

WISSENSCHAFTLICHE GRUNDFRAGEN

PHILOSOPHISCHE ABHANDLUNGEN IN GEMEINSCHAFT MIT

B. BAUCH-JENA · J. BINDER-GÖTTINGEN · O. BUMKE-MÜNCHEN · E. CASSIRER-

HAMBURG · R. HOLTZMANN-HALLE a. S. · E. KALLIUS-HEIDELBERG

A. KNESER-BRESLAU · C. SCHAEFER-MARBURG · J. STENZEL-KIEL

HERAUSGEGEBEN VON R. HÖNIGSWALD IN BRESLAU

VI

**ATOMISMUS UND
KONTINUITÄTSTHEORIE IN
DER NEUZEITLICHEN PHYSIK**

VON

E. LOHR



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

Die „Wissenschaftlichen Grundfragen“ dienen sowohl der philosophischen Forschung wie der wissenschaftlichen Arbeit der Einzeldisziplinen. Das findet seinen Ausdruck schon in den Namen der Mitherausgeber. Die in zwangloser Folge erscheinenden Abhandlungen werden in strenger Wissenschaftlichkeit Fragen erörtern, die die Einzelwissenschaft stellen muß, die sie aber ohne methodische Besinnung auf ihre eigenen Grundlagen, also ohne wissenschaftliche Philosophie, nicht zu lösen vermag; andererseits Fragen, die der philosophischen Forschung aufgegeben sind, wo sie ihrem Begriff gemäß das Verfahren der Einzelwissenschaften untersucht. Zwar erschöpfen sich die Ziele der wissenschaftlichen Philosophie nicht in Analyse und Rechtfertigung der forschenden Wissenschaft, allein sie sind nur in stetem Bezug auf solche Rechtfertigung und Analyse zu ergreifen. In diesem Sinne werden die „Wissenschaftlichen Grundfragen“ auch Probleme aus dem Bereich der ethischen, ästhetischen und religiösen Begriffsbildung behandeln.

Die „Wissenschaftlichen Grundfragen“ erscheinen in zwangloser Folge. Der Umfang der Einzelabhandlung beträgt höchstens 4–6 Druckbogen. Die Abhandlungen sind einzeln käuflich. Manuskriptsendungen können nur nach Verständigung mit einem der Herausgeber entgegengenommen werden.

R. Hönigswald

WISSENSCHAFTLICHE GRUNDFRAGEN

PHILOSOPHISCHE ABHANDLUNGEN

IN GEMEINSCHAFT MIT

B. BAUCH-JENA (PHILOSOPHIE) • J. BINDER-GÖTTINGEN (RECHTSWISSENSCHAFT)
O. BUMKE-MÜNCHEN (PSYCHIATRIE) • E. CASSIRER-HAMBURG (PHILOSOPHIE)
R. HOLTZMANN - HALLE A. S. (GESCHICHTE) • E. KALLIUS - HEIDELBERG
(VERGL. ANATOMIE) • A. KNESER-BRESLAU (MATHEMATIK) • C. SCHAEFER-
MARBURG (PHYSIK) • J. STENZEL-KIEL (PHILOSOPHIE U. SPRACHWISSENSCHAFT)

HERAUSGEGEBEN VON

R. HÖNIGSWALD
BRESLAU

VI

E. LOHR: ATOMISMUS UND KONTINUITÄTSTHEORIE IN DER
NEUZEITLICHEN PHYSIK



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH 1926

ATOMISMUS
UND
KONTINUITÄTSTHEORIE
IN DER
NEUZEITLICHEN PHYSIK

VON

DR. PHIL. ERWIN LOHR

o. ö. PROFESSOR DER PHYSIK AN DER DEUTSCHEN
TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN BRÜNN



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH 1926

ISBN 978-3-663-15653-6 ISBN 978-3-663-16229-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-16229-2

ALLE RECHTE, EINSCHLIESSLICH DES ÜBERSETZUNGSRECHTS, VORBEHALTEN

VORWORT

Als ich von der Leitung der Salzburger Hochschulkurse aufgefordert wurde, über „Atomismus und Kontinuitätstheorie in der neuzeitlichen Physik“ zu sprechen, ergriff ich gerne die Gelegenheit, die Grundgedanken dieser beiden Forschungsrichtungen vor einem weiteren Kreise zu erörtern. Weniger leicht und nur einem von verschiedenen Seiten geäußerten Wunsche nachgebend, entschloß ich mich, die Anfang September 1925 in Salzburg gehaltenen Vorträge nun in etwas erweiterter Form zu publizieren.

Ich bin mir vollkommen bewußt, daß ich, was die methodologisch-erkenntnistheoretischen Fragen betrifft, bestenfalls als ein philosophisch einigermaßen gebildeter Laie gelten kann, und daß ich als reiner Kontinuitätstheoretiker auch für die Darstellung der atomistischen Physik gewiß nicht der Berufenste bin.

Wer die Atomistik im allgemeinen und die moderne Korpuskular- und Quantentheorie im besonderen kennenlernen will, dem steht eine ganze Reihe vorzüglicher und allgemein verständlich geschriebener Bücher (einige sind im Texte zitiert) zur Verfügung; ich hätte mich also auf mein eigenes Arbeitsgebiet, auf die Kontinuitätstheorie beschränken können, für welche eine programmatische und dabei allgemein verständliche Darstellung bisher fehlt. Ich hätte es tun können, wenn Korpuskulartheorie und Kontinuitätstheorie sich als sozusagen gleichberechtigte Gegner gegenüberstünden. Da es sich aber um den Wettstreit zweier Forschungsrichtungen handelt, deren eine, nämlich die Korpuskulartheorie, die derzeit herrschende ist, während selbst die Existenz einer Kontinuitätstheorie bislang in weiteren Kreisen ziemlich unbekannt blieb, konnte nur eine erkenntnistheoretisch orientierte grundsätzliche Erörterung beider Theorien auf allgemeines Interesse Anspruch machen.

Es ist wohl selbstverständlich, daß ich als Kontinuitätstheoretiker von der methodischen Überlegenheit der Kontinuitätstheorie überzeugt sein muß und daß auch meine Behandlung der Korpuskulartheorie diese Überzeugung nicht verleugnet. Trotzdem war ich ehrlich bemüht, auch der atomistischen Vorstellungs- und Gedankenwelt sachlich gerecht zu werden und möchte nur wünschen, daß ebenso die in diesem Büchlein dargelegten Grundgedanken der Kontinuitätstheorie einer rein sachlichen Beurteilung gewürdigt werden mögen.

Br ü n n , am 7. Jänner 1926.

INHALT

	Seite
Allgemeine Einführung	7
I. Atomismus und Korpuskulartheorie	15
1. Atomistische Begriffsbildung in der griechischen Philosophie	15
2. Weiterentwicklung in neuerer Zeit	18
a) Kinetik der Atome	18
b) Dynamik der Atome	24
c) Der Atombegriff in der Chemie	27
3. Die heutige Atomistik	29
a) Die Elektronentheorie	29
b) Die Quantentheorie	37
II. Kontinuitätstheorie	44
1. Kontinuitätstheoretische Anfänge bei den griechischen Philosophen	44
2. Einleitende Entwicklung kontinuierstheoretischer Grundbegriffe	49
3. Einiges über die Entwicklung der Kontinuitätstheorie in neuerer Zeit	52
4. Die heutige Kontinuitätstheorie	58
a) System der Differentialgesetze, Materialfunktionen	58
b) Begrenzter Körper und Bewegung	63
c) Aufbau der Jaumannschen Theorie im einzelnen	66
5. Abschließende Erörterungen allgemeiner und kritischer Art	75

ALLGEMEINE EINFÜHRUNG

Über zwei grundsätzlich verschiedene physikalische Naturauffassungen soll in der vorliegenden Schrift in gedrängter Kürze berichtet werden. Naturphilosophische und erkenntnistheoretische Überlegungen werden sich in diesem Zusammenhange nicht vermeiden lassen, es sei aber ausdrücklich betont, daß der Verfasser als Physiker spricht, und daß er demgemäß philosophische Untersuchungen nur in jenem Umfange anstellen, philosophische Begriffe nur mit jener Schärfe formulieren kann und will, wie es sein Thema, die Charakterisierung der beiden Naturauffassungen, unbedingt erfordert.

Wir wollen uns zunächst die Frage vorlegen: Welchen Sinn kann es haben, die Naturerscheinungen erklären zu wollen?

Das wirkliche Geschehen, das sinnlich Gegebene in seiner bunten, unendlichen Mannigfaltigkeit ist ein Einmaliges, ein Unwiederholbares. Dieses Gegebene trachtet der menschliche Geist in allgemeingültiger Weise zu erfassen. Die Erfassung des anschaulich Gegebenen hat in Raum und Zeit ein Allgemeines, Allgemeingültiges in sich. Darum sind ja nach Kant Raum und Zeit apriorisch, d. h. allgemeingültige „Anschauungsformen“, in welchen und durch welche wir allein unsere sinnlichen Wahrnehmungen zu ordnen vermögen. Der Raum unserer Anschauung ist ein dreidimensionales Kontinuum, für welches die Sätze der Euklidischen Geometrie zutreffen; Raum und Zeit sind homogen und isotrop, d. h. es gibt keine an sich ausgezeichneten Stellen und Richtungen im Raume und in der Zeit. Außer diesen Anschauungsformen sind nach Kant auch noch die reinen Denkformen oder „Kategorien“ allen erkennenden Subjekten gemeinsam, da sie die letzten Weisen darstellen, nach denen die Vernunft die Erscheinungen ordnet. Wir brauchen hier auf die zwölf Kantischen Kategorien nicht weiter einzugehen, welche sich wieder in die vier Klassen der „Quantität, Qualität, Relation und Modalität“ gliedern, und über die man im einzelnen wohl verschiedener Meinung sein kann.

Am unmittelbarsten wird sich die Eigengesetzlichkeit unseres Verstandes in dem konstruktiven Denken der Mathematik und

Geometrie zu äußern vermögen, da die Mathematik nicht an eine gegebene Mannigfaltigkeit gebunden ist, sondern die Mannigfaltigkeit, welche den Gegenstand der Untersuchung bildet, erst selbst erschafft. So beruht im Sinne von Dedekind, Russell, Natorp, Cassirer der ganze Bestand der Zahlen auf den Verhältnissen, die sie in sich selber aufweisen.¹⁾ Sie entstehen durch systematische Verknüpfungen diskreter Denksetzungen und bilden eine geordnete Folge; die Stelle jedes Gliedes in der Zahlenreihe ist durch die anderen Glieder eindeutig bestimmt. Dieses „Gefüge idealer Gegenstände“ hat keinen anderen Inhalt, als eben den, der durch ihre gegenseitigen Beziehungen gegeben ist. Eine wichtige Funktion kommt der Zahl als „Kardinalzahl“ zu: Ist irgendein System von unterscheidbaren Elementen gegeben, so können wir es auf die Zahlenreihe beziehen, indem wir schrittweise jedem Element eine Zahl zuordnen. Der Fortschritt von der Zahl 1 zu der Zahl n kann dabei nur auf eine Weise erfolgen; die durch die Zuordnung des letzten Elementes gewonnene Zahl n charakterisiert somit zugleich das Gesamtsystem. Man sagt dann, „das System besteht aus n Elementen“. In dieser Aussage liegt zunächst eine Abstraktion von allen besonderen Bestimmungen der Einzelelemente, liegt die Voraussetzung, daß lediglich die Zahlenreihe geordnet ist, während die Elemente, auf die wir den Zählprozeß anwenden, den Zahlen in beliebiger Reihenfolge zugeordnet werden können. In der Ungeordnetheit und gegenseitigen Vertretbarkeit ihrer Elemente haben wir das wesentliche Merkmal einer bloßen Anzahl, eines Haufens, eines Aggregates und in weiterer Folge einer Quantität überhaupt.

In der praktischen Anwendung tritt an die Stelle der Zahl die benannte Zahl; 10 Äpfel will besagen „ein Haufen von 10 Dingen“, welche in bezug auf die Merkmale des Begriffes Apfel übereinstimmen und sich in dieser Hinsicht vertreten können.

Dem Ordnungsgrundsatz gemäß führt die folgerechte Erweiterung des Zahlbegriffes (worauf wir aber hier nicht näher eingehen können) zum geordneten Zahlenkontinuum der positiven und negativen reellen Zahlen, welche alle durch Verwendung von Dezimalbrüchen (mit im allgemeinen unendlich vielen Ziffern) darstellbar sind. Das wesentliche dabei liegt in dem mathematischen Ver-

1) Aus der großen Literatur über diese Frage hebe ich nur hervor: P. Natorp, „Die logischen Grundlagen der exakten Naturwissenschaften“. Leipzig und Berlin 1910. — B. Russell, „The Principles of Mathematics“. Cambridge 1903. — E. Cassirer, „Substanzbegriff und Funktionsbegriff“. Berlin 1910.

fahren, welches ein exaktes Arbeiten mit Gebilden, die unendlich vielen Denksetzungen entsprechen, möglich macht. Dieser ungemein wichtige Schritt gestattet es uns, die durch diskrete Denksetzungen erzeugte Ordnung der Zahlenreihe dem Kontinuum unserer Anschauung aufzuprägen.

Zu dem Zahlbegriff tritt weiterhin der Funktionsbegriff, als Zuordnung einer Reihe von Werten oder meist eines kontinuierlichen Wertbereiches y zu einer gegebenen Reihe bzw. einem gegebenen Wertbereiche x nach einer bestimmten Regel, man schreibt $y=f(x)$ z. B. $y=2x^2+3x$ d. h. zu $x=1$ gehört $y=5$, zu $x=2$, $y=14$, zu $x=\frac{1}{2}$, $y=2$ usf. $z=f(x,y)$ würde heißen, daß den Wertepaaren x,y Werte von z zugeordnet sind. Z. B. $z=3xy+4x$ d. h. es gehört zu $x=1$ und $y=1$, $z=7$, zu $x=1$ und $y=2$, $z=10$ usf. Insofern die „Größen“ x,y,z verschiedene Werte annehmen können, heißen sie Variable oder Veränderliche, jene von ihnen, denen man (eventuell innerhalb gewisser Grenzen) beliebige Werte erteilen kann, nennt man unabhängige, die durch diese bestimmten, abhängige Größen. In $y=f(x)$ ist y eine Funktion von einer, in $z=f(x,y)$ ist z eine Funktion von zwei unabhängigen Variablen. Natürlich kann man ebensogut auch Funktionen von beliebig vielen unabhängigen Variablen bilden.

Die Geometrie ist ein konstruktives Denken im Raume; von besonderer Bedeutung war die Ergänzung des Raumbegriffes durch den Zahlbegriff (Descartes). Haben wir eine gerade Linie mit einem Anfangspunkt der Zählung, so können wir den Punkten der beiden Halbgeraden das Kontinuum der positiven und negativen reellen Zahlen zuordnen (Cantorsches Axiom). Relativ zu drei aufeinander wechselseitig senkrecht stehenden Geraden, den sogenannten Koordinatenachsen, läßt sich dann jeder Punkt des Raumes durch drei Zahlenangaben, die „Koordinaten“ x, y, z des Punktes festlegen, welche dadurch gewonnen werden, daß man die den betreffenden Punkt mit dem Schnittpunkte der Achsen verbindende gerade Strecke nacheinander auf die einzelnen Achsen projiziert. Wir haben damit die durch unser Denken in der Zahlenreihe geschaffene Ordnung dem Raume aufgeprägt. Erst als Glieder dieses Ordnungszusammenhangs sind die einzelnen Raumpunkte individualisiert und scharf erfassbar. Natürlich handelt es sich nicht um eine absolute, sondern nur um eine relative Ordnung, nämlich in bezug auf das gegebene Achsenkreuz.

Die praktische Durchführung der Zuordnung erfordert irgendein Meßverfahren und kann nur annäherungsweise genaue Resultate

liefern. Es ist sehr bezeichnend für die Eigengesetzlichkeit des menschlichen Geistes, daß er sich eine „Präzisionsmathematik“ erschafft, obwohl er für alle praktischen Anwendungen mit einer „Approximationsmathematik“ das Auslangen finden würde.²⁾

Unmittelbarer noch als beim Raume ergibt sich die Zuordnung zwischen Zahlkontinuum und Zeit, da es sich bei beiden um eindimensionale Kontinua mit einer bestimmten Fortschrittsrichtung handelt. Die praktische Zeitmessung beruht auf der Beobachtung von Veränderungen, als konstantes Zeitmaß gilt die Dauer eines periodischen Vorganges, der „stets unter denselben Bedingungen“ erfolgt. Ob die Messungsbedingungen in einem gegebenen Falle stets dieselben sind, das läßt sich nur entscheiden auf Grund des ganzen theoretischen Schemas, durch das wir unsere jeweilige Gesamterfahrung formen und darstellen. Die Vorschrift, nach welcher wir die gegebene sinnliche Mannigfaltigkeit in Raum und Zeit ordnen, ist ein Bestandteil des ganzen theoretischen Schemas und dieses ist naturgemäß in steter Entwicklung begriffen; ich erwähne in diesem Zusammenhange Einsteins Relativitätstheorie, auf die wir jedoch hier nicht eingehen können.

Wenn sich nun ein punktförmiger Körper relativ zu einem irgendwie „realisierten“ Koordinatensystem bewegt, etwa zur Vereinfachung parallel der x -Achse, so versteht man unter seiner Geschwindigkeit v bekanntlich das Verhältnis des zurückgelegten Weges $x_2 - x_1$ zu der hierzu erforderlichen Zeit $t_2 - t_1$, also $v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$. Wir bezeichnen die Zeit allgemein durch den Buchstaben t , die bestimmte Zeitangabe zu Beginn der betrachteten Zeitstrecke durch t_1 , jene am Ende der Zeitstrecke mit t_2 und das Entsprechende gilt für die Wegstrecke. Tatsächlich erhalten wir durch obige Definition nur eine mittlere Geschwindigkeit, da sich der Körper ja nicht längs der ganzen Wegstrecke von endlicher Länge mit ein und derselben Geschwindigkeit zu bewegen braucht. Um zu dem Begriffe der Geschwindigkeit in einem bestimmten „Punkte“ zu gelangen, müssen wir den Grenzübergang zu „unendlich“ kleinen Weg- und Zeitstrecken machen. Man sagt, die Differenzen $x_2 - x_1$ und $t_2 - t_1$ sollen gegen die Grenze (limes) Null gehen und schreibt:

$$\lim \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{dx}{dt}$$

2) Vgl. etwa F. Klein, „Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus“. 3. Aufl. Berlin 1924, Springer. I S. 39.

Man nennt $\frac{dx}{dt}$ den Differentialquotienten des Weges nach der Zeit; die nach der Zeit genommenen Differentialquotienten heißen auch Fluxionen. Der durch das Zeichen \lim angedeutete Grenzübergang verlangt, daß die Differenzen $x_2 - x_1$, $t_2 - t_1$ mathematisch „unendlich klein“, d. h. kleiner als jede angebbare Größe, jedoch nicht exakt gleich Null werden. Daß das Verhältnis zweier unendlich kleiner Größen, also der Differentialquotient, einen ganz bestimmten endlichen Wert haben kann, sieht man am leichtesten ein, wenn man das Verhältnis zweier Dreieckseiten betrachtet, es behält bei ähnlichen Dreiecken denselben, also endlichen Wert, wie klein man auch die Dimensionen des Dreieckes wählen mag.

Kennen wir nun die Geschwindigkeit eines Körpers in irgendeinem Punkte seiner Bahn, so kennen wir auch das Wegelement, welches er während des nächsten Zeitelementes zurücklegen wird und so fort. Die während einer endlichen Zeit durchlaufene Bahn setzt sich aus lauter infinitesimalen Wegstrecken zusammen. Wären es endliche Wegstrecken, so erhielten wir den nach einer bestimmten Zeit erreichten Ort einfach durch Summierung, so aber müssen wir integrieren. Die Integration ist der exakte Grenzübergang von einer gewöhnlichen Summe zu einer solchen über unendlich viele, unendlich kleine Summanden.

Mit diesen Andeutungen müssen wir uns begnügen. Betont sei nur, daß die Infinitesimalrechnung das eigentliche Instrument zur mathematischen Beherrschung des kontinuierlich veränderlichen Seins und Geschehens in Raum und Zeit ist und daß das mathematische Denken dieses von ihm geschaffene Instrument mit voller Sicherheit, in logisch einwandfreier Weise zu handhaben versteht.

Bezeichnen wir nun die Geschwindigkeit allgemein mit v , so ist das Verhältnis der Geschwindigkeitsänderung zu der dazu erforderlichen Zeit die Beschleunigung:

$$w = \frac{dv}{dt}$$

Galilei erkannte, daß die auf einen Körper wirkende mechanische Kraft f seine Beschleunigung bestimmt. Sie hängt außerdem noch von der Natur des Körpers, nämlich von seiner Masse m ab. Wir prägen diesen Bemerkungen gemäß die mathematische Form:

$$m \frac{dv}{dt} = f$$

Diese Form wird auf die Erfahrung angewendet, die konstruktiv geschaffenen Begriffe werden im sinnlich Gegebenen realisiert.

Der Kraftbegriff geht bekanntlich auf unser Muskelgefühl zurück; eine Feder zu spannen erfordert Muskelanstrengung, wir schreiben demgemäß auch der gespannten Feder eine Kraft zu, welche beim Entspannen wirksam wird, und zwar der gleichen, in gleicher Weise gespannten Feder dieselbe Kraft. Wirkt dieselbe Kraft auf verschiedene Körper, so müssen sich nach unserer Formel die Massen der Körper umgekehrt wie ihre Beschleunigungen verhalten, wirken verschiedene Kräfte auf denselben Körper, so sind die Beschleunigungen den Kräften proportional.

Diese Andeutungen genügen wohl, um einzusehen, daß man grundsätzlich mittelst obiger Formel durch Messung der Beschleunigungen, Massen bzw. Kräfte untereinander vergleichen und nach Festlegung von Maßeinheiten zahlenmäßig bestimmen kann. Wie solche Messungen auf indirektem Wege tatsächlich mit hoher Genauigkeit ausgeführt werden können, das braucht hier nicht besprochen zu werden.

Insofern nun eine derartige mathematische Form alle Erscheinungen des betreffenden Gebietes widerspruchsfrei und ungezwungen darstellt, nennen wir sie ein „Naturgesetz“. Treten Schwierigkeiten ein, so kann das entweder an einer ungeeigneten Anwendung der konstruktiv geschaffenen Begriffe auf das Gegebene liegen oder aber diese Begriffe selbst in ihrer gegenseitigen Verknüpfung müssen neugeformt werden.

So wie in dem oben angeschriebenen Newtonschen Grundgesetze der Mechanik die Änderungen der Geschwindigkeit durch die Kraft bestimmt wurden, so können andere Naturgesetze die zeitlichen Veränderungen anderer den „Zustand“ charakterisierender Merkmale, sogenannter Zustandsgrößen, Zustandsvariablen bestimmen.

Die zeitliche Änderung, die Fluxion der Temperatur $\frac{dT}{dt}$ ist beispielsweise in einem wärmeleitenden Körper durch die räumliche Verteilung des Temperaturgefälles in dem betreffenden Körperpunkte bestimmt. Die räumliche Verteilung des Temperaturgefälles in einem Punkte drückt sich mathematisch wieder durch Differentialquotienten, und zwar jetzt genommen nach den räumlichen Koordinaten x, y, z aus.

Auch der Temperaturbegriff entstammt zunächst unserer Temperaturempfindung, wird dann aber unabhängig von dieser definiert und als Temperaturvariable zahlenmäßig bestimmt, etwa durch die Einstellung der Quecksilbersäule eines Thermometers (die wissen-

schaftliche Grundlage der Temperaturmessung bilden die Angaben des Gasthermometers).

Von derartigen Zustandsvariablen, welche das jeweils sinnlich Gegebene, als einen in Raum und Zeit kontinuierlich veränderlichen Gesamtzustand darstellen, charakterisieren sollen, werden wir später ausführlicher zu sprechen haben. Hier sei nur noch erwähnt, daß auch die Kraft, welche, wie wir gesehen haben, die Fluxion der Geschwindigkeit bestimmt, nach unseren heutigen Anschauungen bedingt ist durch gewisse Zustandsgrößen und deren räumliche Verteilung in dem betreffenden Punkte. So sind beispielsweise die elektrischen und magnetischen Kräfte bedingt durch Zustandsvariable, welche man elektrische und magnetische Feldstärke nennt. Jeder Zustandsvariablen kommt in jedem Raumpunkte und in jedem Augenblicke, also in jedem „Raum-Zeit-Punkte“, ein bestimmter, zahlenmäßig angebbarer Wert zu. Die Gesamtheit aller, im allgemeinen von Ort zu Ort kontinuierlich nach Größe und Richtung veränderlichen Werte der elektrischen und magnetischen Feldstärke nennt man das elektromagnetische Feld. Natürlich bestehen auch für diese äußerst wichtigen Zustandsvariablen Naturgesetze, Differentialgesetze, welche deren Fluxionen bestimmen, ihre Grundform wurde von Maxwell geschaffen.

Fassen wir die bisherigen Überlegungen zusammen. Um die sinnlich gegebene Mannigfaltigkeit überhaupt zu einer geordneten Erfahrung gestalten zu können, müssen wir sie unseren notwendigen Anschauungs- und Denkgesetzen gemäß formen. Das freieste Betätigungsfeld unseres konstruktiven Denkens haben wir in der Mathematik und Geometrie. Dort also werden jene systematischen Begriffsverknüpfungen als in sich geschlossene Ordnungszusammenhänge von logisch notwendiger und allgemeiner Gültigkeit geschaffen, die uns als mögliche Formen zur Anwendung in den exakten Naturwissenschaften zur Verfügung stehen. Um aber die mathematischen Formen anwenden zu können, müssen wir das sinnlich Gegebene neu gestalten. Um das einmalige und unwiederholbare Geschehen der Wirklichkeit begrifflich erfassen, es durch notwendige und allgemein geltende Begriffsrelationen formen zu können, müssen wir es zunächst, wie schon Bacon of Verulam bemerkte, „zerschneiden“. Wir müssen in Beobachtung und Experiment von allem für eine bestimmte Fragestellung, für eine bestimmte mathematische Form, einen bestimmten Ordnungszusammenhang Unwesentlichem abstrahieren; müssen durch die Versuchsbedingungen eine möglichst genaue Wiederholbarkeit, Reproduzierbarkeit

des jeweils wesentlichen Geschehens erzwingen. Wir müssen ferner, wie wir das an Beispielen angedeutet haben, unsere konstruktiv geschaffenen Begriffe in geeigneter Weise so realisieren, daß an die Stelle unbestimmter Empfindungen, subjektiver Sinnesqualitäten objektive, meßbare, durch das Zahlenkontinuum geordnete Größen treten. Derartige „Größen“ brauchen keineswegs direkt sinnlich wahrnehmbar zu sein, nicht ihr Sein, sondern nur ihre Funktion, ihre Wechselbeziehungen spielen in dem angestrebten Ordnungszusammenhange eine Rolle. Eine einzelne solche Größe für sich genommen würde haltlos in der Luft schweben.

