der Schwerebeschleunigung g fallen. Dabei ist es gleichgültig, wie sonst sein Anfangszustand beschaffen ist; den Fall mit konstanter Beschleunigung kann man immer vorhersagen. Man sieht, daß dazu eine gewisse Schematisierung des Zustandes notwendig ist.

Ähnliches findet auch in der Meteorologie statt, wenn man sich die Luft, den sie erfüllenden Wasserdampf und die Ionen als ein Gasgemenge denkt, das den Gesetzen der Hydrodynamik (Bewegungsgesetzen der Gase und Flüssigkeiten) folgt. So ergeben sich aus der Tatsache, daß sich die Teilchen überhaupt in irgendeiner Dichte- und Temperaturverteilung befinden, die Regel über die Änderung dieser Größen, d. h. die Gesetze der Diffusion und Wärmeleitung, die als Spezialfall das makroskopische Gesetz vom Ausgleich der Dichte und Temperatur enthalten.

Eine Wiederkehr von A_0 ist hier schon gegeben, wenn wir wieder ein Gasgemenge vor uns haben, das man durch das Schema der Hydrodynamik darstellen kann. Dann folgt schon daraus die Veränderung von Dichte und Temperatur usw. Wir prophezeien hier, indem wir die wirkliche Atmosphäre als gleichartig mit einem Modell ansehen, daß wir uns nach Versuchen mit Gasen in kleineren Dimensionen konstruieren können. Wenn aber irgend etwas eintritt, was an dem Modell des Gases, wie es von der Hydrodynamik beschrieben wird, nicht vorgesehen ist, z. B. ein Meteoritenfall, der Zusammenstoß zweier Himmelskörper oder die Wellen der drahtlosen Telegraphie, so finden wir keine Wiederkehr des Zustandes A_0 , und wir können zunächst nichts nach den früheren Erfahrungen über A_0 vorhersagen. Wenn aber wieder A_0 eintritt, d. h. das Modell des Gases zutreffend wird, können wir wieder prophezeien.

Man kann noch weiter gehen, und wenn wir etwa an die alte

klassische Physik denken, das Gas als eine Anhäufung kleiner Körperchen (Moleküle, Atome und Ionen) ansehen, die den Regeln der Newtonschen Mechanik und klassischen Elektrodynamik gehorchen. Dann bedeutet auch eine Störung durch Explosion von Himmelskörpern noch nicht die Unverwendbarkeit der Prophezeiungen auf Grund unserer Kenntnisse über die Folgen des Zustandes A_0 . Denn A_0 ist jetzt einfach jede Anhäufung von Molekülen, Atomen und Ionen, deren Lage, Geschwindigkeiten und elektrischen Ladungen bekannt sind. Die Prophezeiung wird jetzt theoretisch sehr durchsichtig, aber ihre praktische Anwendung auf die wirklichen Beobachtungen immer schwerer.

5. Je nach der Auffassung von der „Wiederkehr“ hat die kausale Vorhersage der Zukunft einen ganz verschiedenen Charakter.

Bei der ersten ganz pauschalen Art der Vorhersage konnte man aus den alten Beobachtungen, die auf den Zustand A_0 einmal gefolgt waren, bei jeder Wiederkehr von A_0 einfach immer dieselben Beobachtungen vorhersagen. Im zweiten Fall mußte man schon die Differentialgleichungen der Hydrodynamik als Bewegungsgesetze der Flüssigkeiten anwenden, ihre Anfangsbedingungen aus den Beobachtungen entnehmen und den berechneten Endzustand wieder in beobachtbare Größen übersetzen. Im dritten Fall mußte man aber dem beobachteten Anfangszustand A_0 die Lagen und Geschwindigkeiten sämtlicher Teilchen der Luft zuordnen und daraus den Endzustand berechnen, was praktisch unmöglich ist. Dabei ist zu beachten, daß man im zweiten und dritten Fall sowie schon bei der Betrachtung der frei fallenden Körper als Kreisprozeß immer folgendermaßen vorgehen muß: wenn als wiederkehrender Anfangszustand A_0 die Wiederkehr der Tatsache zu verstehen ist, daß ein Körper unter gewissen Anfangsbedingungen frei fällt, so können sich natürlich bei den verschiedenen Wiederholungen nicht die Lagen und Geschwindigkeiten des ersten Versuches selbst wiederholen, sondern nur die Änderungen dieser Größen gegenüber ihren anfänglichen Werten. Ebenso ist auch der Zyklus bei Anwendung der hydrodynamischen Gleichungen auf die Luftbewegung immer als ein Zyklus der relativen Zustandsänderungen in bezug auf den Anfangszustand aufzufassen.

Man kann also, wie wir gesehen haben, unter Wiederkehr eines

Zustandes vielerlei verstehen und immer daraus die Zukunft vorhersagen. Je nachdem was darunter verstanden wird, bekommt die Vorhersage einen ganz anderen Charakter. Aus einer praktisch durchführbaren geht sie allmählich in eine solche über, die nur für eine unendliche Intelligenz möglich ist. Diese verschiedenen Begriffe von Wiederkehr finden wir überall, wo wir das Kausalgesetz anzuwenden suchen.

Wir betrachten etwa das Verhalten des einzelnen Menschen. Wir können warten, bis ein Mensch, der sich in einem psychophysischen Zustand A_0 befunden hat, wieder in diesen Zustand kommt. Wenn die äußeren Einflüsse, d. h. die Zustände der Trennungsfläche F dieselben sind, so können wir voraussagen, daß auf A_0 wieder wie das erstmal dieselben psychophysischen Zustände $A_1, A_2 \dots$ folgen werden. Etwas Derartiges wird aber kaum vorkommen. Wenn wir insbesondere bedenken, daß der Mensch fortwährend altert und daher niemals wieder zu seinem früheren Zustand zurückkehren kann, so ist es klar, daß die Prophezeiung der Zukunft aus der Wiederkehr eines Zustandes wohl sehr einfach wäre, aber kaum je anwendbar sein wird.

6. Anwendung auf Individual- und Sozialpsychologie.

Wenn man die Wiederkehr häufiger beobachten will, muß man den Zustand des Einzelmenschen in Elemente zerlegen, die in verschiedener Kombination bei jedem Menschen immer wiederkehren. Man kommt so zu den Gesetzen der Assoziations- und Reflexpsychologie. Man spricht von einzelnen Vorstellungen, von einzelnen Handlungen, die bei allen Menschen vorkommen. Weil sie aber nur zu einem Gesamtzustand kombiniert vorkommen, lassen sie sich nie direkt beobachten; die auf einen bestimmten Zustand A_0 folgenden Zustände sind also auch nicht direkt beobachtbar, sondern nur mehr oder weniger erschließbar, so wie die Lage und Geschwindigkeit der Luftmoleküle. Die psychologischen Elementargesetze lassen sich überhaupt nicht so formulieren, daß man eine Verknüpfung zwischen unmittelbaren Erlebnissen aussprechen kann. Man ist so weit davon entfernt, aus dem gegenwärtigen Gesamterlebnis die zukünftigen vorhersagen zu können, daß man Elemente einführen muß, die etwa den imaginären Elementen in der Geometrie entsprechen. Das sind die von der psychoanalytischen Theorie eingeführten ins Un-

bewußte verdrängten Vorstellungen. Derartige Vorhersagen aus Elementen, die nicht direkt beobachtet werden können, sind viel öfter anwendbar als die aus der Wiederkehr eines beobachtbaren Gesamtzustandes. Ihre Verknüpfung mit den unmittelbaren Beobachtungen ist aber viel lockerer und unsicherer.

Dasselbe wiederholt sich, wenn man von der Individualpsychologie zur Sozialpsychologie übergeht, die sich, solange sie rein empirisch bleibt, von der Soziologie nicht unterscheidet, da zur Sozialpsychologie jede Vorhersage der Handlungen menschlicher Gruppen gehört.

Man könnte versuchen, soziologische Vorhersagen zu machen, indem man wartet, bis bei einer Gesamtheit von Menschen, etwa den Bewohnern einer Gegend, ein schon einmal dagewesener sozialer Zustand A_0 wiederkehrt, d. h. bis alle Zustandsgrößen, mit denen sich die Soziologie zu beschäftigen pflegt, ihre alten Werte wieder annehmen, wie Bevölkerungsdichte, Berufsschichtung, Staatsverfassung, nationale Zusammensetzung, wirtschaftliche Konjunktur usw. Wenn wirklich ein solcher Zustand A_0 wiederkehrt, wird man (unter der Voraussetzung, daß die über die Grenzfläche F kommenden Zustände genau dieselben sind wie das erstemal oder überhaupt zu vernachlässigen sind) annehmen, daß auf A_0 wieder dieselben soziologischen Zustände $A_1, A_2 \dots$ folgen wie das erstemal. So pflegt man z. B. oft zu prophezeien, daß auf eine Revolution immer eine Militärdiktatur folgen muß, die sich dann in eine absolute Monarchie verwandelt, die ihrerseits sich schließlich zu einer konstitutionellen abschwächt.

Derartige Prophezeiungen sind wohl sehr handgreiflich, aber vielleicht nie gut anwendbar, weil es keine Wiederkehr eines soziologischen Zustandes A_0 gibt. Man wird wieder versuchen, den Gesamtzustand in Elementarzustände zu zerlegen, also etwa die Beschreibung des Verhaltens ganz kleiner Menschengruppen zugrunde legen, ihre gegenseitigen Freundschaften und Feindschaften, Diebstähle und Raubüberfälle. Wenn man dann die sogenannte „Geschichte“ mit Hilfe solcher Begriffe beschreibt, die keine historischen und soziologischen im üblichen Sinne sind, da sie sich nicht auf staatlich organisierte Gruppen beziehen, sondern bei denen eine Räuberbande von einer Polizeitruppe noch nicht unterschieden wird, so kehrt derselbe Zustand A_0 oft wieder; denn immer wieder stehen Menschen und kleine Menschengruppen

in den primitiven Beziehungen der gegenseitigen Unterstützung und Bekämpfung.

Die Übersetzung der Regeln über das Verhalten solcher Gruppen in die historisch-soziologische Sprache macht aber dann Schwierigkeiten. Wir können wohl Prophezeiungen aufstellen, die aber sehr davon abhängen, auf welche Art sich die gegebenen soziologischen Zustände in derartige Beschreibungen kleiner primitiver Gruppen auflösen. Denn davon hängt ab, wann ich zwei Zustände als gleich ansehe. Auch hier gilt: Wenn die Prophezeiung aus der Wiederkehr eines schon dagewesenen Zustandes möglich wird, sinkt ihre Sicherheit, weil das willkürliche Moment der Zerlegung eine Unsicherheit in die Beziehung zwischen den wiederkehrenden Elementen und dem unmittelbar beobachteten soziologischen Zustand hineinbringt.

7. Vorhersage auf Grund von Wiederkehr eines Zustandes und auf Grund von Gesetzen.

Wenn man die Beispiele in den vorigen Nummern betrachtet, wo aus der einmaligen Aufeinanderfolge der Zustände $A_0, A_1, A_2 \dots$ auf die zukünftige geschlossen wurde, so sehen wir diesen Schluß aus der wirklich beobachteten Aufeinanderfolge $A_0, A_1, A_2 \dots$ auf die folgende am reinsten in den Fällen verwirklicht, wo es sich um Zustandsgrößen handelt, die meist sehr komplizierter Natur sind, wie bei der Wettervorhersage, wenn man von den meteorologischen Daten eines Tages ausgeht, oder in der Soziologie, wenn man von der Revolution aus die folgende Militärdiktatur voraussagt.

Wenn wir aber zu den der Beobachtung ferner liegenden Zustandsgrößen übergehen, wie in der Meteorologie zur Lage und Geschwindigkeit der Luftteilchen, so findet in Wirklichkeit die Vorhersage kaum mehr auf Grund des konkreten Erlebnisses einer Folge $A_0, A_1, A_2 \dots$ statt, aus der man auf die Wiederholung dieses Erlebnisses schließt, sondern man prophezeit in Wirklichkeit auf Grund von Gesetzen, z. B. den Gesetzen der klassischen Mechanik oder Hydromechanik.

Der Unterschied zwischen einer Vorhersage auf Grund von Wiederholung und von Gesetzen kann vielleicht so formuliert werden: Im ersten Falle werden die aufeinanderfolgenden Zustände $A_0, A_1, A_2 \dots$ einfach aufgezählt, im zweiten Falle in eine

Formel zusammengefaßt. Wenn ich sage: Aus der Temperatur T , dem Barometerstand B , der Feuchtigkeit F , dem Ionengehalt I der Luft im gegenwärtigen Zeitpunkt folgen am nächsten Tage die Werte T_1, B_1, F_1, I_1 dieser Größen, dann T_2, B_2, F_2, I_2 usw., so zähle ich die aufeinanderfolgenden Zustände einfach auf und sage: Wenn ich einmal wieder die $T, B, F \dots$ beobachte, so werde ich nachher auch immer wieder die Werte $T_1, B_1 \dots$ beobachten. Wenn ich aber sage: Wo auf einer Distanz Δl eine Temperaturdifferenz ΔT herrscht und das Wärmeleitungsvermögen k ist, herrscht ein Wärmestrom vom Betrage $k \frac{\Delta T}{\Delta l}$, der eine dieser Größe proportionale zeitliche Temperaturänderung zur Folge hat, so spreche ich ein Gesetz aus, das Grundgesetz der Wärmeleitung.

Wenn wir eine oftmalige Wiederkehr eines Zustandes A_0 annehmen wollen, so müssen wir unter Wiederkehr etwas verstehen, was von der sinnlich beobachteten Wiederkehr schon ziemlich weit entfernt ist, z. B. jeden Zustand, bei welchem in einem Gase Temperaturdifferenzen herrschen und das sich selbst überlassen ist, woraus dann bei gleichen Zuständen gleiche Zustandsänderungen vorhergesagt werden können.

8. Das Kausalgesetz als Behauptung der Existenz von Gesetzen.

Wenn wir aber von einem Gesetz anstatt von einer Wiederholung des gleichen Zustandes sprechen, so brauchen wir diesen etwas künstlichen Begriff der Wiederkehr gar nicht einzuführen; wir sagen einfach: es gibt ein Gesetz, das zu jedem Anfangszustand A_0 die folgenden Zustände $A_1, A_2 \dots$ zu berechnen gestattet, wenn wir die Anfangszustände innerhalb eines Volumens V und die Zustände während der ganzen betrachteten Zeit an der Begrenzungsfläche F kennen. Das Kausalgesetz behauptet also dann, daß in jedem Fall, d. h. zu jedem Volumen V mit der Grenzfläche F ein Gesetz existiert, das aus dem Zustand A_0 die folgenden Zustände $A_1, A_2 \dots$ zu berechnen gestattet.

Ob mit der Annahme der Existenz solcher Gesetze überhaupt etwas Faßbares über die Welt ausgesagt wird, ist gar nicht so sicher, wie es auf den ersten Blick aussieht. Schon in Kapitel I, Abschnitt 15 und 16 haben wir gesehen, daß die allgemeine Behauptung von der Existenz eines Gesetzes nur dann etwas aussagt,

wenn wir entweder eine weltumfassende Intelligenz voraussetzen, die alle Gesetze kennt, wobei die Gesetze dann in deren Bewußtsein existieren, oder wenn man über die Art des Gesetzes etwas ganz Spezielles oder Bestimmtes behauptet.

Entweder gründet man also das Kausalgesetz auf die Wiederkehr des Gleichen; dann sagt es nicht viel aus, weil Wiederkehr konkreter Erlebnisse nie stattfindet, oder man gründet es auf die Existenz von Gesetzen; dann sagt es auch nicht viel aus, weil die bloße Behauptung von der Existenz von Gesetzen nur sehr wenig über die wirkliche Welt aussagt. In beiden Fällen werden die Vorgänge der wirklichen Welt durch das „eherne“ Kausalgesetz nur in sehr unbestimmter Weise beschränkt.

9. Das Kausalgesetz wird leicht zu einer Tautologie.

Wenn man das Kausalgesetz auf die Wiederkehr eines Zustandes A_0 gründet, muß man vor allem angeben können, woran man die Wiederkehr eines Zustandes A_0 erkennt. Dazu reicht, wie man sofort sieht, nicht hin, daß beidemale dasselbe unmittelbare Erlebnis auftritt; denn wenn wir z. B. magnetisiertes Eisen sehen, haben wir davon denselben sinnlichen Eindruck wie beim unmagnetisierten, und trotzdem folgen ganz andere Erlebnisse, je nachdem ob man das eine oder das andere in die Nähe eines Eisenstückes bringt. Man wird dagegen einwenden, daß ein magnetisiertes und ein unmagnetisiertes wohl optisch denselben sinnlichen Eindruck hervorrufen, aber nicht in jeder Beziehung, z. B. nicht bei Beobachtung des Spektrums einer Lichtquelle in seiner Umgebung, wo im ersten Falle weniger Spektrallinien auftreten als im zweiten (Zeemaneffekt).

Wenn man aber diesen Gedanken zu Ende denkt, so muß man, um die Gleichheit des Zustandes zweier Eisenstücke zu konstatieren, sie in allen möglichen Beziehungen mit anderen Körpern untersuchen und ihren Zustand nur dann gleich nennen, wenn sich in allen diesen Fällen dasselbe Erlebnis einstellt. Dann wird aber das Kausalgesetz zu einer Tautologie, denn es sagt: Unter der Wiederkehr eines Zustandes A_0 verstehe ich das Auftreten eines Zustandes mit denselben Folgezuständen $A_1, A_2 \dots$, die das erstemal auf A_0 gefolgt sind. Dann ist in der Tat das Kausalgesetz nur mehr eine Definition der Gleichheit zweier Zustände.

Wie man trotz dieses tautologischen Charakters das Kausalgesetz verwenden kann, sieht man sofort, wenn man beachtet, wie dieser Satz bei der meteorologischen Prophezeiung angewendet wird, wo doch sicher etwas über die wirkliche Welt ausgesagt wird. Dort versteht man unter der Wiederkehr des meteorologischen Zustandes die Wiederkehr der gleichen Werte ganz bestimmter Zustandsgrößen, Temperatur, Druck, Feuchtigkeit usw. Es kommt also darauf an, daß man ganz bestimmte Größen angeben kann, die den Zustand festlegen. Wenn diese Größen ihre alten Werte wieder annehmen, so ist der alte Zustand A_0 wiederkehrt, und es folgen auf ihn auch wieder $A_1, A_2 \dots$

In jedem Gebiet der Physik gibt es bestimmte Zustandsgrößen; je weniger solche Größen notwendig sind, desto besser ist der Kausalsatz anwendbar.

10. Wie ist der Kausalsatz als Wirklichkeitssatz zu erhalten?

Wenn man unendlich viele Größen brauchte, um einen Zustand festzulegen, so ist es klar, daß das Kausalgesetz überhaupt nicht mehr anwendbar wäre, da es dann nichts über die Wirklichkeit aussagen würde, sondern in der Tat eine bloße Definition der Zustandsgleichheit wäre. Wenn aber bei unendlich vielen Zustandsgrößen das Kausalgesetz als Aussage über die Wirklichkeit seinen Sinn verliert, so ist es auch weiter klar, daß der Satz um so weniger aussagt, je mehr Zustandsgrößen er braucht.

In der allgemeinen Form: „Es gibt immer eine endliche Anzahl von Zustandsgrößen, die den Zustand A_0 so festlegen, daß eine Wiederkehr ihrer Werte die Wiederkehr aller auf A_0 das erstmal folgenden Zustände $A_1, A_2 \dots$ zur Folge hat“, sagt es über die wirkliche Welt ebenso wenig aus wie die Annahme unendlich vieler Zustandsgrößen. Denn man könnte dann immer sagen: Wir haben noch nicht alle Zustandsgrößen verglichen; vielleicht ist der Zustand A_0 doch nicht derselbe wie das erstmal, und man könnte einen Widerspruch gegen das Kausalgesetz nie feststellen.

Man muß also die notwendigen Zustandsgrößen wirklich aufzählen, um sicher zu sein, in dem Kausalgesetz einen auf die Wirklichkeit anwendbaren Satz vor sich zu haben. Wenn man aber die Angabe der einzelnen Zustandsgrößen vermeiden will und das Kausalgesetz so formulieren will, daß es auch auf nicht vollständig erforschte Gebiete anwendbar ist, so muß man etwa so sagen:

Jeder Zustand läßt sich durch verhältnismäßig wenige Zustandsgrößen festlegen. Dann ist der Satz wohl eine Aussage über die wirkliche Welt, aber eine ziemlich unbestimmte.

11. Poincaré, Kant und Lenin.

Die Schwierigkeiten, das Kausalgesetz über seinen tautologischen Sinn hinaus zu einer Aussage über die Wirklichkeit zu machen, haben mich schon im Jahre 1907 dazu geführt, im Anschlusse an den Konventionalismus von H. Poincaré überhaupt zu leugnen, daß mit dem Kausalgesetz mehr gesagt ist als eine Definition des Begriffes „gleiche Zustände“. Ich habe dort auch auf eine gewisse Ähnlichkeit dieser Auffassung des Kausalgesetzes mit der Auffassung des transzendentalen Idealismus bei Kant hingewiesen, nach dem die Kausalität eine Form ist, die von der menschlichen Vernunft aller Erfahrung vorgeschrieben ist, also niemals durch die Erfahrung geprüft werden kann. Wenn ich damals schon klar erkannt hätte, daß die Lehren der sogenannten idealistischen Philosophie, auch der transzendentalen, keine wissenschaftlichen Behauptungen sind, da sie weder tautologisch sind, noch über die wirkliche Welt etwas aussagen, sondern Behauptungen über eine jedem menschlichen Erkennen verborgene jenseitige Welt sind, so hätte ich auf die Analogie zwischen der konventionalistischen und der Kantischen Auffassung der Kausalität weniger Gewicht gelegt. Die Analogie besteht sicher und zwar darin, daß nach beiden Auffassungen das Kausalgesetz nichts über die empirische Welt aussagt, sondern über die Art, wie der Mensch die Welt auffaßt.

Es ist aber wichtig, wenn man eine den wissenschaftlichen Fortschritt fördernde Stellung einnehmen will, vor allem den Gegensatz zu der Kantischen Auffassung des Kausalgesetzes hervorzuheben. Bei Kant bildet die Kausalität einen Rahmen, der von der Vernunft gegeben und von der Erfahrung nur ausgefüllt werden kann. Dieser Rahmen ist unveränderlich und bleibt von der Entwicklung der Wissenschaften unberührt und unverwandelt durch alle Zeiten bestehen, solange menschliches Denken dauern wird. Nach der konventionalistischen Auffassung aber besteht der Rahmen nur aus tautologischen Sätzen, die immer so verändert werden können, daß sie den jeweiligen Inhalt der Wissenschaft in ein möglichst übersichtliches System

zu bringen gestatten. Diesen Gedanken der allmählichen Anpassung dessen, was Kant für einen unveränderlichen Rahmen der Erfahrung gehalten hat, ist an dem Beispiel der Aussagen über Raum und Zeit in sehr klarer Weise von H. Reichenbach in seiner Schrift: „Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori“ auseinandergesetzt worden.

Meine damalige Auffassung des Kausalgesetzes hat durch G. Hessenberg, einen Vertreter der Neu-Friesschen Schule, eine scharfe Kritik erfahren, von der ich manches heute als berechtigt anerkennen kann. Ich glaube, daß es sich damit so verhält: Wenn man das Kausalgesetz in voller Allgemeinheit und Schärfe aussprechen will, so kommt man allerdings mit Sicherheit auf einen bloß tautologischen Satz; das gilt aber für alle sehr allgemeinen Gesetze. Ich glaube aber heute, daß man dabei nicht stehenbleiben darf; sondern, worauf ich in der vorliegenden Schrift auch immer hingewiesen habe, man muß sich darauf beschränken, das Kausalgesetz so zu formulieren, daß etwas unbestimmte Ausdrücke wie „einfach“, „durchführbar“, „wenige Zustandsgrößen“ darin auftreten, dafür aber über die wirklich beobachtbare Welt etwas ausgesagt wird.

Die Anspielung auf die Analogie zur Kantischen Auffassung, die ich damals machte, war die Ursache, daß Lenin in seiner Schrift „Empiriokritizismus und Materialismus“ mich glatt unter die Kantianer einreichte und meine damalige Äußerung als Beweis dafür verwertete, daß die neuen Erkenntnistheorien von E. Mach und H. Poincaré, die von „naiven Russen“ als modernste Errungenschaften der europäischen Wissenschaft bestaunt werden, von den Kantianern (wie mir) „offen und einfach“ als Rückkehr der modernen Naturwissenschaft zum „kritischen Idealismus“ „triumphierend“ begrüßt werden. Über diese ganze Auffassung, an der sicher vom Standpunkt einer Soziologie der wissenschaftlichen Theorien aus vieles richtig ist, will ich später noch einiges sagen. Mein damaliger Aufsatz über Kausalität gehört jedenfalls nicht in jene Richtung, die Anlehnung an Kant sucht, und jene einzige, mehr literarhistorische Anspielung auf Kant würde ich heute gleich mit den Zusätzen versehen, die ich hier gebracht habe, um jede Deutung als Rückkehr zur idealistischen Philosophie unmöglich zu machen.