Wir haben die Differentialgesetze als die typische Form zur Darstellung des Geschehens im raum-zeitlichen Kontinuum besprochen. Sie bestimmen die zeitlichen Veränderungen, die Fluxionen der Zustandsgrößen und schaffen so bei bekanntem Anfangszustande eine eindeutige Ordnung des Geschehens, welche mathematisch dadurch zum Ausdruck kommt, daß sich die Zustandsvariablen durch „Integration“ der Differentialgesetze als eindeutige Funktionen der Zeit und des Ortes ergeben. Die Differentialgesetze bestimmen die Fluxionen der Zustandsgrößen durch den jeweiligen Gesamtzustand und dessen räumliche Struktur in dem betreffenden Raum-Zeit-Punkte und sind daher Nahwirkungsgesetze. Was sich in endlicher räumlicher oder zeitlicher Entfernung befindet, hat keinen unmittelbaren Einfluß auf das Geschehen in dem betreffenden Raum-Zeit-Punkte. In dieser idealen mathematischen Ordnungsform geht die Denkkategorie der Kausalität auf, und der durch sie bedingte kontinuierliche raum-zeitliche Ordnungszusammenhang ist dem Raum-Zeit-Kontinuum unserer Anschauung völlig adäquat. Jede unvermittelte räumliche oder zeitliche Fernwirkung würde, gleichsam wie ein *deus ex machina* diese Ordnung durchbrechen.

Im Erkenntnisvorgange handelt es sich wesentlich darum, Unbekanntes auf Bekanntes zurückzuführen, eines in dem anderen wiederzuerkennen. Dementsprechend versucht auch der Physiker, indem er die vom konstruktiven Denken geschaffenen mathematischen Formen auf die sinnlich gegebene Mannigfaltigkeit anwendet, in ihr dieselben Formen, dieselben Ordnungszusammenhänge wiederzuerkennen.³⁾ Bei der Auswahl zwischen an und für sich möglichen Formen

3) Ich möchte hier die außerordentlich treffende Bemerkung F. Hegels (Philosophie der Geschichte, Einleitung) anführen: Es mußte „Kepler mit den Ellipsen, mit Kuben und Quadraten und mit den Gedanken von Verhältnissen derselben a priori schon vorher bekannt sein, ehe er aus den empirischen Daten seine unsterblichen Gesetze, welche aus

verfährt er nicht willkürlich, sondern bevorzugt jene, durch welche er ein möglichst großes Erscheinungsgebiet einheitlich ordnen, unter dem gleichen Gesichtspunkte zusammenfassen kann. Sooft es gelingt, verschiedene Erscheinungsgebiete, die vorerst nur in sich geordnet waren, als Glieder einer übergeordneten Ordnungsform zu erkennen, wird hierdurch ein wesentlicher theoretischer Fortschritt erzielt.

Die Wirklichkeit ist unserer sinnlichen Wahrnehmung gegeben, unserem Denken aber aufgegeben, wir zerlegen, wir zerschneiden, wir zerstören sie, um sie als Spezialfall einer streng geordneten, geformten „Natur“ erkennen und begreifen zu können.

I. ATOMISMUS UND KORPUSKULARTHEORIE

1. ATOMISTISCHE BEGRIFFSBILDUNG IN DER GRIECHISCHEN PHILOSOPHIE

Als die Begründer der atomistischen Lehre gelten Leukippos und sein Schüler Demokritos von Abdera (letzterer um 460 v. Chr.).¹⁾ Hatten die Eleaten, vor allem Parmenides, die absolute Einheitlichkeit und Unveränderlichkeit alles Seins gelehrt, so trachtet Leukippos, gleichwie schon vor ihm Empedokles, den eleatischen Seinsbegriff so umzuprägen, daß er mit der sinnlichen Erfahrung in Übereinstimmung gebracht werden könne. Um die Vielheit und Veränderlichkeit der Erscheinungen zu erklären, verzichtet er auf die Merkmale der Einzigkeit und räumlichen Bewegungslosigkeit des eleatischen Seinsbegriffes, hingegen hält er für seine Atome um so bestimmter an den Merkmalen der Ungewordenheit und Unzerstörbarkeit sowie der qualitativen Gleichartigkeit fest. Alle Veränderung, alles Geschehen muß dann durch die räumliche Bewegung dieser (unsichtbar kleinen) Atome erklärt werden. Während Empedokles noch 4 qualitativ verschiedene Elemente (Erde, Wasser, Feuer, Luft) unterschied,

Bestimmungen jener Kreise von Vorstellungen bestehen, erfinden konnte. Derjenige, der in diesen Kenntnissen der allgemeinen Elementarbestimmungen unwissend ist, kann jene Gesetze, und wenn er den Himmel und die Bewegungen seiner Gestirne noch so lange anschaut, ebensowenig verstehen, als er sie hätte erfinden können“.

1) Wir stützen uns im folgenden auf E. Zeller, „Die Philosophie der Griechen“. 6. Aufl. Leipzig 1920 (I 2.) und auf W. Windelband, „Geschichte der abendländischen Philosophie im Altertum“. 4. Aufl. München 1923.

welche durch die bewegenden „Kräfte“ der Liebe und des Hasses gemischt und entmischt werden, sind die Atome Leukipps in sich und untereinander gleichartige, nicht weiter teilbare (*ἄτομον*) kleinste Teilchen, die sich lediglich durch ihre Gestalt und Größe, ihre Anordnung und Lage unterscheiden.²⁾ Damit der Begriff solcher diskreter, bewegungsfähiger Atome überhaupt denkbar sei, erfordert er als notwendiges Korrelat ein die Atome trennendes, also von diesen qualitativ verschiedenes Medium. Dieses Medium bezeichnet man wohl auch heute noch als „Vakuum“, für die griechischen Denker war es im Gegensatz zu den „seienden“ Atomen, das „Nichtseiende“. Gerade die kühne Behauptung, daß das „Nichtseiende“ um nichts weniger wirklich sei, als das „Seiende“, ist für diese Atomistiker charakteristisch. Das Seiende, also die Atome, ist ihnen das Volle, das die Atome trennende Nichtseiende das Leere.³⁾ Die Atome bewahren ihre Selbständigkeit auch dann, das Nichtseiende trennt sie auch dann, wenn sie sich unmittelbar berühren.⁴⁾ Alle Dinge bestehen aus Vollem und Leeren, aus Atomen und Zwischenräumen. Alle Wechselwirkungen zwischen Dingen kommen mechanisch durch Druck und Stoß zustande, Fernwirkungen gibt es nicht.⁵⁾ Scheinbare Fernwirkungen, wie die Anziehung zwischen Magnet und Eisen, aber auch die Wirkungen der Dinge auf unseren Gesichtssinn und Gehörsinn werden durch „Ausflüsse“ erklärt, welche sich von den Dingen ablösen und die Wirkungen vermitteln.⁶⁾ Die den Dingen zukommenden Eigenschaften müssen mechanisch aus dem quantitativen Verhältnis der Atome erklärt werden. Diese abgeleiteten Eigenschaften unterscheidet Demokritos als primäre (Schwere, Dichtigkeit, Härte) und sekundäre (Wärme, Kälte, Geschmack, Farbe).⁷⁾ Die ersteren sollen den Dingen selbst zukommen, also im Gegensatz zu den letzteren von unserer sinnlichen Wahrnehmung unabhängig sein. Dichtigkeit und Härte werden durch das Verhältnis und die Art der Verteilung des Vollen und Leeren in den Körpern erklärt. Die

2) Aristot. Metaphysik I 4, 985 b: „Solcher Unterschiede aber nehmen sie drei an: Gestalt, Ordnung und Lage; denn das Seiende, sagen sie, unterscheidet sich nur durch Zug, Berührung und Wendung. Hiervon ist aber Zug gleich Gestalt, Berührung gleich Ordnung und Wendung gleich Lage. So unterscheidet sich A von N durch die Gestalt, AN von NA durch die Ordnung und Z von N durch die Lage.“

3) Aristot. a. a. O. Anm. 2.

4) Vgl. z. B. Aristot. Metaphysik VII 13, 1039 a.

5) Aristot. gen. et corr. 1, 8.

6) Aristot. De sensu c. 2. 438 a.

7) Demokr. Fr. 9.

Schwere der Körper wird auf die Schwere der Atome zurückgeführt. Da die Atome alle qualitativ gleichartig sind, muß ihre Schwere, also ihr Gewicht ihrer Größe, ihrem Rauminhalt proportional sein.⁸⁾ Die sekundären Eigenschaften begründet Demokritos im allgemeinen durch die Gestalt, Größe und Ordnung der Atome, welche (sie berührend, sie treffend) auf unsere Sinneswerkzeuge wirken.

Das Leere wird unbegrenzt gedacht, in diesem Leeren bewegen sich die unendlich zahlreichen, unendlich vielgestaltigen Atome. Die Bewegung der Atome ist anfangslos und es kann für sie keine Ursache angegeben werden.⁹⁾ Wie sich Leukippos und Demokritos die Urbewegung der Atome vorstellten, wissen wir nicht genau. Sicher ist, daß sie den Atomen Schwere zuschrieben und daraus folgert Zeller: „Unter der Schwere hat aber niemand im Altertum etwas anderes verstanden als diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge deren sie sich nach unten bewegen, wenn ihnen dies nicht durch ein äußeres Hindernis verwehrt wird.“ „Sind daher die Atome schwer und besteht die Schwere in dem Bestreben, sich nach unten zu bewegen, so müssen die Atome im Leeren, in dem sie nichts an dieser Bewegung hindert, sie notwendig ausführen: die Urbewegung der Atome im Leeren ist der Fall, die Bewegung nach unten.“ „Das Bedenken aber, daß im unendlichen Raume kein Oben und Unten und somit auch keine Bewegung nach unten möglich ist, scheint sich ihnen (den Atomistikern) noch nicht aufgedrängt zu haben“ (l. c. p. 1084, 1085, 1095). Zellers Ansicht, die auch durch verschiedene Literaturstellen gestützt wird, dürfte wohl das Richtige treffen. Die Atomiker nehmen nun an, daß die in ihrem Gewicht verschiedenen Atome auch verschieden rasch fallen, wodurch es zu Zusammenstößen kommt. Aus diesen Zusammenstößen soll nun eine Art Kreis- oder Wirbelbewegung entstehen, von der alle beteiligten Atome ergriffen werden.¹⁰⁾ Eine genauere Beschreibung dieser Vorgänge ist uns nicht überliefert, jedenfalls handelt es sich hier nur um allgemeine und ziemlich unklare Vorstellungen und Behauptungen, bei denen man nicht an mathematisch erfaßte Gesetzmäßigkeiten im Sinne der modernen Physik denken darf. Es wird dann im einzelnen ausgeführt, wie solch ein Wirbel zur Entstehung einer Welt führt (und deren sollen unendlich viele entstehen, sich verändern und bei Weltzusammenstößen wieder zugrunde gehen), doch das braucht uns in diesem Zusammenhange nicht zu interessieren.

8) Aristot. De coelo IV 2, 308 b, Aristot. gen. et corr. I 8, 326 a.

9) Aristot. Metaph. XII 6, 1071 b.

10) Vgl. z. B. Simplicius, De coelo. 109 b, 41.

Nachdem durch Platon, Aristoteles und ihre Nachfolger der Atomismus zurückgedrängt worden war, erneuert Epikur (geb. 341 v. Chr.) diese Lehre ohne ihr etwas grundsätzlich Neues hinzuzufügen. Charakteristisch für ihn ist, daß er im Gegensatze zu Leukipp und Demokrit, die an einem strengen und notwendigen Naturzusammenhange festhielten, den Zufall in die Atomistik einführte, indem er die Atome von ihrer Fallbewegung ursachlos abweichen und hierdurch zusammenstoßen läßt.¹¹⁾

Die atomistische Naturauffassung wurde u. a. auch von dem römischen Dichter Lukrez (etwa 75 v. Chr.) in seiner Schrift „De rerum natura“ verfochten. Im Mittelalter war die Aristotelische Naturphilosophie vorherrschend.

2. WEITERENTWICKLUNG IN NEUERER ZEIT

a) Kinetik der Atome. Als Beginn der neueren Physik pflegt man das Wirken Galileis (um 1600) anzusehen, der, statt sich in rein philosophischen Spekulationen zu verlieren, dazu überging, das Naturgeschehen namentlich auf dem Gebiete der Mechanik durch exakte mathematische Formen, durch Naturgesetze zu ordnen, sich dabei ausgiebig des systematischen Experimentes bedienend. Eine sorgfältige Analyse des Beobachtungsmaterials, geleitet von dem Streben, in ihm eine mathematisch-geometrisch erfaßbare Ordnungsform zu erkennen, führt zur hypothetischen Aufstellung eines Gesetzes. Dann wird nachgeprüft, ob die begrifflichen Konsequenzen des Gesetzes mit dem, was das Experiment den Sinnen vorführt, übereinstimmen. Im Fortgange der Forschung selbst stehen Induktion und Deduktion, Theorie und Beobachtung, Analyse und Synthese in engster Wechselbeziehung, bilden einander stützend und ergänzend ein Ganzes eben das zuerst von Galilei bewußt benutzte und ausgebildete methodische Verfahren des Naturforschers.

Von den alten Schriftstellern haben wohl Euklid, Apollonios und Archimedes am anregendsten auf ihn gewirkt. An der Aristotelischen Physik hatte er mit Recht vieles auszusetzen und aus dieser Gegnerschaft erklärt sich m. E. auch sein Eintreten für die Atome.

„Wenn ein Körper mir jetzt diesen Anblick gewährt und ein wenig später einen anderen sehr verschiedenen, so halte ich es für nicht unmöglich, daß dies durch eine bloße Veränderung in der An-

11) Zu dieser Annahme veranlaßte ihn der von Aristoteles aufgestellte Satz, daß sich im leeren Raume alle Körper gleich schnell bewegen müßten.

ordnung der Teile geschieht, ohne daß etwas vernichtet oder etwas Neues erzeugt würde; solche Verwandlungen sind ja etwas ganz Alltägliches.“¹²⁾

„Salv. Wenn wir nun beim Zerbröckeln eines festen Körpers in viele Teile denselben aufs feinste zerpulvern bis in seine unendlich kleinen Atome (*infiniti suoi atomi*), die nicht mehr teilbar sind, warum sollen wir nicht sagen können, dieser Körper sei in ein einziges Kontinuum zurückgekehrt, vielleicht in eine Flüssigkeit, wie Wasser oder Quecksilber.“

„Sagr. Sollen wir denn annehmen, das Flüssige sei ein solches, weil es in seine unendlich kleinen unteilbaren Komponenten aufgelöst sei?“

„Salv. Ich finde keinen anderen Ausweg, um einige Erscheinungen zu erklären.“¹³⁾

Er führt dann weiter aus, daß auch das allerfeinste Pulver noch aus endlichen, gestalteten und zählbaren Teilchen bestehe, während das Wasser feiner als das feinste Pulver und ohne jegliche Konsistenz sei. Galileis unendlich kleine Atome haben jedenfalls wenig gemein mit Demokrits Atomen von endlicher Größe und bestimmter Gestalt. Seine atomistischen Anschauungen machen viel eher den Eindruck eines Ringens um den Übergang zum Kontinuum, und manche seiner feinen mathematisch-geometrischen Untersuchungen weisen nach dieser Richtung. Ähnliches wiederholt sich wohl auch bei Descartes. Jedenfalls stehen Galileis unsterbliche Leistungen in gar keinem tieferen Zusammenhange mit der eigentlichen Atomistik und Entsprechendes gilt mehr oder weniger auch für manche der Späteren.

Bei P. Gassendi (Mitte des 17. Jahrh.), der als eigentlicher Erneuerer der antiken Atomistik bezeichnet wird, finden wir, wie bei den alten Griechen, die Gestalt der Atome wieder besonders berücksichtigt. Hakenförmig ineinandergreifende Atome verleihen den Körpern Festigkeit, besonders spitzige Kälteatome sollen das pikkelnde Kältegefühl hervorrufen usf. Als die wesentlichen Merkmale der verschieden gestalteten, äußerst kleinen, meist in lebhafter Bewegung befindlichen Atome gelten ihm Undurchdringlichkeit und Starrheit.

Von den naiven Erklärungsversuchen durch phantastische geometrische Gestalten führt die weitere Entwicklung der Atomistik

12) Galilei, *Dialog*. Deutsch von E. Strauß. Leipzig 1891. S. 42.

13) Galilei, *Unterredungen*. Deutsch von A. v. Oettingen. Leipzig 1890. I S. 37.

zu einer stärkeren Beachtung der verschiedenen Bewegungszustände und deren Gesetzmäßigkeiten, während sich als einfachste Annahme für die Gestalt jene der Kugel darbietet.

Es liegt, wie wir immer deutlicher sehen werden, in der Natur der Sache, daß die Atomistik nur in jenem Maße fortschreiten konnte, als ihr die ohne atomistische Hypothesen arbeitende Forschung durch scharfe Begriffsbildungen und durch das Auffinden allgemeiner mathematisch formulierter Gesetze den Weg ebnete. Diesem Sachverhalt muß natürlich auch unsere Darstellung Rechnung tragen. Wir binden uns im folgenden übrigens keineswegs an den geschichtlichen Entwicklungsgang, denn nicht eine Geschichte der Atomistik bzw. der Kontinuitätstheorie zu geben, sondern die Grundgedanken dieser Theorien tunlichst klar herauszustellen ist hier unsere Aufgabe.

Als freie Bewegung gilt seit Galilei und Descartes die gleichförmige Translation (Trägheitsgesetz). Die Wechselwirkung beim Zusammenstoß zweier Atome wird zuerst von Huygens mittels der von ihm aufgestellten Stoßgesetze (1669), welche auf den Erhaltungssätzen für Impuls und Energie beruhen, mathematisch erfaßt. Unter Impuls versteht man dabei das Produkt aus der Masse in die Geschwindigkeit und der Erhaltungssatz besagt, daß der Gesamtimpuls in jedem sich selbst überlassenen Körpersystem konstant bleibt. Dasselbe gilt für die gesamte Energie eines sich selbst überlassenen Körpersystems. Es sei daran erinnert, daß der Energiebegriff auf den Arbeitsbegriff zurückgeht, wobei die Arbeit durch das Produkt des zurückgelegten Weges in die parallel zu diesem Wege wirkende Komponente der Kraft gemessen wird (Einheit etwa das Meterkilogramm). Solange es sich um rein mechanische Vorgänge handelt, kommen als Energieformen nur Energie der Lage (potentielle, z.B. gehobenes Pendel) und Energie der Bewegung (kinetische, z.B. bewegtes Pendel) in Frage. Gerade am Beispiele des schwingenden Pendels erkennt man sehr anschaulich den fortwährenden Austausch zwischen potentieller und kinetischer Energie. Die Summe aus beiden müßte nach dem Energieerhaltungssatz konstant bleiben, wenn erstens keine Reibungsvorgänge auftreten würden, wodurch bekanntlich eine Verwandlung von mechanischer Energie in Wärmeenergie stattfindet, und wenn zweitens der Luftwiderstand nicht wäre, welcher eine Energieabgabe an die unmittelbar benachbarte Luft, von dieser wieder auf die nächstbenachbarte Schicht usw., also gewissermaßen ein „Abströmen“ der Energie vom Pendel. einen Energiefluß zur Folge hat.

Für die Huygenssche Untersuchung kommt nur die kinetische Energie der Atome in Frage, das Maß der kinetischen Energie ist, dem früher angeschriebenen Grundgesetze der Mechanik gemäß, $\frac{1}{2}mv^2$. Die beiden Erhaltungssätze, besonders der Energiesatz in seiner heutigen, allgemeinen (nicht auf die reine Mechanik beschränkten) Fassung, sind für die ganze Physik, insbesondere auch für die Kontinuitätstheorie von fundamentaler Bedeutung. Sätze, zu deren Aufstellung die Beobachtungen im Gebiete der sichtbaren und greifbaren Körper geführt haben, werden nachträglich auf das Gebiet der Atome übertragen. Die beiden Erhaltungssätze genügen in Verbindung mit der Annahme, daß beim Stoß ein Impulsaustausch nur in der Stoßrichtung erfolgt, tatsächlich, um den Bewegungszustand der Atome unmittelbar nach der Berührung aus dem Bewegungszustande unmittelbar vor der Berührung zahlenmäßig zu bestimmen. Dabei darf man sich die Atome aber nicht als ideal elastische, deformierbare Kugeln denken, für deren Zusammenstöße allerdings dieselben Sätze gelten würden, das Verhalten der elastischen Körper soll ja gerade erst aus ihrem atomaren (oder allgemeiner gesprochen: korpuskularen) Aufbau erklärt werden. Die Atome, sofern sie die letzten, unteilbaren und selbst unveränderlichen Bausteine der Körperwelt sein wollen, durch deren Bewegung gerade alle Veränderung zustande kommt, können nur als starre Gebilde gedacht werden. Beim Zusammenstoß zweier starrer Atome aber muß eine plötzliche, eine sprunghafte Änderung der Geschwindigkeit eintreten. Zu dem unvermittelten, diskontinuierlichen Übergange vom Atom zu dem umgebenden Vakuum tritt nun die diskontinuierliche Änderung der Bewegung, gegen welche sich unser anschauliches Denken auflehnt, obwohl der Vorgang durch die Forderung der prinzipiellen Geltung der beiden Erhaltungssätze mathematisch einwandfrei erfaßt und präzisiert ist.¹⁴⁾

Den Standpunkt der Kontinuität des anschaulichen Denkens vertritt beispielsweise Leibniz in seinem Briefwechsel mit Huygens. Er lehnt die materiellen Atome ab, seine Monaden sind unaus-

14) Huygens meint in seiner „Abhandlung über das Licht“ (Ostwalds Klassiker 20), man könne sich ja die elastischen Äthertheilchen aus noch kleineren Teilchen zusammengesetzt denken, dürfe aber die uns aus der Erfahrung wohlbekannte Eigenschaft der Elastizität, auch ohne ihre Ursache aufzuklären, bei den unsichtbar kleinen Körperteilchen einfach voraussetzen. Vergleiche über dieses später vielfach erörterte Problem etwa J. B. Stallo, „Die Begriffe und Theorien der modernen Physik“. Deutsch von H. Kleinpeter. Leipzig 1911. S. 26.

gedehnte, punktuelle, einfache, unwandelbare „Kraftzentren seelischer“ Art, die „wahren Atome“ in der Natur.

Betrachten wir die zuerst von Huygens präzierte, später von zahlreichen Forschern (D. Bernoulli 1838, A. Krönig 1856, R. Clausius 1857, C. Maxwell 1860, L. Boltzmann 1866) erweiterte Form der Atomtheorie, deren mathematischer Ordnungszusammenhang zunächst durch gewisse prinzipielle Forderungen (Erhaltungssätze) zustande kommt, etwas näher. Sie würde uns bei bekanntem Anfangszustande (Ort und Geschwindigkeit) aller Atome in irgendeinem Augenblicke die eindeutige Vorausberechnung aller Folgezustände ermöglichen. Diese Anfangszustände sind uns aber weder direkt gegeben noch indirekt erschließbar, das heißt wenn wir jene Form auf die Erfahrung anwenden, spielen nur gewisse Mittelwerte eine Rolle. Das ist der Punkt, an welchem das statistische Verfahren eingreift. Gegeben sei ein Gefäß mit festen Wänden, in ihm mögen sich lauter gleich große, kugelförmige Atome oder Moleküle (zusammengesetzte Atome, die für den betrachteten physikalischen Prozeß als unteilbar gelten) befinden. Wir machen zunächst die Wahrscheinlichkeits-Annahme, daß diese Atome bzw. Moleküle über das verfügbare Volumen, in Abwesenheit anderweitiger Ursachen, im Durchschnitt gleichmäßig verteilt sind, ebenso soll im Mittel keine Geschwindigkeitsrichtung ausgezeichnet, es sollen alle Geschwindigkeitsrichtungen gleich wahrscheinlich sein. Solche Voraussetzungen entsprechen der Annahme völliger elementarer Unordnung. Was nun aber den Betrag der Geschwindigkeit betrifft, so kann man zeigen, daß nur gewisse Geschwindigkeitsverteilungen, trotz der andauernden Zusammenstöße (falls die aus den Erhaltungssätzen folgenden Stoßgesetze gelten) beständig sind. Gemeint ist, daß die Anzahl der Atome bzw. Moleküle, deren Geschwindigkeiten innerhalb eines bestimmten Intervalles liegen, durchschnittlich dieselbe bleibt und einen gesetzmäßig angebbaren Wert hat (Maxwellsches Verteilungsgesetz der Geschwindigkeiten). Ein mittlerer Wert der Geschwindigkeit v_w kommt am häufigsten vor, ist der wahrscheinlichste, während sowohl kleinere als größere Werte seltener sind. So ein durch die Stoßgesetze „geformter“ Molekülhaufen hat nun alle Eigenschaften eines „idealen“ Gases, wenn man die Wärmeenergie als kinetische Energie der ungeordneten Molekülbewegungen ansieht, also die absolute Temperatur der mittleren kinetischen Energie proportional setzt (molekularkinetische Theorie der Wärme, die dann sinngemäß auch auf Flüssigkeiten und feste Körper angewendet wird). Die Tem-

peratur des Gases ist nun durch das mittlere Geschwindigkeitsquadrat oder auch durch die oben eingeführte wahrscheinlichste Geschwindigkeit v_w charakterisiert und man erhält z. B. bei 0°C für Wasserstoffgas $v_w = 1487 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$, für Stickstoffgas $v_w = 398 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ usf. Der Druck auf die Gefäßwände wird durch den im Mittel pro Zeiteinheit auf die Flächeneinheit, durch die gegen die Wand stoßenden Moleküle übertragenen Impuls gemessen.

Das Beispiel zeigt sehr deutlich, in welcher Weise Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen dazu dienen müssen, das Übermaß an Einzelbestimmungen, welche durch die Atomhypothese eingeführt werden, zu überwinden. Es zeigt weiter, daß man bei gegebener Temperatur zu ganz bestimmten Geschwindigkeiten bzw. Geschwindigkeitsverteilungen gelangt. Das heißt natürlich nur, wenn man das Verhalten eines Gases durch die theoretische Form eines Molekülhaufens unter den vereinbarten Voraussetzungen und entsprechender Realisierung der Begriffe (Temperatur, Druck) darstellen will, so ist man gezwungen, den Molekülen gerade diese Geschwindigkeit zuzuschreiben. Ganz analog verhält es sich mit dem Begriffe der mittleren freien Weglänge (Clausius), also der mittleren Distanz, welche ein Molekül zwischen zwei Zusammenstößen frei zurücklegen kann, der für die Erscheinungen der Wärmeleitung, der inneren Reibung, der Diffusion in Gasen eine wichtige Rolle spielt. Auch für diese Größen ergeben sich ganz bestimmte Zahlenwerte, für Sauerstoff z. B. bei normalen Werten von Druck und Temperatur etwa $\frac{1}{10000}$ mm. Da die mittlere freie Weglänge einerseits durch die Anzahl der Moleküle pro Volumseinheit, andererseits durch ihre Halbmesser bedingt sein muß, erhält man diese beiden Größen einzeln, wenn man mit Loschmidt (1865) noch die Annahme macht, daß die Moleküle des Gases bei der Verflüssigung bis zur gegenseitigen Berührung zusammengedrängt werden. Die fortgesetzte Anwendung der atomistischen Ordnungsform auf die Wirklichkeit ergab auch für die Bestimmung der Loschmidtschen Zahl exaktere Methoden auf verschiedenen Gebieten. Für die Anzahl der Moleküle eines Gases in 1 ccm bei 0°C und Atmosphärendruck erhielt man nach den verschiedenen Methoden in recht guter Übereinstimmung rund 27 Trillionen, für das Gewicht eines Wasserstoffatoms $1,65 \cdot 10^{-24} \text{g}$, für den Atomradius die Größenordnung 10^{-8}cm . Alle derartigen Zahlenangaben beweisen natürlich nicht die „Existenz“ der Atome und Moleküle, sie beweisen höchstens, insofern dieselben Zahlenwerte die Darstellung zahlreicher verschiedener Erscheinungs-

gebiete gestatten, daß die atomistische Naturauffassung eine mögliche Ordnungsform sei. An dieser Stelle möge auch eine, für die molekularkinetische Theorie der Wärme hochwichtige Funktion der Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen Erwähnung finden. Die mechanischen Vorgänge, auf welche die thermischen zurückgeführt werden, sind umkehrbar, jede Bewegung kann sowohl im einen, wie im gerade umgekehrten Sinne erfolgen. Hingegen beobachten wir keine Umkehrungen rein thermischer Vorgänge, beispielsweise gleichen zwei sich berührende, ungleich temperierte Körper ihre Temperaturen aus, zwei gleich temperierte nehmen aber niemals von selbst verschiedene Temperaturen an. L. Boltzmann (1866) versuchte diesen Widerspruch zu lösen, indem er auf die ungeordnete Wärmebewegung Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen anwendete und folgerte, daß die Natur im Durchschnitt von weniger wahrscheinlichen zu wahrscheinlicheren Zuständen fortschreite.

Die Tatsache der Nichtumkehrbarkeit des Naturgeschehens hatte man schon früher mathematisch formuliert durch die Aussage, daß der Gesamtwert einer bestimmten eindeutigen Zustandsfunktion, der Entropie (Clausius 1854) in jedem nach außen abgeschlossenen Körpersysteme nur zunehmen könne. Boltzmann setzt nun die Entropie als Funktion der thermodynamischen Wahrscheinlichkeit des betreffenden Zustandes an, wobei als Maß der Wahrscheinlichkeit die Zahl der „Mikrozustände“ (molekulare Anordnung und Bewegung) gilt, welche demselben „Makrozustand“ (tatsächlich beobachtbarer Zustand) entsprechen. Dem Übermaß an Einzelbestimmungen gemäß kann eben jeder Makrozustand durch zahlreiche, verschiedene Mikrozustände realisiert werden und das Zustandekommen eines bestimmten Makrozustandes wird um so wahrscheinlicher sein, je zahlreicher die Möglichkeiten für seine Realisierung sind. Die Nichtumkehrbarkeit, der einsinnige Verlauf des Naturgeschehens ist also für die Atomistik kein notwendig und ausnahmslos geltendes Naturgesetz, sondern nur eine Wahrscheinlichkeitsregel. Allgemein können wir sagen: Die Atomistik sieht zwar das Geschehen in der Mikrowelt der Atome als durch Naturgesetze eindeutig bestimmt an, für die Ordnung unserer Beobachtungen in der Makrowelt, insofern sie auf sehr verschiedene Weise durch Mikrozustände realisiert werden kann, kann und muß im allgemeinen die Aufstellung von Wahrscheinlichkeitsgesetzen genügen, welche mit Durchschnittswerten, mit Mittelwerten rechnen.

b) Dynamik der Atome. Wir haben uns bisher nicht mit den Kräften beschäftigt, welche zwischen den einzelnen Atomen bzw.

Molekülen wirken, solche Kräfte müssen jedoch schon angenommen werden, wenn man von den „idealen“ zu den „realen“ Gasen übergeht, das heißt wenn man das Verhalten der Gase mit einem höheren Grade der Genauigkeit richtig darstellen will. Für die Physik der Flüssigkeiten und festen Körper, für die Verknüpfung der Atome zu Molekülen wird die Annahme von zwischen den Atomen wirksamen Kräften von entscheidender Bedeutung. Richtet sich nun die Aufmerksamkeit auf diese Kräfte, ist es möglich, sie gesetzmäßig, zahlenmäßig zu erfassen, so ergeben sich für die Atomistik von unseren bisherigen Betrachtungen abweichende, neue Gesichtspunkte.

Newton (1687) hat durch sein Gravitationsgesetz, nach welchem die Anziehungskraft zwischen zwei Körpern dem Produkte aus ihren Massen direkt und dem Quadrate ihrer Entfernung indirekt proportional ist, ein typisches Kraftgesetz der Fernwirkungstheorie aufgestellt. Ein ganz analog gebautes Gesetz fand Coulomb (1785) für die anziehende bzw. abstoßende Kraft zwischen zwei ungleichnamigen bzw. gleichnamigen „elektrischen Ladungen“, zwischen zwei ungleichnamigen bzw. gleichnamigen magnetischen Polen. Es lag nun die Annahme nahe, daß auch zwischen den Atomen von ihrer gegenseitigen Entfernung abhängende Kräfte wirksam sind, derart jedoch, daß sie einerseits schon bei verhältnismäßig kleinem Abstände äußerst klein werden, andererseits bei allzugroßer Annäherung der Atome das Vorzeichen wechseln, also von anziehenden in abstoßende Kräfte übergehen. Solche abstoßende Kräfte vermögen dann auch die Atome beim Zusammenstoß wieder auseinander zu treiben; an die Stelle des Geschwindigkeitssprunges bei der Berührung der diskontinuierlich begrenzten Atome tritt eine kontinuierliche Änderung der Geschwindigkeit, bewirkt durch die mit der gegenseitigen Entfernung kontinuierlich veränderliche Kraft. Dann braucht man aber überhaupt kein starres, einen endlichen Raum erfüllendes Atom mehr, das Atom kann aufgefaßt werden als punktförmiges Kraftzentrum.

Diese Folgerung hat schon Boscovich (Mitte des 17. Jahrh.) in seiner Atomtheorie gezogen.

Ersetzt man noch die Fernkräfte durch den von Ort zu Ort kontinuierlich veränderlichen Gesamtzustand, welcher vermöge der Nahewirkungsgesetze die Fluxion der Geschwindigkeit und aller anderen Zustandsvariablen bestimmt, so sieht man, daß das Begriffspaar — Substanz und leerer Raum bzw. Seiendes und Nichtseiendes — in seiner ursprünglichen Bedeutung dem, was es bezeichnen soll, nicht mehr adäquat ist. Man wird einerseits den

kontinuierlichen Raum unserer Anschauung, dem nun in jedem Augenblicke Punkt für Punkt zahlenmäßig bestimmte Werte aller Zustandsvariablen zukommen, kaum sinngemäß als „Vakuum“, als das „Leere“, das „Nichtseiende“ bezeichnen dürfen, andererseits hat sich die durch die Atome repräsentierte „Substanz“ jetzt gewissermaßen auf die unausgedehnten, punktförmigen Kraftzentra zurückgezogen.

M. Faraday (1791–1867), einer der genialsten und erfolgreichsten Physiker aller Zeiten, war erfüllt von dem Gedanken der Nahwirkung, der ihm bei seinen epochemachenden Untersuchungen auf dem Gebiete der elektromagnetischen Erscheinungen ein zuverlässiger Führer war. Er greift auch, obschon letzten Endes kontinuierlichkeitstheoretisch eingestellt, die Atomtheorie von Boscovich¹⁵⁾ auf. Faradays Kraftzentren sind jedoch nicht wie bei Boscovich isoliert im Raume, im Vakuum befindliche Punktatome, sie sind lediglich ausgezeichnete Stellen im Zustandskontinuum des Raumes. „Die die Zentra umgebenden Kräfte verleihen diesen die Eigenschaften materieller Atome, und diese Eigenschaften wiederum kombinieren sich, wenn viele Zentra sich durch ihre vereinten Kräfte zu einer Masse gruppieren, zu den Eigenschaften der Materie. Demnach ist die Materie durchaus kontinuierlich, und wir haben in einer materiellen Masse eine Trennung ihrer Atome durch Zwischenräume nicht anzunehmen.“ „Nach dieser Auffassung ist die Materie nicht nur gegenseitig durchdringlich, sondern jedes Atom erstreckt sich sozusagen durch das ganze Sonnensystem, doch so, daß es immer sein eigenes Kraftzentrum beibehält.“¹⁶⁾ Faraday hat seine diesbezüglichen Gedanken, welche die Tendenz zeigen, die Atomistik zu überwinden, nicht zu einer eigentlichen Theorie verarbeitet.

Den dynamischen Atombegriff, das Kraftzentrum, finden wir auch bei andern namhaften Physikern und Philosophen. Eine eigenartige und sehr interessante Atomtheorie hat W. Thomson (1824–1907) entwickelt, er denkt sich die Atome als einfache oder als vielfach miteinander verknottete Wirbel in einem kontinuierlichen „Ätherfluidum“. Die begriffliche Möglichkeit hierzu bieten die Helmholtzschen Wirbelsätze, welche besagen, daß Rotationsbewegungen innerhalb einer kontinuierlichen Flüssigkeit, falls lediglich „konser-

15) Siehe O. Buek, „Die Atomistik und Faradays Begriff der Materie“. Marburg 1905.

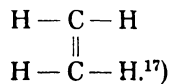
16) M. Faraday, „On Electric Conduction and the Nature of Matter“. 1844. Deutsch zitiert nach Buek.

vative“ Kräfte wirksam sind, nie erzeugt, und wenn sie bestehen, nie zerstört werden können.

In dieser Fassung verschwindet der Gegensatz zwischen Substanz und „leerem“ Raum völlig, das unterscheidende Merkmal der Atome liegt hier lediglich in einer charakteristischen Bewegungsform des kontinuierlichen Fluidums, welche ihrerseits wieder durch die Naturgesetze bedingt ist. Man könnte die Thomsonsche Theorie eine „kontinuitätstheoretische“ Atomistik nennen, allerdings müssen die einzelnen Wirbelgebiete selbst, in ihrer zahlenmäßigen Bestimmtheit als schlechthin gegeben hingenommen werden. In neuester Zeit hat G. Mie (1918) im Zusammenhang mit der Relativitätstheorie, welche in sich kontinuitätstheoretisch aufgebaut ist, eine kontinuitätstheoretische Atomistik zu schaffen versucht. Die Aufgabe ist, die Nahwirkungsgesetze der (elektromagnetischen) Zustandsgrößen bzw. der Feldvariablen, wie man sie auch nennt, so zu formulieren, daß aus ihnen mathematisch eine ganz bestimmte „körnige“ Struktur des Zustandskontinuums, des Feldes folge. Die letzten Bausteine der Materie in ihrer zahlenmäßigen Bestimmtheit wären dann nicht mehr unerklärbare Bestandteile des Naturzusammenhanges, sondern fänden in der Struktur der Feldgesetze ihre Begründung und Erklärung. Die Miesche Theorie ist aber bisher ein Programm geblieben.

c) Der Atombegriff in der Chemie. Die Chemie hat etwas später als die Physik die Atomhypothese in systematischer Weise zu verwenden begonnen. Den entscheidenden Schritt machte I. Dalton (1808), indem er die auf Grund eigener sowie der Versuche von Richter und Proust aufgestellte Gesetzmäßigkeit, nach welcher sich die chemischen Elemente nur in festen Massenverhältnissen bzw. Gewichtsverhältnissen verbinden können (Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen), dadurch „erklärte“, daß er annahm, jedes Element bestehe aus untereinander gleichbeschaffenen Atomen. Die Unveränderlichkeit der Atome sichert die Unveränderlichkeit der Elemente. Eine chemische „Verbindung“ entsteht durch die Verknüpfung mehrerer Atome zum Molekül. In jedem Molekül Salzsäure z.B. ist ein Atom Wasserstoff mit einem Atom Chlor verbunden, die in die Verbindung eingegangenen Gewichte der beiden Elemente müssen sich nach dieser Vorstellung wie ihre Atomgewichte verhalten. Die relativen Atomgewichte, als Verhältniszahlen konnten mittels quantitativer, mit der Wage arbeitender chemischer Untersuchungsmethoden mit großer Genauigkeit ermittelt werden. Es handelt sich aber eben nur um Verhältniszahlen, welche, wie das

z. B. schon Davy betonte, auch ohne Atome ihren guten Sinn behalten. Aus der Tatsache, daß eine Verbindung nur in dieselben Elemente zerfallen kann, aus denen sie auch entsteht, schließt man, daß die Atome der einzelnen chemischen Elemente im Molekül ihre Individualität bewahren und lediglich durch irgendwelche Kräfte zusammengehalten werden. Die Natur dieser Kräfte blieb für die Chemie zunächst von untergeordneter Bedeutung. Unter jenen, welche die chemische Atomtheorie weiter ausgebaut haben, sei hier J. J. Berzelius (1779—1848) erwähnt, der auch der Schöpfer der äußerst geschickten und wertvollen chemischen Zeichen- und Formelsprache ist. Von ihm stammt z. B. der Gedanke, daß bei jenen (organischen) Verbindungen, welche bei gleicher atomistischer Zusammensetzung verschiedene Eigenschaften haben, die Erklärung dieser „Isomerie“ in der verschiedenen relativen Stellung der Atome im Molekül zu sehen sei. Eine Weiterbildung dieses Gedankens finden wir in der chemischen Strukturtheorie von Kekulé, nachdem die Lehre von der „Valenz“ oder dem Sättigungswert der Elemente (E. Frankland) schon vorangegangen war. Ein Atom Chlor verbindet sich mit einem Atom Wasserstoff zu Salzsäure, jedoch ein Atom Sauerstoff mit zwei Atomen Wasserstoff zu Wasser, man sagt, Sauerstoff ist „zweiwertig“ usf. Es kann allerdings derselbe Stoff mit verschiedenen Wertigkeiten auftreten. Als Beispiel einer „Konstitutionsformel“ schreiben wir die des Äthylens an:



Sie zeigt uns, die Striche deuten gewissermaßen die verbindenden Kräfte an, welches Zusammenhangsverhältnis die vier einwertigen Wasserstoffatome und die zwei vierwertigen Kohlenstoffatome im Äthylenmolekül haben müssen, wenn dieses Bild das beobachtbare physikalisch-chemische Verhalten des Äthylens richtig darstellen soll. In der „Stereochemie“ baut man sich das schematische Atomgerüst im Raume auf und vermag dann z. B. zu verstehen, warum sich zwei Moleküle mit denselben Atomen und denselben Bindungen, also derselben Konstitutionsformel doch verschieden verhalten können, indem man annimmt, daß die Atome in den beiden Molekülen spiegelbildlich angeordnet sind. Auf diesem Gebiete haben die Spekulationen von van't Hoff außerordentlich anregend gewirkt. Es sei

17) wobei H ein Wasserstoffatom, C ein Kohlenstoffatom bezeichnet.

hier noch das 1869 von Mendelejeff und fast gleichzeitig von Lothar Meyer aufgestellte „periodische System“ der chemischen Elemente erwähnt. Sie erkannten, daß sich, falls die Elemente nach steigendem Atomgewicht in eine Reihe (Ordnungszahl, Atomnummer) angeordnet werden, in gewissen Abständen immer wieder Elemente mit untereinander ähnlichen Eigenschaften periodisch wiederholen. Dieses System mit seiner nach einem Ordnungsprinzip durch Ähnlichkeitsbeziehungen geschaffenen Struktur hat als solches in Wahrheit gar nichts mit einer atomistischen oder nichtatomistischen Weltanschauung zu tun.

3. DIE HEUTIGE ATOMISTIK

a) Die Elektronentheorie. Um nun zu den speziellen Vorstellungen der heute herrschenden Atomistik oder besser gesagt Korpuskulartheorie (Korpuskeln = kleinste Teilchen, letzte Bausteine der Materie, wogegen die Atome aus mehreren Korpuskeln zusammengesetzt gedacht werden) überzugehen, müssen wir uns über die Natur der Kräfte klar werden, welche zwischen den Korpuskeln wirksam sein sollen. Für die Chemie handelt es sich besonders um die Kräfte, welche „verwandte“ Elemente zur chemischen Verbindung zusammenführen. Schon Davy (1778–1829) ist auf Grund seiner Versuche geneigt, die chemischen und die elektrischen Vorgänge als einer gemeinsamen Ursache entstammend anzusehen. Bei Berzelius finden wir die Auffassung, daß es elektrisch positive und elektrisch negative Grundstoffe gäbe, daß also die Kräfte, welche die Atome im Molekül zusammenhalten, in der Anziehung ungleichnamiger elektrischer Ladungen bestünden. Diese Auffassung, allerdings in wesentlich differenzierter Form, ist auch die der heutigen Korpuskulartheorie (darüber siehe unten S. 36 und 40).

Wir wissen seit Oersted (1820), Ampère, Biot und Savart, daß sich der etwa einen Metalldraht „durchfließende“ elektrische Strom dadurch „verrät“, daß er eine in seiner Nähe befindliche Magnetnadel in charakteristischer Weise ablenkt. Wir sagen heute, ein elektrischer Strom erzeugt in seiner Umgebung ein magnetisches Feld, daß heißt jedem Raumpunkte kommt eine „magnetische Feldstärke“ von bestimmtem Betrage und bestimmter Richtung zu, welche durch die Kraft gemessen wird, die ein positiver magnetischer Einheitspol in dem betreffenden Raumpunkte erfahren würde. Ganz analog wird auch, wie hier gleich angemerkt werden soll, das elektrische Feld und die „elektrische Feldstärke“ (Kraft

auf eine positive elektrische Einheitsladung)¹⁸⁾ definiert. Denkt man sich nun Linien derart konstruiert, daß ihre Tangenten in jedem Punkte zur Feldstärke parallel verlaufen und läßt um so mehr solcher „Kraftlinien“ (Faraday) durch die Flächeneinheit hindurchtreten, je stärker das Feld an der betreffenden Stelle ist, so hat man ein geometrisch anschauliches Bild des Feldkontinuums. Untersucht man elektrische bzw. magnetische Felder genauer, so zeigt es sich, daß die elektrischen bzw. magnetischen Kraftlinien in den positiven elektrischen Ladungen bzw. in den positiven Polen (positiven magnetischen Ladungen) beginnen, in den negativen enden („Quellen“ und „Senken“ der Kraftlinien). Ein stromführender Draht aber wird von den magnetischen Kraftlinien umschlungen und man findet weiter, daß sich die magnetische Feldstärke in der Umgebung eines elektrischen Stromes genau so verhält, wie die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsteilchen in der Umgebung eines Wirbelfadens. Man sagt demgemäß, ein elektrischer Strom erzeugt einen magnetischen Wirbel, oder noch prägnanter, ein elektrischer Strom ist ein magnetischer Wirbel. Die „Stromstärke“ ist dann eben durch die Stärke dieses magnetischen Wirbels gegeben und meßbar. Nun entsteht ein elektrischer Strom, also ein magnetischer Wirbel auch beim Laden oder Entladen eines Leiters, z. B. eines Kondensators, es lag also für ein atomistisch eingestelltes Denken die Vorstellung des „Strömens“ von substantiell aufgefaßten bzw. an substantiell aufgefaßten Trägern haftenden elektrischen Ladungen nahe. Diese Vorstellung wurde weiter begünstigt durch die von Faraday (1833) aufgedeckten Gesetze der elektrischen Stromleitung in Elektrolyten (Lösungen von Salzen und Säuren usw.). Es ergab sich, daß der elektrische Strom im Elektrolyten stets von einem „Massentransport“ begleitet ist derart, daß einerseits die Masse der sich an den metallischen Zuleitungen, den „Elektroden“, ausscheidenden Substanzen dem Produkte aus der Stärke und der Dauer des Stromes proportional ist und andererseits das Massenverhältnis der ausgeschiedenen Substanzen, wenn verschiedene Elektrolyte vom gleichen Strome durchflossen werden, durch das Verhältnis ihrer Atom- bzw. Molekulargewichte (Äquivalentgewichte) gegeben ist. Man nahm nun an (R. Kohlrausch, H. Buff, W. Hittorf, R. Clausius, Svante Arrhenius), daß die ursprünglich elek-

18) Zwei Ladungen heißen gleich, wenn sie auf eine Vergleichsladung im gleichen Abstände dieselbe Kraft ausüben. Einheitsladungen sind solche untereinander gleiche Ladungen, die sich im Abstände Eins (1 cm) mit der Kräfteinheit abstoßen.

trisch neutralen Moleküle der gelösten Substanz in der Lösung bis zu einem gewissen Grade in elektrisch positiv und negativ geladene Atome bzw. Atomgruppen, die „Ionen“, zerfallen (Dissoziation), welche dann unter dem Einflusse des den elektrischen Strom hervorbringenden Feldes durch das Lösungsmittel wandern. Die positiv geladenen Ionen, die Kationen, bewegen sich in der Richtung der elektrischen Kraft zur Austrittsstelle des Stromes, zur Kathode, die negativ geladenen Ionen, die Anionen, zur anderen Elektrode, zur Anode.

Wenn durch diese Vorstellungen die Faradayschen Gesetze richtig dargestellt werden sollten, so mußte man fordern, daß bei der Dissoziation jedes einwertige Ion (Atom oder Atomgruppe) dieselbe ganz bestimmte positive oder negative Ladung, das sogenannte „Elementarquantum“ empfangen. Ein zweiwertiges Ion mußte dann zwei Elementarquanta tragen usf. Obschon es sich auch bei den Faradayschen Gesetzen eigentlich nur um Verhältniszahlen handelt, gelangt man so zu einer Atomisierung der Elektrizität (Helmholtz). Man nimmt, und zwar vom atomistischen Standpunkt aus, folgerichtig an, daß die elektrische Ladung überhaupt keine kontinuierlich veränderliche Größe sei, sondern sich immer nur sprungweise um ganze Vielfache des Elementarquantums ändern könne.

Analog wie die elektrische Leitung durch Elektrolyte, wird auch jene durch Gase gedeutet. Von besonderem Interesse sind die Erscheinungen beim Stromdurchgange durch stark verdünnte Gase; bei hinreichender Verdünnung treten nämlich, von der Kathode ausgehend, neuartige Strahlen mit sehr charakteristischen Eigenschaften, die Kathodenstrahlen (Plücker 1859), auf. Sie gehen von der Kathode geradlinig aus und regen, wo sie auf die Glaswand des Gefäßes (der Röhre) treffen, diese zum Leuchten an (Fluoreszenz). Sie werden im magnetischen Felde wie ein biegsamer Stromleiter abgelenkt (Hittorf, 1869), auch das elektrische Feld lenkt sie ab (Jaumann, 1896), dort wo sie auf absorbierende Körper treffen, laden sie diese negativ (Perrin).

Seinerzeit hatte Newton das Licht atomistisch aufgefaßt, indem er sich vorstellte, daß es aus kleinen Teilchen, den Lichtatomen, bestehe, welche von den leuchtenden Körpern wie Geschosse ausgeschleudert werden. Man nennt diese Theorie die „Emissionstheorie“ oder auch „Emanationstheorie“, im Gegensatz zur „Undulationstheorie“, welche zuerst von Huygens, dem Zeit-

genossen Newtons¹⁹⁾ aufgestellt wurde, aber infolge der gewaltigen Autorität Newtons ein Jahrhundert brauchte, um sich durchzusetzen. Die von Huygens begründete Wellenlehre setzt einen raumerfüllenden, elastischer Zustandsänderungen fähigen „Weltäther“²⁰⁾ voraus und sieht das Licht als Zustandsänderung an, die sich wellenförmig im Weltäther ausbreitet, in voller Analogie zu den Schallwellen. Denken wir zur leichteren Veranschaulichung etwa an Wasserwellen, welche durch einen periodisch ins Wasser tauchenden Stock hervorgebracht werden. Die Anzahl der Schwingungen pro Stunde heißt die „Frequenz“ (Schwingungszahl), der Abstand von Wellenberg zu Wellenberg die „Wellenlänge“. Was sich in der Welle durch den Raum (über den Wasserspiegel) mit einer bestimmten „Fortpflanzungsgeschwindigkeit“ (beim Licht im „Vakuum“, genähert in Luft $300000 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$) ausbreitet, ist nichts Körperliches, die einzelnen Materieelemente führen nur Schwingungen um ihre Ruhelage aus (wogendes Kornfeld), sondern es sind eben die periodischen Zustandsänderungen selbst, welche den ihre Fluxionen bestimmenden Nahewirkungsgesetzen gemäß von einer Schicht auf die benachbarte übergreifen usf. Treffen zwei Wellensysteme so zusammen, daß Wellenberg auf Wellenberg, Wellental auf Wellental fällt, so werden sie sich offenbar gegenseitig verstärken, sie werden sich jedoch gegenseitig schwächen oder ganz vernichten, wenn die Wellenberge des einen auf die Wellentäler des anderen fallen. Diese für jede Wellenausbreitung charakteristischen Vorgänge nennt man Interferenzerscheinungen. Hat das Licht Wellencharakter, so muß man auch mit Lichtstrahlen Interferenzerscheinungen hervorbringen können. Erfolgreiche Untersuchungen in dieser Richtung haben insbesondere Young und Fresnel angestellt, sie haben auch die Huygenssche Theorie so umgestaltet, daß die neue Form der Theorie von den „Polarisationserscheinungen“ (Lichtstrahlen können sich rings um die Strahlrichtung verschieden-

19) Huygens „Tractatus de lumine“ erschien 1690, Newtons „Optics“ 1704.

20) Der Weltäther ist bei Huygens, der kinetischen Einstellung seiner Atomistik entsprechend und im Gegensatz zur Auffassung der heutigen Korpuskulartheorie, selbst wieder atomistisch strukturiert. Das Licht wird seiner Theorie nach durch äußerst rasch bewegte Teilchen erzeugt, welche gegen die viel kleineren Äthertheilchen stoßen, diese übertragen die Bewegung dann auf ihre Nachbartheilchen usf. Neuerdings sah sich P. Lenard im Zusammenhange mit seinen der Einsteinschen Relativitätstheorie entgegengesetzten theoretischen Überlegungen veran-

artig verhalten) Rechenschaft zu geben vermochte. Die elastischen Schwingungen des Weltäthers mußten transversal zur Fortpflanzungsrichtung erfolgen, während man zunächst in völliger Analogie zum Schalle in die Fortpflanzungsrichtung fallende, longitudinale Schwingungen angenommen hatte.

Maxwell (1831—1879), der die Faradayschen Gedanken in die mathematische Form goß, schuf statt der „elastischen“ eine elektromagnetische Lichttheorie, nach welcher die in der Lichtwelle schwingenden Zustandsvariablen die elektrische und die magnetische Feldstärke sind. Diese Theorie, welche in erfolgreicher Weise die Lichterscheinungen als einen Sonderfall der elektromagnetischen Erscheinungen verstehen lehrt, ist heute allgemein durchgedrungen. Das Licht (wie auch der Schall) entspricht im allgemeinen einer komplizierten Schwingungs- bzw. Wellenform, die sich jedoch mathematisch wie physikalisch als aus einfachen Schwingungen bzw. Wellen von verschiedener Frequenz bzw. Wellenlänge zusammengesetzt darstellen läßt. Die Farben, die einzelnen Spektralbereiche, die, wenn es sich um sehr schmale Spektralbereiche handelt, Spektrallinien heißen, sind durch die, mittels Spektrometers meßbare Wellenlänge bzw. Frequenz der ihnen entsprechenden „einfachen“ Wellen charakterisiert. Dem sichtbaren Teile des Spektrums entsprechen Wellenlängen von etwa 0.4 (violett) bis 0.8 (rot) tausendstel Millimetern bzw. Frequenzen von 750 bis 375 Billionen pro Sekunde. Jenseits des Rot liegt das Ultrarot, ein Wellengebiet, das meist verhältnismäßig viel Energie führt und demgemäß in absorbierenden Körpern starke Erwärmung bewirkt (Wärmestrahlen). An das Violett schließt das Ultraviolett an, das z.B. durch eine starke Wirkung auf die photographische Platte nachweisbar ist. Auch die Wellen der drahtlosen Telegraphie sind elektromagnetische Wellen, wie jene des Lichtes, nur von verhältnismäßig sehr großer Wellenlänge.