12. Die Zuordnung der zahlenmäßig bestimmten Zustandsgrößen zu den Beobachtungen bereitet Schwierigkeiten.

Wenn es aber schon gelingt, den Kausalsatz so zu formulieren, daß die Schwierigkeiten nicht mehr hinderlich sind, die von den Begriffen „gleiche Zustände“, „Existenz von Gesetzen“ und ähnlichem sowie von der Unmöglichkeit einer Wiederkehr herrühren, so erhebt sich erst die Frage, was denn die Behauptung, auf den Zustand A_0 folgen immer wieder die Zustände $A_1, A_2 \dots$ für die wirklichen Erlebnisse des Menschen eigentlich aussagt.

Man hat sich früher über diese Frage wenig den Kopf zerbrochen. Zu jeder Zustandsgröße, die in einer physikalischen Gleichung vorkam, gehörte eine „Meßmethode“, mit Hilfe deren der Größe eine Zahl zugeordnet werden konnte. Und diese Zahlen sind es, die im Kausalgesetz auftreten. Wenn ein Zustand A_1 vorhergesagt wurde, so konnte man der für ihn charakteristischen Zahl vermöge der Meßmethoden wieder wirkliche Erlebnisse zuordnen. Wenn z. B. an einer Stelle eine elektrische Feldstärke \mathcal{E} vorhergesagt wird, so sagt man, daß dem folgendes Erlebnis entspricht: wenn ich an die betreffende Stelle eine Masse 1 mit einer elektrischen Ladung 1 bringe, so erleidet sie die Beschleunigung \mathcal{E} im absoluten Maßsystem, d. h. den Geschwindigkeitszuwachs \mathcal{E} cm in der Sekunde.

Dadurch ist aber streng genommen nicht dem ursprünglichen Zustand eine Zahl zugeordnet, sondern dem Felde, das aus dem ursprünglichen durch Hinzufügung der Einheitsladung entsteht. Man könnte denken, daß man das Feld der Einheitsladung einfach subtrahieren kann. Dazu müßte man aber dieses Feld erst kennen, und zwar sehr genau und bis in die unmittelbare Nachbarschaft der Ladung. Um dieses Feld aber als ein wirkliches Erlebnis zu kennen, müßte man dafür selbst das seiner Feldstärke zugeordnete Erlebnis angeben können, was wieder dieselbe Schwierigkeit, nur in erhöhtem Maß bedeutet. Außerdem nimmt die Ladung 1 einen gewissen Raum ein und die Beschleunigung, die wir beobachten, entspricht nicht der Feldstärke an einem Punkt, sondern deren Mittelwert in einem Volumelement.

Die Elimination der Wirkung der Ladung 1 auf das Feld geschieht gewöhnlich durch die Annahme, daß sie zu vernachlässigen ist. Das ist aber bei beliebiger Feldstärke in unmittelbarer Nachbarschaft der Ladung gewiß nicht der Fall, so daß auch aus diesem

Grund die zur Zustandsgröße \mathcal{G} gehörende Meßmethode nur in sehr unbestimmter Weise einen Wert von \mathcal{G} mit einem wirklichen Erlebnis verknüpft. Es bleibt daher \mathcal{G} eigentlich nur eine Rechengröße in den Gleichungen der Elektrizitätslehre, der in den gewöhnlichen Fällen sich unmittelbar ein beobachteter Wert ziemlich eindeutig zuordnen läßt. In vielen Fällen dient aber die Größe \mathcal{G} nur als ein Zwischenglied, um am Ende der Rechnung ein Resultat zu erzielen, dem sich erst eine Beobachtung zuordnen läßt.

Diese Schwierigkeit vergrößert sich bedeutend, wenn man es mit sehr großen oder sehr kleinen Raumgebieten zu tun hat. Wenn in den Gleichungen sehr große Differenzen von Raumkoordinaten zweier Punkte vorkommen, so ist nicht mehr sehr einfach zu sagen, welche konkreten Erlebnisse diesen Differenzen entsprechen. Im Kleinen, wo sicher die Euklidische Geometrie wenigstens annähernd gilt, bedeuten diese Differenzen die Anzahl von Malen, die ich einen starren Einheitsmaßstab auftragen muß, um von einem dieser Punkte zum anderen zu kommen. In sehr großen, kosmischen Dimensionen, wo ich im vorhinein gar nicht weiß, welche der Nicht-Euklidischen Riemannschen Geometrien gilt, kann ich die wirklichen Beobachtungen, die jenen großen Differenzen entsprechen, erst angeben, wenn ich den Verlauf des Gravitations- und elektromagnetischen Feldes im ganzen Welt- raum kenne; denn nach der Einsteinschen allgemeinen Relativitäts- und Feldtheorie hängen die Koordinatendifferenzen mit den Zahlen, die wir durch Auftragen starrer Einheitsmaßstäbe erhalten, durch Beziehungen zusammen, in denen die Potentiale vorkommen, aus denen sich die Feldstärken des Gravitations- und elektromagnetischen Feldes berechnen lassen. Die Zuordnung der in den Gleichungen vorkommenden Zustandsgrößen zu den Beobachtungen erfordert also bereits die Lösung des ganzen Problems, d. h. die Integration der Feldgleichungen.

13. Die üblichen Zuordnungsregeln versagen bei den feinsten Vorgängen.

Ganz ähnlich verhält es sich auch im Kleinen. Wenn ich z. B. aus einer Rechnung finde, daß zwei Atomkerne eine Entfernung haben, die klein gegen die Wellenlänge des Lichtes ist, so kann ich zunächst mit dieser Aussage kein konkretes Erlebnis verbinden.

Denn eine solche Strecke läßt sich nach keiner der Methoden messen, die man als Methoden der Längenmessung zu bezeichnen pflegt. Einer solchen Aussage entspricht aber nach der Wellenmechanik ein gewisser Wellenzustand, aus dem ich Folgerungen ziehen kann, die man dann als Aussagen über das Ergebnis von Kollektivversuchen interpretieren kann.

Es kann also im allgemeinen nicht jeder in einer Gleichung vorkommenden Größe im vorhinein ein bestimmtes Erlebnis oder Beobachtungsergebnis zugeordnet werden, sondern nur der Lösung des ganzen Problems. Damit haben aber die Gleichungen der Physik ihre kausale Form in dem Sinn, wie man es sich früher vorstellte, verloren; sie verknüpfen keine Größen, die unmittelbar beobachtbar sind, sondern nur Größen, die hinterher mit beobachtbaren in Verbindung gebracht werden können.

Im Prinzip gilt dasselbe natürlich auch schon für die Gleichungen der klassischen Physik. So konnte man die Werte der elektrischen Feldstärke \mathcal{E} auch nur mit Hilfe von Beziehungen an die Beobachtungen anschließen, die man, wie die Beziehung zwischen Feldstärken und Bewegungen geladener Massenteilchen erst durch Auflösung der Gleichungen erhalten konnte, so daß in streng logischem Sinn auch hier die einzelnen Größen nicht im vorhinein mit Beobachtungen in Beziehung gebracht werden konnten. In noch stärkerem Maß trifft das für die statistischen Theorien der klassischen Physik zu, wo streng kausale Gesetze nur die nicht beobachtbaren Größen, die Lagen und Geschwindigkeiten der einzelnen Moleküle, genügten, während die beobachtbaren Mittelwerte wie Dichte und Temperatur den Schwankungserscheinungen ausgesetzt waren, so daß für sie keine streng kausale Gesetzmäßigkeit bestand.

E. Schrödinger hat bereits vor der Entdeckung der Wellenmechanik in seiner 1922 in Zürich gehaltenen Antrittsvorlesung „Was ist ein Naturgesetz?“ darauf hingewiesen, daß die Annahme streng kausaler Gesetze, die nur in der Welt des Unbeobachtbaren gelten, ihm ein Überbleibsel der Weltauffassung des primitiven Menschen zu sein scheint. Er sagt:

„Wir sollten uns klarmachen, daß eine derartige Zwiefachheit der Naturgesetze recht unwahrscheinlich ist. Eines wären die eigentlichen, wahren, absoluten Gesetze im Unendlichkleinen, ein anderes die im Endlichen beobachtete Gesetzmäßigkeit . . . In der Welt der Erscheinung klare

Verständlichkeit — hinter ihr ein dunkles, ewig unverstandenes Müssen. Die Möglichkeit, daß es sich so verhält, ist zuzugeben, doch erinnert diese Verdopplung des Naturgesetzes zu sehr an die Verdopplung der Naturobjekte durch den Animismus, als daß ich an ihre Haltbarkeit glauben möchte.“

14. Erst durch Angabe der Zuordnungsregeln wird der Satz „auf A folgt jedesmal B“ zu einem Wirklichkeitssatz.

Dieser Unterschied zwischen den Gleichungen, welche die Form von Kausalgesetzen haben, und den ihnen zugeordneten wirklichen Erlebnissen, der in der klassischen Physik, wie wir gesehen haben, wohl schon vorhanden war, spielt in der neuen Wellenmechanik eine ganz wesentliche Rolle. Insbesondere die von M. Born begründete statistische Deutung der Wellenmechanik gibt eine ganz deutliche Anleitung für den Übergang von den Gleichungen für den Wellenvorgang zu den zugeordneten Beobachtungen. Wenn auch überall die Gleichungen der Physik selbst eine kausale Gestalt haben, so ist damit noch nichts über den kausalen Zusammenhang zwischen den beobachtbaren Erscheinungen ausgesagt. Der Anschluß der Gleichungen an die Beobachtungen ist ein überaus komplizierter. Er wurde früher als trivial und wenig interessant kaum beachtet. Seine Wichtigkeit wurde aber von kritisch Denkenden immer betont, besonders nachdrücklich in den Schriften von R. Carnap.

Heute findet sich in jeder Darstellung der Quantenmechanik als eines der wichtigsten Kapitel das mit dem Titel „Interpretation“. Es wird in wissenschaftlichen Abhandlungen von den Fortschritten des „Interpretationsproblems“ gesprochen, womit immer die Beziehung zwischen den Größen in den Gleichungen und den beobachtbaren Größen gemeint ist. Es wird oft darauf hingewiesen, z. B. besonders scharf von O. Halpern in seiner Übersicht über die Quantenmechanik, daß kausale Beziehungen wohl für die Wellenzustände bestehen, nicht aber zwischen beobachtbaren Größen.

Wenn wir also das Kausalgesetz so aussprechen, daß auf einen Zustand A_0 jedesmal bei seinem Auftreten dieselbe Zustandsreihe $A_1, A_2 \dots$ folgt, so kann damit noch sehr Verschiedenes über die wirkliche Welt ausgesagt werden, je nachdem, ob mit den „Zuständen“ mathematische Größen oder Beobachtungen gemeint sind, und wie im ersten Fall die mathematischen Größen mit den

Beobachtungen verknüpft sind. Auch jede Formulierung des Kausalgesetzes enthält die „Interpretation“ als einen wesentlichen Teil.

15. Die besprochenen Schwierigkeiten sind keine überflüssigen Spitzfindigkeiten.

Wir haben die ungeheuren Schwierigkeiten gesehen, die es macht, das allgemeine Kausalgesetz als einen Satz und doch so auszusprechen, daß es über die wirkliche Welt etwas aussagt. Wenn das aber nicht gelingt, so kann es noch weniger gelingen, die Frage zu beantworten, ob durch die neuesten physikalischen Theorien die Geltung des Kausalgesetzes erschüttert worden ist, oder ob das Kausalgesetz in der Geschichte ebenso gilt wie in der Physik und ähnliche Fragen. Wenn man nämlich die Frage aufwirft, ob das Kausalgesetz nun wirklich in der Natur gilt, so kommt man, mag man die Sache drehen und wenden, wie man will, immer zu dem Ergebnis, daß darüber eine Entscheidung unmöglich ist. Will man auf eine sichere Entscheidung verzichten und nur fragen, ob das Kausalgesetz die bequemste Hypothese ist, um die Beobachtungen darzustellen, so gibt es auch kein Mittel, diese Frage zu beantworten.

Denn diese Unmöglichkeit hat ihren Ursprung nicht in irgendwelchen Schwierigkeiten experimenteller oder mathematischer Art, die man heute nicht überwinden kann, deren Überwindung aber von der Zukunft zu erwarten ist, sondern darin, daß es aus den Gründen, die in diesem Kapitel besprochen wurden, kaum möglich ist, das Kausalgesetz zugleich allgemein und doch so zu formulieren, daß über beobachtbare Ereignisse etwas ausgesagt wird. Aber nur in diesem Falle läßt sich auf die Frage nach der Gültigkeit in der Natur eine sinnvolle Antwort geben.

Die angestellten Betrachtungen über die Schwierigkeiten dieser Formulierung sind aber keine überflüssigen Spitzfindigkeiten, wie es vielleicht noch scheinen konnte, als ich im Jahre 1907 überhaupt an dieser Möglichkeit zweifelte und das Kausalgesetz für rein tautologisch erklärte. Wenn man die moderne Wellenmechanik betrachtet und die Art, wie nach ihr die zukünftigen beobachtbaren Ereignisse aus den gegenwärtigen vorausgesagt werden können, so wird man die Befürchtung, es könne vielleicht sogar sinnlos sein, die Frage nach der Gültigkeit des Kausalgesetzes in der Natur zu stellen, als nicht unberechtigt ansehen können.

Wir haben gesehen, daß es kein experimentelles Mittel gibt, um den Anfangszustand einer fliegenden elektrischen Ladung (eines Elektrons) so genau zu bestimmen, daß sein künftiges beobachtbares Schicksal sich vorhersagen läßt. Und zwar ist es nicht so, daß die Zukunft sich nicht genau, sondern nur annähernd voraussagen ließe, sondern die Zukunft eines einzelnen Teilchens läßt sich in gar keiner Weise vorherbestimmen; es können beliebig große Abweichungen von dem mittleren Schicksal eines Teilchenschwarms vorkommen.

Kann man nun daraus schließen, daß der Kausalsatz in der Natur gilt oder nicht gilt?

16. Die Aussage, daß die „wahren“ Zustandsgrößen dem Kausalgesetz gehorchen, ist kein Wirklichkeitssatz.

Es bleibt jedem freigestellt, zu behaupten, daß eben der „reale“ Anfangszustand der einzelnen Teilchen nicht gleich war und daß daher auch jedesmal andere Zustände gefolgt sind. Es ist eben nicht jedesmal derselbe Zustand A_0 wiedergekehrt, auf den jedesmal nun dieselbe Reihe $A_1, A_2 \dots$ folgen soll, sondern jedesmal ein anderer Anfangszustand. Wir können nur diese Verschiedenheit nicht anders feststellen als durch das Ergebnis des Versuches.

Man kann aber mit demselben Recht annehmen, daß jedesmal das Teilchen denselben Anfangszustand hatte, daß aber nicht jedesmal auf A_0 dieselbe Reihe $A_1, A_2 \dots$ gefolgt ist, daß also das Kausalgesetz auch für die „realen“ Anfangszustände nicht gilt. Man kommt dann zu der Ansicht, daß es ewig verborgen bleibt, ob in der Natur das Kausalgesetz gilt oder nicht gilt, daß wir niemals wissen werden, ob wir es schon mit den realen Zustandsgrößen, die einen Zustand vollkommen bestimmen, zu tun haben oder nicht.

Und hilft es uns aus dieser Schwierigkeit, wenn man antwortet, das Kausalgesetz sei diejenige Hypothese, durch die sich die beobachtbaren Erscheinungen einfacher erklären lassen als ohne sie? Nun kann sie die Gültigkeit des Kausalgesetzes für die beobachtbaren Zustandsgrößen sicher nicht behaupten, da es hier ganz augenscheinlich nicht erfüllt ist. Sie kann sich also nur auf die „realen“ Zustandsgrößen beziehen. Die Hypothese der Gültigkeit oder Ungültigkeit des Kausalgesetzes für diese Größen sagt aber, wenn sie in keine bestimmte Beziehung

zu den beobachtbaren Größen gebracht werden, über die wirkliche Welt gar nichts aus. Aus ihr lassen sich die beobachteten Vorgänge weder einfach noch kompliziert, sondern überhaupt nicht ableiten, da in ihr über die Beobachtungen nicht das mindeste enthalten ist. Die Behauptung, für die „wirklichen“ Zustandsgrößen gelte das Kausalgesetz trotz allem, spielt dieselbe Rolle wie jene Interpretation der Relativitätstheorie, nach der sich wohl durch keinen Versuch entscheiden läßt, welches von den Inertialsystemen das wirklich ruhende sei, daß es aber ein wirklich ruhendes gebe, das uns nur ewig verborgen bleibt.

In ganz dieselbe schwierige Lage kommt man aber bei jedem anderen Versuch, zu entscheiden, ob nun in der Natur das Kausalgesetz in Wirklichkeit gelte oder nicht.

17. Trotz aller dieser Schwierigkeiten wenden wir das Kausalgesetz im Leben mit Erfolg an.

Wenn man z. B. in der Geschichte die Gültigkeit des Kausalgesetzes untersuchen will und immer wieder findet, daß sich keinerlei Regelmäßigkeit zeigt, daß sich unter anscheinend gleichen Umständen ganz verschiedene Zukunftsentwicklungen einstellen, daß einmal Krieg, einmal Frieden, einmal Reaktion, einmal Revolution entsteht, so kann man trotzdem immer noch die exakte Gültigkeit des Kausalgesetzes behaupten, indem man sagt: Die Umstände, die wir als gleich angesehen haben, waren nur „scheinbar“ gleich, in der „Realität“ aber ungleich. Oder man kann umgekehrt auch sagen: Krieg und Frieden sind nur scheinbar verschieden, in der Realität aber gleich: was ein Frieden zu sein scheint, ist in „Wahrheit“ ein Krieg. Oder man kann sagen: Das Gesetz, das den Anfangszustand A_0 mit den folgenden verknüpft, ist so beschaffen, daß es in gewissen Weltepochen „Frieden“ und in anderen „Krieg“ ergibt. Kurz: man kann gar keine Erlebnisse als Argument gegen die Gültigkeit des Kausalgesetzes vorbringen.

Umgekehrt: wenn man die Gültigkeit des Kausalgesetzes behauptet, ohne anzugeben, welche wirklichen Erlebnisse dadurch miteinander verknüpft sein sollen, besagt es für die Vorhersage der Zukunft gar nichts.

Wenn man etwa die Gültigkeit von Gesetzen wie der folgenden behauptet: „Alles entwickelt sich zum Vollkommeneren“ oder „Alle Entwicklung ist eine Ausgliederung eines Ganzen“, so kann man

daraus niemals ein wirkliches Erlebnis vorhersagen. Wenn man unter der Gültigkeit des Kausalgesetzes auch die Gültigkeit derartiger Sätze verstehen wollte, hätte diese Gültigkeit keinerlei Folgen für die wirkliche Welt.

Wir stehen also vor der folgenden merkwürdigen Situation: Es läßt sich aus unseren Erlebnissen kein Beweis oder auch nur Wahrscheinlichkeitsbeweis für oder gegen die Gültigkeit des Kausalsatzes in der Natur herleiten, und ebensowenig können wir aus der Gültigkeit des Kausalgesetzes irgend etwas für die beobachtbaren Vorgänge schließen.

Andererseits beruht aber unsere ganze Wissenschaft, ja unser ganzes praktisches Leben anscheinend auf der fortwährenden Anwendung des Kausalgesetzes. Unser ganzes Leben ist auf das Vertrauen in dieses Gesetz aufgebaut; jeder Handgriff, den wir machen, ist von der Erwartung bestimmter Resultate begleitet, eine Erwartung, die wir nur aus dem Glauben schöpfen können, daß auf gleiche Anfangsbedingungen immer dasselbe folgen wird.

Beide Auffassungen sind richtig und können daher nicht in einem wirklichen Gegensatz zueinander stehen. Der Schein eines solchen Widerspruches entsteht nur dadurch, daß man oft eine unklare Vorstellung über den Zusammenhang der „realen“ Welt mit der Welt unserer Erlebnisse hat, daß eine alte Tradition uns gelehrt hat, hinter der lebendigen, aber verschwommenen Welt unserer Erlebnisse eine scharf umrissene Welt der „realen“ Dinge zu suchen, eine Vorstellung, die uns ebenso selbstverständlich erscheint, wie sie in Wirklichkeit irreführend und für das Verständnis der feineren Züge der Wissenschaft hemmend ist.

X. Von der sogenannten wahren Welt.

1. „Wirklich“ und „scheinbar“.

Während wir bisher (insbesondere im Kap. I) ganz schlicht von der Welt unserer Erlebnisse als der „wirklichen“ Welt gesprochen haben, müssen wir jetzt einiges über eine Redeweise sagen, die „wirklich“ und „erlebt“ als Bezeichnungen eines Paares von Gegensätzen verwendet. Der Unterschied zwischen den Ausdrücken „wirklich“ und „scheinbar“ spielt ja im gewöhnlichen Leben wie in der Naturwissenschaft eine große Rolle. Man sagt z. B.: Der Detektiv ging „scheinbar“ ruhig spazieren, in Wirklichkeit aber beobachtete er aufmerksam den Eingang eines Juwelierladens. Oder: Der Stein, auf den ich trat, war scheinbar ganz fest, in Wirklichkeit aber so locker, daß er dabei abbröckelte.

Hier liegt der ganze Unterschied zwischen „wirklich“ und „scheinbar“ in nichts anderem, als daß man bei genauerer Untersuchung eines Tatbestandes zu einem anderen Erlebnis kommt als bei einer oberflächlichen. Das „scheinbare“ und das „wirkliche“ sind also beides Erlebnisse, nur verschiedener Art, die wir unter verschiedenen Umständen haben.

Man sagt ferner: Der Mond ist scheinbar nur so groß wie ein Teller, in Wirklichkeit aber viel größer. Das heißt: Ein Teller verdeckt mir denselben räumlichen Gesichtswinkel wie der Mond, wenn ich ihn in geeignete Entfernung von mir halte; wenn ich mich dem Mond aber immer mehr nähere, wird er Gesichtswinkel immer wachsender Größe bedecken. Auch hier bedeuten „scheinbar“ und „wirklich“ nur zwei Erlebnisse, die wir unter verschiedenen Umständen durchmachen.

Schließlich: Was „scheinbar“ ein zusammenhängender Körper ist, z. B. ein Steinsalzkristall, besteht in „Wirklichkeit“ aus kleinen Teilchen, den Molekülen, zwischen denen leerer Raum sich befindet, der viel größer als die Ausdehnung der Teilchen selbst ist. Das heißt: Bei Beleuchtung mit gewöhnlichem Licht erscheint der ganze Kristall als ein zusammenhängender Körper, bei Be-

leuchtung mit Röntgenstrahlen zeigt sich aber auf der photographischen Platte oder einem fluoreszierenden Schirm eine körnige Struktur, in regelmäßigen Abständen Volumelemente von größerer Dichte. Auch hier geht der Unterschied zwischen „scheinbar“ und „wirklich“ auf den Unterschied zweier Erlebnisse bei verschiedener Beleuchtung zurück.

Wenn wir aber in zweifelhaften Fällen deutlicher machen wollen, was der Unterschied zwischen einer oberflächlichen und einer genauen Untersuchung ist, so läßt sich das vielleicht so fassen: Je genauer wir vorgegangen sind, desto mehr zukünftige Erlebnisse können wir aus dem Resultat der Untersuchung vorhersagen. Aus der Annahme einer molekularen Struktur des Steinsalzwürfels können wir z. B. vorhersagen, welche Festigkeit er gegen Zerreißversuche haben wird usw.

Dabei ist es wichtig, das folgende zu beachten: Wenn ich sage „der Mond hat einen Halbmesser von 60 Erdhalbmessern“, oder „der Steinsalzkristall besteht aus Molekülen mit dem gegenseitigen Abstand von 10^{-8} cm“, so meine ich nicht damit, daß man so große oder so kleine Längen irgendwie anschaulich erleben könne. Beim Monde könnte ich mir wenigstens einigermaßen vorstellen, wie ich einen Metermaßstab längs seiner Oberfläche Millionen Male anlege. Bei den Molekulardistanzen kann ich mir das Anlegen eines Maßstabes nicht einmal als erlebt denken. Sondern ich kann den Molekularabstand nur so erleben, daß ich aus der mathematischen Annahme einer Distanz von 10^{-8} cm mathematische Folgerungen ziehe, denen erlebbare Vorgänge zugeordnet werden können. Wenn ich also sage, „in Wirklichkeit“ bestehe ein Steinsalzwürfel aus Molekülen im Abstände von je 10^{-8} cm, so ist damit gemeint, daß ich aus dieser Annahme mit Hilfe der Gesetze der Mechanik und Optik Folgerungen ableiten kann, denen wirkliche Erlebnisse entsprechen.

2. Was bedeutet „wirklich“ und „scheinbar“ in der Physik?

Noch deutlicher wird das alles, wenn ich die Aussage betrachte: Wo man „scheinbar“ Licht sieht, sind „in Wirklichkeit“ Wellen des Äthers oder elektromagnetische Wellen. Wenn man einmal Licht, das anderemal transversale Wellen erlebt, so bestehen die letzteren auch aus Gesichtsempfindungen, deren Gesamtheit man etwa beim Anblick von Wasserwellen zu erleben pfllegt. Hier

spielt aber der Unterschied zwischen oberflächlicher und genauer Beobachtung nicht mehr die Hauptrolle, wenn auch immer noch das bestehen bleibt, daß die Beugungserscheinungen, bei denen sich die Wellennatur des Lichtes zeigt, erst bei genaueren Beobachtungen auftreten. Die Hauptsache ist aber hier bereits: die Wellen treten nicht als direktes visuelles Erlebnis auf, sondern als ein mathematisches Schema, aus dem man die Lichterscheinungen herleiten kann. Das Erleben der Lichtwellen ist unmittelbar dem von Wasserwellen in nichts ähnlich, sondern: das Erlebnis der Lichtwellen besteht in dem der Lichterscheinungen, die man aus dem Wellenschema herleiten kann.

Der Unterschied zwischen „scheinbar“ und „wirklich“ liegt also überall in zwei Dingen: erstens in dem Unterschied zwischen oberflächlichem und ins einzelne gehendem Erlebnis, wobei das letztere als das Erleben des Wirklichen bezeichnet wird; zweitens aber bezeichnet man mit „wirklich“ das mathematische Schema, aus dem man die Erlebnisse mit der größten Genauigkeit herleiten kann. Diese beiden Auffassungen des Wirklichen hängen so zusammen, daß das mathematische Schema die präziseste Zusammenfassung der Erlebnisse ist, die sich aus ihm herleiten lassen.

Keinesfalls aber hat der Unterschied zwischen „scheinbar“ und „wirklich“ in der Physik irgend etwas mit einer hinter den Erlebnissen liegenden Welt zu tun. Der ganze Unterschied zwischen beiden läßt sich, wie wir gesehen haben, mit Hilfe von Erlebnissen ausdrücken, alles spielt sich in der Welt unserer Erfahrung ab.

Der Fortschritt vom Scheinbaren zum Wirklichen kann sich also nur in zwei Richtungen vollziehen: Sammlung neuer Erlebnisse und bessere Ordnung der bereits vorhandenen. Eine andere Art des Fortschrittes hat es in der Physik nie gegeben und kann es nicht geben.

3. „Wahre“ und „scheinbare“ Masse, „wahre“ und „scheinbare“ Kraft.

Man könnte natürlich gegen die Verwendung der Worte „scheinbar“ und „wirklich“ in dem angegebenen genau definierten Sinn nichts einwenden, wenn nicht dadurch häufig Verwechslungen mit den logischen Begriffen des „Wahren“ und des „Unwahren“, aber „scheinbar Wahren“ entstehen würden. Die Möglichkeit dieser Verwechslung ist es aber gerade, der diese Termini

nologie vom „Scheinbaren“ und „Wirklichen“ ihre große Beliebtheit verdankt.

Wenn der Physiker z. B. zwischen wahren und scheinbaren Kräften unterscheidet und die Schwerkraft eine „wahre“, die Zentrifugalkraft aber eine „scheinbare“ Kraft nennt, so kann man dagegen nichts einwenden, wenn immer genau definiert wird, was damit gemeint ist. In diesem Fall nennt man wahre Kraft diejenige, die auch noch in den Gleichungen der Mechanik als Kraft auftritt, wenn diese in die einfachste Form gebracht, also auf ein Inertialsystem bezogen werden. Die Zentrifugalkraft erscheint aber in diesem Fall nicht mehr als Kraft und wird deshalb eine „scheinbare“ genannt. Hier wird also „scheinbar“ die Kraft dann genannt, wenn ein Bezugssystem verwendet wird, das nur in speziellen Fällen die einfachste Darstellung der Vorgänge gestattet, wie das mit der rotierenden Erde verbundene, während die „wahre“ Kraft die ist, die auch bestehen bleibt, wenn ich das Bezugssystem verwende, das für die Gesamtheit aller Bewegungen das bequemste ist, das Inertialsystem.

In der Einsteinschen Gravitationstheorie fällt der Unterschied zwischen Schwerkraft und Zentrifugalkraft fort, da hier kein Inertialsystem mehr ausgezeichnet ist. Demgemäß entfällt auch der Unterschied zwischen wahrer und scheinbarer Kraft. Wie man sieht, hat dieser Unterschied mit der Entwertung gewisser Erlebnisse nichts zu tun, sondern sagt nur etwas über die Ordnung innerhalb der Erlebnisse aus.

Man spricht oft von der scheinbaren Masse eines elektrisch geladenen Körpers, weil ein solcher bei der Bewegung infolge der Selbstinduktion einen Widerstand gegen Geschwindigkeitsänderung leistet, also in gewisser Beziehung sich so verhält, als wäre seine mechanische Masse um einen Betrag vergrößert, den man als eine durch die Ladung vorgetäuschte Masse auffaßte. Man nahm dabei an, daß die wirkliche mechanische Masse noch andere Eigenschaften als diesen Trägheitswiderstand besitze, so daß in den allgemeinen Sätzen der Mechanik nur von dieser „wahren“, nicht von der elektromagnetischen, scheinbaren gesprochen werden darf, weil diese nur bei speziellen Erscheinungen für jene eintreten kann. Auch hier bestand der Unterschied zwischen „wahr“ und „scheinbar“ darin, daß aus den Sätzen über die wahre Masse ein größerer Kreis von Erlebnissen hergeleitet werden konnte, als bei Verwen-

dung der scheinbaren. In diesen Sätzen kommt die scheinbare Masse gar nicht vor, sie wird durch die „wirkliche“ elektrische Ladung vertreten. Damit lassen sich alle physikalischen Erscheinungen darstellen, während die scheinbare Masse nur bei ganz speziellen Fragestellungen verwendet werden kann.

Wenn man aber erkennt, daß sich aus dem Trägheitswiderstand bewegter elektrischer Ladungen alle mechanischen Erscheinungen ableiten lassen, oder, wie man sich auch ausdrückt, daß nur elektromagnetische Masse existiert, verliert der Unterschied von wahrer und scheinbarer Masse seinen Sinn. Heute wird auch diese Terminologie kaum mehr gebraucht.

4. Die „wahre“, „wirkliche“ Welt in der Physik.

Genau derselben Art ist der Unterschied zwischen wahrer und scheinbarer Ruhe eines Körpers. „Wahr“ ist die Ruhe, wenn der Körper in bezug auf dasjenige System ruht, in welchem die Gesetze der Bewegung der Körper im Allgemeinen ihre einfachste Form annehmen; scheinbar ist die Ruhe in bezug auf irgendeinen anderen Körper, z. B. die Erde, weil die Bewegungsgesetze in bezug auf die Erde nur in gewissen Spezialfällen besonders einfach auszusprechen sind.

Diese Unterschiede haben offenbar gar nichts mit dem logischen Unterschied zwischen „wahr“ und „unwahr“ zu tun, etwa mit dem Gegensatz zwischen den folgenden beiden Behauptungen: „Aus den Axiomen der Euklidischen Geometrie folgt, daß die Winkelsumme im Dreieck zwei Rechte beträgt“, ist ein wahrer Satz; es ist aber nur scheinbar wahr, daß „man daraus etwas über die Winkelsumme in einem Dreieck aus wirklichen starren Stäben schließen kann“. Oder: Es ist wahr, daß die Planeten sich in Ellipsen um die Sonne bewegen; es ist aber nur scheinbar wahr, daß dies Kreisbahnen sind.

Hier handelt es sich wirklich um den Gegensatz zwischen wahren Sätzen und unwahren, aber scheinbar wahren Sätzen im logischen Sinn, wo „scheinbar“ soviel wie „irrtümlich“ bedeutet. Die stetige Fläche eines Steinsalzwürfels ist aber genau so wahr wie die molekulare Struktur; die Ruhe der Erde genau so wahr wie ihre Nichtruhe. Das Wahre oder Wirkliche ist in diesen Sätzen kein logischer Gegensatz zum scheinbar Wahren, sondern nur die umfassendere Form der Aussage über unsere Erlebnisse.

Die Konstruktion der „wirklichen“, „wahren“, „physikalischen“, „objektiven“, „zeit-räumlichen“ Welt ist nichts anderes als eine Ordnung unserer Erlebnisse nach einem Schema, wie es eingehend in den Schriften von B. Russel und besonders scharf in dem „Logischen Aufbau der Welt“ von R. Carnap dargestellt ist. Das ist aber keine wahre Welt im Gegensatz zu einer scheinbaren, falschen, vorgetäuschten Welt, in dem Sinne, wie etwa der Glaube an die Ableitbarkeit von Sätzen über wirkliche Körper aus den Axiomen der Geometrie eine Täuschung ist.

5. Der Sinn einer „wahren“ Welt außerhalb der Erlebnisse.

Die Fortschritte der Wissenschaft in der Auffindung immer neuer Erlebnisse und immer besserer Ordnung derselben konnte man immer so deuten, daß eine fortwährende Steigerung der intellektuellen Fähigkeiten der Menschen ihnen ein immer tieferes Eindringen in die Geheimnisse der Natur gestattete. Man kam so zu der Vorstellung, daß jeder wissenschaftliche Fortschritt darin bestehe, daß die Menschen etwas herausbringen, was eine höhere Intelligenz schon wissen mußte. Von der Gefühlsseite her war die Vorstellung einer allumfassenden Intelligenz den Menschen von jeher naheliegend, so daß man zu der Auffassung gelangen konnte, daß jene höchste Intelligenz alle Erlebnisse und deren beste Ordnung schon vollkommen kenne.

Die Arbeit der Wissenschaft besteht dann darin, sich allmählich dem Wissen jener höchsten Intelligenz zu nähern, d. h. alle Erlebnisse in derjenigen Ordnung kennenzulernen, die ihr schon seit jeher bekannt war. Der Fortschritt der Wissenschaft bekommt damit den Charakter eines Fortschrittes in der Behandlung von Rätseln, deren Lösung jener höheren Intelligenz schon bekannt ist. Die Kenntnisse, über die jene höchste Intelligenz verfügt, lehren etwas über die „wirkliche“ Welt, im Gegensatz zu den menschlichen Kenntnissen, die einer „scheinbaren“ Welt entsprechen, die sich der wirklichen allmählich zu nähern strebt.

Die wissenschaftlichen Fragen, so könnte man das auch ausdrücken, sind dann Fragen von der Art, wie sie ein Prüfungskommissär an einen Prüfungskandidaten stellt. Von diesem wird nur verlangt, daß er auf diejenige Beantwortung der Frage kommt, die der Prüfer meint. Es handelt sich also im wesentlichen um ein Erraten dessen, was sich der Prüfer denkt, wobei natürlich

unter Erraten nicht immer ein blindes Umhertappen gemeint ist, sondern wie bei einem Rätsel ein planmäßiges Suchen. Das Wesentliche ist dabei, daß die gesuchte Antwort bereits jemandem bekannt ist und das Kriterium der Wahrheit in der Übereinstimmung unserer Antwort mit der Ansicht des Prüfers besteht.

Diese Konstruktion einer wirklichen Welt, im Gegensatz zu der scheinbaren Welt unserer Erlebnisse ist logisch durchaus zulässig. Wenn man die Wirksamkeit einer übermenschlichen Intelligenz annimmt, mag man sie Weltgeist oder sonstwie nennen, so ist es sinnvoll, von den Erlebnissen dieser Intelligenz zu sprechen. Es hat daher auch einen guten Sinn, zu unterscheiden, was mit diesen Erlebnissen übereinstimmt und was nicht. Nur Aussagen der ersten Art sagen uns dann über die wirkliche Welt etwas Richtiges aus.

6. Versuche, die „wahre“ Welt mit Hilfe von Erlebnissen zu definieren.

Was aber logisch unzulässig ist, das ist die Behauptung, man könne den Unterschied zwischen der scheinbaren Welt unserer Erlebnisse und einer davon verschiedenen wirklichen Welt sinnvoll definieren, ohne eine solche übermenschliche Intelligenz einzuführen. Wie wir im Abschnitt 4 gesehen haben, bedeutet in der Physik der Übergang von der scheinbaren zur wirklichen Welt immer nur den Übergang von einer mangelhaften zu einer besseren Ordnung der Erlebnisse selbst. Es zeigt sich nirgends ein Übergang von einer Welt des „Scheins“ zu einer Welt des „Seins“. Man bleibt in der Welt der Erlebnisse, die nur immer besser geordnet werden.

Dabei steckt in der Feststellung, daß eine Ordnung „besser“ als eine andere ist, immer viel Willkürliches, aber sie geschieht doch immer innerhalb der Erlebnisse. Durch Vergleich einer Theorie, d. h. eines mathematischen Formelsystems, mit dem Experiment, d. h. durch Vergleich zweier Reihen von Erlebnissen wird konstatiert, welche Ordnung der Erlebnisse „besser“ ist. Die Theorie, die sich „am besten dem Experiment anschmiegt“, gilt als die Ordnung der Erlebnisse, die uns die wirkliche Welt besser darstellt.

Wenn man also selbst zugeben könnte — was sehr viel Schwierigkeiten bietet —, daß es eine einzige beste Ordnung der Erlebnisse gibt, so ist man doch mit Hilfe dieser Theorie keinen Schritt über

die Welt der Erlebnisse hinausgekommen. Sie gibt uns eben nur die beste Ordnung der Welt der Erlebnisse und nicht mehr. Etwas anderes kommt in der Physik nicht vor und ebensowenig in einer anderen Naturwissenschaft, wie sie bei der wirklichen Arbeit betrieben wird. Nur die Annahme einer übermenschlichen Intelligenz kann darüber hinausführen, deren Erlebnisse dann als „wirklich“ gegenüber den menschlichen ausgezeichnet werden, die zu Erlebnissen einer Scheinwelt hinabsinken. Die beste Ordnung der menschlichen Erlebnisse wird dann als ein Erlebnis jener höheren Intelligenz aufgefaßt.

Wenn man die „beste“ Ordnung der menschlichen Erlebnisse feststellen könnte, ließe sich der Begriff einer wirklichen Welt durch eine Definition schaffen, nämlich als die Welt, die durch jene beste Ordnung definiert ist. Dann ist aber diese wirkliche Welt wieder nur aus menschlichen Erlebnissen aufgebaut. Wie die irrationale Zahl als ein „Schnitt“ im Gebiete der rationalen Zahlen aufgefaßt werden kann, so die wirkliche Welt als eine Ordnung im Gebiet der menschlichen Erlebnisse. Und ebensowenig wie durch die Definition der Irrationalzahl als ein Schnitt, als eine Einteilung der rationalen Zahlen, etwa die Existenz anderer als rationaler Zahlen „bewiesen“ werden kann, ebensowenig kann aus einer Ordnung der menschlichen Erlebnisse je auf eine Wirklichkeit außerhalb derselben geschlossen werden.

Wenn man aber nicht einmal annimmt, daß sich jene „beste“ Ordnung an irgendeinem Merkmal erkennen läßt, so läßt sich die „wirkliche“ Welt auch nicht durch eine Definition innerhalb der Erlebnisse schaffen.

7. Die „wahre“ Welt als Grenze, der die wissenschaftlichen Theorien zustreben.

Die physikalischen Theorien sind einem fortwährenden Wechsel unterworfen. Aber in diesem Wechsel ist doch etwas Beharrendes festzustellen. Die Theorien geben die experimentellen Ergebnisse mit immer wachsender Genauigkeit wieder. Diesen Tatbestand drückt man oft so aus: Die verschiedenen Theorien oder, anders gesagt, die verschiedenen Beschreibungen der Welt, nähern sich mit der Zeit einer Grenze, einem Limes, der dann die Beschreibung der „wirklichen“ Welt ist.

Auf diese Weise sucht man sich der wirklichen Welt, die durch die kritische Einstellung schon zu entschwinden schien, auf „exakt“ wissenschaftlichem Wege zu nähern. Dieser Eindruck der Exaktheit wird besonders durch die Verwendung des mathematischen Grenzbegriffes hervorgerufen. Es scheint mir aber, daß man sehr vorsichtig fragen muß, in welchem Sinn der Satz von der Annäherung der Theorien an einen Limes, eine Grenze, denn eigentlich richtig ist. Wenn sich eine ähnliche Behauptung auch in sehr vielen Schriften von Philosophen und auch Physikern findet, so scheinen mir doch manche Schwierigkeiten darin zu stecken, die bei näherer Untersuchung die Definition der wirklichen Welt durch einen Grenzübergang, durch eine Limesbetrachtung, unmöglich machen.

Wenn man von einem derartigen Grenzprozeß spricht, so denkt man zunächst daran, daß die Vorhersagungen der Theorien sich im Laufe der Entwicklung den Ergebnissen der Experimente immer besser anpassen. So berechnete z. B. Kopernikus die Stellungen der Planeten auf Grund der Annahme einer kreisförmigen Bahn, Kepler auf Grund von elliptischen Bahnen, die nicht sehr von kreisförmigen abweichen, Newton auf Grund seines Gravitationsgesetzes, aus dem sich Abweichungen von der elliptischen Bahn, die sogenannten Störungen ergaben, wenn mehr als ein anziehendes Zentrum vorhanden ist, schließlich Einstein auf Grund seiner allgemeinen Relativitätstheorie, aus der sich schon beim Vorhandensein eines einzigen anziehenden Zentrums Abweichungen von der reinen Ellipsenbahn ergeben, die durch die Perihelbewegung des Merkur besonders bekannt geworden sind. Wenn man sich z. B. die Koordinaten des Planeten Merkur aufschreibt, wie sie sich für einen bestimmten Zeitpunkt nach den Theorien von Kopernikus, Kepler, Newton und Einstein ergeben, so erhält man gewiß im allgemeinen Zahlen, die sich immer besser den aus den astronomischen Beobachtungen erhaltenen Zahlenwerten für die Koordinaten annähern.

Die Hypothese von der Möglichkeit, die endgültige Theorie durch Grenzübergang zu erhalten, besteht nun darin, daß man behauptet, an die Reihe von Kopernikus bis Einstein wird sich noch eine nie abbrechende Reihe von Theoretikern anschließen, aus deren Theorien sich Zahlenwerte ergeben, die als Zahlenfolge betrachtet, einem Grenzwerte zustreben, der mit dem Wert

übereinstimmt, gegen den die durch Beobachtung erhaltenen Werte bei immer größerer Verfeinerung der Meßtechnik konvergieren.

Wir dürfen aber nicht vergessen, daß hier auch noch die Hypothese einer beliebig weit treibbaren Verfeinerung der Meßergebnisse steckt, von der wir schon gesprochen haben (Kapitel VII, Abschn. 1 und 2) und die keineswegs richtig sein muß. Wenn also wirklich diese doppelte Konvergenz gegen einen und denselben Grenzwert stattfindet, so definieren wir diesen Wert als den wirklichen wahren Wert der betreffenden Größe, z. B. als die wirkliche Lage des betreffenden Planeten. Hierbei ist klar, daß die wirklichen Lagen usw. hier nur durch Definitionen innerhalb der Erlebnisse festgelegt sind und nirgends ein Hinweis auf eine außerhalb der Erlebnisse bestehende wirkliche Welt vorhanden ist. Der Schein eines solchen Hinweises entsteht nur dadurch, daß bei der Definition des wahren Wertes die Theorien selbst mitwirken und man leicht die Vorstellung hat, daß die „einfachsten“, „am meisten den Tatsachen angepaßten Theorien“ ein Abbild der wirklichen Welt darstellen.

8. Eine Konvergenz der physikalischen Theorien gegen eine Grenze ist nicht zu bemerken.

Diese Konvergenz der aus den Theorien berechneten Zahlenwerte für gewisse Größen wird nun sehr häufig mit einer Konvergenz der Theorien selbst verwechselt, und man spricht davon, daß im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklung die Theorien einer endgültigen Theorie zustreben. Davon ist aber nicht das Mindeste zu bemerken. Wenn man nämlich nicht die Werte betrachtet, die sich aus den aufeinander folgenden Theorien von Kopernikus, Kepler, Newton, Einstein für die Koordinaten eines Planeten ergeben, sondern die Theorien selbst, aus denen diese Werte berechnet werden, so sieht man sofort, daß man für diese Theorien nicht mit demselben Recht wie für die Zahlenwerte sagen kann, daß sie sich einer Grenze nähern.

Wenn Kopernikus den Planeten Kreisbahnen zuschrieb, also die nach der überlieferten Ansicht einfachsten und schönsten Kurven, so liegt die eigentliche Aussage der Theorie, wie sie schon im Altertum begründet wurde, darin, daß die Planeten als himmlische Körper nur die vollkommensten und schönsten Bahnen beschreiben können. Kepler ersetzte die Kreise durch Ellipsen,

verließ also die Begründung aus den Grundeigenschaften der himmlischen Körper, blieb aber mit Kopernikus dabei, daß man die Bahnen durch Kurven darstellen könne, die einem einfachen geometrischen Erzeugungsgesetz genügen, wenn auch dieses Gesetz etwas weniger einfach war als bei Kopernikus.

Newton ließ aber das einfache geometrische Bildungsgesetz für die Bahnkurven ganz fallen und setzte an dessen Stelle ein einfaches Gesetz für die Beschleunigung der Planeten, sein berühmtes Gravitationsgesetz, das diese Beschleunigungen verkehrt proportional dem Quadrat des Abstandes vom anziehenden Zentrum annahm. Für die Bahnkurven selbst läßt sich dann im allgemeinen, bei Berücksichtigung der Störungen, kein einfaches Bildungsgesetz aufstellen. Nach der Einsteinschen Gravitationstheorie läßt sich aber auch für die Beschleunigungen der Planeten kein einfaches Gesetz aufstellen, sondern die Raumzeitkurven der Bahnkurven im vierdimensionalen Riemannschen Raum, dessen Metrik durch die Lage der anziehenden Zentren gegeben ist, genügen einem einfachen Gesetz: sie sind in diesem Raum kürzeste (geodätische) Linien. Schon die Bahnkurve eines Planeten, der nur von einem Zentrum angezogen wird, genügt dann keinem einfachen geometrischen Konstruktionsgesetz im Sinne der Elementargeometrie mehr.

Wenn man also die Reihe der Theorien von Kopernikus, Kepler, Newton, Einstein betrachtet, so ändert sich jedesmal die Theorie von Grund aus. Gerade die grundlegenden Annahmen werden jedesmal verlassen. Aus der Vollkommenheit der Himmelskörper wird das Konstruktionsgesetz einer Bahnkurve, daraus ein Gesetz für Beschleunigungen, daraus wieder ein Gesetz für Raumzeitkurven in einem vierdimensionalen Nicht-Euklidischen Raum. Diese Änderungen zeigen keinerlei Anzeichen einer Konvergenz gegen einen Grenzwert.

Von einer Konvergenz kann also nur für die aus den Theorien berechneten Zahlenwerte der Koordinaten die Rede sein. Da man aber gerade in den Theorien annähernd richtige Bilder der wirklichen Welt zu sehen pflegt, kann man die als Tatsache vorliegende Konvergenz nicht dazu ausnützen, eine allmähliche Entwicklung zu einer endgültigen Theorie vorherzusagen, die uns dann das definitive Bild der wirklichen Welt geben soll. Wir müssen ja darauf gefaßt sein, bei jedem Fortschritt der Wissenschaft

gerade die Fundamente der Theorie, von denen man am meisten eine Andeutung der „wirklichen“ Welt verlangt, ganz umbauen zu müssen.

Also ganz allgemein gesagt: Ein Streben zu einer Grenze gibt es höchstens im Reich der Beobachtungen, und zwar in dem Sinn, daß die vorhergesagten und beobachteten Zahlenwerte beobachtbarer Größen im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklung einem gemeinsamen Grenzwert zustreben. Das ist ein Grenzprozeß innerhalb der Erlebnisse.

Von einer endgültigen Theorie sehen wir auch keine leiseste Andeutung. Und selbst wenn eine Theorie so lange herrschen sollte, daß man in Versuchung käme, sie als endgültig anzusehen, so hätte diese Annahme, wie in Abschnitt 5 gezeigt ist, nur dann einen Sinn, wenn wir darunter verstehen, daß diese Theorie die von einer höchsten Intelligenz schon lange gewußte ist; sonst kommen wir nie über die Auffassung als vorläufige beste Ordnung der Erlebnisse hinaus.