Im Gegensatz zur Undulationstheorie des Lichtes erklärt die moderne Atomistik das Verhalten der Kathodenstrahlen wieder

läßt, zwischen „Äther und Uräther“ (siehe die gleichnamige Abhandlung 2. Aufl. Leipzig 1922) zu unterscheiden. Für uns ist bemerkenswert, daß er den Äther als nicht kontinuierlich verbreitet, als mit einem inneren Mechanismus begabt ansieht derart, daß die Feldgleichungen eine Folge des Äthermechanismus sein sollen. Charakteristischerweise nimmt er aber neben bzw. hinter dem Äther doch wieder den Uräther als ein allen Raum erfüllendes Medium an, „welches die Teile des Äthers zwingt, den Bedingungen zu genügen, welche wir für ihre Bewegung angegeben haben“. (Vgl. „Über Relativitätsprinzip, Äther, Gravitation“. 3. Aufl. Leipzig 1921.)

durch eine (korpuskulare) Emissionstheorie. Sie faßt die Kathodenstrahlen als äußerst rasch bewegte Korpuskeln auf, welche von der Kathode ausgehen und mit Geschwindigkeiten dahinfliegen, die fast an die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes heranreichen, und zwar sollen diese Korpuskeln die universellen (untereinander gleichen) negativen Elektrizitätsatome, die Elementarquanten selbst sein, welche man Elektronen nennt (Crookes, J. J. Thomson in England, Wiechert, Kaufmann, Leonard in Deutschland). Um mit den Beobachtungen im Einklange zu bleiben, muß man ihnen eine Masse (die elektromagnetisch gedeutet und verstanden werden kann) zuschreiben, welche noch etwa 1800 mal kleiner ist als jene des Wasserstoffatoms, und einen Radius von etwa 10^{-13} cm. Die Beschleunigung der Elektronen erfolgt durch das starke elektrische Feld in der Umgebung der Kathode. Goldstein hat 1886, indem er die Kathode mit Kanälen versah, die Kanalstrahlen entdeckt, die sich in der Richtung gegen die Kathode fortpflanzen und die Kanäle passieren. Ihr Verhalten hat in jeder Beziehung das umgekehrte Vorzeichen wie jenes der Kathodenstrahlen. Die Korpuskulartheorie sieht in ihnen jene äußerst rasch bewegten Atome oder Atomkomplexe des betreffenden Gases, welche durch den Zusammenstoß mit den Elektronen der Kathodenstrahlen eines oder mehrerer Elektronen beraubt werden und so positiv geladen zurückbleiben, sie werden wieder in dem starken elektrischen Felde vor der Kathode beschleunigt. Die im einzelnen sehr komplizierten Verhältnisse wurden insbesondere von W. Wien untersucht. Kathoden- und Kanalstrahlen, sowie die bei den radioaktiven Prozessen entstehenden wesensverwandten β - und α -Strahlen nennt die Atomistik Korpuskularstrahlen. In einem Kathodenrohre, welches hinreichend verdünntes Gas enthält, entstehen dort, wo die Kathodenstrahlen auf einen festen Körper auftreffen, neuartige von Röntgen (1895) entdeckte Strahlen, die Röntgenstrahlen, sie sind, wie heute wohl zweifellos feststeht, als elektromagnetische Wellen äußerst kleiner Wellenlänge aufzufassen, also mit dem Lichte wesensverwandt. Ihre bekannteste und auffallendste Eigenschaft besteht in ihrem großen Durchdringungsvermögen, sie wirken ferner auf die photographische Platte, erzeugen Fluoreszenz und vermögen Gase leitend zu machen, zu „ionisieren“. Röntgenstrahlen von meistens besonders kleiner Wellenlänge sind auch die bei den radioaktiven Prozessen auftretenden γ -Strahlen.

Die elektrisch neutralen Atome sind jetzt nicht mehr die letzten, unveränderlichen, unteilbaren Bausteine der chemischen Elemente

und der Materie überhaupt, wie bei Demokrit, sie sind vielmehr zusammengesetzt aus einer positiv elektrischen Hauptmasse, an der die unterscheidenden Merkmale des betreffenden chemischen Elementes haften, und einer solchen Anzahl von Elektronen, daß die positiv geladene Hauptmasse gerade elektrisch neutralisiert wird.

Diese innere Struktur der Atome bot reiche Anwendungs- und Ausgestaltungsmöglichkeiten. Der erste, welcher eine umfassende Elektronentheorie geschaffen und insbesondere auf optische Fragen angewandt hat, war H. A. Lorentz (seit 1880). Man konnte sich vorstellen, die verschiedenen Elektronen befänden sich im ungestörten Atom in ihren Ruhelagen. Wird der Gleichgewichtszustand irgendwie gestört, so beginnen die Elektronen um ihre Ruhelagen mit bestimmten Frequenzen zu schwingen und senden dabei elektromagnetische Wellen bestimmter Wellenlänge aus, sie vertreten gewissermaßen den Stab, welcher eine Wasseroberfläche periodisch erschüttert. Umgekehrt werden sie durch über sie hinstreichende Wellen zum Mitschwingen veranlaßt, und zwar um so stärker, je mehr die Frequenz der ankommenden Welle mit der Eigenfrequenz des betreffenden Elektrons übereinstimmt (Resonanz). Es wird elektromagnetische Energie im ersten Falle vom Atom nach außen gesendet: „Emission“ (hier handelt es sich also nicht um die Emission von Korpuskeln, sondern um das Aussenden elektromagnetischer Wellen), im zweiten Falle vom Atom aus der Welle aufgenommen: „Absorption“. Die exakte Grundlage dieser Strahlungstheorie lieferte die Verknüpfung der atomistischen Vorstellungen über die Konstitution der Elektrizität mit den kontinuierlichkeitstheoretischen Faraday-Maxwellschen Gedanken über das elektromagnetische Feld. An der Entwicklung der „klassischen“ Elektronentheorie, welche beanspruchte, die elektrischen, magnetischen und optischen Erscheinungen in ihrer Gesamtheit einheitlich darzustellen, haben zahlreiche Physiker erfolgreich mitgearbeitet. Schon Lorentz gab u. a. eine Theorie der Dispersion, eine Theorie der Optik bewegter Körper, und auch die Entdeckung des Zeeman-Effektes ist auf seine Anregung zurückzuführen. Für die Darstellung zahlreicher physikalischer Erscheinungen genügten gewisse allgemeine Annahmen über die Konstitution der Atome, selbstverständlich mußte aber die Atomistik trachten, das Atom, welches nun ein Zusammengesetztes geworden war, aus den es konstituierenden Korpuskeln modellmäßig aufzubauen. Als solche Korpuskeln kamen in Betracht einerseits die universellen (untereinander gleichen) Elektronen, andererseits die die einzelnen chemischen

Elemente charakterisierenden positiv geladenen Atomreste. Ein zuerst von Lord Kelvin aufgestelltes, dann von J. J. Thomson genauer durchgebildetes „Atommodell“ ließ die positive Elektrizität gleichmäßig über den ganzen Raum des Atoms verteilt sein, während sich die Elektronen auf Ringen in bestimmten Abständen vom Zentrum gruppieren und innerhalb des Atomes kreisen sollten. Wieviele Elektronen im äußersten Ringe vorhanden sein konnten, ohne daß das System „instabil“ wurde, hing davon ab, wieviele Elektronen sich weiter innen befanden. Thomson konnte nachweisen, daß die Stabilität derartiger Elektronengruppierungen sich in periodischer Weise mit der Anzahl der Elektronen änderte. Er konnte so gewisse Analogien aufzeigen zwischen dem Verhalten seiner Atommodelle und dem Verhalten der chemischen Elemente im periodischen System. Das Thomsonsche Atommodell wurde durch das Rutherford'sche verdrängt. In diesem Modell ist die positive Ladung in dem äußerst kleinen, jedoch fast die ganze Masse des Atoms enthaltenden Atomkern konzentriert, um welchen, wie um eine Zentralsonne, die Elektronen wie Planeten auf bestimmten Bahnen kreisen. Die äußere Grenze des Atoms fällt dann mit den Bahnen der äußersten Elektronen zusammen. Für dieses Atommodell entschieden vor allem jene Beobachtungen, welche die große Durchdringlichkeit der Atome gegenüber Korpuskularstrahlen zeigten. Rutherford fand, daß α -Strahlen, in denen man rasch bewegte, zweifach positiv ionisierte Heliumatome sieht, im allgemeinen mit geringer Streuung durch dünne Metallblättchen hindurchzudringen vermögen, nur in seltenen, vereinzelt Fällen zeigen sich stärkere Ablenkungen. Noch anschaulicher traten diese Erscheinungen in den hier nicht näher zu besprechenden Versuchen von C. T. R. Wilson hervor. Die vereinzelt starken Ablenkungen sollen dann jenen Fällen entsprechen, in denen ein (positiv geladenes) α -Teilchen einem (positiv geladenen) Atomkern sehr nahe kommt.

Das Gewicht der Atomkerne entspricht praktisch jenem des ganzen Atoms, da die Massen der Elektronen im Verhältnis zum Kern unmerklich klein sind. Da die Ladung des Kernes durch eine bestimmte Anzahl von Elektronen neutralisiert wird, muß auch sie ein ganzes Vielfaches des Elementarquantums betragen (Kernladungszahl). Zuerst vermutungsweise, dann durch systematische Untersuchungen (namentlich durch jene der charakteristischen Röntgenspektren der chemischen Elemente) ist man zu der Erkenntnis gelangt, daß beim Fortschreiten von einem Element zum nächsten im periodischen System die Kernladungszahl immer um je eine Einheit

zunimmt. Die Kernladungszahl, also auch die Anzahl der den Kern im neutralen Zustande umkreisenden Elektronen, ist demnach mit der Atomnummer identisch. Ein Wasserstoffkern ist mit einem positiven Elementarquantum geladen, ihn umkreist im neutralen Zustande ein Elektron, ein Heliumkern ist mit zwei positiven Elementarquanten geladen, ihn umkreisen im neutralen Zustande zwei Elektronen usw., beim Uran gelangen wir schließlich zu 92 Elektronen. Das Elektronensystem und besonders wieder die äußersten Elektronengruppen sind verantwortlich für die „äußeren“ Eigenschaften des betreffenden chemischen Elementes, also für jene, welche auf den Wechselwirkungen zwischen Atomen beruhen. Da das Elektronensystem von der Kernladungszahl, nicht aber vom Atomgewicht abhängt, ist die erstere und nicht das letztere für das physikalisch-chemische Verhalten der Elemente charakteristisch. Tatsächlich hat man, zunächst auf dem Gebiete der radioaktiven Elemente (Fajans und Soddy), dann durch die Versuche von Aston (1919) mit Kanalstrahlen, bei zahlreichen chemischen Elementen gelernt, diese „Elemente“ als Gemische aus Grundstoffen von verschiedenem Atomgewicht, aber gleicher Kernladungszahl aufzufassen. Man nennt solche Grundstoffe „Isotope“, sie stimmen, der gemeinsamen Kernladungszahl entsprechend, in den allermeisten physikalischen und chemischen Eigenschaften überein und lassen sich nur durch Verfahren trennen, bei denen es direkt auf die Kernmasse ankommt. Die nächste Frage ist der Bau der Atomkerne. Daß die Kerne selbst wieder zusammengesetzt sein müssen, folgt aus den radioaktiven Erscheinungen, welche wohl sicher als Elementenverwandlung zu deuten sind (Begründung der Theorie des Atomzerfalles durch Rutherford und Soddy 1902). Die bei dieser Elementenverwandlung entstehenden α - bzw. β -Strahlen sind dann als Heliumkerne bzw. Elektronen zu betrachten, die, abgesehen von den β -Strahlen sekundären Ursprunges, aus dem Kerninneren stammen. Es ist nunmehr naheliegend, sich die Kerne der Elemente letzten Endes aus einfach positiv geladenen Wasserstoffkernen, den sogenannten Protonen, und aus Elektronen aufgebaut zu denken. Diese Hypothese fordert wesentlich ganzzahlige relative Atomgewichte, die dieser Forderung scheinbar nicht entsprechenden Atomgewichte werden durch „Isotopengemische“ vorgetäuscht.

b) Die Quantentheorie. Man könnte also zusammenfassend sagen: die moderne Korpuskulartheorie arbeitet mit zwei Arten universeller (je untereinander gleicher) diskreter Korpuskeln, denen bestimmte Massen und elektrische Ladungen zukommen und welche mitein-

ander verknüpft und voneinander getrennt sind durch das kontinuierliche elektromagnetische Feld, zu dem noch das Gravitationsfeld etwa im Sinne der Einsteinschen Gravitationstheorie hinzutritt. Sie kommt aber mit diesen Grundformen für eine geordnete Darstellung des Naturgeschehens nicht aus. Im Rahmen der „klassischen“ Atomistik nicht lösbare Schwierigkeiten auf dem Gebiete der Wärmestrahlung veranlaßten M. Planck (1900) seine berühmte Quantenhypothese aufzustellen, welche dann immer tiefer und in wachsendem Umfange in die Gestaltung des atomistischen Weltbildes eingegriffen hat. Wir wollen die Grundgedanken der Quantentheorie an dem Beispiele des Bohrschen Wasserstoffatoms klarzulegen versuchen.

Das Rutherford'sche Wasserstoffatom besteht, wie wir sahen, aus dem Kern und einem ihn umkreisenden Elektron. Nach der klassischen Elektronentheorie müßte das kreisende Elektron dauernd elektromagnetische Wellen aussenden, also dauernd Energie nach außen abgeben, dementsprechend müßte seine Bahn immer enger werden und es müßte schließlich in die Zentralsonne, in den Kern stürzen. Während dieses Prozesses würde seine Umlaufzeit kontinuierlich sinken und demgemäß die Wellenlängen der ausgesandten Strahlung kontinuierlich abnehmen. Das sind Verhältnisse, die sich mit dem tatsächlichen spektroskopischen Befund nicht vereinbaren lassen. Es mußte entweder das Atommodell oder die allgemeine Geltung der Nahwirkungsgesetze des elektromagnetischen Feldkontinuums fallen gelassen werden. Durch die Plancksche Quantentheorie und deren Weiterentwicklung durch A. Einstein, war die Richtung, in der die Entscheidung fallen mußte, vorgezeichnet. Die von Niels Bohr (1913) gegebene Lösung des Problems rettete das Atommodell und gab die klassische Elektrodynamik preis. Seine Theorie fordert im bewußten Widerspruche mit den bewährten Gesetzen des elektromagnetischen Feldes, daß es für jedes Atom bzw. Atomsystem eine Anzahl ausgezeichneter „stationärer“ Elektronenbahnen geben solle, in welchen sich die Elektronen, ohne Energie auszustrahlen, bewegen können. Eine bleibende Änderung der Atomenergie soll nur durch Vorgänge möglich sein, bei welchen das Atom von einem stationären Bewegungszustande in einen anderen überspringt. Er fordert weiter im Anschlusse an Planck und Einstein: Wenn ein solcher Energiesprung $E_1 - E_2$ unter Emission oder Absorption von elektromagnetischer Wellenstrahlung stattfindet, so soll die Energiedifferenz, das Energiequantum $E_1 - E_2$, mit der Frequenz ν jener Wellen durch die Relation

$$\nu h = E_1 - E_2 \text{ (Bohrsche Frequenzbedingung)}$$

verknüpft sein, worin h eine ganz bestimmte universelle Konstante, das sogenannte Plancksche Wirkungsquantum bedeutet. Nimmt man für die Bewegung auf den stationären Bahnen die Gültigkeit der gewöhnlichen Mechanik und Elektrostatik an, so kann man die Energie E als Funktion des Bahnradius bzw. bei elliptischen Bahnen als Funktion der halben großen Achse ausdrücken. Nun sendet leuchtendes Wasserstoffgas tatsächlich ganz bestimmte, diskrete Spektrallinien aus, deren Frequenzen durch die Balmer-Ritzsche Formel zahlenmäßig mit sehr großer Genauigkeit dargestellt werden. Die Anpassung dieser, schon früher bekannten Formel an die oben angeschriebene, geforderte Relation, liefert dann die diskreten, stationären Bahnen des Elektrons. Die Willkür dieser Zuordnung läßt sich wesentlich einschränken, indem durch eine allgemeine, auch in komplizierten Fällen anwendbare, mathematisch formulierte Quantenforderung in bezug auf die zulässigen, stationären Bahnen (Sommerfeld) die Balmer-Ritzsche Formel direkt abgeleitet wird, wobei sich die in der Formel auftretende Rydberg-Konstante aus anderweitig bekannten Konstanten mit aller Genauigkeit zwangsläufig ergibt. Bohr erhielt die Rydberg-Konstante zuerst durch Verwendung seines Korrespondenzprinzips, das auch als Auswahlprinzip eine wichtige Rolle spielt.

Es zeigt sich nämlich, daß zur Darstellung aller Einzelheiten gewisse quantenmäßig mögliche Übergänge „verboten“ werden müssen; diese „Auswahl“ der erlaubten Übergänge besorgt in systematischer Weise das Korrespondenzprinzip. Es ist an und für sich eine höchst merkwürdige Anleihe bei der doch für ungültig erklärten klassischen Elektrodynamik und muß überall dort eingreifen, wo die Aussagen der Quantentheorie nicht hinreichen. Seine Begründung findet es lediglich in dem Umstande, daß die Formeln der Quantentheorie und die entsprechenden der klassischen Elektrodynamik für sehr kleine Frequenzen rein formal ineinander übergehen. Mit Einzelheiten, mit der Anwendung der Quantentheorie auf das Verhalten komplizierter Atome, mit dem ganzen die verschiedensten Gebiete umfassenden Komplex der modernen Quantenphysik können wir uns nicht beschäftigen.²¹⁾ Nur einige allgemeine Überlegungen sollen hier noch Platz finden. Das Atom emittiert und absorbiert elektromagnetische Wellen, es gibt Energie ab und nimmt

21) Siehe etwa das klar und allgemeinverständlich geschriebene Büchlein: „Das Atom und die Bohrsche Theorie seines Baues“ von H. A. Kramers und Helge Holst. Deutsch von F. Arndt. Berlin 1925, Springer.

Energie auf, es erleidet also jedenfalls Veränderungen. Nun müssen aber die Atome der chemischen Elemente einen hohen Grad von Unveränderlichkeit behalten; das Unveränderliche des Atoms, des chemischen Elementes, ist der Atomkern, dessen Zerfall eben eine Elementenverwandlung bedeutet. Soll nun lediglich durch den mit einer bestimmten Masse und einer bestimmten Ladung begabten Atomkern das Gesamtverhalten des Atoms bestimmt sein, so darf es nicht dem Zufall überlassen bleiben, in welchen Bahnen die vom Kerne vermöge seiner elektrischen Anziehungskraft gewissermaßen „eingefangenen“ Elektronen ihn umlaufen. Diese Bahnen, also das im Gleichgewichtszustande sich ausbildende Elektronensystem muß von vornherein vollkommen bestimmt sein. Das leistet die Quantentheorie, indem sie gewisse stationäre Bahnen als allein mögliche auszeichnet. Die Anzahl der ausgezeichneten Bahnen ist zwar unendlich groß, aber solange noch Elektronen unter Energieabgabe von einer stationären Bahn in eine andere überspringen können, wird das früher oder später tatsächlich geschehen. Der Normalzustand wird erreicht, wenn die zur elektrischen Neutralisierung des betreffenden Atomkernes nötigen Elektronen auf solchen Bahnen verlaufen, daß das Atom keine Energie mehr nach außen abzugeben vermag. Es mußte auf diesem Wege prinzipiell möglich sein, den Aufbau der einzelnen Atome und damit auch ihre Eigenschaften aus allgemeinen Gesetzen für die Wechselwirkung der Korpuskeln abzuleiten. Bei richtiger Lösung der Aufgabe mußten die theoretischen Ergebnisse den beobachtbaren Tatsachen entsprechen, es mußte insbesondere der im periodischen System der Elemente systematisch zusammengefaßte Erfahrungskomplex durch die Theorie seine Erklärung finden. Bohr hat (1921) diese Aufgabe in ihren Hauptzügen durch Verwendung aller inzwischen vorbereiteten methodischen Mittel als Erster einer Lösung zugeführt.²²⁾

Aus dem Normalzustande kann das Atom durch äußere Einflüsse unter Energieaufnahme in einen „angeregten“ übergehen, indem eines seiner Elektronen auf eine energiereichere Bahn „gehoben“ wird, von der es auf energieärmere Bahnen unter Aussendung elektromagnetischer Wellen, deren Frequenz durch die Bohrsche Bedingung gegeben ist, zurückspringen kann. Bei den Sprüngen der

22) Vgl. etwa N. Bohr, „Linienspektren und Atombau“. Ann. d. Phys. 71, 1923. S. 228. Das Problem war damit und ist auch heute noch nicht endgültig erledigt. E. C. Stoner, Phil. Mag. 48, 719, 1924; W. Pauli jr., ZS. f. Phys. 31, 1925. S. 765 u. a. haben es weiter verfolgt und gewisse Fortschritte erzielt.

äußeren Elektronen treten kleinere Energiedifferenzen auf, ihnen entsprechen auch kleinere Frequenzen, wie sie etwa dem sichtbaren Lichte zukommen; bei den Sprüngen der inneren, kernnahen Elektronen werden die Energiedifferenzen wesentlich größer und es liegen demgemäß die emittierten Wellen im Röntgengebiet. Umgekehrt gibt das spektrale Verhalten vorzüglichsten Aufschluß über den zur richtigen Deutung der Beobachtungen erforderlichen Bau der Atome.

Durch die Zusammensetzung des Atoms aus Korpuskeln in Gestalt eines Planetensystems war das Feldkontinuum gewissermaßen in das Innere des Atoms eingedrungen, die Quantentheorie weist es aus diesem Gebiete jedenfalls hinaus, allerdings, derzeit wenigstens, unter Verzicht auf eine einheitliche, durch Nahwirkungsgesetze geordnete Naturauffassung. Viel ausgiebiger noch, als es bei der Huygensschen Atomistik der Fall war, arbeitet die Quantentheorie mit Forderungen und Regeln, welche, außerhalb des unserer Raum-Zeit-Anschauung adäquaten kontinuierlichen Ordnungszusammenhangs stehend, einfach als solche hingenommen werden müssen.

Die sprunghafte, quantenhafte Energieabgabe und Energieaufnahme bei der Emission und Absorption der elektromagnetischen Wellen führt konsequenterweise zu der Folgerung, daß auch die sich außerhalb der Atome ausbreitenden Wellen quantenhaft strukturiert sind, das heißt, die Energie des Lichtstrahles soll nicht kontinuierlich im Raume verteilt, sondern in kleinen Lichtpartikelchen konzentriert sein (Einsteinsche Lichtquanten). Diese Vorstellung nähert sich aber, wengleich in verfeinerter Gestalt, bedenklich der durch die Erfahrung überwundenen Newtonschen Emissionstheorie des Lichtes.

Bohr selbst hat neuerlich²³⁾, um dieser Konsequenz zu entgehen und die für das Verständnis der optischen Erscheinungen wohl unentbehrliche Undulationstheorie nicht zu gefährden, eine modifizierte Auffassung seiner Grundpostulate vorgeschlagen. Er opfert die exakte Gültigkeit des Energieprinzips, das nur mehr im Mittel statistisch zutreffen soll und kann folglich jetzt die Annahme machen, daß die Atome gerade in ihren stationären Zuständen kontinuierlich strahlen, ohne jedoch während dieser Ausstrahlung an Energie zu verlieren. Die Energieänderungen des Atoms sollen auch jetzt sprunghaft, also nur dann erfolgen, wenn das Atom aus einem stationären Zustande in einen anderen übergeht. Die Frequenzen der in einem bestimmten Zustande ausgesandten

23) Vgl. N. Bohr, H. A. Kramers, J. C. Slater. ZS. f. Phys. 24, 1924. S. 69.

Strahlung sollen sich nach wie vor aus der Bohrschen Frequenzbedingung bestimmen, derart jedoch, daß das Atom jetzt in einem bestimmten stationären Zustande alle jene Frequenzen gleichzeitig ausstrahlt, welche möglichen Quantensprüngen entsprechen. Die Zustandsänderungen des Atoms bleiben also diskontinuierlich, die Strahlung aber erfolgt kontinuierlich und bestimmt sich durch die Wahrscheinlichkeit möglicher, diskontinuierlicher Zustandsänderungen, welche später einmal stattfinden können. Ganz analog werden auch die Erscheinungen der Absorption behandelt. Wir sehen, daß in dieser äußerst interessanten Wendung der Quantentheorie, welche übrigens mit Versuchen, die vor einigen Monaten zu ihrer Prüfung unternommen wurden, unvereinbar zu sein scheint²⁴⁾, um eine mögliche Verknüpfung des Geschehens im Feldkontinuum mit dem diskontinuierlich strukturierten Geschehen im Atom gerungen wird, und daß man, um dieses Ziel zu erreichen, geneigt wäre, jeden Preis zu bezahlen. Nicht nur die allgemeine Gültigkeit des Energieprinzips, sondern auch die des Kausalitätsprinzips, also die eindeutige Bestimmtheit des Naturgeschehens, sollen nötigenfalls geopfert werden.²⁵⁾ Jedenfalls befindet sich die Quantentheorie heute in einer

24) W. Bothe und H. Geiger, „Über das Wesen des Compton-effektes; ein experimenteller Beitrag zur Theorie der Strahlung“. ZS. f. Phys. 32, 1925. S. 639. Vgl. aber auch G. Mie, „Bremsstrahlung und Comptonsche Streustrahlung“, ZS. f. Phys. 33, 1925. S. 33; welcher zeigt, daß die Schwierigkeiten überwunden werden können, wenn man „das Vorurteil fahren läßt, ein Elektron sei ein letztes unveränderliches Teilchen, ein Atom im Sinne Demokrits“. Dieser neuen Hypothese Mies gemäß soll das Elektron selbst noch ein verschiedener Zustände fähiges Gebilde, ein „Oszillator“ sein, der durch „Stöße erster Art“ in einen angeregten Zustand höherer innerer Energie versetzt werden kann und dann in diesem Zustande nach dem Bohrschen $h\nu$ -Gesetze Strahlung aussendet. Man empfindet angesichts solcher immer komplizierter werdenden Korpuskular- und Quantenmechanismen deutlich das Treffende eines von G. Jaumann gebrauchten Vergleiches zwischen dem krisenhaften Zustande der modernen Korpuskulaturtheorie und der Degeneration der klassischen Himmelsmechanismen des geozentrischen Systems.