9. Die physikalischen Theorien und die „wahre“ Welt.

Die Ausdrucksweise von einer „wahren“ Welt, die allmählich erforscht wird, die mit dem Namen „Realismus“ bezeichnet wird oder von besonders vorsichtigen Autoren mit „kritischer Realismus“, wird gewöhnlich als die der Naturwissenschaft angemessenste Art, über die Welt zu sprechen, angesehen. Sie schöpft ihre Kraft eigentlich daraus, daß man die Beziehung zwischen physikalischen Symbolen, wie Lage und Geschwindigkeit von Massenpunkten und den wirklichen Beobachtungen als sehr enge ansah und das Gemeinsame an beiden mit dem Namen „wahre oder reale Welt“ zu bezeichnen liebte, wie in Abschnitt 5—7 eingehend besprochen wurde.

In meinem Vortrage auf dem Prager Physikertag habe ich ausführlich gezeigt, wie durch die modernen physikalischen Theorien die Auffassung erschüttert wurde, daß die Beziehung zwischen den die Theorie aufbauenden Symbolen und den beobachteten Größen so enge ist, daß man die Redeweise von einer wahren Welt als zweckmäßig ansehen könnte. Da durch diesen Vortrag manche Mißverständnisse entstanden sind, möchte ich hier noch einiges über dieses Thema sagen. Wenn ich damals z. B. behauptete, die Redewendung von der „Existenz des

Planckschen Wirkungsquantums h “ behaupte nichts anderes als die Aussage: Es gibt eine Reihe von Versuchen, in denen sich aus beobachtbaren Größen nach den Formeln der Theorie immer derselbe Zahlenwert für die Größe h ergibt (aus der Spektralzerlegung der schwarzen Strahlung, aus der Grenzfrequenz des Röntgenspektrums, aus dem Linienspektrum des Wasserstoffes usw.), so wurde mir entgegengehalten, ich hätte damit behauptet, die Aussagen über das Wirkungsquantum h seien etwas „Willkürliches“, von dem Physiker „Erfundenes“.

Das ist aber nicht der Fall. Wenn ich bestimmte Versuche anstelle, so ergibt sich aus ihnen ganz unabhängig von meinem Willen immer derselbe Wert für h und diese Behauptung, daß jedesmal diese Zahl herauskommt, nenne ich die Behauptung von der Existenz eines Wirkungsquantums h . Wer demgegenüber behauptet, daß die Redewendung von der objektiven Existenz eines Wirkungsquantums h noch etwas anderes bedeutet, der müßte erst eine an beobachtbaren Vorgängen prüfbare Konsequenz dieser Aussage angeben, die aus der von mir gewählten Formulierung nicht ebenso folgt. Es liegt hier wieder dasselbe Mißverständnis vor, das gegenüber Mach oft auftritt. Denn ich habe nicht die Existenz des Wirkungsquantums h „geleugnet“, sondern nur eine Aussage über beobachtbare Vorgänge formuliert, die man als die von der Existenz von h bezeichnen kann.

Dasselbe gilt natürlich für den Sinn des Satzes über die Identität von Licht und Elektrizität. Wer behauptet, daß damit etwas anderes gemeint sein kann, als die Aussage, daß beide Erscheinungen denselben formalen Gesetzen genügen, nur mit anderen Werten einer Konstanten (der Wellenlänge), der müßte wenigstens eine einzige beobachtbare Erscheinung über Licht und Elektrizität angeben, die aus der „wirklichen Identität“ gefolgert werden könnte, aus der von mir gewählten Formulierung aber nicht. Diese Art von Mißverständnissen ist in der landläufigen „naturphilosophischen“ Literatur sehr verbreitet; als Beispiel sei nur das bekannte Buch von Bavinck „Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften, eine Einführung in die heutige Naturphilosophie“ angeführt.

Dieses Mißverständnis finden wir aber keineswegs bei M. Planck, der trotz seiner grundsätzlichen Gegnerschaft gegen die positivistische Ausdrucksweise doch als ein selbständiger Forscher von

hohem Range die Arbeit des Physikers so deutlich überblickt, daß ihm vollkommen klar ist, es könne aus Sätzen über die „reale Existenz von h “ oder die „wirkliche Identität von Elektrizität und Licht“ keine einzige beobachtbare Tatsache folgen. Er nennt auch ganz konsequent die der positivistischen entgegengesetzte Ausdrucksweise die metaphysische Auffassung, während die landläufige naturphilosophische Literatur den „kritischen Realismus“ als einen rein wissenschaftlichen Standpunkt darstellen will.

10. Die neue Quantenmechanik und die „wahre“ Welt.

Die Ausdrucksweise von der wahren Welt der Massenteilchen im Raum, die der Scheinwelt der Beobachtungen entgegeng gehalten wurde, war immer innerhalb der Wissenschaft sinnleer und konnte nur durch die animistische Hypothese einen Sinn bekommen. Sie zog aber ihre Kraft immer daraus, daß die Symbole der Wissenschaft die Lagen und Geschwindigkeiten von Massenpunkten waren, die dann in einfacher Weise beobachtbaren Vorgängen zugeordnet werden konnten, ein Zusammenhang, aus dem die Redeweise von der „wahren“ Welt entstand.

In der neuen Quanten- und Wellenmechanik treten als Symbole aber in erster Linie überhaupt nicht mehr die Lage und Geschwindigkeiten von Massenteilchen auf, sondern die Wellenzustände, die nicht mehr in so einfacher Weise mit den Beobachtungen in Verbindung gebracht werden können. Man braucht große Versuchsreihen (Kollektivversuche), um den Wellenzustand an einer Raumstelle nur einigermaßen kennenzulernen. Vorhersagen für die Zukunft lassen sich aber nur aus dem gegenwärtigen Wellenzustand für den zukünftigen Wellenzustand machen; und diesem lassen sich beobachtbare Vorgänge nicht so ins Einzelne gehend zuordnen, wie in der klassischen Physik der Massenpunkte. Damit entfallen aber die engen Beziehungen zwischen Symbol und Beobachtung, die früher zu der Redeweise von der wahren Welt führten, und man ist eher geneigt, wie es eigentlich auch in der klassischen Physik hätte geschehen sollen, den Tatbestand so wiederzugeben, daß die Wissenschaft aus einem System von Symbolen besteht, denen Beobachtungen zugeordnet sind, wie in Kapitel I näher ausgeführt ist. Da nirgends mehr der genaue Ort eines Massenpunktes als Symbol oder Beobachtung auftritt,

ist man auch nicht mehr geneigt, die Redeweise vom „wahren Ort eines Massenpunktes“ zu gebrauchen.

In der neuesten Entwicklung der Quantenmechanik scheint man sogar noch weit über die Heisenbergschen Unschärfebeziehungen hinauszugelangen. Während dort nur die gleichzeitige genaue Angabe von Ort und Geschwindigkeit eines Elektrons als sinnlos erschien, so stellt es sich immer mehr und mehr heraus, daß es auch sinnlos ist, von einem genauen Ort eines Elektrons, ohne Rücksicht auf die Geschwindigkeit, zu sprechen. Nach der Wellenmechanik von Dirac (einer Fortbildung der Theorie von de Broglie und Schrödinger) kann man nach einer Deutung von Schrödinger schließen, daß ein Maximum des mittleren räumlichen Amplitudenquadrates, durch welches eine Stelle besonderer Anhäufungen von Massenteilchen dargestellt wird, sich immer mit der Lichtgeschwindigkeit c bewegt. Die beobachteten kleineren Geschwindigkeiten der Massenteilchen entstehen nach dieser Deutung nur dadurch, daß jenes Amplitudenmaximum im allgemeinen eine Flimmerbewegung ausführt, d. h. sich fortwährend hin und her bewegt, so daß die beobachtete Geschwindigkeit als mittlere Geschwindigkeit herauskommt, während in jedem einzelnen Zeitpunkt jenes Amplitudenmaximum die Geschwindigkeit c besitzt. Nur wenn das bewegte Teilchen ein Lichtquantum ist, entfällt die Hin- und Herbewegung, und die beobachtete Geschwindigkeit wird auch gleich c . Die Amplitude der Flimmerbewegung ist für ein Elektron ungefähr 10^{-11} cm. Eine Angabe für den Ort eines Teilchens mit einer größeren Genauigkeit als 10^{-11} cm ist also überhaupt sinnlos. Denn der symbolische Wellenzustand besitzt eben jene Flimmerbewegungen, die durch Beobachtung niemals nachzuweisen sind, da ja einer ideal gleichförmigen beobachteten Bewegung als Symbol immer noch jene Flimmerbewegung zugeordnet ist. Eine Angabe, wo sich ein Teilchen innerhalb einer Strecke von 10^{-11} cm befindet, sagt also prinzipiell über beobachtbare Erscheinungen nichts mehr aus.

11. Die Begründer der Quantenmechanik und die „wahre“ Welt.

Die Begründer der neuen Quantenmechanik waren sich meist auch darüber klar, daß die neuen Theorien sich am einfachsten darstellen lassen, wenn man Begriffe wie „wahre“ Lage eines

Teilchens oder „wirkliche“ Geschwindigkeit und ähnliche überhaupt nicht einführt, sondern nur von Beobachtungen und Symbolen spricht. Selbst M. Planck, der außer der Welt der Beobachtungen und der Welt der die Theorie bildenden Symbole noch als eine Art drittes Reich die reale „wahre“ Welt einführt, ist sich im Grunde genommen darüber klar, daß diese Einführung nur die Folge einer Stimmung ist, der man in Zeiten eines relativen Stillstandes in der wissenschaftlichen Entwicklung leicht unterliegt. So sagt er:

„In Zeiten, wo das physikalische Weltbild einen mehr stabilen Charakter zeigt, wie es in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts der Fall war, kommt die metaphysische Richtung mehr zur Geltung, man glaubt sich der Erfassung der realen Welt schon verhältnismäßig nahe; dagegen in anderen Zeiten der Veränderlichkeit und Unsicherheit, wie wir gegenwärtig eine erleben, tritt der Positivismus mehr in den Vordergrund, da der gewissenhafte Forscher dann eher dazu neigt, sich auf den einzig festen Ausgangspunkt, die Vorgänge in der Sinnewelt, zurückzuziehen.“

Demgegenüber lehnt W. Heisenberg, einer der hervorragenden unter den Begründern der neuesten Phase der Quantenmechanik, Begriffe wie „in Wirklichkeit“ und ähnliche, wenn sie eine Hindeutung auf eine dem Forscher ewig verborgene reale Welt sein sollen, mit voller Deutlichkeit und in allen ihren Konsequenzen ab. Heisenberg sagt z. B.:

„Man muß daran denken, daß die menschliche Sprache ganz allgemein erlaubt, Sätze zu bilden, aus denen keine Konsequenzen gezogen werden können, die also eigentlich völlig inhaltsleer sind, obwohl sie eine Art von anschaulicher Vorstellung vermitteln. So führt z. B. die Behauptung, daß es neben unserer Welt noch eine zweite gebe, mit der jedoch prinzipiell keine Verbindung möglich sei, zu gar keiner Folgerung; trotzdem entsteht in unserer Phantasie bei dieser Behauptung eine Art von Bild. Selbstverständlich kann ein solcher Satz weder bewiesen noch widerlegt werden. Besonders vorsichtig muß man bei Anwendung des Ausdruckes in Wirklichkeit sein, da er sehr leicht zu Behauptungen der eben besprochenen Art verleitet.“

In ganz ähnlicher Weise lehnt ein anderer hervorragender Mitschöpfer der Quantenmechanik P. Dirac jede Aussage über den wirklichen Zustand eines physikalischen Gebildes ab. Er sagt:

„Wir sagen von jedem beliebigen atomistischen Gebilde, daß es sich in einem vorgeschriebenen Zustand befindet, wenn es in einer vorgeschriebenen Art und Weise behandelt worden ist, die jederzeit willkürlich wiederholt werden kann. Um den Zustand eines physikalischen Gebildes zu kenn-

zeichnen, kann man das Verfahren angeben, durch das er hergestellt worden ist.“

Auch E. Schrödinger, der Begründer der Wellenmechanik, glaubt nicht, daß die Frage, ob eine strenge Kausalität existiert, in dem Sinne wie sie von der klassischen Physik im Gegensatz zur Quantenphysik behauptet wurde, eine Frage über die wirkliche Welt ist. Er drückt sich so aus:

„Es handelt sich bei dieser Frage meines Erachtens nicht um eine Entscheidung über die wirkliche Beschaffenheit der Natur, wie sie uns entgegentritt, sondern über die Zweckmäßigkeit und Bequemlichkeit der einen oder der anderen Einstellung unseres Denkens, womit wir der Natur gegenüberzutreten . . . Es sind wohl keine Erfahrungstatsachen denkbar, welche endgültig darüber entscheiden, ob das Naturgeschehen in Wirklichkeit absolut determiniert oder partiell unbestimmt ist, sondern höchstens darüber, ob die eine oder die andere Auffassung einen einfacheren Überblick über das Beobachtete erlaubt.“

Doch spricht Schrödinger nicht mit derselben Schärfe aus, daß die Frage, was neben dem durch die Wissenschaft festgestellten noch in Wirklichkeit in der Natur geschieht, eine sinnleere ist. Er nimmt vielmehr gegenüber der „wahren“ Welt Plancks einen sozusagen abwartenden Standpunkt ein.

12. Die „Philosophie“ will über die „wahre“ Welt etwas aussagen.

Mit dieser wahren Welt nun, die nach allem bisher Gesagten nur bei Einführung einer übermenschlichen Intelligenz als ein sinnvoller wissenschaftlicher Begriff eingeführt werden kann, befaßt sich heute noch der größte Teil der Erörterungen, die unter dem Namen „Philosophie“ an unseren Hochschulen vorgebracht zu werden pflegen. Dabei hält man es aber an den „philosophischen“ Fakultäten meist für unwissenschaftlich, die wahre Welt mit der Existenz einer übermenschlichen Intelligenz in Zusammenhang zu bringen und versucht unabhängig davon etwas über diese wahre Welt auszusagen.

Das ganze Unheil und der ewige Zwiespalt unserer philosophischen Schulen und Richtungen scheint nun daher zu kommen, daß ihr Hauptzweck darin besteht, über etwas Aussagen zu machen, was gar nicht klar gefaßt werden kann, nämlich die „wahre“ Welt ohne Annahme einer allumfassenden Intelligenz, also etwas, über das wissenschaftliche Aussagen überhaupt nicht gemacht werden können. Es scheint mir daher grundsätzlich

ganz gleichgültig zu sein, ob man glaubt, in unseren Erlebnissen schon etwas von der wahren Welt zu erfassen, wie die „Realisten“ sagen, oder ob man glaubt, daß erst hinter den Erlebnissen die wahre Welt verborgen steckt, so daß man nur durch verschwommenes Nachfühlen hier und da einen Zipfel von ihr erwischen kann, wie die „Idealisten“ der objektiveren Richtung sagen, oder ob, wie die „Sollipsisten“ und „subjektiven Idealisten“ behaupten, die besonders vorsichtig und unangreifbar zu sein glauben, wir überhaupt von der wahren Welt gar nichts wissen können, da sie uns ewig verborgen bleibt, was schließlich zu der Richtung der „Agnostiker“ führt, die sich mit dem Nichtwissen begnügen wollen.

Alle diese Behauptungen sind in gleichem Grade weder wahr noch falsch. Sie sagen über wirklich konstatierbare Vorgänge überhaupt nichts aus. Sie geben uns keinerlei wirkliche Aufschlüsse über die Welt. Die Sinnlosigkeit aller derartigen Behauptungen wurde sehr klar von R. Carnap in seinem „logischen Aufbau der Welt“ und insbesondere in seiner kleinen Schrift „Scheinprobleme in der Philosophie“ auseinandergesetzt.

Ich möchte hier nur über die letztgenannte philosophische Richtung einiges bemerken, die agnostische, weil man sie für besonders vorsichtig, besonders „wissenschaftlich“ hält. Ich kann von einer Sache nur dann sinnvoll sagen, daß sie „unerkennbar“ ist, wenn ich konkret angeben kann, was es bedeutet, sie zu „erkennen“. Wenn ich z. B. sage, daß es unmöglich ist, Einzelheiten an der Oberfläche des Mondes genau festzustellen, so kann ich ganz genau sagen, was eine derartige Feststellung, in Erlebnissen ausgedrückt, bedeuten würde. Ich müßte mich dem Mond nähern und seine Oberfläche mit einem Mikroskop untersuchen. Dabei kann ich aber annehmen, daß die konkreten Umstände der Entfernung und der Transportmittel es mir nicht gestatten, mich dem Mond auf Sichtweite eines Mikroskops zu nähern. Hier kann die genaue Beschaffenheit der Mondoberfläche sinnvoll als „unerkennbar“ bezeichnet werden.

Was heißt aber „Unerkennbarkeit der wahren Welt“? Wir wissen, daß (Kapitel I, Abschnitt 10) ein nichttautologischer Satz nur dann einen Sinn hat, wenn sein Gegenteil sinnvoll ist. Was heißt aber „die wahre Welt ist erkennbar“? Da uns keine andere Erkennbarkeit bekannt ist als die wissenschaftliche, also die Ord-

nung der Erlebnisse durch ein System logisch zusammenhängender Aussagen, so kann auch das Erkennen der wahren Welt keinen anderen Sinn haben. Wenn wir aber in dieser wahren Welt etwas außerhalb unserer Erlebnisse sehen, so kann der Begriff des Erkennens im wissenschaftlichen Sinn überhaupt nicht auf sie angewendet werden; eine andere haben wir aber nicht.

Mit der Erkennbarkeit verliert aber auch die Unerkennbarkeit ihren Sinn. Die „wahre Welt“ ist eine sinnlose Zusammenstellung von Schriftzeichen oder Lauten; darüber können sinnvolle Aussagen nur gemacht werden, wenn sie soziologischer Art sind, also sich mit den Umständen beschäftigen, unter denen jene Lautverbindung ausgesprochen zu werden pflegt.

13. Ernst Mach als Gegner des Begriffes „wahre Welt“.

Es hat immer wieder Versuche gegeben, auch innerhalb der als philosophisch bezeichneten Literatur, den Begriff der wahren Welt zu eliminieren. Gegenüber den realistischen und idealistischen Philosophen bemühten sich die „Positivisten“ und „Pragmatisten“ nur Aussagen über Erlebnisse zuzulassen. Von den Naturforschern war es vor allem Ernst Mach, der die Ansicht vertrat, es könne keine anderen wissenschaftlichen Aussagen geben als solche über Erlebnisse. Die Lehre der Schulphilosophie, daß es eine wahre Welt außerhalb aller Erlebnisse gebe, die man erforschen müsse, war aber allen, die sich mit derartigen Problemen beschäftigten, so geläufig, daß man sich nun sofort bemühte, die Frage zu beantworten, was eigentlich Mach über die wahre Welt behauptet habe.

Wenn man darauf erwidert, daß Mach über die wahre Welt gar nicht spricht, folgert man daraus oft, daß er sie eben für unerkennbar hielt oder meist, daß er behauptete, die reale Welt „existiere überhaupt nicht“. Beide Auslegungen der Lehren Machs sind gleich sinnlos, wenn man den hier vertretenen Standpunkt einnimmt, den ich für die konsequente Weiterentwicklung der Lehren Machs halte. Die Auffassungen, nach Mach sei die wahre Welt unerkennbar oder nicht existierend, sind beide Kompromisse mit der Schulphilosophie. Von etwas Sinnlosem kann ich nicht entscheiden, ob es erkennbar oder unerkennbar, existierend oder nicht existierend ist. Nur innerhalb der Erlebnisse gibt es wahre und unwahre Aussagen, aber nicht außerhalb

derselben. Da aber jene Auffassung der Schulphilosophie so eingewurzelt ist, wird Mach oft zu den „Idealisten“ gezählt, welche die „Realität der Erlebnisse, der Sinnenwelt leugnen“. Eine solche Behauptung hätte natürlich nur vom Standpunkt der Schulphilosophie aus einen Sinn; denn die „Realität der Sinnenwelt leugnen“, heißt deren Übereinstimmung mit der wahren Welt leugnen. Davon ist Mach aber weit entfernt, da er gar keine wahre Welt als selbständige Bezeichnung einführt.

Daher ist es auch historisch verständlich, daß die Lehren Machs eine Rolle in dem Kampf gegen den Materialismus gespielt haben oder, wie man sich gerne ausdrückt, bei der „Überwindung des Materialismus“. Dieser Kampf wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts unter allen möglichen Schlagworten und mit großer Freude geführt, und noch heute ist, insbesondere in Deutschland, ein Philosoph um so angesehener, je gründlicher er den Materialismus „überwindet“. Da nun Mach die „Realität der Materie“ leugnet, gilt er als Gegner des Materialismus, und seine Ansichten werden als die eines Naturforschers in dem geschilderten Kampf besonders gerne verwertet.

14. Der Kampf Lenins und seiner philosophischen Schüler gegen den „Machismus“.

Es ist daher kein Wunder, daß bei allen denen, die ihre Wünsche für eine soziale Umgestaltung am besten auf den Materialismus als allgemeine Weltauffassung stützen zu können glauben, die Lehren Machs als eine große Gefahr gelten, da hier von Seiten der Physik selbst Argumente gegen den Materialismus auftauchen.

So hat schon Lenin in seinem bereits in Kapitel IX, Abschnitt 11, erwähnten Buch den „Machismus“ als eine kleinbürgerliche, reaktionäre Philosophie bekämpft. Und im heutigen Rußland gilt ein Anhänger Machs als ein Gegner des herrschenden sozialen Systems.

Diese ganze Auffassung der Lehren Machs beruht aber meiner Ansicht nach darauf, daß die vermeintlichen Verteidiger des Materialismus gegen Mach den Bruch mit der Schulphilosophie nicht energisch genug vollzogen haben. Ich will hier diesen Zusammenhang nur kurz andeuten. Vielleicht werde ich Gelegenheit haben, ihn an einem anderen Orte ausführlich darzulegen, weil er meiner Ansicht nach für die Soziologie der wissenschaftlichen

Systeme ein großes Interesse hat. Hier soll nur soviel davon die Rede sein, als dazu dient, den Unterschied zwischen der Schulphilosophie und einer rein wissenschaftlichen Weltauffassung klarer und schärfer hervortreten zu lassen.

Ich stelle also hier nur kurz in sieben Punkten die Beziehungen zwischen Mach und dem Materialismus zusammen.

1. Ist es nicht richtig, daß der Materialismus, wie er z. B. bei den französischen Enzyklopädisten des 18. Jahrhunderts auftritt, die „Realität“ der Materie behauptet hat. Unter Materialismus verstand man im Zeitalter der Aufklärung einfach die Ansicht, daß sich alle Naturvorgänge, auch die an Lebewesen, mit Hilfe der Begriffe und Gesetze der Mechanik, also bewegter Massen, darstellen lassen, ohne Hilfe von seelenähnlichen Substanzen; mit „Realität“ hat das gar nichts zu tun, da das Sprechen von einer „wahren Welt“ genau so bei den seelenähnlichen Faktoren wie bei den mechanischen Massen erst zu dem Erlebnis hinzutreten müßte, das Kennzeichen der materialistischen Weltauffassung aber in der bloßen Verwendung von bewegten Massen als Darstellungsmittel liegt, ohne daß hier die „wahre“ Welt irgendeine Rolle spielen würde.

2. Hat Mach die „Realität der Materie“ nie geleugnet, weil bei ihm, wie wir schon gesehen haben, das Wort „Realität“ in diesem Sinn nie gebraucht wird.

3. Folgt aus dem Gesagten, daß Mach zur „Überwindung des Materialismus“ gar nichts beitragen kann.

4. Hat Mach mit dem, was man in der Philosophie „Idealismus“ zu nennen pflegt, gar nichts zu tun.

5. Hat die Polemik Lenins und seiner philosophischen Nachfolger eine wirkliche Berechtigung wohl gegen die zahlreichen Philosophen, die Mach durchaus im Sinne der Schulphilosophie deuten wollen und ihn daher in die Nähe des „Idealismus“ bringen müssen, keineswegs aber gegen Mach selbst, wenn man ihn rein wissenschaftlich auffaßt.

6. Ist der Materialismus, so lange er nur Aussagen von der Art macht, daß die Lebensvorgänge sich auf physikalische zurückführen lassen, eine naturwissenschaftliche Theorie und hat mit den Lehren der Schulphilosophie von der wahren Welt gar nichts zu tun.

7. Zeigt die Entwicklung des Materialismus in der rus-

sischen Literatur oft ein Abrücken vom klassischen „mechanistischen“ Materialismus der Aufklärungszeit und eine starke Betonung der dialektischen Seite des „dialektischen Materialismus“, die ihn wieder der Philosophie Hegels nähert, aus der ihn Marx und Engels durch Betonung der materialistischen Seite abgeleitet hatten, indem sie die Dialektik Hegels aus dem Idealistischen ins Materialistische transponierten (s. Kap. IV, Abschn. 20—22). Heute sehen wir aber gelegentlich die Analogie zwischen den psychologischen Gesetzen des menschlichen Denkens und den Vorgängen in der unbelebten, wie in der belebten Natur sehr stark hervorgehoben, also eine Darstellung der Naturvorgänge mit Hilfe psychologischer Analogien; man spricht von Tendenzen und ähnlichem, lauter Hilfsbegriffen, deren Ausschaltung das Hauptziel des Materialismus der Aufklärungszeit war. Und in der Tat wird Mach heute bereits von manchen, die glauben, Lenins philosophische Ansichten zu vertreten, als Anhänger des „mechanischen“ Materialismus bekämpft, werden Positivismus und „Machismus“ in eine Reihe mit dem jetzt abgelehnten „Mechanismus“ gestellt.