25) Es sei hier auch auf eine Arbeit H. Tetrodes, „Über den Wirkungszusammenhang der Welt“. ZS. f. Phys. 10, 1922. S. 317 hingewiesen. Er betrachtet das Feld lediglich als eine mathematische Konstruktion, die im Grenzfalle, wo das Quantenhafte der Erscheinungen vernachlässigt werden darf, zur Darstellung der Wechselwirkungen zwischen den allein primär gegebenen Elektronen und Protonen ausreicht, darüber hinaus uns aber im Stiche läßt. Er nimmt dann weiterhin an, daß auch die zukünftige Lage und Bewegung der Elektronen auf die gegenwärtig beobachteten Erscheinungen von Einfluß sei.

schweren Krise, war es ihr doch mit ihren bisherigen begrifflichen Mitteln unmöglich, das Verhalten der Atome mit mehr als einem Elektron einheitlich durch Quantenregeln zu beherrschen, und selbst beim Wasserstoffatom (mit nur einem Elektron) treten in gewissen Fällen (gekreuzte Felder) Schwierigkeiten auf.²⁶⁾ Die neueste Richtung der Quantentheorie, welcher nun auch Bohr²⁷⁾ zuneigt, geht dahin, angesichts der katastrophalen Lage, in welche die Quantentheorie durch ihr methodisch unbedenkliches Vorwärtstürmen geraten ist, zunächst einmal eine in sich konsequente „rationelle Quantenmechanik“ zu schaffen.²⁸⁾ Für diese von Heisenberg begründete Quantenmechanik ist es charakteristisch, daß sie auf eine raumzeitliche Beschreibung der Bewegung der Atomteilchen völlig verzichtet, also von den anschaulich vorgestellten Atommodellen abrückt und an deren Stelle völlig neuartige, rein formale mathematische Begriffssysteme setzt, die so beschaffen sind, daß sie einerseits den Postulaten der Quantentheorie automatisch gerecht werden und andererseits einem dem Energiesatz der klassischen Theorie analogen Erhaltungssatz genügen.

Wieweit es der Quantentheorie gelingen wird, auf diesem Wege alle Schwierigkeiten zu überwinden, läßt sich heute nicht voraussagen. Sicher scheint mir zu sein, daß es den forschenden Geist nicht endgültig befriedigen kann, wenn er bei Atomen (Atomgruppen usw.), die doch einen endlichen Raum erfüllen sollen, nur die mathematischen Regeln kennt, nach denen sich die Wechselwirkungen der Atome durch Strahlung oder Stöße vollziehen. Man wird, ob man nun korpuskulartheoretisch oder kontinuierlichkeitstheoretisch eingestellt ist, schließlich doch auch wissen wollen, wie diese „Atomräume“ selbst strukturiert und gegliedert sind.

Auf die zahlreichen Erfolge und Schwierigkeiten der Quantentheorie sowie der ganzen modernen Atomistik im einzelnen einzugehen, ist im Rahmen dieser Schrift natürlich nicht möglich.²⁹⁾

Daß man bereit ist, lieber auf die fundamentalsten und bewährtesten Ordnungsformen der Physik bzw., vorläufig wenigstens, auf eine einheitliche Ordnung des Naturgeschehens überhaupt zu verzichten, als die Grundvorstellungen der Atomistik aufzugeben,

26) W. Heisenberg, ZS. f. Phys. 33, 1925. S. 879.

27) ZS. f. Phys. 34, 1925. S. 142 und „Die Naturw.“, 14, 1926. S. 1.

28) W. Heisenberg, a. a. O. und M. Born und P. Jordan, ZS. f. Phys. 34, 1925. S. 858.

29) Einen guten Überblick gibt z. B. Max Born, „Der Aufbau der Materie“. Drei Aufsätze über moderne Atomistik und Elektronentheorie, Berlin 1922.

beweist besser als es eine Häufung von Einzelheiten vermöchte, wie fest diese Vorstellungen und Begriffe in dem durch lange Zeiten systematisch erarbeiteten Weltbilde objektiv verankert sind. Die Tatsache, daß es immer wieder gelungen ist, unter Beibehaltung des Grundgedankens einer atomistisch, einer korpuskular strukturierten Natur die Vorstellungen und Begriffe im einzelnen der fortschreitenden Erfahrung elastisch anzupassen, die zweifellos starke heuristische Wirkung dieser Vorstellungen, die zahlreichen numerischen Übereinstimmungen haben bei der überwiegenden Mehrheit der heutigen Physiker die Überzeugung gezeitigt, daß es unmöglich ist, bei der Darstellung, bei der Erklärung der Natur auf die atomistischen Grundgedanken zu verzichten. Demgemäß sollen die Atome, die Korpuskeln nicht mehr und nicht weniger real sein, wie die Himmelskörper, wie alle uns umgebenden irdischen Objekte.³⁰⁾

Im Gegensatz zu dieser heute herrschenden Ansicht wollen wir im folgenden Abschnitt zu zeigen versuchen, daß es sehr wohl möglich ist, das Naturgeschehen einheitlich zu formen, ohne von der Atomhypothese Gebrauch zu machen.

II. KONTINUITÄTSTHEORIE

1. KONTINUITÄTSTHEORETISCHE ANFÄNGE BEI DEN GRIECHISCHEN PHILOSOPHEN

So wie der Atomismus seine philosophische Wurzel in dem starren eleatischen Seinsbegriff hat, steckt in dem πάντα ῥεῖ (alles fließt) des Herakleitos (544—484 v. Chr.) schon der philosophische Keim der Kontinuitätstheorie.¹⁾

Nach Heraklits Lehre ist nichts beständig, alles nur Grenzpunkt zwischen Verschwindendem und Entstehendem, alles in steter Verwandlung begriffen, welche jedoch nur dadurch möglich wird, daß alles seinem Wesen nach eines ist. Den Dingen kommt keine Beharrlichkeit des Seins zu, sie sind nur flüchtige Erscheinungen eines bleibenden Wesens, das sie erzeugt und wieder in sich zurücknimmt.²⁾ Heraklits Urstoff ist das Feuer, dem er ewige Bewegung und Lebendigkeit zuschreibt. Es ist keine unveränderliche Substanz, sondern eben das Wesen der Dinge, er nennt es auch

30) Siehe z. B. M. Planck, „Physikalische Rundblicke“. „Die Einheit des physikalischen Weltbildes“. Leipzig 1922.

1) Wir stützen uns im folgenden wieder auf E. Zeller, a. a. O. I 2., II 1., II 2. und auf W. Windelband, a. a. O.

2) Platon, Theät. 160 D, Krat. 402 A.

den Hauch, die $\psi\upsilon\chi\eta$.³⁾ Alles wird umgesetzt gegen das Feuer und Feuer gegen alles, wie Waren gegen Gold und Gold gegen Waren.⁴⁾ Es handelt sich also um qualitative Veränderungen.

Die allgemeinste Form des Geschehens ist die des Werdens aus Gegensätzen. Der Schein des Beharrens entsteht, wenn gegensätzliche Vorgänge zu einer Art von Gleichgewichtszustand führen. Die Harmonie der Welt beruht auf entgegengesetzter Spannung, wie die des Bogens und der Leier.⁵⁾ Das Bleibende im Fluß der Dinge ist nicht der Stoff, sondern nur das Verhältnis der Stoffe.⁶⁾ Das Werden ist gemäß der dem Urstoffe zugeschriebenen Vernunft, „Logos“, streng gesetzmäßig geregelt.⁷⁾ Das Urwesen bildet alles aus sich selbst, nach dem ihm innewohnenden Gesetze.⁸⁾ Windelband sieht im Begriffe des Logos den Gedanken der Naturgesetzlichkeit.⁹⁾

Anaxagoras (um 500 v. Chr. geb.) hält wie Empedokles und die Atomistiker die Urstoffe für unvergänglich und qualitativ unveränderlich, setzt aber deren unendlich viele qualitativ verschiedene voraus. Jedes Ding muß auch in beliebig kleinen Raumteilen alle Urstoffe enthalten¹⁰⁾, bestimmte Eigenschaften besitzt es nur durch das Vorherrschen, das quantitative Überwiegen einzelner Stoffe in ihm. Die Veränderungen der Dinge sind Veränderungen in ihrer Zusammensetzung. Da Anaxagoras ausdrücklich behauptet, daß die Teilung der Körper ins Unendliche möglich sei¹¹⁾, und daß es keinen leeren Raum gebe, müßten die auch noch im kleinsten Raum vollkommen durchmischten Grundstoffe zu einem einzigen Stoffe verschmelzen. Anaxagoras bemerkt diesen Widerspruch nicht; wir werden sehen, daß sich seine Gedanken konsequent durchführen lassen, wenn man nur die Grundstoffe durch Grundqualitäten ersetzt. Die den Stoff bewegende und ordnende Kraft ist bei ihm der Geist ($\nu\omicron\upsilon\varsigma$), den er sich allerdings auch wieder als einen zwar feinsten und einzigartigen, aber doch räumlich verteilten Stoff vorstellt. Auf Einzelheiten seiner Theorie (Weltbildung usw.) können und brauchen wir hier nicht einzugehen.

3) Fr. 68.

4) Fr. 20.

5) Fr. 45., Plut. De. Js. 45.

6) Zeller I 2. S. 856.

7) Fr. 19.

8) Zeller I 2. S. 846.

9) a. a. O. S. 33.

10) Fr. 4.

11) Fr. 3.

Wichtig für uns ist bei Heraklit der kontinuierliche, gesetzmäßig geordnete Fluß des Geschehens, in dem es nur Grenzpunkte, Gleichgewichte, aber keine diskreten, für sich bestehenden, unveränderlichen Dinge gibt; bei Anaxagoras der geniale, wenn auch noch am Substantiellen hängengebliebene Gedanke eines bis in seine kleinsten Teile mit allen möglichen Eigenschaften behafteten Raumes derart, daß sich ein Raumteil vom anderen nur durch den relativen Intensitätsgrad der einzelnen Eigenschaften unterscheidet.

Anaxagoras und die Pythagoreer gelten auch als die Entdecker des Infinitesimalprinzips, das wir als das Mittel zur mathematischen Erfassung und Formung des im Raume kontinuierlich ausgebreiteten, in der Zeit stetig veränderlichen Geschehens schon kennengelernt haben. Bei Anaxagoras findet sich der Satz: „Im Kleinen gibt es kein Kleinstes, sondern es gibt immer noch ein Kleineres. Denn was ist, kann durch keine noch so weit getriebene Teilung je aufhören zu sein. Aber auch im Großen gibt es immer noch etwas, was größer ist.“¹²⁾

Für die pythagoreische Philosophie ist die Zahl das Wesen aller Dinge. Philolaos bezeichnet die Zahl als Gesetz und Zusammenhalt der Welt.¹³⁾ Man kann in dieser Einstellung wohl das, allerdings durch mystische Spekulationen getrübe Streben nach einem mathematischen Ordnungszusammenhange des sinnlich Gegebenen sehen.

Die Mathematik spielt auch bei Platon (427—347 v. Chr.) eine wichtige Rolle, bildet sie doch für ihn den Übergang von der sinnlichen Anschauung zur Betrachtung der Idee. Seine Weltseele, die als Mittelglied zwischen Idee und Erscheinung der Grund aller geordneten Bewegung und der durch diese vermittelten Gestaltung sein soll, begreift alle Zahl- und Maßverhältnisse in sich und faßt sie zur Einheit zusammen. „Die Welt ist die Erscheinung der Idee im Raume und in der Zeit, das sinnliche und veränderliche Abbild des Ewigen, sie ist das gemeinsame Erzeugnis der göttlichen Vernunft und der Naturnotwendigkeit, der Idee und der Materie, das aber, was beide miteinander vermittelt, der nächste Grund aller Ordnung, aller Bewegung, alles Lebens und aller Erkenntnis ist die Seele“ — so charakterisiert Zeller¹⁴⁾ Platons naturphilosophische Grundgedanken. Da bei Platon, im Gegensatz zu den Atomisti-

12) Fr. 3. Deutsch zitiert nach E. Frank, „Plato und die sogenannten Pythagoreer“. Halle 1923. S. 47.

13) Fr. 18.

14) a. a. O. II 1. S. 789.

kern, nur den Ideen wahres Sein zukommt, ist die für alle Unvollkommenheiten verantwortliche Materie das Nichtseiende¹⁵⁾, sie ist¹⁶⁾ der leere, unbegrenzte Raum, „in dem“ alle Dinge werden.¹⁷⁾ An die Stelle einer ewigen Materie als Substanz tritt die Form der Materialität, die Form des räumlichen Daseins. Zeller¹⁸⁾ weist m. E. mit Recht darauf hin, daß die Materie bei Platon z. B. als Ursache aller Unvollkommenheit doch auch wieder mehr sein muß als der bloße Raum. Auch in der modernen Kontinuitätstheorie tritt, wie wir sehen werden, in gewissem Sinne der kontinuierliche Raum an die Stelle der substantiellen Materie, allerdings nicht der leere, sondern der eigenschaftsbegabte. Eine Verwandtschaft zur heutigen Kontinuitätstheorie zeigt sich auch darin, daß er die Körper (Elemente) nicht aus körperlichen Atomen zusammensetzt, sondern sie aus dem kontinuierlichen Raume lediglich durch ihre Grenzflächen (die in letzter Hinsicht aus Dreiecken gebildet werden) entstehen läßt.¹⁹⁾

Wenn er dann als Grundgestalt des Feuers das Tetraeder, der Luft das Oktaeder, des Wassers das Ikosaeder, der Erde den Würfel bestimmt, so können wir mit solchen Vorstellungen heute nichts mehr anfangen, und wenn er gar „unteilbare“ Flächen für die letzten Bestandteile des Körperlichen hält, so nähert sich diese Auffassung letzten Endes wieder der atomistischen Begriffsbildung.²⁰⁾

Die zuletzt skizzierten Anschauungen Platons, welche übrigens auf Philolaos zurückgehen, bekämpft Aristoteles (384—322 v. Chr.) ebenso und aus den gleichen Gründen wie jene der Atomistiker. Er bestreitet die Möglichkeit eines leeren Raumes (allerdings mit der Begründung, daß in ihm alle Körper gleich schnell fallen müßten, was ihm unmöglich erscheint)²¹⁾ und definiert den Raum als die Grenze des umschließenden Körpers gegen den umschlossenen.²²⁾ Er bestreitet die Existenz unteilbarer kleinster Körper oder Flächen, denn die Teilung der Raumgrößen geht ins Unbestimmte²³⁾, und eine stetige Größe läßt sich immer nur in selbst wieder stetige

15) Arist. Phys. I 9. 192 a.

16) Nach Zellers Interpretation.

17) Tim. 49 E, 52 A.

18) a. a. O. II 1. S. 743.

19) Tim. 53 C.

20) Arist. De coelo III 1. 298 b, 7, 8. 305 a, 306 a.

21) Phys. IV 8. 216 a.

22) Phys. IV 1—4.

23) Phys. III 6. 206 a.

Größen teilen.²⁴⁾ Stoffe, die aus starren Atomen bestünden, könnten sich dem Raume nicht anpassen; es wäre nicht einzusehen, warum sich gleichartige Atome bei der Berührung nicht vereinigten, und warum es gerade nur unsichtbar kleine Atome geben sollte. Er behauptet ferner, daß es unmöglich sei, durch qualitativ gleiche und aufeinander nicht einwirkende Atome alle Veränderungen, also das Werden zu erklären.²⁵⁾ Wenn z. B. im Sinne der alten Atomistiker der Dampf aus anderen Atomen bestehen soll wie das Wasser, so kann dieses ohne Verwandlung nie völlig in Dampf übergehen.

In der Naturphilosophie des Aristoteles ist der Stoff die Bedingung für die Möglichkeit eines Dinges, das aber erst durch die Form wirklich wird. Durch seine Form und seinen Zweck wird jedes Naturding zu dem, was es ist²⁶⁾, und es hat in sich eine formende, eine bewegende Kraft²⁷⁾, welche auf das Wirklichwerden dessen abzielt, was zunächst nur der Möglichkeit nach da ist. Unter Bewegung versteht Aristoteles aber nicht nur die Ortsveränderung (auf die bei ihm grundsätzliche Unterscheidung zwischen kreisförmiger und gradliniger Bewegung brauchen wir hier nicht einzugehen) und die quantitative Zu- oder Abnahme, sondern auch die qualitativen Veränderungen.²⁸⁾ In chemischen Verbindungen z. B. sind die Stoffe in einen neuen Stoff übergegangen, in welchem sie nur noch der Möglichkeit nach vorhanden sind, insofern sie aus ihm wieder ausgeschieden werden können. Wir werden sehen, daß die heutige Kontinuitätstheorie auf diesem Gebiete mit verwandten Vorstellungen arbeitet. Auch der Nahewirkungsgedanke kommt zum Ausdruck, wenn Aristoteles erklärt, daß Veränderungen nur bei der Berührung von Körpern entstehen können, wobei sich die Dinge als wirkende und leidende verhalten.²⁹⁾ Wirkendes und Leidendes sind der Gattung nach gleich, der Art nach entgegengesetzt, die Veränderung verläuft im Sinne eines Ausgleiches der Gegensätze, das Wirkende macht das Leidende sich selbst ähnlich.

Auch Aristoteles kennt vier Elemente; die Erde (absolut schwer), das Feuer (absolut leicht), Wasser und Luft (relativ schwer und leicht), aus denen alle zusammengesetzten Körper bestehen, und die sich zwar ineinander verwandeln, aber keine anderen Körper aus

24) Phys. VI 1. De coelo III 4. 303 a.

25) Gen. et corr. I 8. 325 b, c. 9. 327 a.

26) Phys. II 1. 193 a.

27) Phys. II 1. 192 b.

28) Metaph. XI 11. 12. Phys. V 1. 225 a, c. 2. 226 a.

29) Gen. et corr. I 6. 323 a, c, 327 a, c.

sich ausscheiden können.³⁰⁾ Die Schwere wird erklärt durch das Streben der Körper, an ihren „natürlichen Ort“ zu gelangen.³¹⁾ Alle Elemente bilden, wie bei Heraklit und Platon, ein Ganzes, einen in sich geschlossenen, gesetzmäßig geordneten Kreis des Werdens und Vergehens.³²⁾ Den Himmelsraum erfüllt ein unveränderlicher, von den elementarischen Stoffen verschiedener Körper, der Äther, aus diesem sollen die himmlischen Sphären und die Gestirne gebildet sein, er ist das Göttliche in der Körperwelt.

Auf Einzelheiten der weit durchgebildeten Aristotelischen Physik und auf seine Theorie des Weltgebäudes näher einzugehen, ist hier nicht der Ort; wir müssen uns damit begnügen, einige charakteristische kontinuierstheoretische Züge seiner Naturlehre aufgezeigt zu haben.

2. EINLEITENDE ENTWICKLUNG KONTINUITÄTSTHEORETISCHER GRUNDBEGRIFFE

Wir haben soeben gehört, daß kontinuierstheoretische Gedanken und Vorstellungen im bewußten Gegensatze zum Atomismus Leukipps und Demokrits schon in der griechischen Naturphilosophie lebendig waren. Solange aber die schwankenden subjektiven Sinneswahrnehmungen (warm, kalt, trocken, feucht) nicht durch ein System aufeinander bezogener, objektiv meßbarer Merkmale ersetzt wurden, solange das Infinitesimalprinzip nicht bis zu jenem Grade der Klarheit durchgereift war, welche eine wirkliche mathematische Beherrschung des Kontinuums ermöglichte, konnte eine Kontinuitätstheorie als exakte mathematische Ordnungsform nicht entstehen.

Verglichen mit diesen schwierigen Entwicklungsbedingungen hatte es die Atomistik wesentlich leichter. Begrenzte, in sich verhältnismäßig beständige Körper, die sich relativ zueinander bewegen, bieten sich der naiven Beobachtung überall dar und spielen im praktischen Leben eine wichtige Rolle. Tatsächlich hat auch die Mechanik am frühesten von allen Zweigen der Physik eine hohe Stufe der Entwicklung erreicht. Der Begriff der Atome als letzter, unteilbarer Baustein der Materie aber war schon in dem „Individuum“ des eigenen Ichs gewissermaßen vorgebildet. Diskrete Teilchen entsprechen ferner den diskreten Denksetzungen unseres Verstandes, während das Kontinuum eine Anschauungsform ist, welche

30) De coelo III 3, Metaph. V 3. Die vier Elemente werden dann weiter durch die Eigenschaften warm, kalt, trocken, feucht charakterisiert.

31) Phys. IV 7. 214 a.

32) Meteor. II 3. 357 b.

mathematisch nur durch den begrifflich schwierigen Grenzübergang zu „unendlich kleinen“, zu differentiellen Elementen, die jedoch stetig zusammenhängend, gewissermaßen ineinanderfließend zu denken sind, vollständig gegliedert, niemals aber in voneinander unabhängige, unzusammenhängende Teile oder gar in Punktindividuen aufgelöst bzw. aus solchen aufgebaut werden kann. Freilich konnte auch die atomistische Naturauffassung das Raum-Zeit-Kontinuum nicht vermeiden, und das zwang sie von vornherein zu einer gewissen Uneinheitlichkeit in ihrer Begriffsbildung. Sie war aber zweifellos jene Form, in welcher sich Anschauung und das mit diskreten Setzungen arbeitende Denken, Geometrie und Arithmetik, am leichtesten zusammenfinden konnten, um überhaupt erst einmal ein von der sinnlichen Wahrnehmung einerseits, von allgemeinen metaphysischen Spekulationen andererseits losgelöstes Ordnungsschema zur Darstellung der Natur zustandezubringen. Die weitere Ausgestaltung dieses Schemas erforderte allerdings auch eine vollkommene mathematische Formung des anschaulichen Raum-Zeit-Kontinuums. Wirklich läuft, wie wir das ja an Beispielen genugsam bemerken konnten, in der neueren Physik die Differenzierung atomistischer Ideen der wachsenden Beherrschung des Kontinuums parallel. Die von Newton und Leibniz begründete moderne Infinitesimalrechnung schuf die dem Kontinuum adäquate Form der Differential- und Nahewirkungsgesetze. Das systematische Experimentieren, dessen Ziel die Aufstellung von Naturgesetzen war, führte automatisch zu scharfen Definitionen, zur Festlegung objektiv meßbarer, den Zustand charakterisierender Merkmale und damit auch zu einer Ablösung der wissenschaftlichen Begriffe von den schwankenden Wahrnehmungen der Sinne. Bei jeder Messung handelt es sich letzten Endes, wie das A. Einstein mit aller Schärfe betont hat, um die Konstatierung raum-zeitlicher Koinzidenzen. Messen wir die Länge eines Stabes, so konstatieren wir das Zusammenfallen seiner Enden mit bestimmten Teilstrichen des Maßstabes in einem gegebenen Augenblicke; ebenso bei der Zeitmessung die Zeigerstellung der Uhr auf einem bestimmten Striche des Zifferblattes; beim Vergleichen von Gewichten, also Kräften bzw., da Gewicht und Masse einander proportional sind, beim Vergleichen von Massen, die Einstellung des Zeigers einer Wage; bei der Messung einer Temperatur die Lage des Quecksilbermeniskus in bezug auf die Teilung der Thermometerskala usw. Mittels solcher Konstatierungen können wir nun, wenn noch jeweils eine objektive, reproduzierbare Maßeinheit und ein Anfangspunkt der Zählung festgelegt sind, zunächst den

Punkten des raum-zeitlichen Kontinuums bestimmte Zahlenwerte zuzuordnen. Allerdings darf nicht vergessen werden, daß jede Messung ein bestimmtes theoretisches Schema, welches die einzelnen physikalischen Größen miteinander verknüpft und eine bestimmte Realisierung desselben schon voraussetzt. Ob bzw. unter welchen Umständen z. B. eine Maßeinheit praktisch als unveränderlich anzusehen ist, muß in jedem Falle vereinbart werden. Ob sich aber eine solche Vereinbarung bewährt, kann wieder nur aus der durch ein bestimmtes theoretisches Schema geordneten bzw. zu ordnenden Gesamterfahrung erschlossen werden. Die Zustandsvariable ist nun ein Begriff, der in Analogie zum Kontinuum unserer Anschauung gebildet ist und wie dieses durch das Zahlenkontinuum einen mathematischen Ordnungszusammenhang erhält. Physikalisch betrachtet handelt es sich um objektive Qualitäten, denen in jedem Zeitpunkt eine bestimmte, jedoch sowohl im Raume wie in der Zeit kontinuierlich veränderliche Intensität zukommt. Denken wir etwa an die Temperatur, an die elektrische oder magnetische Feldstärke usw.

Man pflegt zu sagen, die Physik trachte die Qualitäten auf Quantitäten zurückzuführen, worauf es aber tatsächlich ankommt, das ist der mathematische Ordnungszusammenhang des Naturgeschehens. Dieser mathematische Ordnungszusammenhang wird praktisch allerdings durch quantitative Messungen realisiert, also dadurch, daß wir untereinander gleiche Maßeinheiten aneinanderreihen. Das geschieht ebenso bei der mathematischen Ordnung des Raum-Zeit-Kontinuums, wie bei jener des Intensitätskontinuums einer physikalischen Qualität. Da das Raum-Zeit-Kontinuum unserer Anschauung homogen ist (keine ausgezeichneten Punkte hat), ist es möglich, für die Raum-Zeit-Messungen untereinander gleiche Maßeinheiten zu definieren. Zur quantitativen Bestimmung des Intensitätsgrades einer physikalischen Qualität aber muß man indirekt verfahren, indem man die Veränderungen der Intensität durch solche quantifizierbare Veränderungen mißt, welche mit jenen im kausalen bzw. eindeutigen Funktionszusammenhange stehen, was natürlich wieder nur im Rahmen eines bestimmten theoretischen Schemas geschehen kann. Man denke beispielsweise an die Messung der Temperatur mittels der Ausdehnung eines Quecksilberfadens.³³⁾ Natürlich handelt es sich bei jeder Messung im Kontinuum, da wir mit unseren

33) Ich verweise hier gerne auf das sehr lesenswerte Buch „Ziel und Struktur der physikalischen Theorien“ von P. Duhem. Deutsch von F. Adler; mit einem Vorworte von E. Mach. Leipzig 1908.

Sinnesorganen nicht imstande sind, absolut genaue Einstellungen an bzw. mit den Meßinstrumenten durchzuführen, praktisch nur um eine Approximation. Hätten wir hingegen untereinander völlig gleiche, also geometrisch und physikalisch kongruente Atome bzw. Korpuskeln, so könnten wir — prinzipiell wenigstens — ihre Anzahl genau feststellen. Mit der rein quantitativen Aussage, daß uns etwa 100 Elektronen und 50 Protonen gegeben sind, ist aber physikalisch noch gar nichts geleistet. Erst die Konfiguration und Bewegung dieser Korpuskeln sowie ihre Wechselwirkungen, also die Art ihrer Einbettung in und ihrer Verknüpfung durch das Raum-Zeit-Kontinuum, ermöglicht die Darstellung des Naturgeschehens, wobei der Raum der modernen Korpuskulartheorie, wie wir sahen, als Feld, somit als mit Eigenschaften, mit physikalischen Qualitäten begabt anzusehen ist.

Jede Quantität ist die Quantität von „Etwas“, sowie auch jeder Intensitätsgrad der Intensitätsgrad von „Etwas“ ist. Jedes solche physikalisch bedeutsame „Etwas“ muß so definiert sein, daß es direkt oder indirekt eindeutig auf die Zahlenreihe bzw. das Zahlkontinuum bezogen, durch es geordnet werden kann. Diese physikalisch bedeutsamen, zahlenmäßig erfaßten „Etwase“ nennen wir physikalische Größen oder auch physikalische Variable. Wie das ja schon erörtert wurde, wird der Raum durch Angabe der den einzelnen Punkten zugehörenden Koordinaten in bezug auf ein Achsenkreuz zahlenmäßig geordnet. Jedem Punkte des Raumkontinuums kommen in jedem Augenblicke ganz bestimmte Zahlenwerte aller unter einander qualitativ verschiedenen Zustandsvariablen zu. Die Nahwirkungsgesetze ermöglichen es, indem sie die Fluxionen der Zustandsvariablen bestimmen, bei gegebenem Anfangszustand das weitere Geschehen eindeutig vorherzusagen. Da uns der Anfangszustand immer nur in einem begrenzten Raumgebiete gegeben sein kann, müssen wir auch noch dauernd darüber orientiert sein, welche Wirkungen in der den betrachteten Raumteil beherbergenden, gedachten Fläche das Geschehen in jenem beeinflussen; das heißt, wir müssen die Randwerte kennen.

3. EINIGES ÜBER DIE ENTWICKLUNG DER KONTINUITÄTSTHEORIE IN NEUERER ZEIT

Wir haben soeben die mathematische Form charakterisiert, durch welche die Kontinuitätstheorie das Naturgeschehen ordnet und darstellt. Diese Darstellungsform wurde in der neueren Physik all-

mählich entwickelt. Ihre Entwicklung läuft nicht nur neben jener der Korpuskulartheorien einher, sondern beeinflußt letztere, wie wir gesehen haben, in entscheidender Weise. Man erinnere sich z. B. an das die elektrischen Korpuskeln verknüpfende, durch Nahwirkungsgesetze beherrschte elektromagnetische Feld oder an W. Thomsons Wirbelatome.

Gustav Jaumann (1863—1924), der erste Vertreter einer modernen Anforderungen genügenden, exakten Kontinuitätstheorie, bezeichnet³⁴⁾ als den Begründer dieser Richtung Leonhard Euler (1755), da er die Bewegungserscheinungen in idealen Flüssigkeiten und Gasen durch Differential- und Nahwirkungsgesetze darstellte. Fourier (1820) fand das Differentialgesetz der Wärmeleitung, Cauchy (1827) stellte das Differentialgesetz der Bewegung ideal elastischer Medien auf. De Saint Venant (1827) und Stokes (1845) bildeten das Differentialgesetz zäher Flüssigkeiten und Gase aus. Maxwell (1865) fand auf Grund von Faradays Auffassung der elektromagnetischen Erscheinungen und des Lichtes die Differentialgesetze derselben. H. Hertz (1887) hat zuerst der Überzeugung Ausdruck verliehen, daß die Aufstellung von Differential- und Nahwirkungsgesetzen das höchste bis jetzt erkennbare Ziel der theoretischen Forschung bildet. Die hohe Bedeutung solcher Nahwirkungsgesetze für die Physik wird an sich wohl von keiner Seite bestritten. Sie ordnen das physikalische Geschehen innerhalb eines ganzen Erscheinungsgebietes einheitlich und ungezwungen, ihre mathematische Form ist der inneren Struktur des gegebenen Beobachtungsmaterials merklich adäquat und alle überflüssigen Komplikationen sind vermieden. Die in ihnen auftretenden physikalischen Größen können in verhältnismäßig einfacher Weise (mit entsprechender Annäherung) realisiert werden. Wie zutreffend unsere Behauptungen sind, zeigt schon recht deutlich der Umstand, daß man die ganze auf atomistische Vorstellungen verzichtende, also ihrer Grundtendenz nach kontinuierlichkeitstheoretische Forschungsrichtung, die allerdings in vielen Fällen, z. B. in der klassischen Thermodynamik, nicht bis zur expliziten Formulierung der Nahwirkungsgesetze durchgedrungen war, eine phänomenologische zu nennen pflegt. Dieser Terminus will zum Ausdruck bringen, daß die durch ihn bezeichnete Forschungsrichtung sich im Gegensatz zur Atomistik darauf beschränkt, die Phänomene, die Erscheinungen zu beschreiben. Beispielsweise bezeichnet G. Kirchhoff in den berühmten

34) G. Jaumann, „Physik der kontinuierlichen Medien“. Wiener Denkschr. 95, 1918. S. 461.

gewordenen Einleitungsworten zu seinen Vorlesungen über Mechanik als Aufgabe der Theorie, daß sie die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Art beschreiben solle. Eine Formulierung, die dann natürlich sinngemäß auf alle Gebiete der Physik zu übertragen ist. „Ein großer Teil der gegenwärtig geltenden Theorien“ — sagt W. Voigt³⁵⁾ in seinem Artikel über „Phänomenologische und atomistische Betrachtungsweise“ — „besitzt den Charakter, den die Kirchhoffsche Formulierung bezeichnet. In diesen wird in der Tat auf einer kleinen Zahl von Prinzipien, d. h. von Regeln, die aus der Erfahrung abgeleitet sind, und denen hypothetisch allgemeine Gültigkeit beigelegt wird, ein Gebäude mathematischer Folgerungen errichtet, welches die Gesetze der Erscheinungen in den bezüglichen Gebieten liefert. Eine solche Beobachtungsweise wird als phänomenologisch bezeichnet. Es soll damit angedeutet werden, daß die Grundlagen der theoretischen Entwicklung ausschließlich der direkten Wahrnehmung entnommen sind, und daß die Entwicklung selbst sich darauf beschränkt, kompliziertere Erscheinungsformen auf die einfachsten von gleicher Art zurückzuführen, deren Beobachtung die Formulierung der betreffenden Prinzipien gestattet hat.“ Wir ersehen aus diesen Worten, daß auch eine solche Betrachtungsweise, wie jede theoretische Formung der sinnlich gegebenen Mannigfaltigkeit viel mehr leisten muß, als eine bloße Beschreibung von sozusagen fertig vorgefundenen Erscheinungen. Was die Bezeichnung „phänomenologisch“ im Rahmen der Physik tatsächlich meinen kann, ist also nur die Ungezwungenheit und Adäquatheit solcher Naturvorstellung im Gegensatz zu den atomistischen Hypothesen. Auch daß ein großer Teil der gegenwärtig geltenden Theorien „phänomenologischen“ Charakter besitzt, daß also diese Art des Denkens und Forschens auch in der modernen Physik lebendig ist und in ihr einen sehr breiten Raum einnimmt (in besonders hohem Grade gilt das für die angewandte Physik als Grundlage der Technik), können wir den Worten Voigts entnehmen, der im übrigen atomistisch eingestellt ist, wie aus folgender Stelle des gleichen Artikels hervorgeht: „Nachdem einmal die molekulare Konstitution wie der Materie, so auch der Elektrizität als erwiesen gelten muß, wird man geneigt sein, die molekulare Betrachtungsweise als die einzige sachgemäße zu bezeichnen und eine phänomenologische als eine höchstens vorläufig

35) „Physik“ in „Kultur der Gegenwart“. Leipzig und Berlin 1915. Die zitierten Stellen finden sich ungeändert auch in der zweiten Auflage 1925.

zu dulddende ansehen. Im Prinzip ist gegen einen solchen Standpunkt gewiß nichts einzuwenden. Indessen mindestens für die Gegenwart und vielleicht noch für geraume Zeit wird er doch den faktischen Verhältnissen nicht gerecht. Die Dinge liegen keineswegs so einfach, daß man die freie Wahl hätte zwischen phänomenologischer und molekularer Auffassung, sondern in vielen Gebieten stehen einer Verfolgung der letzteren ungemein große, ja unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen.“ Der Voigtsche Standpunkt mit einem gewissen Einschlag von Skepsis ist der des besonnensten Atomismus. Jedenfalls ist es immer so, daß das atomistische Weltbild als solches auf Grund der auf verschiedenen Spezialgebieten errungenen Erfolge sowohl, wie auch auf Grund einer erkenntnistheoretisch philosophischen Gesamteinstellung als feststehend angesehen wird. Die Aufgabe der theoretischen Forschung wird dann dahin aufgefaßt, daß sie die durch phänomenologische Gesetze provisorisch geordnete Erfahrung in das atomistische Gesamtbild einzufügen und hierdurch zu „erklären“ hat. Im Gegensatze hierzu billigt der rein phänomenologische Standpunkt, wie ihn in neuerer Zeit vor allem E. Mach (1838—1916) vertreten hat, der Atomhypothese höchstens einen heuristischen Wert zu, aus einer endgültigen Ordnung des Naturgeschehens jedoch hat sie jedenfalls wieder zu verschwinden. Auf das physikalische und naturphilosophische Schaffen Machs, der G. Jaumanns Lehrer war, können wir hier nicht näher eingehen, ich empfehle aber die Lektüre seiner Bücher über Mechanik, Wärmelehre und Optik, welche in prächtiger historischer Darstellung die Entwicklung jener Gebiete der Physik vom phänomenologischen Standpunkte beleuchten.

Wir stehen also vor folgender Sachlage: Es gibt eine ohne atomistische Vorstellungen arbeitende, im Kontinuum wurzelnde, sogenannte phänomenologische Betrachtungsweise. Sicher ist ferner, daß gerade diese Betrachtungsweise zumindest in zahlreichen Einzelfällen die nächstliegende, also die der zu ordnenden sinnlichen Mannigfaltigkeit adäquate ist. Welchen Sinn hat es nun, wenn die Atomistik fordert, daß die „Phänomene“ durch das atomistische Weltbild ihre tiefere „Erklärung“ finden müssen? Offenbar den, daß unser Wunsch nach Erkenntnis erst dann befriedigt sein kann, wenn wir in allen Einzelercheinungen das Walten und Wirken der Atome bzw. Korpuskeln wiedererkannt haben. Die Forderung ist also vom atomistischen Standpunkte aus erkenntnistheoretischen Gründen voll berechtigt. Wir gelangen nun aber zu der entscheidenden Frage, ob die atomistischen Vorstellungen selbst ein notwen-

diger Bestandteil unserer Naturauffassung sind. In dem die Korpuskeln verknüpfenden, durch Nahwirkungsgesetze beherrschten kontinuierlichen Felde hat das Kontinuitätstheoretische Element seine Unentbehrlichkeit für die Darstellung des Naturgeschehens auch innerhalb der Korpuskulartheorie bewiesen, und es erscheint mir angesichts der Tatsache, daß sich das Naturgeschehen nun einmal in dem Raum-Zeit-Kontinuum unserer Anschauung abspielt, trotz aller Quantenregeln, zumindest höchst unwahrscheinlich, daß die Physik irgendwann ohne Feldtheorie, also ohne Kontinuitätstheorie, zu einer befriedigenden Ordnung ihres Erfahrungsmaterials gelangen sollte.

Ist aber die Kontinuitätstheorie wirklich ein unentbehrlicher Bestandteil jedes theoretischen Schemas, dann muß, wenn man überhaupt zu einem einheitlichen Ordnungszusammenhange gelangen will, der Versuch gemacht werden, mit der Kontinuitätstheoretischen Auffassung allein auszukommen. Ein großzügiger Versuch in dieser Richtung, der, obwohl er nicht zum Ziele gelangte, doch viel zur Klärung der Verhältnisse beitrug, war die von W. Ostwald begründete „Energetik“.

Der Atomismus steht im engsten Zusammenhange mit dem Substanzbegriff³⁶⁾, dessen wesentliches Merkmal das des im Wechsel der Erscheinungen mit sich selbst identisch bleibenden, beharrenden Seins ist. Die Atome, die Korpuskeln, als letzte in sich unveränderliche Bausteine der Materie, bilden gewissermaßen ein festes gedankliches Gerüst für die theoretische Formung des ewig veränderlichen, sozusagen zerfließenden Werdens und Geschehens. Da die einzelnen Atome weder vergehen noch entstehen können, muß auch ihre Anzahl, ihre Quantität im Wechsel der Erscheinungen konstant bleiben. Die Physik besitzt nun aber, seitdem durch Robert Mayer (1842), Joule und Helmholtz das Energieprinzip als grundlegende mathematische Ordnungsform erkannt worden war, neben dem Satze von der Erhaltung der Gesamtsubstanz, einen zweiten allgemeinen Erhaltungssatz. Die Energie irgendeines Raumteiles ist als eindeutige Funktion seines gesamten Zustandes definiert und das Energieprinzip sagt aus, daß, wenn der Raumteil gegen äußere Einwirkungen geschützt, also nach außen „energetisch abgeschlossen“ ist, der Wert dieser Funktion bei allen

36) Vergleiche etwa die a. a. O. zitierten Werke von Natorp und Cassirer sowie den Aufsatz H. Weyls, „Was ist Materie?“ (Die Naturw. 1924. S. 561), mit dessen Gedankengängen ich in vielen Punkten übereinstimme.

möglichen Änderungen des Zustandes unverändert bleiben müsse. Die Zustandsänderungen können nicht nur ein Wandern, ein „Fließen“ der Energie von einem Raumelement zum anderen, also eine Änderung der räumlichen Verteilung der Energie zur Folge haben, was man etwa noch durch die Bewegung substantieller Energieatome zu deuten versuchen könnte, sondern es vermag sich auch im selben Raumelement eine Energieform in eine andere, Wärme in Licht, Schall in Wärme, chemische Energie in elektrische Stromenergie usw. zu verwandeln. Das heißt also, eine Energieform verschwindet und dafür entsteht eine andere. Die Verwandlung geht aber immer so vor sich, daß für einen bestimmten, in irgendeiner Maßeinheit zahlenmäßig festgelegten Energiebetrag der einen Energieform stets ein und derselbe Energiebetrag der anderen Energieform erhalten wird und umgekehrt. Wir brauchen nur noch alle Energieformen mit der gleichen Maßeinheit zu messen, dann muß der Betrag der Gesamtenergie bei allen Verwandlungen zahlenmäßig konstant bleiben. Der Energiesatz führt also unmittelbar zu einer festen Beziehung zwischen den qualitativ verschiedenen Energieformen, schafft zwischen Intensitätsänderungen der einzelnen physikalischen Qualitäten eine gesetzmäßige Verknüpfung. Eine, wenn ich so sagen darf, banale „Erklärung“ des Erhaltungssatzes der Energie durch die Postulierung von an sich unveränderlichen, substantiellen Energieatomen ist wohl mit Rücksicht auf die Energieverwandlungen vernünftigerweise nicht durchführbar. Die Einsteinsche Relativitätstheorie setzt sogar umgekehrt, und zwar von ihrem Standpunkte vollkommen konsequent, die mechanische Masse, welche als quantitatives Maß der Materie angesehen werden konnte und auch vielfach angesehen wurde, der Energie proportional und führt so den Satz von der Erhaltung der Masse auf jenen von der Erhaltung der Energie zurück. Der substantielle Erhaltungssatz nimmt in der modernen Korpuskulartheorie die Gestalt eines Satzes der Erhaltung der elektrischen Ladungen an, oder präziser ausgedrückt: Die Gesamtzahl der negativ elektrisch geladenen Elektronen und ebenso jene der positiv elektrisch geladenen Protonen muß, insofern es sich um unzerstörbare Korpuskeln handelt, bei allen Veränderungen erhalten bleiben. Jedes theoretische Schema, das in irgendeiner Form mit letzten, unveränderlichen, diskreten räumlichen Elementen arbeitet, muß als Folge dieser Voraussetzung irgendeine Art von substantiellem Erhaltungssatz besitzen. Der Erhaltungssatz der Energie aber ist an sich, als mathematische Ordnungsform selbst ein Letztes, nicht weiter zu Erklärendes. Es war jedoch

eine Verkenntung der Leistungsfähigkeit dieser Ordnungsform, wenn man glaubte, durch sie allein zu einem einheitlichen theoretischen Schema gelangen zu können.

4. DIE HEUTIGE KONTINUITÄTSTHEORIE

a) System der Differentialgesetze. Materialfunktionen. Die dem Kontinuum gemäße Form zur Darstellung des Naturgeschehens besitzen wir, wie schon wiederholt erörtert wurde, in den Nahwirkungsgesetzen, deren jedes die Fluxion einer Zustandsvariablen bestimmt, und zwar eindeutig bestimmt lediglich durch den Gesamtzustand und dessen räumliche, differentielle Struktur in dem betreffenden Raum-Zeit-Punkte. Für die Kontinuitätstheorie sind diese Nahwirkungsgesetze die primären Ordnungsformen, durch welche die quantitativ meßbaren Intensitätsänderungen der qualitativ verschiedenen Zustandsvariablen miteinander gesetzmäßig verknüpft werden.

Vorbildlich waren vor allem die von Maxwell geschaffenen (von H. Hertz weiterentwickelten) Nahwirkungsgesetze des elektromagnetischen Feldes, welche die elektrischen mit den magnetischen Zustandsänderungen verknüpfen. Das Energieprinzip aber, wie auch andere allgemeine, prinzipielle Sätze, insbesondere das Entropieprinzip, sind, wie das zuerst Jaumann, von dem auch die der Kontinuitätstheorie angemessene Differentialform dieser Sätze geprägt wurde, klar erkannt und ausgesprochen hat, Bedingungen für die besondere Form der Nahwirkungsgesetze. Das System der Nahwirkungsgesetze muß so beschaffen sein, daß aus ihm jene speziellen Relationen allgemein, also ohne Rücksicht auf spezielle Anfangs- oder Randwerte, mathematisch deduzierbar seien. Solche allgemeine, auf das gesamte Naturgeschehen oder doch auf große Gebiete anwendbare Sätze, sogenannte „Prinzipien“, bilden also in der Kontinuitätstheorie mathematische Formen höherer Ordnung, welche die einzelnen Nahwirkungsgesetze zum „energetisch“, zum „entropisch“ geschlossenen System zusammenfassen. Sind schon die einzelnen Nahwirkungsgesetze keineswegs in dem Sinne phänomenologisch, als ob sie lediglich eine schlichte Beschreibung von einfach in unserer sinnlichen Wahrnehmung fertig vorliegenden „Phänomenen“ geben würden, so trifft das noch weniger für ein geschlossenes System von Gesetzen zu. Es handelt sich, wir betonen es immer wieder, um mathematische Ordnungsformen, welche durch unser konstruktives Denken hervorgebracht und auf das sinnlich Gegebene angewendet werden. Ein System, einen systematischen Zusammenhang der Nahwirkungs-

gesetze fordert die Erkenntnis, denn in einem unzusammenhängenden Haufen von Naturgesetzen vermöchten wir nicht eines in dem anderen wiederzuerkennen. Der erste und wichtigste Schritt zum System liegt schon in der Forderung, daß das gesamte Naturgeschehen nur durch Differential- und Nahewirkungsgesetze dargestellt werden solle. Das heißt doch, wir erkennen in jedem Naturgeschehen das Walten von Nahewirkungsgesetzen wieder. Der nächste Schritt wird der sein, zu verlangen, daß die Nahewirkungsgesetze einen möglichst einfachen, und zwar alle Nahewirkungsgesetze denselben Grundtypus haben sollen; wir erkennen dann in allen Nahewirkungsgesetzen denselben mathematischen Grundtypus wieder. Jaumann hat demgemäß die Forderung aufgestellt, daß alle Nahewirkungsgesetze (partielle) Differentialgleichungen „erster Ordnung“ (sowohl in bezug auf die Differentiation nach der Zeit, wie in bezug auf jene nach den Raumkoordinaten) sein sollen. Es war das die einfachste systematische Annahme, da die in der Physik sehr häufigen Differentialgesetze zweiter Ordnung aus jenen erster Ordnung (durch Elimination) hergeleitet werden können. Man führt also die Geltung von Differentialgesetzen höherer Ordnung auf die Geltung von Differentialgesetzen erster Ordnung zurück und erkennt so diese in jenen wieder. Der Systematisierung dient auch die von mir in einer neueren Arbeit eingeführte Forderung, daß im Sinne tunlichster Einfachheit jedes Nahewirkungsgesetz die Fluxion einer und nur einer Zustandsvariablen enthalten solle. Auch dies war, wegen der notwendigerweise eindeutigen Bestimmtheit jeder Fluxion, eine mögliche Einfachheitsforderung. Aus dem gleichen Grunde tritt die Fluxion in den Nahewirkungsgesetzen nur „linear“ auf (z. B. $\frac{dT}{dt}$ und nicht $\left(\frac{dT}{dt}\right) \cdot \left(\frac{dT}{dt}\right)$, wofür man auch $\left(\frac{dT}{dt}\right)^2$ schreiben könnte, oder irgendeine noch höhere Potenz der Fluxion). Ebenso konnte man an der einfachen Form festhalten, daß auch die Differentialquotienten nach den räumlichen Koordinaten, aus denen sich die sogenannten „Derivationen“ zusammensetzen, nur linear in den Nahewirkungsgesetzen auftreten sollen. Hingegen wäre es eine unmögliche Einfachheitsforderung, wenn wir verlangen wollten, daß die Nahewirkungsgesetze überhaupt linear in den Zustandsvariablen sein, daß also keine Produkte von Zustandsvariablen untereinander oder von Zustandsvariablen mit Differentialquotienten der Zustandsvariablen in den Nahewirkungsgesetzen vorkommen sollen. Wohl kann man Differentialgesetze, welche in den Zustandsvariablen durchaus linear sind, aus den nichtlinearen durch spezielle Voraus-

setzungen (eventuell mit Annäherung) gewinnen, also jene in diesen wiedererkennen, aber nicht umgekehrt. Exakt lineare Differentialgesetze aber eignen sich nicht zur Darstellung des Naturgeschehens, da diese Form für zahlreiche Erscheinungen (infolge des entschieden nicht superpositorischen Charakters dieser Erscheinungen) allzu einfach ist. Mathematische Ordnungsformen müssen und können nur soweit einfach gestaltet werden, als es der zu ordnenden Erfahrung angemessen ist. Jede überflüssige Komplikation in der Form bedeutet einen Verzicht auf mögliche Erkenntnis und führt meist auf Irrwege. Jede unangemessene Vereinfachung der Form erzeugt überflüssige Schwierigkeiten bei der Anwendung auf die zu ordnende Mannigfaltigkeit. Was die Anzahl der qualitativ verschiedenen Zustandsvariablen und damit auch, da die Fluxion jeder Zustandsvariablen durch ein Nahewirkungsgesetz bestimmt wird, deren Anzahl betrifft, so scheint es zunächst klar zu sein, daß die Ordnung um so vollkommener ausfallen muß, je kleiner jene Anzahl ist. Es bedeutet zweifellos einen großen Fortschritt der Erkenntnis, daß man in den Röntgenstrahlen, den ultravioletten Strahlen, den Lichtstrahlen, den ultraroten Wärmestrahlen und in jenen der drahtlosen Telegraphie die durch dieselben Nahewirkungsgesetze beherrschten elektromagnetischen Wellen wiedererkannte und die scheinbar qualitativen Unterschiede auf Unterschiede in den Frequenzen zurückführen konnte. Aber auch hier gilt wieder der Satz: Jede überflüssige Vermehrung der Qualitäten ist ein Verzicht auf mögliche Erkenntnis, jede unangemessene Verminderung jedoch führt zu bösen und überflüssigen Schwierigkeiten bei der Anwendung. Wenn auch jede Zustandsgröße an sich, als physikalische Qualität ein Letztes, nicht weiter Erklärbares ist, so gibt es doch noch andere Gesichtspunkte des Wiedererkennens, also des Erklärens.

In den Differentialgesetzen treten außer den Zustandsvariablen und deren Differentialquotienten nach der Zeit und den räumlichen Koordinaten noch gewisse zahlenmäßig bestimmte Konstanten auf. Das Fouriersche Nahewirkungsgesetz der Wärmeleitung z. B. bestimmt die Änderung der Temperatur mit der Zeit, also die Fluxion der Temperatur durch die räumliche Verteilung des Temperaturgefälles in dem betreffenden Raum-Zeit-Punkt. Aber die Änderung der Temperatur mit der Zeit, also der zahlenmäßige Wert der Fluxion der Temperatur, wird bei gleicher räumlicher Verteilung des Temperaturgefälles in einem Kupferstabe und in einem Glasstabe sehr verschieden ausfallen. Diese Verschiedenheit berücksichtigt das Gesetz durch die verschiedenen Zahlenwerte der in ihm auftreten-

den Konstanten, welche man Materialkonstanten nennt (in unserem Beispiele die Temperaturleitfähigkeit). Genau genommen gilt also für jedes Material wegen der verschiedenen Zahlenwerte der Materialkonstanten ein anderes Gesetz. Da aber diese Gesetze die Fluxion derselben Zustandsvariablen bestimmen und überdies genau gleich gebaut, „formal identisch“ sind und sich lediglich durch die verschiedenen Zahlenwerte der Materialkonstanten unterscheiden, schreibt man statt der bestimmten Zahlen Buchstaben, die alle möglichen Zahlenwerte der Materialkonstanten symbolisieren und bringt so die für die einzelnen Materialien geltenden, in allen wesentlichen Punkten vollkommen übereinstimmenden Gesetze auf eine gemeinsame, sie alle als Spezialfälle umfassende Form. Man hat damit in der gesetzmäßigen Ordnung der Einzelfälle eine allgemeinere gesetzmäßige Ordnung erkannt.

Ein Schritt weiter in dieser Richtung führt uns zu dem Falle, daß eine Anzahl verschiedener Zustandsvariablen „formal identischen“ Nahwirkungsgesetzen gehorchen. Solche Gesetze unterscheiden sich also in den Zahlenwerten ihrer Materialkonstanten und in den Zustandsvariablen, deren Fluxionen sie bestimmen, sind aber im übrigen wieder vollständig gleich gebaut. Die Materialkonstanten dieser, die Fluxion je einer Zustandsvariablen bestimmenden, also gleichzeitig geltenden Gesetze, sind jetzt auch im selben Materiale voneinander verschieden. Solche Gesetze, die sich auf verschiedene Zustandsgrößen beziehen und gleichzeitig gelten, können wir nicht, wie das in dem zuerst behandelten Falle möglich war, einfach zu einem einzigen allgemeineren verschweißen; wohl aber repräsentiert jetzt ein einziges dieser genau gleich gebauten Gesetze die übrigen. Das Allgemeinere, das Übergeordnete liegt wieder in der mathematischen Form, die wir in den einzelnen so beschaffenen Gesetzen, unbeschadet der qualitativen Verschiedenheit ihrer zugehörigen Zustandsvariablen, wiedererkannt haben. Also auch dann, wenn die adäquate Darstellung eines Erscheinungskomplexes zahlreiche, aber formal identische Nahwirkungsgesetze erfordert, liegt eben darin, daß es sich um formal identische Gesetze handelt, eine Erkenntnis. Wieder war es Jaumann, der hier die Bedeutung dieses wichtigen systematischen Gesichtspunktes klar erkannt und in seiner Kontinuitätstheorie ausgiebig verwertet hat.