15. In der Weigerung, von einer „wahren“ Welt zu sprechen, liegt nichts Skeptisches.

Wir haben in den Abschnitten 13 und 14 festgestellt, daß es ein Mißverständnis wäre, zu behaupten, daß der „Machismus“ oder „Positivismus“ die „Realität“ der Außenwelt, der Materie oder irgendeines Hilfsbegriffes „leugne“. Eine solche Leugnung hätte nur innerhalb des Systems der Schulphilosophie mit ihrer „wahren“ Welt einen Sinn; denn in einer rein wissenschaftlichen Weltauffassung kann man von Realität nur innerhalb der Welt der Erlebnisse sprechen; Aussagen über die wirkliche Welt haben wir in dieser Schrift auch von Anfang an solche genannt, die etwas über unsere Erlebnisse aussagen. Als „wahre Welt“ können wir höchstens ein System von Sätzen, eine Theorie, verstehen, mit deren Hilfe unsere Erlebnisse richtig erschlossen werden können.

Man hat oft in derartigen Anschauungen etwas Skeptisches, ja etwas „Zersetzendes“ gefunden. Man hat gesagt: Wer die wahre Welt nicht anerkennt, leugnet die Möglichkeit jeder Erkenntnis der Wahrheit und damit den Sinn und die Würde jeder Wissenschaft. Diese Ansicht beruht aber auf einem vollkommenen

Mißverständnis. Die Ablehnung des Begriffes einer wahren Welt neben der Welt der Erlebnisse hat gar nichts mit einer skeptischen Haltung zu tun. Es wird vielmehr ganz positiv und mit der Überzeugung der vollkommenen Sicherheit, soweit eine derartige überhaupt möglich ist, die Behauptung aufgestellt, daß der Begriff der wahren Welt außerhalb der Welt der Erlebnisse nur bei Einführung einer außerhalb der Welt stehenden übermenschlichen Intelligenz einen Sinn hat, sonst aber ein logisches Unding ist.

Mit dieser Ansicht verhalten wir uns auch gegenüber den Elementen jener wahren Welt nicht skeptisch, sondern behaupten entschieden, daß alle derartigen Aussagen sinnlos sind; sinnlos, aber nicht falsch. Dieses Mißverständnis rührt daher, daß man immer noch unwillkürlich die Begriffe der Schulphilosophie als sinnvoll annimmt. Wenn man die „wahre“ Welt als sinnvoll annimmt, so verhält sich derjenige skeptisch, der behauptet, man könne nichts über sie aussagen. Wenn ich aber z. B. behauptete, man könne über ein Dreieck mit drei rechten Winkeln in der Euklidischen Geometrie nichts aussagen, als daß es ein sinnloses Wort ist, so bin ich damit doch kein Skeptiker. Dasselbe gilt aber für die „wahre Welt“ ohne Hinzufügung einer außerweltlichen Intelligenz vom Standpunkt einer wissenschaftlichen Weltauffassung.

16. Das „Ignorabimus“ ist sinnlos.

Wenn ich gegenüber diesem angeblichen Skeptizismus den wirklichen Skeptizismus kennzeichnen will, so handelt es sich bei ihm darum, mit welcher Sicherheit ich wahre Behauptungen innerhalb der Welt der Erlebnisse aufstellen kann. Das hat mit der Frage gar nichts zu tun, ob ich hinter der Welt der Erlebnisse noch eine andere Welt annehme.

Wenn man die Gesamthaltung gegenüber der Wissenschaft betrachtet, so muß man wohl sagen, daß die Schulphilosophie skeptisch, die wissenschaftliche Weltauffassung aber optimistisch und hoffnungsvoll ist. Die Annahme einer wahren Welt hat dazu geführt, ewig unlösbare Probleme, Welträtsel anzunehmen, Grenzen der Wissenschaft, welche diese niemals überschreiten kann. So sollen nach Dubois-Reymond das Problem vom Zusammenhang der Materie und Kraft, von Materie und Denken zu den Fragen gehören, die jenseits der Grenzen der Wissenschaft liegen.

Das sind aber Fragen, die als Probleme innerhalb der Welt der beobachtbaren Vorgänge überhaupt nicht formuliert werden können. Hier könnte man höchstens fragen: Bei welchem Grade der Komplikation des Moleküls beginnt es, so feine Reaktionen auf Reize zu ermöglichen, wie wir sie bei den lebenden Organismen sehen und als seelische Beeinflussungen zu bezeichnen pflegen? Von einer solchen Frage wird man vielleicht vermuten, daß sie schwer oder vielleicht auch nie gelöst werden wird, aber nicht, daß sie ein ewig unlösbares Problem darstellt. Wenn man aber eine wahre Welt als sinnvoll annimmt, so gibt es auch auf die Frage nach dem Zusammenhang von Materie und Denken und ähnliche eine Antwort, weil die außerweltliche Intelligenz, deren Erlebnis die wahre Welt ist, auch die Antworten auf alle Fragen über die wahre Welt kennt. Diese Fragen sind nur für den menschlichen Verstand ewig unlösbar, überschreiten die menschliche Wissenschaft, sind aber doch sinnvoll, weil es neben der menschlichen noch eine andere Intelligenz gibt.

Für eine rein wissenschaftliche Weltauffassung ist aber der Begriff eines „ewig“ unlösbaren Problems ein Widerspruch. Alle Fragen, die von der Wissenschaft sinnvoll, d. h. als Fragen über wirkliche Erlebnisse (s. Kap. I) gestellt werden können, sind auch, wie insbesondere Wittgenstein und Carnap hervorgehoben haben, prinzipiell nach wissenschaftlichen Methoden lösbar. Die Frage kann nur sein, ob ein bestimmtes Problem mit Hilfe einer bestimmten wissenschaftlichen Theorie gelöst werden kann oder nicht.

17. Die sogenannten Grenzen der Wissenschaft.

Man hat vielfach die Annahme von „Grenzen der Erkenntnis“, „Grenzen der Wissenschaft“ als ein Erfordernis besonders exakten und vorsichtigen wissenschaftlichen Denkens angesehen. Aber schon Hegel hat klar erkannt, daß der Begriff einer Grenze des Erkennens nur einen Sinn hat, wenn wir jenseits dieser Grenze eine uns unbekanntere Welt als existierend annehmen, an deren Erreichung uns jene Grenze hindert. So sagt A. Brunswik in seiner Darstellung der Lehren Hegels:

„So anerkannte Hegel nicht die von Kant vollzogene kritische Einschränkung des Erkennens auf das Reich bloßer, von uns selbst abhängiger Erscheinungen, hinter denen ewig unerkennbar das Ansich der Dinge verbliebe. Ein solches Wissen der Erkenntnisstrahlen widerspräche sich

selbst, denn schon dadurch, daß wir von der Schranke wissen, sind wir über sie hinaus.“

Von dem hier vertretenen Standpunkt aus müssen wir auch Hegel gegenüber Kant Recht geben, dessen „kritische“ Einstellung darauf hinauslief, die unhaltbaren Positionen der alten Schulphilosophie preiszugeben, um doch möglichst viel Boden für sie retten zu können, indem er sie in das Gebiet des „Unerkennbaren“ hinüberzubringen suchte. Mir scheint aber hier Hegel die logische Verkettung aller Positionen der Schulphilosophie klarer durchschaut zu haben. Wenn man das Reich des „An sich“ als eine kleine Reservation nach Art der Indianerdistrikte in den Vereinigten Staaten für die Weltanschauung des primitiven Menschen retten zu können glaubt, dann gibt es einmal jene wahre Welt und es wäre Kleinmut, darauf zu verzichten, je etwas über sie zu wissen. Dann sagen wir lieber mit Hegel:

„Das verschlossene Wesen des Universums hat keine Kraft in sich, welche dem Mut des Erkennens Widerstand leisten könne: es muß sich vor ihm auftun und seinen Reichtum und seine Tiefe ihm vor Augen legen und zum Genusse bringen.“

Durch keinen „kritischen“ Idealismus wird sich der Mensch je abhalten lassen, über jene verbotene Schranke hinüberzublicken und hinüberzuturnen. Trotz der so stark abgelehnten phantastischen Berichte, die uns Hegel aus der Welt jenseits dieser Schranken erzählte, hat es immer wieder Erneuerungen der Hegelschen Philosophie gegeben. Und in unseren Tagen versuchen alle zur Tat drängenden geistigen Strömungen, von der äußersten Rechten bis zur äußersten Linken, an den Hegelschen Wagemut anzuknüpfen. Man braucht hier nur an die große Bedeutung zu denken, die Lenin in der Beschäftigung mit den Hegelschen Lehren beigelegt hat.

Nur wer die Existenz jener „Schranken“ der Erkenntnis für einen Widersinn hält, braucht auch keine unerkennbare Welt anzunehmen und kann ganz folgerichtig, ohne dabei resignierte Stimmungen zu fördern und den Tatendrang zu lähmen, auf dem Boden der Wissenschaft bleiben und alle Neo-Hegelianischen Strömungen als Reste der Schulphilosophie ablehnen, dann aber auch ganz konsequent den noch viel unkritischeren „kritischen“ Idealismus.

18. Die Anerkennung von Grenzen der Wissenschaft bedeutet die Anerkennung von außerwissenschaftlichen Erkenntnissen.

Wir haben schon wiederholt gesehen, daß vom Standpunkt einer rein wissenschaftlichen Auffassung Behauptungen wie die vom teleologischen Charakter des Lebens, von der Existenz besonderer vitalistischer Faktoren, vom Vorhandensein einer Willensfreiheit nur negative Behauptungen sind, die sich innerhalb der Wissenschaft in keiner Weise in positive Aussagen über wirkliche Erlebnisse übersetzen lassen. Sobald man aber die rein wissenschaftliche Auffassung verläßt und in irgendeiner Weise Ausdrücke wie „wahre Welt“ einführt, erhalten sofort Ausdrücke wie „Grenzen der Wissenschaft“ einen Sinn und man kann die Frage stellen, was hinter jenen negativen Behauptungen über Teleologie, Willensfreiheit und ähnliches für positive Behauptungen stecken.

Diesen Übergang hat in ausgezeichneter Weise E. Boutroux auseinandergesetzt. In seinem Buch „Wissenschaft und Religion“ ist ein Kapitel „Die Religion und die Grenzen der Wissenschaft“ enthalten, in dem unter anderem die Frage untersucht wird, was aus der Existenz von Grenzen der Wissenschaft alles folgt. Es heißt dort schon im Inhaltsverzeichnis: „Die Natur der Grenzen der Wissenschaft: Sie sind nicht nur einfach negativ, sondern man muß von ihnen auf ein überwissenschaftliches Jenseits schließen, das die Bedingung des Gegenstandes der Wissenschaft selbst bildet.“ An vielen Stellen spricht Boutroux sehr eingehend über jenes Hereinblicken einer außerwissenschaftlichen Welt in die Wissenschaft. Z. B.:

„Die Wissenschaft weiß genug, um zu wissen, daß sie sich selbst nicht genügt. Ihre Prinzipien sind negative Begriffe, die ihrem Inhalte nach unbestimmt sind. Aber es ist dem menschlichen Geiste unmöglich, sich nicht zu fragen, was eine Sache denn ist, wenn man ihn einfach lehrt, daß sie weder dies noch jenes ist. . . Die Art der wissenschaftlichen Erkenntnis selbst: Die Befragung der Natur mit Hilfe einer Hypothese erlaubt ihr, für den Augenblick hinreichende Erklärungen zu finden, nicht aber diese hinreichenden Erklärungen in notwendige zu verwandeln. Und doch muß die positive und absolute Erklärung existieren. Die Wissenschaft überzeugt uns davon, während sie zugleich ihre Unfähigkeit feststellt, diese Erklärung zu liefern.“

Diese Betrachtungen lassen sich besonders auf die Biologie anwenden. Boutroux spricht von der vitalistischen Begriffsbildung und sagt darüber:

„Diese Begriffe sind für die Wissenschaften nur Negationen und Aufstellungen von Problemen, weil sie den mechanistischen Gesichtspunkt überschreiten. Sie geben einen Hinweis auf die Idee einer Erklärung, die derjenigen ähnlich ist, die das Bewußtsein sich für seine Handlungen gibt . . . Es scheint unwiderleglich zu sein, daß der positive Inhalt der biologischen Begriffe außerwissenschaftlich ist, daß diese Begriffe, wissenschaftlich gesprochen, nur negative Begriffe sind. Daraus folgt aber nicht, daß die Wissenschaft deren positive Bedeutung, wenn sie auch nur subjektiv ist, als unnütz, chimärisch und rein verbal ablehnen kann. Denn wenn diese Begriffe rein quantitativ, exakt und objektiv werden, so verlieren sie alles, was an ihnen charakteristisch ist, und was fähig wäre, den Gelehrten bei seinen Forschungen und Synthesen zu leiten.“

Was hier besonders bemerkt zu werden verdient, ist die Klarheit darüber, daß die vitalistischen und teleologischen Begriffe außerhalb der Wissenschaft stehen, bei einem Philosophen, der diese Begriffe für sehr wichtige und nützliche hält.

19. In der Schulphilosophie sind die Reste veralteter wissenschaftlicher Theorien konserviert.

Die Gedanken der Schulphilosophie sind nicht etwas, das man erst durch das Studium der Philosophie an den Universitäten oder aus den Schriften der Philosophen lernt. Sie kommen aus der animistisch-theologischen Periode des menschlichen Denkens und bildeten damals ein logisch befriedigendes Gebäude. Unsere heutige Schulphilosophie versucht aber jenen Grundgedanken, die Existenz einer wahren Welt, in der die Lösung aller Probleme enthalten ist, von seiner animistisch-theologischen Grundlage loszulösen, eine Aufgabe, die immer wieder zu neuen logisch widersinnigen Konstruktionen führen muß.

Da aber unsere Wissenschaft in der Form, wie wir sie in der Schule zu lernen pflegen, mit ihren Wurzeln noch in der animistischen Periode steckt, ist es selbstverständlich, daß jeder Unterricht schon von der Volksschule an mit den Vorstellungen der Schulphilosophie durchtränkt ist. Das Kind erhält so den ganzen Inhalt der heutigen Wissenschaft in jener Form vorgesetzt, so daß es den meisten ihr ganzes Leben hindurch nie mehr gelingt, den eigentlichen wissenschaftlichen Inhalt aus jener überlieferten Form herauszuschälen und die Schale wegzuerwerfen. Wer das für übertrieben hält, braucht sich nur den einleitenden Abschnitt in einem beliebigen Lehrbuch der Physik für Gymnasien durchzulesen. Unter dem Titel „Allgemeine Eigenschaften der Körper“

wird er hier meist neben Beschreibungen des Nonius, eines Instrumentes zur genauen Längenmessung, verschiedene Lehren der Schulphilosophie als ganz ebenso konkret und einleuchtend wie es die Beschreibung des Nonius ist, vorgesetzt erhalten, Lehren über Raumerfüllung, Undurchdringlichkeit, Naturgesetze usw. In den zusammenfassenden Lehrbüchern für Universitäten pflegen ähnliche Abschnitte zu stehen, die nur notdürftig durch einige vorsichtige Wendungen dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft angepaßt sind, indem, oft nur unter dem Strich, schüchtern der Hoffnung Ausdruck gegeben wird, daß Relativitäts- und Quantentheorie an dem Gesagten nicht viel ändern werden.

Da derartige Auffassungen schon von früher Jugend an den meisten beigebracht werden, gelten sie als Auffassungen des „gesunden Menschenverstandes“ und die gegenteiligen Ansichten als „erkünstelt“. Wenn man den Inhalt dessen, was der gesunde Menschenverstand uns lehrt, zusammenstellt, so wird man finden, daß darunter alles das zu verstehen ist, was man in der Volksschule und höchstens noch in den unteren Klassen des Gymnasiums gelernt hat.

Was unter dem Titel „Philosophie“ gelehrt zu werden pflegt, beschäftigt sich nun meist damit, zu beweisen, daß alle Fortschritte der Wissenschaft nicht imstande sind, die Aussagen des gesunden Menschenverstandes zu erschüttern. Oder anders gesprochen: da der gesunde Menschenverstand ja nichts anders ist als der Niederschlag der Wissenschaft vergangener Perioden, will die Philosophie damit beweisen, daß es einen Fortschritt der Wissenschaft überhaupt nicht gibt. Ich erinnere nur an die vielen Versuche von Philosophen, zu beweisen, daß durch die Relativitätstheorie die hergebrachten Begriffe von räumlicher und zeitlicher Anordnung, d. h. die Ergebnisse der üblichen Volksschulbildung, nicht erschüttert werden können.

Wenn auch durch Mach und ähnlich gerichtete Denker der Schulphilosophie eine wissenschaftliche Auffassung entgegengesetzt wurde, so scheint in den Kreisen der unmittelbaren Schüler und Anhänger Machs der Gegensatz zwischen Mach und der Schulphilosophie oft nicht genug gewürdigt worden zu sein, weil diese Kreise sich vorwiegend für Physik und Naturwissenschaften überhaupt interessierten und der historischen und soziologischen

Verknüpfung der wissenschaftlichen Anschauungen weniger Beachtung geschenkt wurde. Aus diesem Kreise wäre vielleicht nur das Buch von J. Petzoldt „das Weltproblem vom Standpunkt des relativistischen Positivismus“ zu nennen, in dem nicht, wie in den üblichen Geschichten der Philosophie, der Triumph des Idealismus Platons über die Sophisten als ein Fortschritt dargestellt wird, sondern ganz konsequent die Sophisten als Verfechter einer wissenschaftlichen Weltauffassung gegenüber der animistisch-theologischen von Platon und Aristoteles.

20. Die „Philosophie“ als Verteidigerin des Volksvorurteils.

Die Ansicht, daß die „wahre Welt“ im Gegensatz zur „Scheinwelt“ der Erlebnisse ein Rest einer primitiven Denkgewohnheit, und daß der gesunde Menschenverstand nichts anderes als der unter dem Einfluß jener Schulphilosophie stehende Verstand ist, finden wir sehr scharf und deutlich in den Schriften von Fr. Nietzsche, besonders in seinem Nachlaß, den Studien und Fragmenten zu seinem nie vollendeten Werk „Der Wille zur Macht. Versuch einer Umwertung aller Werte.“ Nietzsche ist in seinem Denken sehr wenig von naturwissenschaftlichen Arbeitsmethoden ausgegangen; aber er ist mit großem psychologischen Scharfblick den Spuren früherer primitiver Perioden in unserem gegenwärtigen Denken nachgegangen und hat mit seiner bewundernswürdigen Fähigkeit des sprachlichen Ausdruckes besser als jeder andere den Charakter der Schulphilosophie und des sogenannten gesunden Menschenverstandes aufgedeckt.

Wenn die heutige Philosophie so oft den Eindruck der Fruchtlosigkeit, ja des Lächerlichen macht, den Eindruck einer Arbeit, die mit allen möglichen mechanischen Hilfsmitteln ein Sandkörnchen einen Zentimeter hochhebt, so rührt dies meiner Ansicht nach gerade daher, daß sie immer bemüht ist, den Verstand des gemeinen Menschen gegenüber der Wissenschaft zu verteidigen. Sie „rettet“ die Willensfreiheit, sie „rettet“ die Realität der Außenwelt, sie „rettet“ den absoluten Raum und die absolute Zeit, sie „rettet“ die alten Begriffe von Ursache und Wirkung, sie „rettet“ die Zweckmäßigkeit in der Natur, kurz, sie bemüht sich zu beweisen, daß es keinen Fortschritt der Wissenschaft gibt, daß wir vielmehr mit zwölf Jahren bereits das endgültig feststehende Weltbild besaßen. Am kürzesten und

präzisesten kennzeichnet Nietzsche diese Arbeit der Schulphilosophie in seinem Aphorismus „Kants Witz“, wobei an Stelle von Kant noch so mancher andere Philosoph gesetzt werden könnte:

„Kant wollte auf eine ‚alle Welt‘ vor den Kopf stoßende Art beweisen, daß ‚alle Welt‘ recht habe: — das war der heimliche Witz dieser Seele. Er schrieb gegen die Gelehrten zugunsten des Volksvorurteiles, aber für Gelehrte und nicht für das Volk.“

21. Die „Philosophie“ im Kampf gegen den Fortschritt der Wissenschaft.

Den Widersinn, der in der Konstruktion der wahren Welt liegt, kennzeichnet Nietzsche sehr gut in seiner Bemerkung „zur Psychologie der Metaphysik“ in folgender Weise:

„Diese Welt ist scheinbar: folglich gibt es eine wahre Welt; — diese Welt ist bedingt: folglich gibt es eine unbedingte Welt; — diese Welt ist widerspruchsvoll: folglich gibt es eine widerspruchslose Welt; diese Welt ist werdend: folglich gibt es eine seiende Welt: — lauter falsche Schlüsse: (blindes Vertrauen in die Vernunft: wenn A ist muß auch sein Gegensatzbegriff B sein). Zu diesen Schlüssen inspiriert das Leiden: im Grunde sind es Wünsche, es möchte eine solche Welt geben; ebenfalls drückt sich der Haß gegen eine Welt, die leiden macht, darin aus, daß eine andere imaginiert wird, eine wertvollere: das Ressentiment der Metaphysiker gegen das Wirkliche ist hier schöpferisch.“

Und an einer anderen Stelle:

„Eine wahre Welt — sie mag sein, wie sie will —, gewiß haben wir kein Organ der Erkenntnis für sie. Hier dürfte man nun schon fragen: mit welchem Organ der Erkenntnis setzt man auch diesen Gegensatz nur an? . . .“

Wenn also auch die wahre Welt etwas logisch Widersinniges ist, so hat Nietzsche sehr deutlich erkannt, daß es einen ganz bestimmten soziologischen Zweck hat, von ihr zu sprechen. Er sagt:

„Das Schlimme ist, daß mit dem alten Gegensatz ‚scheinbar‘ und ‚wahr‘ sich das korrelative Werturteil fortgepflanzt hat: ‚geringer an Wert‘ und ‚absolut wertvoll‘ . . . Es ist von kardinaler Wichtigkeit, daß man die wahre Welt abschafft. Sie ist die große Wertverminderung der Welt, die wir sind: sie war bisher unser gefährlichstes Attentat auf das Leben.“

Den wissenschaftsfeindlichen Geist der Philosophen erkennt Nietzsche schon deutlich bei den Griechen. Er sagt von ihnen:

„Das ist außerordentlich. Wir finden von Anfang der griechischen Philosophie an einen Kampf gegen die Wissenschaft, mit den Mitteln einer

Erkenntnistheorie bzw. Skepsis: und wozu? Immer zugunsten der Moral . . . (Der Haß gegen die Physiker und Ärzte) . . . Andererseits sind die Physiker alle soweit unterjocht, um die Theorie der Wahrheit, des wahren Seins in ihre Fundamente aufzunehmen . . . Der Kampf gegen die Wissenschaft richtet sich gegen 1. deren Pathos (Objektivität), 2. deren Mittel (d. h. gegen deren Möglichkeit), 3. gegen deren Resultate (als kindisch). Es ist derselbe Kampf, der später wieder von seiten der Kirche, im Namen der Frömmigkeit geführt wird: sie erbt das ganze antike Rüstzeug zum Kampf. Die Erkenntnistheorie spielt dabei dieselbe Rolle wie bei Kant, wie bei den Indern . . . Sie hassen das Schrittweise, das Tempo der Wissenschaft, sie hassen das Nicht-anlangen-wollen, den langen Atem, die Personalindifferenz des wissenschaftlichen Menschen.“

Oder über die soziologische Rolle der Philosophen in ihrem Verhältnis zur Wissenschaft:

„Der Philosoph gegen die Rivalen, z. B. gegen die Wissenschaft: da wird er Skeptiker; da behält er sich eine Art der Erkenntnis vor, die er dem wissenschaftlichen Menschen abstreitet; da geht er mit dem Priester Hand in Hand, um nicht den Verdacht des Atheismus, Materialismus zu erregen; er betrachtet einen Angriff auf sich als einen Angriff auf die Moral, die Tugend, die Religion, die Ordnung, — er weiß seine Gegner als ‚Verführer‘ und ‚Unterminierer‘ in Verruf zu bringen; da geht er mit der Macht Hand in Hand.“

Dieselbe Stellung gegenüber der Wissenschaft finden wir auch heute noch in dem größten Teil aller Schriften, die sich als philosophische bezeichnen. Ich greife nur aufs Geratewohl einige Stellen aus der neuesten Literatur heraus, ohne damit sagen zu wollen, daß die zufällig gewählten Autoren diese Ansichten besonders scharf zum Ausdruck bringen würden. So sagt z. B. M. Heidegger (1929):

„Die vermeintliche Nüchternheit und Überlegenheit der Wissenschaft wird zur Lächerlichkeit, wenn sie das Nichts nicht ernst nimmt. Nur weil das Nichts offenbar ist, kann die Wissenschaft das Seiende selbst zum Gegenstand der Untersuchung machen. Und nur wenn die Wissenschaft aus der Metaphysik existiert, vermag sie ihre wesenhafte Aufgabe stets neu zu gewinnen, die nicht im Ansammeln und Ordnen von Kenntnissen besteht, sondern in der immer neu vollzogenen Erschließung des ganzen Raumes der Wahrheit von Natur und Geschichte . . . Daher erreicht keine Strenge der Wissenschaft den Ernst der Metaphysik. Und Philosophie kann nie am Maßstab der Idee der Wissenschaft gemessen werden.“

Aus dem mittelalterlichen „die Philosophie ist die Magd der Theologie“ will man heute oft „die Wissenschaft ist die Magd der Philosophie“ machen. Die frühere Magd ist in die Höhe gekommen und sucht ihre frühere Herrin nachzuahmen; sie sucht

sich für die täglichen Verrichtungen Dienerschaft und hält deren Arbeit dann für eine niedrigere.