Wir müssen uns nun noch etwas eingehender mit den Materialkonstanten beschäftigen. Die Kontinuitätstheorie will das gesamte Naturgeschehen durch die in Raum und Zeit kontinuierlich veränderlichen, in einem System von Nahwirkungsgesetzen ver-

ankerten, durch es miteinander gesetzmäßig verknüpften Zustandsgrößen darstellen. Sind die Anfangs- und Randwerte bekannt, so sollen die Nahwirkungsgesetze das Geschehen eindeutig bestimmen. Tatsächlich aber müssen wir außerdem noch die Zahlenwerte der Materialkonstanten von Fall zu Fall kennen, wodurch die Einheitlichkeit des Verfahrens durchbrochen wird. Die Einführung von Materialkonstanten stört zweifellos den systematischen Ordnungszusammenhang und ist mit ein Grund dafür, daß man die sogenannten „phänomenologischen“ Naturgesetze von seiten der Korpuskulartheorie als provisorische bezeichnet, welche noch einer tieferen Erklärung bedürftig sind. Die Korpuskulartheorie duldet in ihren Nahwirkungsgesetzen, in ihren Feldgesetzen nur universelle Konstanten, also solche, deren Wert überall und jederzeit derselbe bleibt. Die Materialkonstanten aber, welche die spezifischen Materialeigenschaften charakterisieren, trachtet sie durch bestimmte Konfigurationen und Bewegungen der Korpuskeln zu ersetzen bzw. zu erklären, wobei sie, wie wir sahen, in letzter Zeit die Hilfe der Quantentheorie in Anspruch nimmt. Auch für die Kontinuitätstheorie sind die Materialkonstanten ein Provisorium, denn alle physikalischen Eigenschaften müssen von ihrem Standpunkte durch die Zustandsvariablen charakterisiert werden. Im Prinzip, also in ihrem vollendet gedachten System der Nahwirkungsgesetze dürfen außer den Zustandsvariablen und deren Fluxionen und Derivationen nur noch universelle Konstanten vorkommen. Die Materialkonstanten sind nun in der Regel gar keine wirklichen Konstanten, sondern Größen, die sich mit dem Zustande, mehr oder weniger stark, stetig verändern. Die Kontinuitätstheorie kann und muß demnach trachten, die sogenannten Materialkonstanten durch bestimmte Zustandsfunktionen zu ersetzen, also durch Funktionen, welche lediglich von Zustandsvariablen und universellen Konstanten abhängen. Die den Zustandsvariablen in dem betreffenden Raum-Zeit-Punkte zukommenden Zahlenwerte bestimmen dann eindeutig den jeweiligen Wert der Zustandsfunktion. Die Veränderungen dieser Funktionen bzw. ihr angenähertes Konstantbleiben müssen bei gegebenen Anfangs- und Randwerten aus den Nahwirkungsgesetzen folgen. Das ist der Weg, auf dem die Kontinuitätstheorie ganz im Rahmen der ihr eigentümlichen, systematischen Ordnungsform das Provisorium der Materialkonstanten zu überwinden, diese Konstanten tiefer zu begründen, sie zu erklären vermag.

Allerdings ist die Aufstellung derartig vollendeter Nahwirkungsgesetze vorläufig nur ein Ziel. Vollendung kann ja überhaupt nur

angestrebt, aber, glücklicherweise möchte ich sagen, nie erreicht werden. Selbstverständlich ist auch die Korpuskulartheorie von der Verwirklichung ihrer theoretischen Ideale weit entfernt und kämpft, wie wir gesehen haben, gerade jetzt wieder mit großen prinzipiellen Schwierigkeiten. Was aber im einzelnen geleistet werden kann, das hängt sehr stark von der Anzahl der Mitarbeiter ab, und in dieser Hinsicht vermag die Kontinuitätstheorie derzeit allerdings nicht mit der Korpuskulartheorie zu wetteifern. Wir werden noch Gelegenheit haben, die Anwendung des kontinuierlichkeitstheoretischen Schemas zur systematischen Ordnung unserer Erfahrung im einzelnen, an einigen Beispielen zu erläutern. Jetzt wollen wir zunächst annehmen, wir hätten ein vollendetes System von Nahwirkungsgesetzen für alle Zustandsgrößen, deren wir zur Darstellung des gesamten, unserer Erfahrung überhaupt zugänglichen Naturgeschehens irgendwie bedürfen. Wir setzen aber auch nichts weiter voraus, als in Raum und Zeit kontinuierlich veränderliche Zustandsgrößen, welche durch das System der Nahwirkungsgesetze miteinander verknüpft sind.

b) Begrenzter Körper und Bewegung. Wie ist es nun möglich, durch dieses dem Kontinuum, dem heraklitischen Flusse adäquate theoretische Schema die Existenz diskreter, begrenzter „Körper“ zu erklären? Die Antwort auf diese Frage lautet, daß es für die Kontinuitätstheorie solche diskrete, begrenzte „Körper“ an sich überhaupt nicht gibt. Sie kennt nur das mit Eigenschaften begabte und durch diese gegliederte Raumkontinuum als Ganzes; die stetigen Veränderungen des Kontinuums, „der heraklitische Fluß“, wird beherrscht und geordnet durch die Nahwirkungsgesetze. Was sich der naiven Beobachtung als diskreter, begrenzter „Körper“ darbietet, ist nur eine bestimmte, verhältnismäßig beständige räumliche Zustandsstruktur, also ein räumliches Gebilde, innerhalb dessen gewisse Zustandsvariable lange Zeit hindurch ganz oder nahezu konstante Werte behalten. Die Werte dieser Zustandsvariablen erleiden in der „Grenze“ des Körpers keine wirklich sprunghafte Änderung, denn die Grenze ist nicht scharf; ihre Werte ändern sich nur innerhalb einer äußerst dünnen „Grenzschicht“ äußerst rasch, es besteht dort ein starkes „Eigenschaftsgefälle“, der kontinuierliche Zusammenhang aber bleibt gewahrt! Ein gewöhnlicher greifbarer Körper, z.B. ein Kristall, ist auch für die Korpuskulartheorie nur eine relativ stabile Konfiguration von Atomen bzw. letzten Endes von Korpuskeln, welche in das kontinuierliche Feld eingebettet sind und durch es verknüpft werden. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Theorien liegt

natürlich in der Postulierung bzw. in der Ablehnung letzter, in sich unveränderlicher, räumlicher Bausteine. Wird die Existenz solcher Bausteine der Materie, solcher Korpuskeln angenommen, so bilden sie gewissermaßen das feste Gerüst der Körper. Als in sich unveränderliche, beharrende Substanz unterscheiden sich die Korpuskeln vom Vakuum bzw. vom eigenschaftsbegabten, veränderlichen Feldkontinuum, und es hat einen guten, auch mathematisch scharf definierbaren Sinn von der Ortsveränderung, von der Bewegung der Korpuskeln im Raume zu sprechen. Für die Kontinuitätstheorie dagegen gibt es nichts grundsätzlich und absolut Unveränderliches im Raumkontinuum, also auch keine räumliche „Substanz“, keine „Materie“ im üblichen Sinne! Für sie gibt es nur einen Raum mit Eigenschaften, welche durch die in Raum und Zeit kontinuierlich veränderlichen, gesetzmäßig verknüpften Werte der Zustandsvariablen charakterisiert werden. Durch dieses eigenschaftsbegabte Raumkontinuum wird der Begriff der Materie aufgelöst, und es ist nur ein kurzes Wort für den neuen theoretischen Tatbestand, wenn man nun von einer „Kontinuität der Materie“ spricht. Das Vorhandensein verhältnismäßig beständiger räumlicher Zustandsstrukturen wird aus der speziellen Form der betreffenden Nahwirkungsgesetze, durch welche ja jede zeitliche Zustandsänderung bestimmt wird, in denen also auch der Grund für alles Beharren gesucht werden muß, verstanden werden können.

Die Ausbreitung der Zustände bzw. Zustandsänderungen von Schicht zu Schicht mit bestimmten Fortpflanzungsgeschwindigkeiten haben wir an dem Beispiele der Wellenfortpflanzung kennengelernt. Sie ist eine Folge der Nahwirkungsgesetze und der Kontinuitätstheoretischen Auffassung völlig adäquat. Auch eine solche Verknüpfung der Zustandsgrößen durch ihre Nahwirkungsgesetze, daß eine bestimmte räumliche Zustandsstruktur bei der Fortpflanzung durch das Kontinuum unter geeigneten Verhältnissen erhalten bleibt, daß also die „Bewegung“ eines substantiellen „Körpers“ vorgetäuscht wird, bietet dem Verständnis keine grundsätzlichen Schwierigkeiten. Der exakte Bewegungsbegriff aber erfordert ein individualisiertes, mit Sicherheit wiedererkennbares, substantielles Substrat, das seinen Ort im Raume verändert. In dem stetigen, gesetzmäßigen Zusammenhange des Kontinuums gibt es wohl relativ stabile räumliche Zustandsstrukturen („Dinge“), aber keine isolierten, in sich absolut unveränderlichen, substantiellen Individuen, und darum verliert auch der Bewegungsbegriff in der Kontinuitätstheorie seinen exakten Sinn! Man kann natürlich die Fortpflanzung einer in sich relativ

beständigen Zustandsstruktur „Bewegung“ nennen; was sich bewegt, ist dann eben diese bestimmte Struktur, dieser bestimmte räumliche Eigenschaftskomplex, nicht aber irgendein hinzugedachter substantieller „Träger“ der Eigenschaften. Wäre eine solche räumliche Zustandsstruktur in sich absolut beständig, so hätte sie allerdings Substanzcharakter und der exakte Bewegungsbegriff wäre auf sie anwendbar. Eine in sich absolut beständige, also den kontinuierlichen Veränderungen grundsätzlich entzogene räumliche Zustandsstruktur, gleichsam ein erstarrtes Stück Natur, widerspräche aber dem Geiste der Kontinuitätstheorie.

Der Zwiespältigkeit der heutigen Korpuskulartheorie, welche einerseits mit dem Begriffe der in sich unveränderlichen Korpuskeln, andererseits mit dem Begriffe des kontinuierlichen, von Nahwirkungsgesetzen beherrschten Feldes arbeitet, entspricht es, daß ihr theoretisches Ordnungsschema einerseits die „Bewegungen“ der Korpuskeln, andererseits die „Fortpflanzung“ von Zustandsänderungen im Felde kennt. In der dem Wesen des Kontinuums völlig angepaßten, einheitlichen Begriffsbildung der Kontinuitätstheorie kann und darf der Bewegungsbegriff höchstens als Hilfsbegriff eine provisorische Rolle spielen. Als solcher ist er allerdings, derzeit wenigstens, noch nicht zu entbehren, denn auch das System der Jaumannschen Nahwirkungsgesetze enthält die „Bewegungsgleichung“, welche, wie wir das ja ausführlich besprochen haben, die Fluxion der Geschwindigkeit bestimmt. Für die Kontinuitätstheorie kann dann folgerechterweise diese „Geschwindigkeit“ nur eine Zustandsvariable, eine physikalische Qualität mit variabler, quantitativ meßbarer Intensität bedeuten. Insofern aber diese „Zustandsvariable“ durch das Verhältnis des von einem Körper (Körperteilchen) zurückgelegten Weges zu der hierzu erforderlichen Zeit definiert wird, setzt sie den Bewegungsbegriff voraus. Das ist zweifellos ein noch nicht überwundenes und gewiß nicht leicht zu überwindendes Provisorium. Ohne provisorische Annahmen, welche das Vorwärtskommen erleichtern, kommt aber keine theoretische Forschung aus, die Korpuskulartheorie so wenig wie die Kontinuitätstheorie. Die oben definierte, an den Bewegungsbegriff gebundene Geschwindigkeit ist keine Zustandsgröße, sie darf in einem vollendeten System der Nahwirkungsgesetze nicht mehr vorkommen. Hingegen kann in ihnen sehr wohl eine echte Zustandsgröße auftreten, deren Intensität unter gewissen, praktisch häufig zutreffenden Voraussetzungen mit hinreichender Annäherung der Geschwindigkeit entspricht, mit welcher sich die betreffende Zustandsstruktur

im Raumkontinuum fortpflanzt. Möglicherweise bringt die Lösung dieses Problems durch Ausschaltung des Bewegungsbegriffes aus der Kontinuitätstheorie gleichzeitig auch eine völlig befriedigende Lösung all jener Schwierigkeiten, welche mit dem Bewegungsbegriffe zusammenhängen und zur Aufstellung der Einsteinschen Relativitätstheorie geführt haben.

Jedenfalls muß, es sei nochmals betont, eine in sich konsequente Kontinuitätstheorie den ihr nicht adäquaten Bewegungsbegriff überwinden. Diese Erkenntnis erscheint nicht unwichtig, wenn man bemerkt, daß selbst Kant, der doch im Grunde vollkommen kontinuieritätstheoretisch eingestellt ist, in seinen „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“ behauptet, daß alle Veränderung im Raume Bewegung sein müsse.³⁷⁾

c) Aufbau der Jaumannschen Theorie im einzelnen. Ich habe in großen Zügen ein systematisch einheitliches kontinuieritätstheoretisches Weltbild zu zeichnen versucht. Wir haben das Idealbild, die Grundgedanken kennengelernt, welche vielfach und, wie wir ja soeben sahen, in wichtigen Punkten noch der tatsächlichen Durchführung harren. Wenn man aber bedenkt, daß zunächst Jaumann allein und später mit einem Mitarbeiter sich an die überwältigende Aufgabe wagte, die sogenannte „phänomenologische“ Betrachtungsweise, die ja dauernd in der Entwicklung der ganzen neueren Physik lebendig und für sie von entscheidender Bedeutung war, unter grundsätzlicher Ablehnung aller Korpuskularhypothesen zu einem einheitlichen und umfassenden kontinuieritätstheoretischen System auszugestalten, so muß das bereits Erreichte sehr hoch gewertet werden.

Jaumanns Schaffen war ein wesentlich intuitives und philosophische Reflexionen lagen ihm ziemlich ferne. Aus der Machschen Schule stammend, stand er dem Atomismus von vornherein vollkommen ablehnend gegenüber; er mußte also an die Lösung der

37) Es ist ihm aber die Materie nicht nur das Bewegliche im Raume, sondern auch raumerfüllendes Dasein, sie soll nicht nur eine extensive, sondern als Kraft auch eine intensive Größe sein, welche jeweils einen bestimmten Intensitätsgrad besitzt. Sie soll ferner vollkommen raumerfüllend und ins Unendliche teilbar sein, soll ein Kontinuum und kein Interruptum bilden. Bei einer chemischen Verbindung soll es sich um eine Durchdringung der Bestandteile handeln derart, daß alle den ganzen Raum des neuen Körpers erfüllen. (Vgl. Met. Anfangsgr., besonders II. Allg. Anm. zur Dynamik.) Das sind durchweg kontinuieritätstheoretische Gedanken.

Probleme vom Standpunkte „phänomenologischer“ Betrachtungsweisen herangehen, die sich aber während des systematischen Fortschreitens seiner Arbeiten, unter dem Einflusse seiner mächtigen Gestaltungskraft, ganz allmählich in ein neues System, in eine vollwertige Kontinuitätstheorie verwandelten. Die Entwicklung seiner Theorie empfängt ihre ersten starken und nachwirkenden Impulse durch die Aufgabe, die charakteristischen Eigenschaften der Kathodenstrahlen bzw. aller sogenannten „Korpuskularstrahlen“ durch eine Wellenstrahlung zu erklären.³⁸⁾ Jaumann hat sich auch experimentell mit den Kathodenstrahlen befaßt, hat, wie schon erwähnt, ihre elektrostatische Ablenkbarkeit entdeckt und eigenartige Erscheinungen aufgefunden und näher untersucht, welche er ungezwungen als „Interferenzerscheinungen“ zwischen Kathodenstrahlen deuten konnte. Diese Beobachtungen bestärkten ihn in seiner Überzeugung, daß die Kathodenstrahlen nicht durch äußerst rasch bewegte Elektronen, er hat diese Vorstellung gelegentlich einmal eine barbarische genannt, sondern nur als echte Wellenstrahlung theoretisch zu erklären seien. Allerdings konnte es sich hier nicht um elektromagnetische Wellen vom Typus der Maxwellschen handeln. Die elektrische und magnetische Ablenkbarkeit, die ladende Wirkung wiesen deutlich darauf hin, daß die neuen Wellen nur als Folge nichtlinearer Differentialgesetze verstanden werden können; die Maxwellschen Gleichungen des elektromagnetischen Feldes aber waren linear. Jaumann war sich der Notwendigkeit einer stetigen, kontinuierlichen Ausgestaltung der theoretischen Ordnungsformen wohl bewußt. Gibt es doch für jedes Vorwärtsschreiten unzählige Irrwege, jedoch nur einen richtigen. „Man muß sich zu jeder Erweiterung der Theorie, zu jedem neuen Schritt zwingen lassen“ — war sein Leitspruch. Der Zwang besteht eben darin, daß man mit dem vorhandenen Schema für eine adäquate Ordnung der Erfahrung nicht mehr auskommt. Dieser Fall lag für eine Undulationstheorie der Kathodenstrahlen in bezug auf die linearen Maxwellschen Gleichungen vor. Die geringste Änderung, durch welche ihnen ihre Linearität genommen werden konnte, bestand darin, daß man die „dielektrische Konstante“,

38) Ein Verzeichnis der Jaumannschen Arbeiten findet sich in meinem Nachruf: „Gustav Jaumann“. Phys. Ztschr. 26, 1925. S. 189. Merkwürdigerweise entwickeln L. de Broglie (Thèses, Paris 1924) und A. Einstein (Berl. Ber. 1924 und 1925) neuerdings auch eine Art „korpuskulartheoretischer Undulationstheorie“ der „bewegten Korpuskel“, indem sie diese lediglich als ausgezeichnete Stelle einer den Weltgrund bildenden Wellenstrahlung auffassen.

welche in der elektrischen Gleichung als Faktor der Fluxion der elektrischen Feldvariablen auftritt, nicht als Materialkonstante, sondern als Funktion von Zustandsvariablen auffaßte. Indem Jaumann so eine „Materialkonstante“ durch eine Zustandsfunktion ersetzte, machte er einen Schritt in jener Richtung, welche im Sinne unserer systematischen Überlegungen von den provisorischen zu den vollendeten Nahwirkungsgesetzen führt. Die so in die Maxwell'schen Gleichungen neueingeführten, als „stoffliche“ bezeichneten Zustandsvariablen, erforderten auch neue Nahwirkungsgesetze zur Bestimmung ihrer Fluxionen. Bei der Aufstellung der neuen Nahwirkungsgesetze ließ sich Jaumann von dem allgemeinen Analogieprinzip leiten, dessen Bedeutung für die theoretische Forschung besonders Mach scharf betont hatte. Der innere Grund für die Bedeutsamkeit der Analogie liegt natürlich darin, daß es sich bei jeder Analogie bis zu einem gewissen Grade und für einen bestimmten Gesichtspunkt der Betrachtung um das Wiedererkennen einer Form in einer anderen handelt. Auf Grund der Beobachtungen hatte Jaumann geschlossen, daß die Kathodenstrahlen durch longitudinale Wellen dargestellt werden müssen. Longitudinale Wellen sind nun auch die Schallwellen; bei diesen werden die periodisch veränderlichen, gerichteten Verschiebungen in dem schwingenden Gase von periodischen Veränderungen der Dichte begleitet, welche keine Richtung besitzt, also jeweils durch einen Zahlenwert charakterisiert werden kann. Solche Größen nennt man „Skalare“, im Gegensatz zu den Vektoren, die nicht durch eine Zahl, sondern durch eine gerichtete Strecke bzw. durch deren Komponenten, nämlich ihre 3 Projektionen auf die Koordinatenachsen, also erst durch drei Zahlenangaben bestimmt sind. Auch die neuen Zustandsgrößen waren solche Skalare, während die elektrische und ebenso die magnetische Zustandsgröße Vektoren sind. In den elektrostofflichen Longitudinalwellen mußten somit die gerichteten Schwingungen des elektrischen Vektors von skalaren Schwingungen der stofflichen Zustandsvariablen begleitet sein, in voller formaler Analogie zu den Schallwellen. Jaumann schloß demgemäß, daß die Nahwirkungsgesetze der stofflichen Zustandsvariablen analog gebaut sein müssen, wie das bekannte Nahwirkungsgesetz (die Kontinuitätsgleichung), das die Fluxion der Dichte bestimmt und gelangte so zu dem ersten Ansatz für die gesuchten, neuen Nahwirkungsgesetze, der dann allerdings schrittweise und systematisch noch wesentlich ausgestaltet werden mußte.

Durch gewisse Überlegungen, auf die hier nicht näher einge-

gangen werden kann, kam Jaumann zu der Überzeugung, daß es auch „stoffliche Eigenschwingungen“ geben müsse, genau so, wie ein sich selbst überlassenes Pendel mit einer ganz bestimmten Frequenz mit seiner „Eigenschwingung“ schwingt. Wie bei den Pendelschwingungen eine andauernde Energieverwandlung zwischen potentieller und kinetischer Energie stattfindet, so muß jeder Schwingungsvorgang von periodischen Umsetzungen verschiedener Energieformen ineinander begleitet sein. Die stofflichen Zustandsvariablen mußten dementsprechend durch ihre Nahwirkungsgesetze paarweise so verkoppelt sein, daß die ihnen entsprechenden Energien sich wechselseitig ineinander verwandeln konnten. Die Verkoppelung bewirkte automatisch, daß die periodischen Energieverwandlungen mit einer bestimmten Eigenfrequenz erfolgen mußten. Wollen wir aber wohl beachten, daß es sich bei den Schwingungen der Zustandsvariablen durchaus nicht um periodische Ortsveränderungen, um Bewegungsvorgänge handelt, wie bei den Pendelschwingungen, sondern lediglich um periodische Änderungen ihrer Intensität. Man denke etwa zur Veranschaulichung an periodische Schwankungen der Intensität einer Lichtquelle, beispielsweise eine Glühlampe. Da die stofflichen Nahwirkungsgesetze auch mit dem Nahwirkungsgesetz der elektrischen Zustandsgröße, des elektrischen Vektors verkoppelt sind, werden sie durch Schwingungen des elektrischen Vektors zu „erzwungenen“ Schwingungen angeregt, so wie man ja auch ein Pendel durch eine äußere periodische Kraft zwingen kann, im Rhythmus dieser äußeren Kraft zu schwingen. Die so zustande kommenden elektrostofflichen Longitudinalwellen pflanzen sich dann durch das Raumkontinuum mit einer bestimmten Geschwindigkeit fort, und man kann zeigen, daß ihr aus den Nahwirkungsgesetzen folgendes Verhalten, falls ihre Frequenzen innerhalb gewisser, durch die Werte der Eigenfrequenzen bestimmter Grenzen liegen, dem der Kathodenstrahlen vollkommen entspricht. Für andere Frequenzbereiche ergibt sich das charakteristische Verhalten der Kanalstrahlen so, daß die Kontinuitätstheorie die sogenannten „Korpuskularstrahlen“ einheitlich durch longitudinale elektrostoffliche Wellen darstellt. Für die Frequenzbereiche der Kathodenstrahlen nimmt die Intensität der Schwingungen stark zu (sie werden negativ gedämpft, sie werden emittiert), wenn sie sich im starken elektrischen Felde (wie es in der Umgebung der Kathode vorhanden ist) entgegen der Feldrichtung ausbreiten, für die Frequenzbereiche der Kanalstrahlen gilt das Umgekehrte. Auf weitere Einzelheiten dieses sehr umfangreichen Gebietes können wir hier nicht eingehen, nur zwei Bemerkungen sollen

noch Platz finden. Aus der Korpuskulartheorie folgt ein ganz bestimmter Ablenkungssinn für die Ablenkung der Kathodenstrahlen im elektrostatischen Felde (die negativ elektrisch geladenen Elektronen müssen von einem negativ geladenen Körper abgestoßen werden); nach der Jaumannschen Theorie kann aber unter Umständen auch eine Ablenkung im umgekehrten Sinne erfolgen. Solche „verkehrte“ Ablenkungen wurden von Jaumann tatsächlich beobachtet³⁹⁾, ihre Deutung seitens der Korpuskulartheorie steht noch aus. Die zweite Bemerkung betrifft die bei den radioaktiven Prozessen auftretenden, den Kanalstrahlen wesensverwandten α -Strahlen, welche, wie wir gehört haben, nach der Korpuskulartheorie rasch bewegte Heliumkerne sein sollen. Die α -Strahlen besitzen nun eine charakteristische „Reichweite“, das heißt, sie pflanzen sich nur durch eine Gasschicht von jeweils ganz bestimmter Dichte fort und werden dann auf einer ganz kurzen Wegstrecke völlig absorbiert. Man kann das etwa mittels der Lichtblitze, der sogenannten Szintillationen, nachweisen, welche die α -Strahlen auf einem Zinksulfidschirm hervorrufen. Entfernt man den Schirm immer weiter von dem radioaktiven Präparat, so hören bei einer bestimmten Entfernung die Szintillationen plötzlich auf. Jaumann zeigte, daß dieses Verhalten aus seiner Theorie folge, wenn man die α -Strahlen als elektrostoffliche Longitudinalstrahlen von relativ großer Intensität auffaßt (die endliche Reichweite, die plötzliche starke Absorption erklären sich durch Vorgänge, die dem Verdichtungsstoß bei Schallwellen großer Intensität analog sind). Er konnte ferner zeigen, daß es theoretisch möglich ist, derartige Longitudinalstrahlen mit sehr kleinen Querschnitten zu erzeugen, woraus es verständlich wird, daß man auf einem von α -Strahlen getroffenen Szintillationsschirm mit der Lupe einzelne, diskrete Lichtblitze beobachten kann. Die Korpuskulartheorie sieht in jedem Lichtblitze die Wirkung je eines auffallenden α -Teilchens und verwendet diese Methode zur Zählung der von einer radioaktiven Substanz ausgesandten α -Teilchen. Das ist einer der für die Korpuskulartheorie so wichtigen Fälle, wo sie es, im Rahmen ihres theoretischen Schemas natürlich, mit der Wirkung einzelner atomistischer Teilchen zu tun hat. In der Regel muß sie ja das Übermaß an Bestimmungsstücken ihres theoretischen Schemas erst wieder durch Mittelwertbildungen, durch statistische

39) Wenn man solche Ergebnisse lediglich mit dem Hinweise, daß es sich um „unreine“ Versuchsanordnungen handle, abtun will, sollte man bedenken, daß das Urteil über die Reinheit von Versuchsbedingungen selbst schon ein bestimmtes theoretisches Schema voraussetzt.

Überlegungen überwinden, um die Aussagen der Theorie auf die Erfahrung anwenden zu können.

Die Nahwirkungsgesetze der stofflichen Variablen gestatten nun auch mit einem Schlage die Erklärung der „höheren optischen Erscheinungen“ (Dispersion, elektrische und magnetische Doppelbrechung, natürliche und magnetische Drehung der Polarisationssebene, Zeemaneffekt usw.), welche durch die ursprünglichen, linearen Maxwell'schen Gleichungen allein nicht dargestellt werden konnten und von der klassischen Elektronentheorie durch die korpuskulare Struktur der Materie, durch das Mitschwingen der „quasielastisch“ an ihre Ruhelagen gebundenen, elektrisch geladenen Korpuskeln erklärt worden waren. Was bei Jaumann von den elektromagnetischen Wellen des Lichtes zum Mitschwingen gebracht wird, sind die stofflichen, bestimmte Eigenschwingungen besitzenden Zustandsvariablen. Die in Raum und Zeit kontinuierlich veränderlichen Intensitäten der Zustandsvariablen ändern im Rhythmus der Welle periodisch ihre Werte, während nach der Korpuskulartheorie diskrete Korpuskeln periodische Ortsveränderungen, periodische Bewegungen ausführen sollen.

Diesen großen Fortschritt seiner Theorie erreichte Jaumann im wesentlichen lediglich dadurch, daß er in den Nahwirkungsgesetzen der stofflichen Zustandsvariablen, wie er sie zur Lösung des Problems einer Undulationstheorie der „Korpuskularstrahlen“ gestaltet hatte, den Spezialfall einer allgemeineren Form erkannte. Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal der allgemeineren Form gegenüber der ursprünglichen liegt darin, daß die stofflichen Zustandsgrößen keine skalaren Größen (deren Wert jeweils durch eine Zahlenangabe bestimmt ist), sondern kompliziertere mathematische Gebilde, sogenannte Dyaden, sind (welche durch neun Zahlen charakterisiert werden können). Diese Andeutung muß uns hier genügen. Natürlich können wir im Rahmen dieser Schrift überhaupt nicht die ganze Kontinuitätstheorie in ihrem heutigen Umfange behandeln, wie uns das ja auch bei der Korpuskulartheorie nicht möglich war.