Noch im Jahre 1924 schreibt O. Spann in seiner Kategorienlehre:

„Darum bin ich auch von der Allgemeingültigkeit der mathematisch-quantitativen Verfahren, von der methodischen Alleinmöglichkeit einer exakten Naturwissenschaft nicht überzeugt und meine vielmehr, daß sich ein gewaltiges Stück Naturphilosophie nach der Art jener von Schelling, Baader, Hegel, Oken, Steffens, Eschenmayer, Karl Ernst von Baer und vieler anderer großer Forscher mit den heutigen Verfahren verbinden lassen müßte, wodurch diese nicht nur eine Ergänzung und Überhöhung erführen, sondern erst die rechte Wahrheit und Wesentlichkeit gewinnen.“

22. Die Bedeutung des Neukantianismus für eine wissenschaftliche Weltanschauung.

Wenn wir uns ansehen, wie die verschiedenen Richtungen der Schulphilosophie sich zu dem verhalten, was im ersten Kapitel dieser Schrift als wissenschaftliche Auffassung der Physik dargestellt ist, so wird man finden, daß in der Neukantianischen Schule, wie sie von Cohen und Natorp begründet wurde und insbesondere in ihrer heutigen Weiterentwicklung durch E. Cassirer jene von uns als wissenschaftlich bezeichnete Auffassung der Physik eigentlich als vollkommen berechtigt zugegeben wird. Es wird die Physik als ein System von Symbolen angesehen und nicht als das Bild einer realen Welt. Hier zeigt sich das, was ich in der Vorrede als den inneren Zersetzungsprozeß der Schulphilosophie bezeichnet habe; und in diesem Sinn ist diese Richtung als die fortschrittlichste innerhalb der Schulphilosophie zu bezeichnen.

Wie man z. B. deutlich aus der bekannten Schrift von E. Cassirer über die Relativitätstheorie sieht, ist er bereit, alle neuen Theorien zu akzeptieren und sie ganz genau wie etwa Russel und Carnap als ein von Menschenhand erzeugtes System von Symbolen zur Beherrschung der Beobachtungen anzusehen; nur steckt im Hintergrunde immer noch die „wahre Welt“ der Schulphilosophie als etwas, das wohl von der Physik nicht dargestellt werden kann, das aber doch als eine Art Grenzbegriff der physikalischen Theorien angenommen werden muß. Das Unzutreffende dieser Grenzbetrachtung habe ich in den Abschnitten 7 und 8 ausführlich besprochen. Durch die Einführung jener hinter

den Symbolen steckenden wahren Welt verliert die ganze Auffassung der physikalischen Theorien ihre Klarheit, Durchsichtigkeit und Geschlossenheit; es wird trotz aller Zugeständnisse an den wissenschaftlichen Fortschritt die Redeweise der Schulphilosophie in ihren Grundzügen beibehalten, obwohl ihre Bedeutung allmählich einem Prozeß der Aushöhlung unterliegt.

Für den Gegenstand dieser Schrift ist die Neukantianische Auffassung der Physik am wichtigsten, die wir in der Schrift von H. Bergmann über den „Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik“ dargestellt finden. Wenn man die Art ansieht, wie Bergmann die neuen physikalischen Theorien behandelt, so ist zu sagen, daß ihr Sinn im Großen und Ganzen völlig richtig wiedergegeben ist, daß seine Auffassung von dem Sinn der physikalischen Theorien überhaupt völlig mit der im ersten Kapitel dieser Schrift dargestellten übereinstimmt. Man muß anerkennen, daß die oft vertretenen Ansichten, die neue Quantenmechanik lasse sich zur Rechtfertigung von Teleologie und Willensfreiheit ausnützen, von Bergmann vollkommen richtig widerlegt werden und daß er darüber viel mehr wissenschaftlich Einwandfreies sagt als mancher Physiker.

Aber alles das sind für den Neukantianer nur „relative“ Wahrheiten der Physiker, denen die „absolute“ Wahrheit des Philosophen gegenübergestellt wird. Er begnügt sich nicht mit dem, was wissenschaftlich einwandfrei aufgebaut werden kann, mit der Gegenüberstellung einer Welt des Erlebens und einer Welt von Symbolen, aus denen die Welt der Wissenschaft besteht; sondern er will, genau wie jede Richtung der Schulphilosophie, mit den Erlebnissen selbst Wissenschaft treiben und dem, was man als einzig fruchtbare Wissenschaft kennt, dem aus Symbolen konstruierten Instrument, eine Philosophie gegenüberstellen, die nicht Wissenschaft ist, da sie nicht mit Symbolen arbeitet und doch in gewissem Sinne etwas Wissenschaftsartiges sein will und sogar den Anspruch erhebt, eine Art Richteramt über die wirkliche Wissenschaft auszuüben.

H. Bergmann sagt:

„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 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 ungeheurer Werte sind.“

Die Frage ist aber doch gerade, ob es eine andere Art von Wissenschaft als die mit Symbolen arbeitende überhaupt gibt. Im I. Kapitel haben wir schon darauf hingewiesen, daß man unter Wissenschaft ein ganz bestimmtes Verfahren zur Beherrschung der Erlebnisse, nämlich eben die Zuhilfenahme eines symbolischen Schemas, versteht, und daß daher jede andere Betätigung in der Welt mit Wissenschaft nichts zu tun hat, mag sie die eines bloßen Genießers, die eines Büßers oder die eines Staatengründers sein. Das unbegründete Verlangen der Schulphilosophie scheint mir vor allem darin zu bestehen, daß sie in der Philosophie eine Art Überwissenschaft sieht, die den Wissenschaftsbetrieb je nach Bedarf durch strengere oder mildere Vorschriften im Zaum zu halten hat.

H. Bergmann sagt nämlich weiter:

„Der reine Begriff wird dadurch nicht leer, daß er dem Physiker, der ihn nur im empirischen Gewand kennt und gebraucht, als leer erscheint. Es ist gerade Aufgabe des Philosophen, die Legitimität des reinen Begriffes 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 Wirklichkeit ist aber die Reinigung der Begriffe, die von der Physik gebraucht wird, das genaue Gegenteil dessen, was die Schulphilosophie unter Fortschritt zum reinen Begriff versteht. Der Fortschritt der Physik geht Hand in Hand mit der Reinigung der Begriffe von allem, was nicht auf beobachtbare Vorgänge zurückgeführt werden kann. Nicht die auf Kant fußende Reinigung des Zeitbegriffes durch die Neukantianer, insbesondere Natorp, hat für die Relativitätstheorie eine Bedeutung gehabt, sondern Ernst Machs Reinigung der Newtonschen Zeit- und Raum-begriffe von allen im Sinne der Schulphilosophie „reinen“ Bestandteilen. Was die Schulphilosophie reine Begriffe nennt, sind ja, wie schon gezeigt wurde, im Grunde genommen nur die physikalischen Begriffe einer bereits überwundenen Stufe der physikalischen Wissenschaft.

Die Neukantianische Richtung der Schulphilosophie hat immerhin eine gewisse Schmiegsamkeit und ist bereit, ihre strengen Forderungen je nach den Bedürfnissen des wissenschaftlichen Fortschrittes etwas zu lockern, was einen ähnlichen Eindruck macht wie die Bestrebungen der liberalen Theologen, eine Bibeldeutung zu finden, die mit den Fortschritten der Naturwissenschaften in Einklang steht und gestattet, Wissenschaft und Bibel gleichzeitig als verbindlich anzusehen. Auch diese Auffassung finden wir, gerade in Hinblick auf das Kausalgesetz, besonders deutlich bei H. Bergmann ausgedrückt, wenn er sagt:

„Aufgabe des Philosophen ist es, den reinen Begriff festzuhalten, zugleich aber der Physik jene Elastizität und Lockerung des empirischen Begriffes freizugeben, welche durch den momentanen Stand der Empirie gefordert wird.“

Hier hört man ganz deutlich den Gegensatz heraus, den die Schulphilosophie zwischen dem von ihr aufgestellten ewig gültigen Begriffssystem und dem vergänglichen Stande der gewöhnlichen Wissenschaft macht, der man daher nur soviel zugestehen soll, als notwendig ist, um über die momentane Krise hinüberzukommen, nach deren Ende die Verirrte wieder zu den allgemein gültigen Sätzen zurückfinden wird.

XI. Von der Gültigkeit des Kausalgesetzes.

1. Im praktischen Leben vertrauen wir nie auf das allgemeine Kausalgesetz, sondern auf unsere Kenntnis über spezielle Zusammenhänge.

In Kapitel IX wurde der Gegensatz herausgearbeitet, der zwischen der Tatsache besteht, daß wir im praktischen Leben immer auf das Kausalgesetz vertrauen, ja die Sicherheit unseres Lebens darauf gründen, daß es aber auf der anderen Seite nicht gelingt, das Kausalgesetz so zu formulieren, daß sich daraus über unsere Erlebnisse etwas Sicheres folgern läßt.

Wir können jetzt leicht einsehen, daß nur vom Standpunkt der Schulphilosophie aus die Frage einen Sinn hat, ob in der Natur strenge Kausalität herrscht. Nur wenn wir annehmen, daß auch auf Fragen, die sich nicht als Fragen über Erlebnisse ausdrücken lassen, eine richtige Antwort existiert, die nur uns unzugänglich ist, höheren Intelligenzen aber zugänglich sein muß, kann man die Frage als sinnvoll anerkennen, ob in der Natur strenge Kausalität herrscht. Denn wir haben in Kapitel IX, Abschn. 16 gesehen, daß es für unsere Erlebnisse gar nichts ausmacht, ob wir diese Frage mit ja oder nein beantworten. Denn sie bezieht sich ja nur auf den „wahren“ Zustand, dessen Zusammenhang mit dem beobachteten sich nicht ohne weiteres eindeutig feststellen läßt.

Um keinem Rückfall in die Denkweise der Schulphilosophie ausgesetzt zu sein, müssen wir immer streng daran festhalten, daß „wahr“ und „falsch“ nur Aussagen über Erlebnisse sein können und Skeptizismus immer nur der Zweifel an der Wahrheit derartiger Aussagen ist. Innerhalb der Erlebnisse gibt es aber ohne Zweifel keine strenge Kausalität. Ebenso sicher ist aber nach allen Erfahrungen das Vertrauen, auf gleiche Ergebnisse würden wieder ungefähr gleiche folgen, begründet, ohne daß man genau definieren könnte, worin, allgemein gesprochen, dieses „ungefähr“ besteht, und wo seine Grenzen sind.

Wenn wir uns genau überlegen, worauf wir eigentlich im prak-

tischen Leben vertrauen, wenn wir sagen: „Wir vertrauen auf die Kausalität“, so ist es eigentlich nicht das Kausalgesetz in seiner Allgemeinheit, sondern etwas ganz anderes. Wenn wir z. B. aus unserem Hause treten und es wagen, über die Straße zu gehen, ohne zu befürchten, sofort einem unvorhergesehenen Unfall zum Opfer zu fallen, so ist es nicht das Vertrauen in die Gültigkeit des Kausalgesetzes. Mit diesem wäre es ja auch ohne weiteres vereinbar, wenn plötzlich der nächste Vorübergehende verrückt würde und uns niederschösse, daß plötzlich ein Stein vom nächsten Dach fiel und uns erschläge, daß plötzlich ein Riß im Erdboden entstände und uns verschlänge, daß plötzlich das Automobil vor uns seine Richtung änderte und uns überführe usw.

Wenn wir alles das nicht erwarten, so rührt das daher, daß wir bis zu einem gewissen Grade die speziellen Gesetze kennen oder zu kennen glauben, nach denen alle diese Vorgänge sich abspielen. Wir glauben, daß ein Stein nur unter ganz bestimmten Bedingungen, die wir aus der Mechanik kennen, vom Dach fällt, daß ein Automobil seine Richtung nicht plötzlich ändert, wenn nicht bestimmte Begleitumstände vorhanden sind usw.

Aber damit ist noch nicht alles gesagt. Wir glauben die bei den genannten Vorgängen wirksamen Umstände einigermaßen überblicken zu können. Denn wenn wir auf beliebig viele Dinge zu achten hätten, könnten wir gar nichts unternehmen. Zu diesen speziellen Gesetzen kann man auch zählen — oder als eine besondere Annahme einführen —, daß die Veränderungen in der Welt der Erlebnisse nicht gar zu mannigfaltig und plötzlich sind. Auf derartige Sätze vertrauen wir im praktischen Leben. Und zu diesem praktischen Leben gehört auch die gesamte Technik und weite Gebiete der experimentellen Physik.

Die Form aller dieser Gesetze ist die von den Kausalgesetzen; aber nur im Groben, Durchschnittlichen lassen die gegenwärtigen Erlebnisse bei Kenntnis dieser speziellen Gesetze den Schluß auf die zukünftigen Erlebnisse zu. Auch negativ wird immer nur aus speziellen Gesetzen geschlossen. Man sagt wohl oft: „Nach dem Kausalgesetz kann nichts ohne Ursache geschehen“ oder ganz kurz „Ohne Ursache keine Wirkung“. Aus derartigen Sätzen kann aber für unsere wirklichen Erlebnisse nichts geschlossen werden. Wir müssen vielmehr wissen, was in dem betreffenden Falle als Ursache angesehen werden kann. Es gibt ja keine wirklich

unveränderte Wiederholung von Erlebnissen, so daß, was auch immer geschähe, eine Ursache angebbar wäre. Eine Anwendung auf die wirklichen Erlebnisse können wir erst machen, wenn wir spezielle Kausalgesetze zugrunde legen, die uns sagen, welche Veränderungen als Ursache auftreten können und welche belanglos sind.

2. Die kausale Verknüpfung der Erlebnisse ist nicht die einzig richtige, sondern nur eine von großer praktischer Bedeutung.

Es sind überall ganz spezielle Kenntnisse, die uns im praktischen Leben die Hilfe leisten, die wir dem Kausalgesetz zuschreiben. So ist insbesondere die Kenntnis der Geschwindigkeit wichtig, mit der sich eine Wirkung fortpflanzen kann. Sie zeigt uns, wieweit wir unsere Beobachtungen erstrecken müssen, um über die Zukunft eines begrenzten Gebietes etwas aussagen zu können. Wenn wir einen Zustand schon einmal erlebt haben, können wir nicht vorhersagen, daß auf ihn dieselbe Zukunft folgen wird wie das erstemal, wenn wir nicht die speziellen Gesetze kennen, die für die Veränderungen dieses Zustandes maßgebend sind. Denn, wie wir es auch anstellen, können wir durch die bloße Beobachtung zweier Zustände nicht entscheiden, ob sie noch als gleich anzusehen sind. Nur bei Kenntnis der speziellen Gesetze wissen wir, welchen Grad der Verschiedenheit wir noch zulassen dürfen, um trotzdem ein ungefähr gleiches Zukunftschicksal für die beiden Zustände vorhersagen zu können.

Wenn wir z. B. von einer Maschinenfabrik wiederholt genau denselben sinnenfälligen Eindruck haben, können wir doch nicht vorhersagen, daß ihr Schicksal sich jedesmal wiederholen wird. Wir können das viel eher, wenn auch die Einkaufs- und Verkaufsstatistik jedesmal zu dem wiederkehrenden sinnenfälligen Eindruck gerechnet wird, etwa durch Einsicht in die Bücher. Wir wissen aber nur deshalb, daß die Wiederkehr im ersten oberflächlichen Sinn nicht die Wiederkehr eines genügend gleichen Zustandes ist, weil wir die Gesetze ungefähr kennen, nach denen sich das Schicksal einer Fabrik entwickelt; wir wissen, daß dieses von den Ergebnissen des Ein- und Verkaufes abhängt. Wir haben aber niemals so weit Vertrauen, zu glauben, daß sich nun bis in jede Einzelheit der Vorgang wiederholen müsse, wir rechnen nur auf eine ungefähre Übereinstimmung. Kein Schütze

schießt mit der Hoffnung, jedesmal genau ins Zentrum zu treffen, kein Automobilist drückt auf den Hebel in der Erwartung, nun genau dieselbe Geschwindigkeit zu erzielen.

Wenn eine Frage für das praktische Leben von Wichtigkeit ist, so ist es immer nur die, ob eine Abweichung von speziellen Gesetzen vorliegt, z. B. von den Gesetzen, nach denen das Automobil den Griffen des Lenkers folgt, aber niemals, ob es Ausnahmen vom allgemeinen Kausalgesetz gibt. Solche hat man niemals Gelegenheit festzustellen, nicht einmal im Groben.

Eine unbestreitbare Tatsache ist nur, daß die Gesetze, nach denen wir uns im praktischen Leben zurechtfinden, von kausaler Gestalt sind, wobei „kausal“ natürlich nur im groben, statistischen Sinn gemeint ist, und daß diese Gesetze für uns die große Wichtigkeit haben, daß wir uns mit ihrer Hilfe in der Zukunft orientieren können. Die Erlebnisse werden aber auch durch Gesetze ganz anderer Gestalt verknüpft, z. B. durch Gesetze, die einen Vorgang nicht mit dem unmittelbar auf ihn folgenden verknüpfen, sondern mit einem ferner liegenden, die z. B. die Gestalt der Ozeane mit ihrem Nutzen für die Schifffahrt in Verbindung bringen.

Die Behauptung, daß nur Naturgesetze kausaler Art „existieren“, hätte nur dann einen Sinn, wenn die Gesetze „neben“ und „über“ den menschlichen Erlebnissen als Kenntnisse einer höheren Intelligenz in einer wahren Welt existierten. Vom Standpunkt einer rein wissenschaftlichen Auffassung ist jede Ordnung der Erlebnisse berechtigt, die richtig ist, d. h. die unsere tatsächlichen Erlebnisse miteinander verknüpft. Und die praktische Bedeutung der kausalen Ordnung liegt nicht in der Aufstellung eines allgemeinen Kausalgesetzes, sondern von speziellen Gesetzen kausaler Form.

Wir müssen es uns abgewöhnen, von einem Kausalgesetz in dem Sinne zu sprechen, daß damit eine Aussage über die Natur gemacht wird. Die Frage der kausalen Form der einzelnen Gesetze hat dabei immer noch die Schwierigkeiten, die wir in Kapitel IX besprochen haben. Wir wissen aber jetzt, daß mit diesen Betrachtungen nichts Skeptisches gesagt ist, und auch nichts Absurdes, mit dem praktischen Leben in Widerspruch Stehendes, sondern daß damit einfach die Art der kausalen Ordnung unserer Erlebnisse und ihre Schwierigkeiten geschildert werden.

Die Frage, ob die Natur streng kausal ist, oder ähnliche Fragen, lassen sich aber nicht als wissenschaftliche Fragen fassen, sie

handeln nicht mehr von der Ordnung unserer Erlebnisse, denn diese wird eben durch die in Kapitel IX geschilderten komplizierten Tatbestände beschrieben; sondern solche Fragen wollen etwas von der „wahren“ Welt wissen.

3. Auch der „allgemeine“ Energiesatz wird in der wirklichen Physik nicht angewendet.

Wenn man alles zugibt, was wir über das Kausalgesetz gesagt haben, wird man leicht zu dem Einwand kommen, daß wir zu viel bewiesen haben, daß alles wieder ganz trivial wird. Denn man könnte ganz dasselbe auch über das Gesetz von der Erhaltung der Energie sagen und dann behaupten, die Frage, ob dieses Gesetz in der Natur gelte, habe keinen wissenschaftlichen Sinn. Und doch war offenbar der Energiesatz eine große Entdeckung. Hier wird man aber schon stutzig. Denn das allgemeine Kausalgesetz war doch offenbar keine große Entdeckung. Eine solche waren immer nur spezielle Kausalgesetze, z. B. die Entdeckung Galileis und Newtons, daß alle Bewegungen aus den Lagen und Geschwindigkeiten in einem Zeitpunkt vorhergesagt werden können. Hier muß also doch ein Unterschied bestehen.

Unter der Entdeckung des Energiegesetzes versteht man gewöhnlich die Entdeckung der Äquivalenz von Wärme und Arbeit durch R. Mayer und Joule. Hier wurden aber wirklich beobachtbare Beziehungen zwischen den meßbaren Größen „mechanische Arbeit“ und „Temperaturerhöhung“ festgestellt. Von Helmholtz wurde das Energiegesetz auf elektrische und chemische Energie ausgedehnt, wobei es sich aber überall um bestimmte Beziehungen zwischen meßbaren Größen handelte. Erst wenn man die Erhaltung „beliebiger“ Energiearten annehmen will, verliert der Satz den Charakter einer Aussage über beobachtbare Größen.

In dem in der wirklichen Physik verwendeten Energiesatz liegt daher auch die Behauptung, daß es nur eine kleine überblickbare Zahl von Energiearten gibt, eine Annahme, die Helmholtz bekanntlich dadurch in extremer Weise zu erfüllen suchte, daß er die Hypothese zugrunde legte, alle physikalischen Vorgänge ließen sich auf die Bewegung von Massen unter der Wirkung von Zentralkräften zurückführen, wo es dann nur eine kinetische und eine potentielle Energie gibt, und die letztere in ganz

bestimmter Weise von der gegenseitigen Lage der Massenpunkte abhängt.

Man formuliert das allgemeine Energiegesetz gern so, daß es auch für alle unbekanntes und noch zu entdeckenden Energiearten gelten soll. In Wirklichkeit spielen aber neue, bisher unbekanntes Energiearten beim Fortschritt der Physik gar keine Rolle. In keiner der neuentdeckten Strahlungen wie Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen, Ausstrahlung radioaktiver Körper usw. hatte man es mit unbekanntes Energiearten zu tun. Überall kam man mit der alten elektromagnetischen Energie aus. Auch bei den erst in letzter Zeit entdeckten, von der Quantentheorie beschriebenen physikalischen Effekten wie Comptoneffekt, Ramaneffekt usw. tritt nirgends eine „neue“ Energieart auf.

Die Vorstellung, daß bei den biologischen Erscheinungen neue Energiearten eine Rolle spielen sollen, halte ich für gleichbedeutend mit einem Verzicht auf eine naturwissenschaftliche Deutung, wenn diese neuen Energien sich nicht ebenso klar und zahlenmäßig ausdrücken lassen wie die „alten“; in diesem Fall lassen sie sich aber von physikalisch-chemischen durch nichts unterscheiden (s. Kap. V, Abschn. 3).

4. Auch die „Erhaltung“ der Energie hat nicht für beliebige Vorgänge einen Sinn.

Beim Energiesatz handelt es sich also nicht um eine bloße Form der physikalischen Gesetze, sondern um eine Aussage über ein bestimmtes Verhalten bestimmter beobachtbarer Größen. M. Planck hat den allgemeinen Energiesatz schließlich auf die Form gebracht: „Ein System von Körpern kann bei einem Kreisprozeß keine mechanische Arbeit abgeben.“ Der Satz handelt nur von mechanischer Arbeit, also von einer Größe, die in bestimmter Weise gemessen werden kann; von irgendwelchen unbekanntes Energiearten ist keine Rede mehr.

Wollte man aber den Energiesatz in der Form aussprechen, wie es in der philosophischen Literatur gern geschieht „etwas bleibt bei allen physikalischen Vorgängen erhalten“, so hat ein derartiger Satz kaum einen beträchtlichen wissenschaftlichen Sinn; man kann keine konkrete Tatsache aus ihm ableiten. Er hätte nur einen Sinn, wenn man an jene wahre Welt denkt, in der es feststeht, was „etwas“ ist und daher erhalten bleibt und was nicht

„etwas“ ist und sich daher ändern kann. Es wird dabei von jener Substanzvorstellung Gebrauch gemacht, in der J. Petzoldt in dem erwähnten Buch das eigentliche Kennzeichen der Schulphilosophie gesehen hat, und die in der Tat eine der speziellen Formen ist, in denen die Behauptungen über eine wahre Welt auftreten.

Eine konkrete Gestalt, wie ihn der Energiesatz durch die Formulierung von M. Planck erhalten hat, könnte man dem Kausalgesetz zu geben versuchen, wenn man im Sinne von Laplace (siehe Kapitel II) annimmt, daß sich die Zukunft aus den Anfangslagen und -geschwindigkeiten der Massenteilchen vorhersagen läßt und daß man außerdem diese Größen auch für die kleinsten Teilchen so genau feststellen kann wie die Energie eines Systems von Körpern. Wir wissen aber, daß das Gegenteil der Fall ist, daß die Genauigkeit der Bestimmung von Lage und Geschwindigkeit kleinster Teilchen nicht beliebig gesteigert werden kann, ja daß eine solche Steigerung bekannten Naturgesetzen widerspricht. Aus diesen und anderen Gründen, die in Kapitel II ausführlich besprochen sind, erweist es sich als unmöglich, das Kausalgesetz auf seine Laplacesche Gestalt zu bringen und damit allen seinen Anwendungen eine so feste Basis zu verschaffen, wie es bei der Energie durch Zurückführung auf mechanische Arbeit gelingen konnte.

Die Bestimmung der Energie ist im Vergleich zu der aller Zustandsgrößen der Massenteilchen, aus denen ein System besteht, etwas viel Gröberes, ein mehr pauschaler Prozeß. Kleine Fehler machen für das Erhaltungsgesetz nicht viel aus, während sie für das Kausalgesetz in der Laplaceschen Gestalt, wo alle Einzelheiten bestimmt sein sollen, eine wesentliche Rolle spielen. Wenn alle Zustandsgrößen eines mechanischen Systems genau bekannt sind, ist auch seine Energie genau bekannt, aber nicht umgekehrt.

Will man den Energiesatz für beliebig kleine Systeme aussprechen, so gerät man in dieselbe Schwierigkeit wie beim Kausalgesetz. Durch die Experimente von Bothe, Compton und Simon ist wohl gezeigt, daß bei dem Elementarprozeß, der bei der Wechselwirkung zwischen einem Lichtquantum und einem Elektron vor sich geht, die Energie im üblichen Sinn erhalten bleibt; aber vom Standpunkt der Wellenmechanik kann von bestimmter Energie eines sehr kleinen Systems, z. B. eines Wasserstoffatoms in einem bestimmten Zeitpunkte im Allgemeinen überhaupt keine Rede sein. Die Energie in einem bestimmten Zeitpunkt läßt sich

ebensowenig festlegen wie die Geschwindigkeit eines Teilchens an einem genau bestimmten Orte. Daher kann von einer bestimmten Energie eines Wasserstoffatoms nur dann die Rede sein, wenn es seinen Zustand mit der Zeit nicht ändert, in einem sogenannten „stationären“ Zustand. Nur bei unendlich langsamer Zustandsänderung, wenn also immer nahezu ein stationärer Zustand vorhanden ist, kann man in jedem Zeitpunkt von einer bestimmten Energie sprechen, also auch von einer allmählichen Änderung der Energie, z. B. von der Energieänderung, die ein Wasserstoffatom in einem elektrischen Felde erfährt, und die sich im Starkeffekt äußert. Nur bei einer derartigen Zustandsänderung kann also auch der Begriff der Erhaltung der Energie einen Sinn haben, und nur für solche Änderungen findet man ihn auch bestätigt; so findet man beim Starkeffekt die Energie des Wasserstoffatoms genau um die Energie des elektrischen Feldes vermehrt.

Wenn hingegen eine beliebige Zustandsänderung vorliegt, z. B. der Sprung des Atoms von einem Energieniveau auf ein anderes, wobei nach der Bohrschen Theorie (siehe Kapitel IV, Abschn. 26; Kapitel VII, Abschn. 5) die Spektrallinien ausgesendet werden, ist überhaupt die Energie nicht in jedem Zeitpunkt definiert und man kann auch von Erhaltung der Energie gar nicht sprechen. Erst nach Wiederherstellung des stationären Zustandes kann man die Energie mit der des früheren stationären Zustandes vergleichen. Der Energiesatz ist also auch kein Satz, der für alle möglichen Vorgänge bis in die kleinsten Einzelheiten einen Sinn hat. Wenn man ihn so weit treiben wollte, könnte man auch nicht fragen, ob er in der Natur nun wirklich genau gilt oder nicht.

5. Der Energiesatz ist aber einem Wirklichkeitssatz näher als der Kausalsatz.

Experimentell wird bei der Untersuchung des Energiesatzes immer nur geprüft, ob bestimmte Funktionen ganz bestimmter beobachtbarer Zustandsgrößen während der Versuchsdauer in ihrem Wert erhalten bleiben. Dazu kommt noch als eine Erwartung für die Zukunft, daß es gelingen wird, immer mit einer kleinen Anzahl von Zustandsgrößen auszukommen, aus denen man die konstant bleibenden Funktionen zu bilden hat, eine Erwartung, die man mit den Worten auszudrücken pflegt: „es gibt nur wenige Energiearten“. In der Form „es gibt etwas, was in

der Welt erhalten bleibt“, ist der Energiesatz überhaupt keine wissenschaftliche Aussage, sondern nur eine Wortfolge, die Gefühle beruhigender Art als Begleitung mit sich zu führen pflegt.

Die Form von Planck hat allerdings den Vorteil, daß man es nur mit einer bestimmten Energieform, der mechanischen Arbeit, zu tun hat, also wirklich mit einer beobachtbaren Größe; aber der Begriff des Kreisprozesses bringt alle die Schwierigkeiten mit sich, die wir bei der Definition der Gleichheit zweier Zustände kennengelernt haben (Kapitel IX, Abschn. 2, 4, 9), da ja bei einem Kreisprozeß eine Rückkehr in den Anfangszustand verlangt wird. Man findet also bei der Formulierung des Energiesatzes im Prinzip genau dieselben Schwierigkeiten wie beim Kausalsatz, wenn man ihn als eine sinnvolle Aussage über die Welt unserer Erlebnisse auszusprechen versucht, ja man findet diese Schwierigkeit, wie nach den Betrachtungen von Kapitel I nicht anders zu erwarten ist, bei jedem sehr allgemeinen Satz, der etwas über die Wirklichkeit aussagen will.

Die allgemeine Aussage des Kausalgesetzes in irgendeiner Form sagt aber viel weniger über die Welt der Erlebnisse als die allgemeine Aussage des Energiesatzes. Das ist so zu verstehen: von der Formulierung „auf A folgt jedesmal B“ ist ein viel weiterer Weg zu den wirklichen Erlebnissen als von der allgemeinen Formulierung des Energiesatzes z. B. in der Form „bei einem Kreisprozeß kann keine mechanische Arbeit geleistet werden“. Und in diesem Sinne kann man sagen, daß die Frage nach der Gültigkeit des Energiesatzes in der Natur in viel höherem Grade einen physikalischen Sinn hat als die nach der Gültigkeit des Kausalgesetzes.

6. Die kausalen Beziehungen zwischen Erlebnissen sind nach der neuen Physik nicht prinzipiell anderer Art als nach der alten; nur die Zuordnung zum „Instrument Wissenschaft“, zu den Beziehungen zwischen den Symbolen, hat sich verschoben.

Unter dem, was wir im praktischen Leben als Kausalgesetz verwenden, ist also eine bestimmte Art der Zusammenfassung unserer Erlebnisse zu verstehen, die wir benutzen, um uns in der Welt zurechtzufinden und für die nächste Zukunft Vorsorge zu treffen. Die Voraussicht der Zukunft, die wir auf diese Weise erhalten, ist aber nur pauschaler Natur; sie läßt sich nicht beliebig verfeinern, nicht zu einem Verfahren destillieren, das uns

die künftigen Erlebnisse mit beliebiger Genauigkeit liefert. Die volle Präzision ist in der Erlebniswelt überhaupt prinzipiell nicht möglich, weil die Gleichheit von Zuständen in ihr nicht definiert ist, sondern nur in dem mathematischen Schema, durch das die theoretische Physik unsere Erlebnisse darstellt.

Das Schema selbst verknüpft immer die gegenwärtigen Werte gewisser Größen mit den zukünftigen in eindeutiger Weise, ist also, als Schema betrachtet, immer rein kausal. Je nach der Art, wie die mathematischen Größen mit den Erlebnissen verknüpft werden, kann die Zusammenfassung von Schema und Zuordnungsregeln eine kausale oder nichtkausale Theorie bilden. Das letztere tritt ein, wenn die mathematischen Größen nicht einzelnen Erlebnissen zugeordnet sind, sondern, wie dies in der modernen Wellenmechanik geschieht, einer ganzen Gruppe von Erlebnissen, die aus einer Versuchsreihe gewonnen sind, die unter bestimmten Bedingungen angestellt wurde.

Die heutige Physik ist der Meinung, daß nur die letztere Art von Theorien für die Vorhersage der feinsten Erscheinungen möglich ist, weil die Erfahrungen über beobachtbare Erscheinungen die Zuordnung der Größen des mathematischen Schemas zu Einzelerlebnissen unmöglich machen, wie wir bei der Besprechung der „Unschärfebeziehungen“ (Kapitel VII, Abschnitt 10) gesehen haben. Damit ist aber nur an der physikalischen Theorie, d. h. an der Gesamtheit von Schema und Zuordnung etwas gegenüber der klassischen Physik geändert; die Aufteilung ist jetzt eine andere; die pauschale Natur der Voraussage der Erlebnisse liegt jetzt bereits in den Zuordnungsregeln, während man früher die Eindeutigkeit der Beziehung zwischen mathematischer Größe und Erlebnis bestehen ließ und die nur pauschale Natur der beobachteten Verknüpfung der zukünftigen Erlebnisse mit den gegenwärtigen dadurch berücksichtigte, daß man überall das verwendete Schema als zu einfach für die getreue Darstellung der Erlebnisse ansah.

Dieser Unterschied ist also kein Unterschied in den Aussagen über Erlebnisse, hier gibt es jedenfalls nur eine pauschale Vorhersage; sondern die Abweichung besteht nur in der Theorie, wie diese pauschale Vorhersage gemacht werden kann. Dieser Unterschied läßt sich natürlich experimentell prüfen, da aus der neuen Theorie bestimmte Erlebnisse, nämlich bestimmte Größenordnun-

gen für die Genauigkeit der Voraussage folgen, die durch die mittlere Abweichung von dem mittleren vorhergesagten Erlebnis innerhalb einer Versuchsreihe geprüft werden können.

Die Frage aber, ob dadurch die Gültigkeit des Kausalgesetzes in der Natur erschüttert ist, ist keine wissenschaftliche Frage. Es hat sich immer nur um die Möglichkeit einer Voraussage von Erlebnissen gehandelt, die ihrem Wesen nach nur pauschaler Art sein konnte. Was uns die neue Physik lehrt, ist ein Fortschritt in der Analyse der Unbestimmtheit, da die Theorie jetzt auch diese Streuung vorhersagt, während sie früher einfach auf den theoretisch nicht erfaßten Rest geworfen wurde.

Mit irgendeiner Abwendung von der mechanistischen Kausalität zu Begriffen wie Plan, Zweck, Atomseele oder ähnlichem hat das Ganze, wie wir wiederholt gesehen haben (Kapitel IV, Abschnitt 26, Kapitel VII, Abschnitt 19—22) nicht das mindeste zu tun; alle derartigen Behauptungen sind keine naturwissenschaftlichen, sondern ein gefühlsmäßiger Rest der animistischen Epoche des menschlichen Denkens.

Anmerkungen.

Zum Vorwort.

I. Frank, Ph.: Kausalgesetz und Erfahrung. Ann. d. Naturphilos. 6 (1907); Mechanismus oder Vitalismus? Versuch einer präzisen Formulierung der Fragestellung. Vortrag in der philosophischen Gesellschaft Wien 1907, Ann. d. Naturphilos. 7 (1908).

II. Der Bericht über die Tagung in Prag ist in der Zeitschrift „Erkenntnis“ Bd. I enthalten, der über die Tagung in Königsberg in „Erkenntnis“ Bd. II. — Bavinck, B.: Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften. Eine Einführung in die heutige Naturphilosophie. 4. Aufl. Leipzig 1930.

Zu Kapitel I.

1. In der Behauptung, daß die Sätze der Wissenschaft ein vom Forscher erfundenes „Instrument“ sind, sieht H. Bergson den Kern der pragmatischen Lehre von W. James. In seiner Einleitung zu der französischen Übersetzung von James' Hauptwerk sagt Bergson über die wissenschaftlichen Sätze im Sinne des Pragmatismus: „Sie haben vor der Tätigkeit des Forschers ebensowenig existiert wie der Phonograph vor Edison existierte. Deshalb ist der Phonograph nichts Willkürliches. Er beruht auf dem Studium der realen Beobachtungen über den Schall. Aber seine Erfindung ist zu diesen Tatsachen als eine ganz neue Tatsache hinzugekommen. So hat auch eine wissenschaftliche Wahrheit wohl ihre Wurzeln in den Tatsachen; aber diese sind nur der Boden, auf dem die wissenschaftliche Wahrheit wächst. Es hätten dort ebensogut andere Blumen emporsprossen können, wenn der Wind andere Samenkörner herbeigetragen hätte.“

2. Schlick, M., drückt sich im Anschluß an Wittgenstein so aus, daß die Naturgesetze selbst nicht Aussagen über die wirkliche Welt sind, sondern nur Anleitungen zur Bildung solcher Aussagen (Naturwiss. 1931). Der Aufsatz: Schlick, M.: „Erleben, Erkennen, Metaphysik“ steht in Kant-Stud. 31 (1926). Schlick, M.: Die Wende der Philosophie. Erkenntnis 1.

3. Siehe den Vortrag von H. Hahn auf dem Prager Kongreß (Erkenntnis 1).

4. Schlick, M.: Erleben, Erkennen, Metaphysik (l. c.) — Carnap, R.: Scheinprobleme in der Philosophie. Berlin 1928.

6. Das Problem über das Ganze und seine Teile stellt O. Spann in seiner „Kategorienlehre“, dem ersten Ergänzungsband zur Sammlung Herdflamme, Jena 1924, das Problem über das Nichts M. Heidegger in seiner kleinen Schrift „Was ist Metaphysik?“ Bonn 1929. Die Ansichten

von W. Troll sind der allgemeinen Einleitung seines Buches „Organisation und Gestalt im Bereich der Blüte“ Berlin 1928, insbesondere S. 33 entnommen.

7. Westphal, W.: Physik. 2. Aufl. Berlin 1930. — Hahn, H.: l. c.

8. Neurath, O.: Empirische Soziologie. S. 3. Wien 1931. — Deborin, A.: Dialektik und Naturwissenschaft. Moskau 1929 (russisch). (Eine Sammlung von Aufsätzen aus der Zeitschrift „Unter dem Banner des Marxismus“.) Wie stark bei den Marxistischen Philosophen Rußlands die Befürchtung ist, es könnten unter dem Mantel der Fachwissenschaften philosophische Ansichten eingeschmuggelt werden, tritt klar vor Augen, wenn man in der Zeitschrift „Unter dem Banner des Marxismus“ (1931, Nr. 4—5) liest, wie die russische Übersetzung eines englischen Lehrbuches der Chemie eine kritische Besprechung unter dem Titel „Gegen die Propaganda des Idealismus in der Chemie“ erfährt.

13. Zur Formulierung, daß die Abweichungen von der Trägheitsbewegung durch einfache Funktionen von Lage und Geschwindigkeit gegeben sein müssen, wenn über die Wirklichkeit etwas ausgesagt werden soll, vgl. Mises, R. v.: Über kausale und statistische Gesetzmäßigkeiten in der Physik. Vortrag auf dem Prager Physikertag, abgedruckt in: Naturwiss. 18 (1930). Zur Auffassung, daß die Mechanik der Relativitätstheorie sich von der Newtonschen durch die Art unterscheidet, wie die Abweichung von der Trägheitsbewegung gemessen wird, vgl. Frank, Ph.: Relativitätsmechanik im Handbuch für physikalische und technische Mechanik Bd 2, S. 52. Leipzig 1928.

14. Während B. Russel die Aussage der bloßen Vorherbestimmtheit als keine Aussage über die Wirklichkeit ansieht, kann W. James in seinem Aufsatz „Das Dilemma des Determinismus“ (in seinem Buche: Der Wille zum Glauben) trotz seines Pragmatismus sich nicht ganz von der Auffassung lossagen, daß Vorausbestimmtheit etwas für die Welt bedeute, wenn er auch mit Recht den Hauptsinn in den traurigen Gefühlen sieht, die mit den Worten „Vorausbestimmtheit“ u. ä. wegen der dadurch behaupteten Unausrottbarkeit des Bösen in der Welt verknüpft sind.

16. Planck, M., schließt das aus einfachen psychologischen Beobachtungen (z. B. in seiner Schrift: Positivismus und reale Außenwelt. Leipzig 1931), während N. Bohr an die aus der Quantentheorie folgende Unbestimmtheit der Zukunft aus den Anfangszuständen bei den feinsten Vorgängen der Materie anknüpft. (Wirkungsquantum und Naturbeschreibung in: Naturwiss. 17, 483 [1929].) — Schlick, M.: Das Kausalgesetz in der modernen Physik. Naturwiss. 1931.

17. Plancks Formulierung des Energiesatzes in seiner Schrift: Das Prinzip von der Erhaltung der Energie. Leipzig 1887. 3. Aufl. Leipzig 1913. Vgl. meine Kritik dieser Formulierung in der Besprechung der dritten Auflage in: Mh. Mathematik u. Physik 27 (1916). — Poincaré, H.: Wissenschaft und Hypothese. Poincaré, H.: Der Wert der Wissenschaft. — Einstein, A.: Geometrie und Erfahrung. Berlin 1921.

18. Dingler, H.: Das System. Das philosophisch-rationale Grundproblem und die exakte Methode der Philosophie. München 1930. — Dingler, H.: Der Zusammenbruch der Wissenschaft und der Primat der

Philosophie. München 1926. — Reichenbach, H.: Die philosophische Bedeutung der modernen Physik. Erkenntnis 1.

Zu Kapitel II.

1. Laplace: *Théorie analytique des probabilités*. Introduction. In den *Oeuvres de Laplace* 7, 6ff. (1847).

4. Weyl, H.: Raum, Zeit, Materie.

6. Daß die Laplacesche Hypothese nur bei Einführung „einfacher“ Kraftgesetze etwas Bestimmtes, in ihrer allgemeinsten Form aber nichts über die wirklichen Erlebnisse aussagt, zeigt v. Mises sehr klar in seinem Prager Vortrag (abgedruckt in *Naturwiss.* 1930, 145ff.). Er sagt u. a.: „Die deterministischen Ansätze der klassischen Physik lassen sich rein formal oder besser gesagt, der Idee nach, im ganzen Bereich unmittelbar beobachtbarer Erscheinungen aufrechterhalten, aber sie werden in vielen Fällen . . . leerlaufend, sie tragen zur . . . Voraussage des Erscheinungsablaufes nichts mehr bei . . . Wer in den Kräften, Dichten usw. . . Dinge sieht, denen eine von der Aufgabe der Naturbeschreibung unabhängige Existenz zukommt, wird den Determinismus als grundsätzlich bewahrt und nur praktisch ausgeschaltet ansehen. Für denjenigen aber, der diese Begriffsbildungen nur als Hilfsmittel auffaßt, eine Orientierung in der Erscheinungswelt zu ermöglichen, für den fallen die Grenzen der Anwendbarkeit und die Grenzen des Determinismus selbst zusammen.“ — O. Neurath hebt in seiner „Empirischen Soziologie“ die metaphysische Natur der Laplaceschen Hypothese hervor. S. 128.

14. Das Plancksche Gesetz für die Schwingung eines durch Ausstrahlung elektrischer Energie gedämpften schwingenden Massenpunktes findet sich zuerst in seiner 1896 in den Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss., Physik.-math. Kl. veröffentlichten Arbeit: Über elektrische Schwingungen, die durch Resonanz erregt und durch Strahlung gedämpft werden.

17. Über die Bedeutung der „okkulten Kräfte“ in der Entwicklung der Physik siehe Duhem, P.: *L'évolution de la mécanique*. Kapitel V.

19. Driesch, H.: *Philosophie des Organischen*. 2. Aufl. S. 414f. Leipzig 1921. — Schlick, M.: *Naturwiss.* 1931.

Zu Kapitel III.

1. Den „*élan vital*“, in der deutschen Übersetzung die „Lebensschwungkraft“, führt H. Bergson ein; am eingehendsten schildert er dessen Wirksamkeit in seiner „*l'évolution créatrice*“, deutsch unter dem Titel „Schöpferische Entwicklung“. Jena 1912. — „Ganzheitsfaktoren“ spielen bei H. Driesch, O. Spann und deren Schülern eine Rolle z. B. in der „Kategorienlehre“ von O. Spann. Siehe Anm. zu Kapitel I, Abschn. 6. „Ausgliederung“ ist ebenfalls eine Benennung aus dieser Schrift. — Ein Schüler von O. Spann, K. Faigl, behandelt in der Sammlung „Die Herdflamme“ die Rolle der Ganzheitsfaktoren in der Mathematik und mathematischen Physik in seiner Schrift: *Ganzheit und Zahl*, Jena 1926. Daß solche „Ganzheitsaussagen“ überhaupt keine Aussagen über die wirkliche Welt sind, sondern nur über die Art, wie die menschlichen Interessen durch sie berührt werden, ist in Kapitel IV, Abschn. 24 an einem konkreten Beispiel gezeigt.

2. Spann, O.: Kategorienlehre. S. 46. — Maximow, A.: Pod znamenem Marksizma (Unter dem Banner des Marxismus) 1930, 256ff.

3. Ostwald, W.: Vorlesungen über Naturphilosophie. Eine Kritik der Ostwaldschen Auffassungen findet sich bei L. Boltzmann: Über Herrn Ostwalds Vortrag über den wissenschaftlichen Materialismus. In: Populäre Schriften. S. 128ff. Leipzig 1905. — Duhem, P.: Die Wandlungen der Mechanik und der mechanischen Naturerklärung. Übersetzt von Ph. Frank. Leipzig 1912. — Duhem, P.: Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. Übersetzt von Fr. Adler. Leipzig 1908. — Coudenhove-Kalergi: Los vom Materialismus. Wien 1930.

4. Boltzmann, L.: Ein Wort der Mathematik an die Energetik. Ann. Physik 57 (1896). — Boltzmann, L.: Zur Energetik. Ann. Physik 58. Abgedruckt in den Populären Schriften. S. 104ff. Leipzig 1905. — Ehrenfest, P. u. T., in dem Artikel „Statistische Mechanik“ in der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften. Bd 4, 4. Teil.

5. Exner, F.: Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften. Wien: Deuticke 1919. Die Bedeutung des Exnerschen Gedankens für unsere Zeit kennzeichnet sehr treffend E. Schrödinger in seinem Aufsatz: Was ist ein Naturgesetz? Naturwiss. 1929, 9ff.

6. Maxwell, J. Cl.: Theory of Heat. S. 328. Siehe auch Jeans, J. H.: Dynamische Theorie der Gase. Übersetzt von R. Fürth. S. 233f. Braunschweig 1926.

7. Exner, F.: Siehe die Anm. zu Abschnitt 5. — R. v. Mises: Z. angew. Mathematik u. Mechanik 1 (1921).

9. In Kapitel I, Abschn. 7 ist ein Beispiel aus einem Lehrbuch der Physik angeführt, wo die kausale Gesetzmäßigkeit so formuliert ist, daß danach der Begriff des Wunders einen naturwissenschaftlichen Sinn hätte, nämlich als ein Fall, wo die Natur von ihren Gesetzen abweicht. Denn dort wird wohl behauptet, daß eine solche Abweichung nie vorkommt, aber damit der Begriff einer solchen Abweichung als wissenschaftlich sinnvoll zugegeben.

13. Duhem, P.: Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. S. 180ff.

16. Nietzsche, F.: Die fröhliche Wissenschaft Nr. 126.

17. Planck, M., weist mit Recht immer und immer wieder darauf hin, daß der Fortschritt in der Physik in der allmählichen Ausschaltung der früheren anthropomorphen Auffassung liegt. So schon in seiner Schrift Die Einheit des physikalischen Weltbildes. Leipzig 1909. Neuerdings wieder in dem Vortrag: Das Weltbild der neuen Physik. Mh. Mathematik u. Physik 36 (1929) und in der selbständig erschienenen Schrift: Positivismus und reale Außenwelt. Leipzig 1931. Über den gleichen Sinn des Fortschrittes in der Physik, Biologie und Psychologie spricht K. Lewin in seinem Aufsatz: Der Übergang von der Aristotelischen zur Galileischen Denkweise in Biologie und Psychologie. Erkenntnis 1, 421ff.

20. Sombart, W.: Die drei Nationalökonomien. S. 193—195. Leipzig 1930. — Neurath, O.: Empirische Soziologie. Wien 1931. — Mises, R. v.: Über das naturwissenschaftliche Weltbild der Gegenwart. Rede bei der Stiftungsfeier der Berliner Universität 1930, abgedruckt in den Naturwiss. 1931.

23. Bergson, H.: Schöpferische Entwicklung (siehe Anm. zu Abschn. 1). —

Zu Kapitel IV.

2. Marcel Boll: *Attardés et précurseurs, propos objectifs sur la métaphysique et sur la philosophie de ce temps et de ce pays.* Paris 1921.

4. *Le Materialisme actuel.* Paris 1924. (Bibliothèque de Philosophie scientifique.) W. James, der immer bei jeder Aussage genau untersucht, ob sie für unsere Erlebnisse etwas bedeutet, hat die Sinnlosigkeit der bloßen Behauptung einer Planmäßigkeit in der Natur sehr deutlich erkannt (siehe auch Abschnitt 23).

9. Neurath, O.: *Empirische Soziologie.* S. 56ff.

11. Driesch, H.: *Philosophie des Organischen.* 2. Aufl. S. 110ff 1921.

13. Driesch, H.: l. c., S. 135ff.

14. Driesch, H.: l. c., S. 116.

15. Driesch, H.: l. c., S. 347ff.

17. Driesch, H.: l. c., S. 492.

18. Boll, M.: l. c., S. 115 u. 117. „Wie die Dialektiker ist auch das Kind von sich selbst aus Animist: Es schlägt die Tür, die sich nicht öffnen will“. Es wäre Zeit, einmal mit allen diesen kindischen Theorien, wie Animismus, Finalismus und Vitalismus ein Ende zu machen. . . Es ist außerordentlich merkwürdig genau zu sehen, wie der Finalismus den Vorgängen ihre Zwecke zuweist. Niemals wird man sagen hören, daß die Krankheiten den Tieren gegeben sind, um sie draufgehen zu lassen oder daß die Lebensvorgänge den Zweck haben, die lebenden Wesen zum Altern und zum Tod zu führen. Man bemerkt vielmehr in dem Zweck immer etwas Nützliches, Gutes oder wenigstens als solches Angenommenes; und das zeigt uns, daß ein solcher Finalismus viel eher ein Verlangen und eine Hoffnung ist als ein Wissen.“ — Bergson, H.: *Schöpferische Entwicklung* S. 99.

19. Berthalanffy, L. v.: *Studien über theoretische Biologie, I und II,* in *Biol. Zbl.* 1927, 210ff. u. 655ff. — Berthalanffy, L. v.: *Erkenntnis I.*

20. Engels, Fr.: *Dialektik der Natur.* Dieses Buch aus seinem Nachlaß wurde erst, als dieser nach Rußland gebracht wurde, dort von D. B. Rjazanow herausgegeben. — Deborin, A.: *Dialektika i Jestjestwoznanie (Dialektik und Naturwissenschaft).* Moskau 1929. Eine Darstellung der Hegelschen dialektischen Methode, bei der besonders das hervorgehoben wird, was über wirkliche Erlebnisse etwas aussagt, findet man in dem Buch von W. James: *Philosophie der Erfahrung,* in dem Abschnitt: *Hegel und seine Methode.*

21. Podwolocki, J.: *Der XVI. Kongreß der kommunistischen Partei und die Aufgaben an der philosophischen Front.* Pod znamenem Marksisma 1930, Nr 7—8. — Deborin, A.: l. c. — Maximow, A.: *Pod znamenem Marksisma 1930,* 256ff. Die Resolution, mit der die Richtung Deborins verurteilt wird, wurde am 25. Januar 1931 gefaßt (s. *Pod znamenem Marksisma 1931,* Nr 4—5, p. 74).

22. Adler, Fr., sucht in seinem Buche: *E. Machs Überwindung des*

mechanischen Materialismus, Wien 1918, die positivistisch ausdrückbaren Behauptungen des dialektischen Materialismus herauszuarbeiten.

23. Sombart, W.: l. c., S. 109. Was die Lehren Hegels betrifft, so siehe Brunswig, A.: Hegel, S. 121. München 1922. — Knoll, Fr.: Zeitgemäße Ziele und Methoden für das Studium der ökologischen Wechselbeziehungen. Abh. zool.-botan. Ges. in Wien, Bd. 12. — Goebel, K.: Die Entfaltungsbewegungen der Pflanzen und deren teleologische Deutung. Jena 1920. — James, W.: Der Pragmatismus, III. Kap.

24. Spann, O.: l. c., S. 128. — Driesch, H.: l. c., S. 573. — Neurath, O.: l. c., S. 70. — Deborin, A.: l. c., S. 246.

25. Spann, O.: l. c., S. 101f.

26. Troll, W.: l. c., S. 11 ff. — Weyl, H.: Philosophie der Mathematik. München u. Berlin 1926. — Sommerfeld, A.: Physik. Z. 1929. — Stark, J., hat an die hier besprochenen Äußerungen Sommerfelds eine Kritik der Quantenmechanik überhaupt geknüpft, die nicht berechtigt ist, weil sich diese Theorie auch ganz ohne finalistische Begriffe darstellen läßt. Stark sieht nämlich in den Äußerungen Sommerfelds die „Konstruktion von seelischen Eigenschaften für das Atomelektron“ und meint, daß Sommerfeld „bereits mit der Konstruktion der seelischen Eigenschaften der Voraussicht und der Rückerinnerung für das Elektron und mit der Konstruktion seiner neuen Kausalität das Gebiet der Physik verlassen habe.“ — Stark, J.: Die Kausalität im Verhalten des Elektrons. Ann. Physik 4, 710 (1930). Auch abgedruckt in der Aufsatzsammlung: Fortschritte und Probleme der Atomforschung. Leipzig 1931.

Zu Kapitel V.

3. Rignano, E.: Das Leben in finaler Auffassung. Deutsch von P. Graf Thun-Hohenstein mit einem Vorwort von H. Driesch. Berlin 1927. (Aus den Abhandlungen zur theoretischen Biologie. Herausgegeben von J. Schaxel.)

5. Zilsel, E.: Die Asymmetrie der Kausalität und die Einsinnigkeit der Zeit. Naturwiss. 1927, 280ff.

9. Schlick, M.: Fragen der Ethik. Wien 1930. — Carnap, R.: Der logische Aufbau der Welt. Berlin-Schlachtensee 1928.

10. Schlick, M.: l. c.

12. Bergson, H.: Essai sur les données immédiates de la conscience. Paris 1888, 24. Aufl. p. 125ff. Paris 1926.

Zu Kapitel VI.

3. Mises, R. v.: Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit, Wien 1928, und die von demselben Verfasser herrührende ausführliche Darstellung der Wahrscheinlichkeitsrechnung, die unter dem Titel „Wahrscheinlichkeitsrechnung und ihre Anwendung in der Statistik und theoretischen Physik“ erschien. Leipzig und Wien 1931.

5. Siehe auch Mises, R. v.: Über kausale und statistische Gesetzmäßigkeiten in der Physik. Naturwiss. 1930.

Zu Kapitel VII.

1. u. 2. Mises, R. v.: l. c. — Reichenbach, H.: Kausalität und Wahrscheinlichkeit. Vortrag auf dem Prager Kongreß. Abgedr. in Erkenntnis 1, S. 158ff.

4. Born, S. M., u. P. Jordan: Elementare Quantenmechanik. Berlin 1930. § 60: Quantenmechanik und Determinismus. — Einstein, A.: Physik. Z. 1916, 1917.

6. Frank, Ph.: Der Charakter der heutigen physikalischen Theorien. Scientia (Milano) 1931. — Reichenbach, H.: Die philosophische Bedeutung der modernen Physik. Erkenntnis 1, 49ff.

10. Heisenberg, W., hat die grundsätzlichen Punkte seiner Theorie, insbesondere die mit der Unschärfebeziehung zusammenhängenden Versuche in seinem Buche: Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie, Leipzig 1930, dargestellt.

11. Gamow: Z. Physik 51 (1928).

19. Mach, E.: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. S. 488. Leipzig 1908.

20. Sommerfeld, A.: Physik. Z. 1929. — Heisenberg, W.: l. c. — Lanczos, C.: Physik. Z. 28 (1927).

22. Bohr, N.: Wirkungsquantum und Naturbeschreibung. Naturwiss. 1929, 483ff. — James, W.: Der Wille zum Glauben. Kapitel V. — Boll. M.: s. Anm. zu Kap. IV, Abschn. 2. — Bergmann, H.: Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik. Kapitel III u. IV. Braunschweig 1929.

Zu Kapitel VIII.

3. Engels, Fr., in seinem Brief an Starkenburg am 25. Januar 1894. — Plechanow, G.: Sotschinjenija (Gesammelte Werke) Bd 8, S. 293f. — Siehe auch Deborin, A.: l. c., S. 197f. — Neurath, O.: l. c., insbesondere Kapitel X: Soziologische Prognosen.

4—7. Frank, Ph.: Die statistische Betrachtungsweise in der Physik. Naturwiss. 1919, 701ff.

11. Oeuvres choisies de Diderot. S. 609ff. Paris 1884.

Zu Kapitel IX.

1. So findet man z. B. in dem Bericht von O. Halpern u. H. Thirring: Über die Grundgedanken der neueren Quantentheorie als X. Kapitel die Interpretation der Theorie. Erg. exakt. Naturwiss. 8, 480ff (1929).

11. Frank, Ph.: s. Anm. zu Vorwort I. — Reichenbach, H.: Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori. Berlin 1920. — Hessenberg, G.: Willkürliche Schöpfungen des Verstandes? Jb. dtsh. Mathematikerverein. 17, 145ff. (1908). Erwiderungen auf die Bemerkungen von Ph. Frank: l. c. S. 230ff. Erwiderungen auf diese Kritik: Frank, Ph.: Jb. dtsh. Mathematikerverein 17, 227 u. 232 (1908). — Lenin, N.: Materialismus und Empiriokritizismus. Kritische Bemerkungen über eine reaktionäre Philosophie, 1. Aufl. 1908, in Sobranije sotschinjenii (Gesammelte Werke) Bd 10, S. 134. Moskau 1923.

13. Schrödinger, E.: Naturwiss. 17, 9ff. (1929).

14. Born, M., u. P. Jordan: Z. Physik 34, 858 (1925). Ausführlich

in dem Buche: *Elementare Quantenmechanik*. Berlin 1930. — Carnap, R.: *Über die Aufgabe der Physik*. Kant-Stud. 28 (1923) und *Physikalische Begriffsbildung (Wissen und Wirken Bd 39)*. Karlsruhe 1926. — Halpern, O., u. H. Thirring: *Die Grundgedanken der neueren Quantentheorie*. Erg. exakt. Naturwiss. 8, 490 (1929).

Zu Kapitel X.

4. Russel, B.: *Unser Wissen von der Außenwelt*. (1914). Deutsch von W. Rothstock. Leipzig 1926. — Carnap, R.: *Der logische Aufbau der Welt*. Berlin 1928.

9. Frank, Ph.: *Was bedeuten die gegenwärtigen physikalischen Theorien für die allgemeine Erkenntnislehre?* Naturwiss. 1929 und *Erkenntnis* 1, 126ff. (1930). — Bavink, B.: *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften. Eine Einführung in die heutige Naturphilosophie*. 4. Aufl. S. 217ff. Leipzig 1930. — Planck, M.: *Positivismus und reale Außenwelt*. Leipzig 1931.

10. Schrödinger, E.: *Über die kräftefreie Bewegung in der relativistischen Quantenmechanik*. Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss., Physik.-math. Kl. 1930, 418ff.

11. Planck, M.: *Das Weltbild der neuen Physik*. Mh. Mathematik u. Physik 36, 387ff. (1929). — Heisenberg, W.: *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*. S. 11, Anmerkung. Leipzig 1930. — Dirac, P.: *Die Prinzipien der Quantenmechanik*. Deutsch von W. Bloch. S. 7ff. Leipzig 1930. — Schrödinger, E.: *Antrittsrede als Mitglied der preußischen Akademie*. Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss., Physik.-math. Kl. 1929. — *Gegen den Mißbrauch der Quantentheorie zugunsten eines metaphysisch gefärbten Indeterminismus wendet sich P. Langevin in seiner Schrift: La science et le déterminisme*. Paris 1930.

12. Carnap, R.: *Scheinprobleme in der Philosophie*. Berlin 1928.

13. Frank, Ph.: *Die Bedeutung der physikalischen Erkenntnistheorie Machs für das Geistesleben der Gegenwart*. Naturwiss. 5 (1917). Auf die „große Aufklärungsarbeit des Physikers und Philosophen E. Mach, die — nach einer kurzen Zeit der Verkennung — sich jetzt in weitestem Maße auszuwirken beginnt“, verweist R. v. Mises in seiner Rede: *Über das naturwissenschaftliche Weltbild der Gegenwart*. Naturwiss. 19 (1931). Man versteht heute auch bereits, was in der von Mach vertretenen Ansicht, die Physik habe nicht die Atome, sondern die Wahrnehmungen zu untersuchen, Richtiges enthalten ist, einer Ansicht, die lange Zeit als besonders anstößig und für die „schöpferische Betätigung“ hemmend galt. Denn auf der Königsberger Tagung sagte W. Heisenberg, einer der Hauptschöpfer der heutigen Quantenmechanik: „Die moderne Atomphysik handelt nicht vom Wesen und Bau der Atome, sondern von den Vorgängen, die wir beim Beobachten der Atome wahrnehmen.“ (*Erkenntnis*, Bd. II.)

16. Die Sinnlosigkeit des „Ignorabimus“ vom Standpunkt einer rein wissenschaftlichen Weltanschauung wird in der in der Anmerkung zu Abschn. 13 zitierten Rede von R. v. Mises entschieden vertreten. Ebenso in meinem Prager Vortrag. Naturwiss. 17 (1929). Aus dem logischen Aufbau aller

Aussagen über die wirkliche Welt, wie ihn L. Wittgenstein und R. Carnap durchzuführen suchten, folgt ausdrücklich, daß kein sinnvoll gestelltes wissenschaftliches Problem prinzipiell unlösbar sein kann. L. Wittgenstein, *Logisch-philosophische Abhandlung*. Ann. d. Nat. u. K. Phil. XIV. 1921, sagt z. B.: „Zu einer Antwort, die man nicht aussprechen kann, kann man auch die Frage nicht aussprechen“, — R. Carnap (*Der logische Aufbau der Welt* S. 183) sagt: „Die stolze These, daß für die Wissenschaft keine Frage grundsätzlich unlösbar sei, verträgt sich durchaus mit der demütigen Einsicht, daß wir auch mit der Beantwortung sämtlicher Fragen nicht etwa die vom Leben uns gestellte Aufgabe schon gelöst haben würden.“ — O. Neurath sucht in seinem Aufsatz „Soziologie im Physikalismus“ (*Erkenntnis* Bd. II) auch jede Vergleichung von Aussage und Erlebnis als Kriterium der Wahrheit einer Theorie auszuschneiden und nur die Vergleichung von Aussagen miteinander beizubehalten.

17. Brunswig, A.: l. c. S. 30ff.

18. Boutroux, E.: *Science et Religion*. S. 251ff. Paris 1925.

19. Petzoldt, J.: *Das Weltproblem vom Standpunkt des relativistischen Positivismus* aus. 2. Aufl. Leipzig u. Berlin 1912.

20. Nietzsche, Fr.: *Fröhliche Wissenschaft*. Nr. 193.

21. Nietzsche, Fr.: *Nachgel. Werke, Der Wille zur Macht* in: *Nietzsches Werke*. Bd 15. Leipzig 1901. Nr. 287, 289, 245, 248. — Heidegger, M.: *Was ist Metaphysik?* S. 27. Bonn 1929.

22. Bergmann, H.: l. c. S. 4ff.

Zu Kapitel XI.

4. Die Formulierung des *Energiesatzes* von M. Planck findet sich in seiner in Kapitel I, Abschnitt 17 (Anmerkung) zitierten Schrift. — Petzoldt, J.: Siehe Anmerkung zu Kapitel X, Abschnitt 19. — Bothe u. Geiger: *Z. Physik* **32**, 639ff. (1925). — Compton u. Simon: *Physic. Rev.* **26**, 289ff. (1925).

Namenverzeichnis.

- Adler, F. 302.
Ampère 43.
Aristoteles 57, 102, 280.
- Baader** 54.
v. Baer, K. F. 283.
Bavink, B., 264, 298, 305.
Becher 115.
Bergmann, H. 203, 284, 285, 286,
304, 306.
Bergson, Henri 85, 86, 87, 88, 114,
124, 154, 203, 298, 300, 302, 303.
Bernoulli, D. 58.
Bertalanffy 115, 116, 117, 126, 302.
Bohr, N. 22, 130, 131, 135, 167, 168,
173, 201, 294, 304.
Boll, M. 90, 202, 302, 304.
Boltzmann 58, 59, 61, 64, 213, 219,
301.
Born, M. 247, 304.
Bose 213.
Bothe 293, 306.
Boutroux, E. 277, 306.
de Broglie 8, 97, 184, 185, 187, 188,
266.
Brunswik, A. 275, 303, 306.
- Carnap**, R. 149, 247, 269, 283, 298,
305, 306.
Cassirer, E. 283.
Clausius 58.
Cohen, H. 283.
Compton 176, 292, 293, 306.
Coudenhove-Kalergi 58, 301.
Coulomb 43.
- Darwin** 87.
Deborin, A. 13, 118, 120, 121, 128,
299, 302, 304.
Descartes 48, 130.
Diderot 222, 304.
Dingler, H. 25, 26, 27, 299.
Dirac, P. 103, 266, 267, 305.
- Driesch, H. 50, 51, 101, 102, 103,
104, 105, 106, 107, 108, 109, 111,
112, 113, 115, 116, 126, 127, 128,
136, 140, 300, 302, 303.
Dubois-Reymond 274.
Duhem, P. 57, 300, 301.
- Ehrenfest**, P. und T. 59, 301, 304.
Einstein, A. 24, 25, 97, 103, 167,
168, 180, 198, 213, 245, 255, 260,
261, 262, 299, 304.
Engels, Fr. 117, 118, 119, 207, 273,
302, 304.
Epikur 89.
Eschenmayer 283.
Euler 130.
Exner, F. 60, 62, 301.
- Faigl**, K. 300.
Frank, Ph. 298, 299, 301, 304, 305.
Friedel, J. 94.
- Galilei** 18, 291.
Gamow 179, 304.
Geiger 306.
Goebel, K. 125, 303.
Goethe 9.
Groß, J. 117.
- Hahn**, H. 12, 298, 299.
Halpern, O. 247, 304, 305.
v. Hartmann, E. 115, 137.
Hegel 54, 118, 124, 273, 275, 276,
283, 303.
Heidegger, M. 282, 298, 306.
Heisenberg, W. 175, 176, 177, 186,
197, 202, 266, 267, 304, 305.
Helmholtz 291.
Hertz, H. 115.
Hessenberg, G. 243, 304.
- James**, W. 125, 126, 202, 298, 299,
302, 303, 304.
Jeans, J. H. 301
Jordan, P. 304.
Joule 291.

- Kaluza 198.
 Kammerer 87.
 Kant, J. 242, 243, 275, 276, 281, 285.
 Kepler 82, 168, 260, 261, 262.
 Kirchhoff 115.
 Knoll, Fr. 124, 125, 303.
 Koelsch, A. 135.
 Kopernikus 260, 261, 262.

 Lagrange 30.
 Lanczos, C. 198, 304.
 Langevin, P. 305.
 Laplace 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38,
 41, 42, 44, 49, 55, 57, 58, 60, 61,
 62, 64, 65, 69, 130, 163, 164,
 168, 171, 172, 191, 192, 194,
 195, 293, 300.
 Leibniz 130.
 Lenard 180.
 Lenin 242, 243, 271, 272, 273, 304.
 Lewin, K. 301.
 Lorentz, H. A. 197, 198, 230.
 Lukrez 89.

 Mach, E. 115, 194, 243, 264, 270,
 271, 272, 273, 279, 285, 304, 305.
 Marconi 110.
 Marx, K. 118, 273.
 Maupertuis 83, 130.
 Maximow, A. 56, 121, 301, 302.
 Maxwell, J. Cl. 58, 60, 61, 62, 64,
 65, 73, 229, 301.
 Mendel, G. 77, 135.
 Meyer, R. 291.
 Michelson 44.
 v. Mises, R. 38, 62, 63, 82, 299, 300,
 301, 303, 304, 305.
 Molière 47.

 Napoleon 32.
 Natorp 283, 285.
 Neurath, O. 12, 82, 100, 127, 128,
 209, 299, 300, 301, 302, 304.
 Newton 31, 35, 36, 37, 38, 42, 45,
 79, 82, 119, 142, 181, 182, 186,
 195, 197, 260, 261, 262, 291.
 Nietzsche, Fr. 75, 79, 280, 281, 301,
 306.

 Ohm 170.
 Oken 54, 283.
 Ostwald, W. 57, 58, 301.
 Petzoldt, J. 280, 293, 306.
 Planck, M. 22, 23, 24, 45, 132, 140,
 162, 177, 180, 185, 264, 267, 268,
 292, 293, 295, 299, 300, 301, 305,
 306.
 Platon 280.
 Plechanow, G. 208, 304.
 Podwołocki, J. 302.
 Poincaré 24, 242, 243, 299.
 Poncelet 63.

 Raman 292.
 Reichenbach, H. 26, 243, 300, 304.
 Riemann 262.
 Rignano, E. 140, 303.
 Rjazanow, D. B. 302.
 Russel, B. 283, 299, 305.
 Rutherford 131.

 Saint-Venant 63.
 Schelling 54, 283.
 Schlick, M. 4, 6, 11, 15, 23, 51, 148,
 151, 298, 299, 300, 303.
 Schopenhauer 58.
 Schrödinger, E. 8, 97, 184, 190, 192,
 246, 266, 268, 301, 305.
 Simon, F. 293, 306.
 Sombart, W. 80, 124, 301, 303.
 Sommerfeld, A. 130, 131, 132, 133,
 134, 135, 196, 303, 304.
 Spann, O. 54, 55, 56, 126, 127, 128,
 129, 276, 283, 298, 300, 301, 303.
 Spengler, O. 54.
 Stark, J. 200, 303.
 Steffens 283.

 Thirring, H. 304, 305.
 Timirjasew, A. K. 120.
 Troll, W. 9, 130, 299, 303.
 Voltaire 68, 89.

 Westphal, W. 299.
 Weyl, H. 33, 130, 198, 300, 303.
 Wilson 197.
 Wittgenstein, L. 298, 306.
 Zilsel, E. 143, 303.

Atomtheorie und Naturbeschreibung. Vier Aufsätze mit einer einleitenden Übersicht. Von Professor **Niels Bohr**, Kopenhagen. IV, 77 Seiten. 1931. RM 5.60

Vier Vorlesungen über Wellenmechanik. Gehalten an der Royal Institution in London im März 1928 von Professor Dr. **E. Schrödinger**, Berlin. Übersetzt von Dr. Hans Kopfermann. Mit 3 Abbildungen. V, 57 Seiten. 1928. RM 3.90

Einführung in die Wellenmechanik. Von Dr. **J. Frenkel**, Professor für Theoretische Physik am Polytechnischen Institut in Leningrad. Mit 10 Abbildungen. VIII, 317 Seiten. 1929. RM 26.—; gebunden RM 27.60

Elementare Quantenmechanik. Von Professor Dr. **Max Born**, Göttingen, und Dr. **Pascual Jordan**, Rostock. (Struktur der Materie, Bd. IX.) XI, 434 Seiten. 1930. RM 28.—; gebunden 29.80

Schriften zur Erkenntnistheorie. Dem Andenken an **Hermann von Helmholtz** zur Hundertjahrfeier seines Geburtstages. Herausgegeben und erläutert von Paul Hertz, Göttingen, und Moritz Schlick, Rostock. X, 176 Seiten. 1921. RM 8.50

Allgemeine Erkenntnislehre. Von **Moritz Schlick**. (Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher, Band I.) Zweite Auflage. IX, 375 Seiten. 1925. RM 18.—

* **Mechanismus — Vitalismus — Mnemismus.** Von Professor Dr. **Eugen Bleuler**, Zürich. III, 148 Seiten. 1931. RM 9.90

* **Kausalität und Vitalismus vom Standpunkt der Denkökonomie.** Von Professor Dr. **Hans Winterstein**, Breslau. Zweite, erweiterte Auflage. VI, 51 Seiten. 1928. RM 4.80

* Bilden die Hefte VI und IV der „Abhandlungen zur Theorie der organischen Entwicklung“.