Das bisher Erörterte hat wohl schon einen Begriff von der konsequenten, systematischen Entwicklung gegeben, welche die Kontinuitätstheorie durch Jaumann erfahren hat. Es sei nun nur noch kurz erwähnt, daß es Jaumann in stetig fortschreitender Arbeit, mit Benützung bekannter „phänomenologischer“ Ergebnisse, durch Eingliederung schon früher aufgestellter Nahwirkungsgesetze in sein geschlossenes System schließlich gelang, mit seiner Kontinuitätstheorie das ganze physikalische Geschehen, wenigstens in seinen charakteristischen Erscheinungen einheitlich zu erklären.

Aus der universalen Natur seines systematischen Schaffens ist es verständlich, daß er auf den verschiedensten Gebieten der Physik theoretische Leistungen aufzuweisen hat. Hier soll nur seine hochbedeutsame Nahewirkungstheorie der Gravitation besonders genannt werden, die vor den Theorien von Abraham, Nordström, Mie und Einstein entstanden ist und eine prinzipiell außerordentlich befriedigende Darstellung unseres Erfahrungsmaterials auf diesem Gebiete ermöglicht (es folgt aus ihr z. B. eine weitgehende mechanische Stabilisierung der Planetenbahnen sowie eine energetische Stabilisierung des Sonnensystems).

Auch das Gebiet der chemischen Erscheinungen hat Jaumann durch Nahewirkungsgesetze zu beherrschen versucht. Den ganz der Naturphilosophie des Anaxagoras entsprechenden Grundgedanken möchte ich so formulieren: Jedes chemische Element im ungebundenen und in allen möglichen gebundenen Zuständen ist dauernd und überall vorhanden, nur gewissermaßen in verschiedener und wechselnder Intensität. Jedem Element und jedem seiner chemischen Bindungszustände entspricht je eine Zustandsgröße, deren Intensität die Konzentration, die Teildichte mißt, welche dem betreffenden Elemente in dem betreffenden Bindungszustande und in einem bestimmten Raum-Zeit-Punkte zukommt. Besitzt in einem Raumgebiete zu einer bestimmten Zeit nur ein chemisches Element eine merkliche Intensität, also merkliche Dichte, so verschwinden praktisch alle jene Glieder in den einzelnen Nahewirkungsgesetzen, welche von der Intensität, von den Teildichten anderer chemischer Elemente abhängen, woraus sich das Auftreten bzw. das Hervortreten der Eigenschaften des betreffenden chemischen Elementes im betrachteten Raumteile erklärt. Durch die Nahewirkungsgesetze dieser neuen, „chemischen“ Zustandsvariablen (denen das Guldberg-Waagesche Massenwirkungsgesetz zugrunde liegt) müssen natürlich die charakteristischen Erscheinungen der Chemie dargestellt werden, sie beherrschen überdies die Erscheinungen der „Diffusion“, „Elektrolyse“ usw. Ohne auf Einzelheiten eingehen zu können, soll nur an einem besonders einfach gewählten, schematischen, mit der tatsächlichen Form der Jaumannschen Nahewirkungsgesetze nicht übereinstimmenden Beispiele gezeigt werden, daß Sätze, wie das Gesetz der konstanten Proportionen, bei denen es sich also um konstante Verhältnisse handelt, ohne weiteres aus Nahewirkungsgesetzen verstanden werden können. Es seien etwa s und r die Teildichten zweier chemischer Elemente, a und b konstante Zahlen, dann würde aus

$$\frac{ds}{dt} = br - as$$

folgen, daß sich s solange verändern muß, bis die rechte Seite der Gleichung verschwindet, also bis

$$\frac{r}{s} = \frac{a}{b}$$

geworden ist.

Wie schon betont wurde, ist die Form der chemischen Nahwirkungsgesetze viel komplizierter und es ist ihre Anzahl, wie auch jene der stofflichen Nahwirkungsgesetze sehr groß. Wenn man aber der Jaumannschen Theorie gelegentlich vorwirft, daß sie mit einer so großen Anzahl von Zustandsvariablen und Konstanten arbeite, und behauptet, daß man mit solchen Mitteln schließlich alles darstellen, aber nichts erklären könne, so müssen wir dagegen mit aller Entschiedenheit betonen, daß ein derartiger Vorwurf nur dann berechtigt wäre, wenn es sich um eine willkürliche, eine unsystematische Häufung von Nahwirkungsgesetzen handeln würde. Daß davon keine Rede sein kann, haben wohl schon unsere knappen Ausführungen deutlich gezeigt. Gewiß ist die Kontinuitätstheorie in ihrer heutigen Gestalt einer weiteren Entwicklung auch in systematischer Hinsicht noch bedürftig, aber, und zwar innerhalb des Rahmens der ihr eigentümlichen Systemform, auch fähig. Das theoretische Grundsche ma ist fest umrissen und klar vorgezeichnet, es muß nur einerseits nach der Breite in allen Einzelheiten immer weiter ausgebaut und andererseits in systematischer Hinsicht immer schärfer zur Geltung gebracht werden.

Wenn umfangreiche Gruppen von Nahwirkungsgesetzen formal identisch oder wenigstens formal analog gebaut sind, so repräsentiert, wie schon betont wurde, jede dieser Gruppen eben tatsächlich eine einzige mathematische Ordnungsform.

Eine schärfere, systematisch befriedigendere Zusammenfassung bzw. Zusammenschweißung der Nahwirkungsgesetze kann, soweit ich augenblicklich sehe, auf zwei Wegen angestrebt werden. Der eine Weg, der, wie ich glaube, Jaumann vorschwebte, müßte das Ziel verfolgen, exakte, mathematisch formulierte Prinzipien zur Erzeugung der Nahwirkungsgesetze aufzustellen. Ob die Lösung des Problems durch Variationsprinzipien, etwa von der Art des Hamiltonschen möglich ist, oder ob vielleicht ein Verfahren gesucht werden muß, um die Nahwirkungsgesetze durch eine einheitlich

geordnete Reihe von Entwicklungsschritten aufzubauen, wobei die universellen Konstanten der Nahewirkungsgesetze auseinander etwa durch ganzzahlige Schritte gewonnen würden, kann heute natürlich nicht entschieden werden.

Der zweite Weg weist nach einer Richtung, in welcher der Verfasser dieser Schrift anlässlich seines Versuches einer Kontinuitätstheorie der Wärmestrahlung⁴⁰⁾ (auch Jaumann hatte eine Theorie der Wärmestrahlung und der Lichtemission entwickelt)⁴¹⁾ ein Stück vorwärts gegangen ist. Der Grundgedanke dieser Richtung läßt sich etwa so skizzieren: Die große Anzahl der Zustandsvariablen ist in erster Linie eine Folge der großen Anzahl der chemischen Elemente und ihrer Verbindungen. Sie muß sich auf eine kleine Anzahl reduzieren lassen, wenn es gelingt, die einzelnen Stoffe statt durch eigene Zustandsvariable, durch gewisse Wertbereiche derselben Zustandsvariablen zu charakterisieren. Der relativen Konstanz der einzelnen chemischen Stoffe gemäß müssen dann auch die Nahewirkungsgesetze dieser Zustandsvariablen, nennen wir sie etwa die „chemischen Grundvariablen“, so beschaffen sein, daß deren Gleichgewichtswerte relativ stabil sind, das heißt, daß sie nur unter ganz bestimmten Bedingungen aus einem Wertbereiche in einen anderen hinübergelangen können. Denken wir zur Veranschaulichung etwa an eine wellenförmig verlaufende Bahn, auf welcher ein Wagen rollen kann. Seine horizontal vom Anfangspunkte der Bahn gemessene Entfernung soll der Intensität der Zustandsvariablen entsprechen. Befindet sich der Wagen gerade in einem Tale in Ruhe, so kann er nicht von selbst in ein anderes, selbst nicht ein tieferliegendes Tal hinübergelangen. Es bedarf hierzu eines Anstoßes von solcher Stärke, daß er über den dazwischen liegenden Berg hinüberrollen kann, andernfalls würde er nur innerhalb seines alten Tales hin- und herpendeln und schließlich in seiner alten Gleichgewichtslage wieder zur Ruhe kommen. Die tiefsten Stellen der einzelnen Täler entsprechen also den relativ stabilen Gleichgewichtslagen, sie sind durch ihre Stabilitätseigenschaft ausgezeichnete, diskrete Punkte mit ganz bestimmten Horizontalentfernungen vom Anfangspunkte der Bahn und untereinander. Der Wagen durchläuft seine Bahn kontinuierlich, er kann sich in jedem beliebigen Abstände vom Anfangspunkte befinden, aber nur in ganz bestimmten, diskreten

40) E. Lohr, „Wärmestrahlung und Kontinuitätstheorie“. Wiener Denkschr. 99, 1924. S. 11.

41) G. Jaumann, „Physik der kontinuierlichen Medien“. Wiener Denkschr. 95, 1918. S. 189.

Punkten der Bahn in Ruhe verharren. Natürlich handelt es sich tatsächlich nicht um die Bewegungen eines Körpers, sondern um die Intensitätsänderungen einer Zustandsvariablen; nicht um eine wellenförmige Bahn, sondern um eine spezielle mathematische Form des Nahwirkungsgesetzes. Auch diese Lösungsmöglichkeit unseres systematischen Problems ist vorläufig eben nur eine Möglichkeit, ich habe sie hier aber schon darum besprechen zu müssen geglaubt, weil sie gleichzeitig zeigt, daß das Auftreten diskreter ausgezeichneter Werte innerhalb des Intensitätskontinuums der Zustandsvariablen ohne Zuhilfenahme irgendwelcher Korpuskeln oder Quanten rein Kontinuitätstheoretisch verstanden werden kann. Bei genauerer Überlegung vermag man unschwer einzusehen, daß auch das von den Quantentheoretikern in so ausgedehntem Maße und mit soviel Erfolg behandelte Gebiet der Serien- und Bandengesetze prinzipiell durch derartig geformte Nahwirkungsgesetze erfassbar sein muß.

Woran es der Kontinuitätstheorie heute fehlt, sind nicht die Entwicklungsmöglichkeiten, wohl aber die Arbeitskräfte, um diese Möglichkeiten voll auszunützen und die Theorie in kurzer Zeit auf jene Höhe der Vollkommenheit hinaufzuführen, deren sie fähig ist.

5. ABSCHLIESSENDE ERÖRTERUNGEN ALLGEMEINER UND KRITISCHER ART

Wir fassen zusammen: Es gibt eine Kontinuitätstheorie mit einer ganz im Kontinuum wurzelnden und diesem adäquaten einheitlichen Systematik. Es gibt eine Kontinuitätstheorie nicht nur als unklares Programm, sondern als streng umrissene und auch im einzelnen verhältnismäßig weit durchgebildete exakte, mathematische Ordnungsform der physikalischen und chemischen Erscheinungen. Man könnte diese etwas pathetisch klingende Konstatierung einer Tatsache zumindest überflüssig finden, daß sie es nicht ist, beweisen, um nur ein Beispiel herauszugreifen, die Worte eines so hervorragenden und führenden Forschers wie A. Sommerfeld. Er sagt in seinem bekannten Buche „Atombau und Spektrallinien“⁴²⁾: „Der Atomismus der Materie besteht solange, wie es eine wissenschaftliche Chemie gibt; er ist für das Verständnis des chemischen Grundgesetzes, des Gesetzes von den multiplen Proportionen, unentbehrlich. Trotzdem hat es nicht an Gegnern der Atomistik gefehlt. Goethe war ein Gegner der Atomistik; es widerstrebte ihm,

42) Bei Vieweg in Braunschweig. 4. Aufl. 1924. S. 3.

den schönen Schein der Phänomene durch Zergliederung und menschliche Zutat zu stören. Auch der bedeutende Naturforscher und Naturphilosoph Ernst Mach sah die ‚Atomhypothese‘ als etwas Vorübergehendes an; er bevorzugte die Beschreibung der Vorgänge im Sinne kontinuierlich verteilter Stoffe und kontinuierlich wirkender Gesetze. Der letzte (inzwischen bekehrte) Gegner der Atome war der geistreiche Energetiker Wilhelm Ostwald. Heutzutage sind die Einwände gegen die Atomistik verstummt, angesichts ihrer schlagenden Erfolge auf allen Gebieten der physikalischen Erkenntnis.⁴³⁾ Viel hat dazu die restlose Erklärung der Brownschen Molekularbewegung beigetragen, welche die wärmetheoretische Seite der Atomhypothese in Flüssigkeiten augenfällig bestätigt. Nicht minder eindrucksvoll zeugt für den atomistischen Aufbau der festen Körper die Lauesche Entdeckung, die wir im 4. Kapitel besprechen werden. Neben dem Atomismus der Materie stellt sich als eine notwendige Folge desselben der Atomismus der Elektrizität.“

Daß der Atomismus für das Verständnis des Gesetzes der multiplen Proportionen nicht unentbehrlich ist, haben wir gezeigt. Auf die sogenannte Brownsche Molekularbewegung näher einzugehen, würde uns hier zu weit führen. Es handelt sich um die von dem Botaniker Brown (1827) entdeckte andauernde, unregelmäßige Bewegung sehr kleiner, in eine Flüssigkeit eingebetteter Teilchen, als deren Ursache die Atomistik die andauernde, unregelmäßige Wärmebewegung der Moleküle ansieht. Sie ist vom Standpunkte der Jaumannschen Theorie prinzipiell ohne weiteres verständlich, wenn man berücksichtigt, daß die „Spannungsdynamik“ und vermöge dieser die auf die kleinen Teilchen wirkenden Kräfte von Zustandsvariablen abhängen, deren Intensitäten natürlich nie exakt konstant sein, sondern stets kleinen Schwankungen unterliegen werden. Während sich die hierdurch bedingten Kraftschwankungen bei größeren Körpern durchschnittlich aufheben, müssen sie bei hinreichend kleinen andauernde, unregelmäßige Bewegungen veranlassen. Was schließlich die Lauesche Entdeckung anbelangt, welche uns lehrte, daß beim Durchgange von Röntgenstrahlen durch Kristalle eigenartige, charakteristische „Beugungserscheinungen“ auftreten (wieder können wir nicht auf Einzelheiten eingehen), so beweist sie durchaus nicht, daß die Kristalle, wie es die Atomistik will, aus einem regelmäßigen Netzwerke von Atomen bestehen. Ich habe ganz kürzlich in meiner Arbeit

43) Von mir gesperrt.

„Kontinuitätstheorie der Röntgenstrahlausbreitung in Kristallen“⁴⁴⁾ zeigen können, daß die Jaumannsche Idee einer räumlich periodischen, jedoch kontinuierlichen Struktur der Kristalle völlig ausreicht, um die beobachteten Erscheinungen mathematisch exakt darzustellen. Wir erkennen an diesen Beispielen, wie recht W. Voigt⁴⁵⁾ hat, wenn er in bezug auf derartige atomistische Beweisverfahren sagt: „Und bei alledem liegt noch die Gefahr vor, daß ein Resultat, ein theoretisch gewonnenes Gesetz, das auf dem genannten Wege gewonnen ist und das man . . . geneigt sein wird, als eine wenigstens teilweise Bestätigung der zugrundegelegten Molekularkhypothese zu betrachten, im Grunde gar nicht auf derselben ruht, sondern auf gewissen allgemeineren Eigenschaften der benutzten Hypothese, auf ihrer Übereinstimmung mit gewissen allgemeinen physikalischen Prinzipien und mit den natürlichen Symmetrieverhältnissen des betrachteten Vorganges, die ebensowohl bei einer phänomenologischen Behandlungsweise zur Geltung gebracht werden können.“

Es gibt keine „experimentellen Beweise“ für die Existenz der Korpuskeln; und darum hätte man nur dann das Recht, sie „wirklich“ zu nennen, wenn man überzeugt sein könnte, daß sie ein notwendiger Bestandteil jedes theoretischen Weltbildes der Physik sein müssen; gerade einer derartigen Behauptung aber widerspricht die Kontinuitätstheorie durch die Tat. Ich glaube natürlich ebensowenig daran, daß die Korpuskulartheorie experimentell widerlegt werden könnte; sie braucht ja nur, wie sie schon die Atome, ja die Atomkerne in Korpuskeln aufgelöst hat, zu immer feineren Unterteilungen überzugehen⁴⁶⁾, Quantenhypothesen zu Hilfe zu rufen usw., um sich unbegrenzte Entwicklungsmöglichkeiten zu sichern.

Ich habe, obwohl ich selbst Kontinuitätstheoretiker bin, mich bemüht, die beiden physikalischen Weltbilder so unvoreingenommen und sachlich, als es mir möglich war, zu entwerfen. Ich habe nicht zurückgehalten mit der vollen Anerkennung der zahlreichen Erfolge der Korpuskulartheorie auf den verschiedensten Gebieten, ich habe nicht verschwiegen, daß sich die Kontinuitätstheorie derzeit, was ihre Durchbildung im einzelnen betrifft, nicht mit der durch so viele

44) Wiener Ber. 133, 1924. S. 517.

45) a. a. O. S. 723, ebenso in der 2. Aufl. S. 807.

46) Mies verschiedener Zustände fähige Elektronen, siehe Anm. a. a. O.

Forscher geförderten Korpuskulartheorie messen kann. Für die „phantasievollen Köpfe“ — wie sie Duhem nennt — werden die Korpuskeln bzw. die aus ihnen aufgebauten Atommodelle stets viel Verlockendes haben. W. Thomson, ein Physiker allerersten Ranges, sagt beispielsweise in seinen Vorlesungen über molekulare Dynamik: „Ich bin niemals zufrieden, bevor ich von dem Gegenstande, den ich studiere, ein mechanisches Modell konstruieren kann. Wenn ich ein mechanisches Modell machen kann, verstehe ich, wenn ich keins machen kann, verstehe ich nicht.“ Wir haben schon darauf hingewiesen, daß die Bewegungen von Körpern zu unseren alltäglichsten Erfahrungen gehören, daß aber die exakte Anwendung des Bewegungsbegriffes begrenzte, stets wiedererkennbare Substanzteile voraussetzt und so zur Korpuskulartheorie hinüberleitet. Wer nur dann zu „verstehen“ meint, wenn er eine Erscheinung auf die Bewegung von Korpuskeln oder allgemeiner auf mechanische Modelle zurückführen kann, der ist noch in arger erkenntnistheoretischer Naivität befangen. Gewiß wäre an und für sich die mechanische eine denkbare Ordnungsform für das Naturgeschehen, und man müßte dann in allem Geschehen diese Ordnungsform wiederzuerkennen trachten. Dafür aber, daß gerade die Mechanik von vornherein als jene Ordnungsform bezeichnet wird, welche allein die übrigen Erscheinungen zu erklären vermag, liegt gar kein theoretischer Grund vor, wenn man nicht der naiven Meinung ist, die mechanischen Erfahrungen seien uns, weil von Jugend auf vertraut, auch schon an sich „verständlich“. Hingegen bedeutet die Vertrautheit mit den Grundelementen der Mechanik zweifellos einen gewissen praktischen Vorteil bei der Verwendung mechanischer Modelle zur Darstellung anderer Erscheinungen, und der heuristische Wert atomistischer Vorstellungen beruht wohl zum großen Teile auf diesem Umstande. Trotzdem es sich in der modernen Korpuskulartheorie um elektrisch geladene, in ein kontinuierliches Feld eingebettete Korpuskeln handelt, spielen auch in ihr die Bewegungen der Korpuskeln, also das mechanische Element, eine entscheidende Rolle. Übrigens ist der heuristische Wert modellmäßiger Vorstellungen wohl nicht ganz so groß, als gewöhnlich angenommen wird. Der Irrtum entsteht, wie Duhem⁴⁷⁾ sehr richtig betont, dadurch, daß dem Gebrauche von Modellen oft Entdeckungen zugeschrieben werden, die tatsächlich auf ganz anderem Wege zustande gekommen sind. Als ein Beispiel aus allerjüngster Zeit erwähne ich,

47) a. a. O. S. 121.

daß M. Planck ⁴⁸⁾ sein berühmtes Strahlungsgesetz zunächst durch rein phänomenologische Überlegungen entdeckte und die Quantenhypothese erst nachträglich schuf, um eine korpuskulartheoretische Begründung dieses Gesetzes zu ermöglichen.

Jedenfalls haben wir, meiner Überzeugung nach, den wesentlichen Wertmaßstab für die Beurteilung einer Theorie weder in der Anzahl der Teilerfolge zu suchen, welche ja durch den zufälligen Umstand des jeweiligen Ausbildungsgrades der Theorien, sowie durch die der vorherrschenden theoretischen Fragestellung mehr oder minder folgende spezielle Einstellung der gesamten Experimentalforschung bedingt sind, noch auch in ebenso zufälligen, praktischen Augenblicksvorteilen, die letzten Endes davon abhängen, welche Ordnungsformen einer Generation von Forschern in besonderem Maße vertraut sind, sondern lediglich in der Angemessenheit und inneren Einheit der Methode. Ich habe darum das Hauptgewicht darauf gelegt, diese Angemessenheit und innere Einheit der von Jaumann begründeten modernen Kontinuitätstheorie herauszuarbeiten und zu zeigen, daß sie in dieser Hinsicht der Korpuskulartheorie entschieden überlegen ist. Um so wichtiger schien mir das, als man vielfach geneigt ist, die mehr oder weniger auseinanderfallenden „phänomenologischen“ Einzelgesetze mit der in sich geschlossenen Systematik der Kontinuitätstheorie zu verwechseln.

Wenn ein so klarer, objektiver und weitschauender Denker wie H. Weyl in seinem schon zitierten Aufsätze sich wohl ausführlich mit der Mieschen „Feldtheorie“ befaßt, die wesentlich ältere und radikalere Kontinuitätstheorie aber gar nicht erwähnt, so zeigt das wohl deutlich, wie wenig das Werk Jaumanns bisher bekannt geworden ist und in seiner fundamentalen Bedeutung gewürdigt wird. G. Mie's gewiß hervorragende Leistung war der Versuch, die innere Zwiespältigkeit der Korpuskulartheorie dadurch zu überwinden, daß er die Korpuskeln als eine notwendige Folge der Eigengesetzlichkeit des kontinuierlichen Feldes verstehen und erklären wollte. Was aber bei einem solchen Versuch bestenfalls herauskommen kann, ist doch wieder nur eine Art kontinuierstheoretischer Korpuskulartheorie; die Korpuskeln, ihre Konfigurationen und relativen Bewegungen bleiben nach wie vor ein integrierender Bestandteil dieser Ordnungsform des Naturgeschehens. Das kann auch gar nicht anders sein, denn wenn man mit einem Minimum an Feldgesetzen, also an Nahewirkungsgesetzen auskommen will, so muß man, als Ersatz für die

48) „Physikalische Rundblicke.“ „Die Entstehung und bisherige Entwicklung der Quantentheorie.“ Leipzig 1922. S. 154.

fehlenden Zustandsvariablen, eine prinzipiell unbeschränkte Mannigfaltigkeit von Korpuskeln und korpuskularen Strukturen zur Verfügung haben, um der ungeheuren Mannigfaltigkeit des sinnlich Gegebenen gerecht werden zu können. Es will mir scheinen, daß eine „Kontinuitätstheorie“, die aus sich heraus zu Korpuskeln, wenn auch nur in der Form von „Energieknoten“ führt, gewissermaßen ihre eigenen Prinzipien verleugnet. Zumindest handelt es sich um eine höchst merkwürdige Spezialisierung der kontinuierlichkeitstheoretischen Ordnungsform, welche ihre Begründung nur in ihrer unausweichlichen Notwendigkeit finden könnte. Daß aber die Korpuskeln, daß der Atomismus, in welcher Gestalt immer, keine notwendige Voraussetzung einer systematischen Ordnung der sinnlich gegebenen Mannigfaltigkeit ist, das haben wir ja ausführlich erörtert. Wir haben auch schon gehört, daß die Miesche Theorie vorläufig jedenfalls nur ein Programm ist; in der die physikalische Forschung heute tatsächlich beherrschenden Korpuskulartheorie ist der Dualismus von diskreten, in sich beständigen Korpuskeln und Feldkontinuum nicht überwunden, die innere Zwiespältigkeit wirkt sich deutlich aus in den Schwierigkeiten und Problemen der Quantentheorie, welche in gewissem Sinne die atomistische Begriffsbildung auch in das Zeitkontinuum hineinträgt. Sehr fesselnd ist der von Weyl geäußerte Gedanke, nach welchem die Korpuskeln, also die „Materieteilchen“, gleich wie die Leibnizschen Monaden überhaupt nichts Räumliches mehr sein sollen, nicht einmal Punkte im Feldkontinuum. Sie sollen nur in einer räumlichen Umgebung darinnen stecken, von welcher ihre Feldwirkungen ausgehen. Die Möglichkeit für diese Formulierung bietet ihm Einsteins allgemeine Relativitätstheorie, innerhalb welcher der Raum nicht mehr die Zusammenhangsverhältnisse des Euklidischen Raumes zu besitzen braucht. „Was dieses felderregende Agens aber seinem inneren Wesen nach auch sein mag — vielleicht Leben und Willen —, in der Physik betrachten wir es nur nach den von ihm ausgelösten Feldwirkungen und können es auch nur vermöge der Feldwirkungen zahlenmäßig charakterisieren. So hat es die Physik im Grunde doch allein mit dem Felde zu tun, jenem extensiven, strukturbegabten Medium, das alle die verschiedenen inextensiven, materiellen Individuen zu dem Wirkungsganzen ‚Außenwelt‘ zusammenbindet.“ Das zweifellos Bestechende dieses kühnen Gedankenfluges hat, worauf Weyl selbst hinweist, seinen tieferen Grund wohl in der Analogie mit dem unräumlichen „Ich“, dessen Wirkungen durch den Leib hindurch an einer bestimmten Stelle des Weltkontinuums entspringen. Mit dieser Erkenntnis setzt

aber auch die Kritik ein. Zunächst kann unser Ich, als ein sinnvoll wollendes und handelndes, gar nicht durch die Ordnungsform des eindeutig und notwendig bestimmten Naturgeschehens erfaßt werden, es gehört einer ganz anderen theoretischen Sphäre an und vermag als völlig heterogener Begriff auch keinen Analogieschluß für die Postulierung einer atomistischen Struktur der Materie zu begründen. Sodann können wir aber gerade umgekehrt schließen: Wenn der Dualismus von Geist und Materie (oder wie man es sonst nennen will) seinen adäquaten Ausdruck in dem Dualismus von unräumlichen Wirkungspunkten und extensivem Feldkontinuum finden soll, dann müssen die unräumlichen Wirkungspunkte dem Geistigen, das Feldkontinuum aber der Materie entsprechen. Ob man nun wirklich die atomistische Betrachtungsweise, welche bei dieser Wendung ihre Daseinsberechtigung auf materiellem Gebiete, also auf dem Gebiete des eindeutig bestimmten Naturgeschehens endgültig verlöre, nun dafür auf dem Gebiete des Geistigen, in den mit Eigenwillen begabten „Individuen“ wieder auferstehen lassen soll, ist eine Frage, die zu beantworten hier nicht unsere Aufgabe sein kann. Es schien mir immerhin denkbar, alles Geistige, etwa im Sinne des Spannischen Universalismus⁴⁹⁾, als eine in sich sinnvoll zusammenhängende, kontinuierlich gegliederte Ganzheit anzusehen, welche aber nur in ausgezeichneten, diskreten Wirkungspunkten auf das in sich geordnete Naturgeschehen einwirkt und durch es beeinflusst wird. Solche Wirkungspunkte, die dann lediglich zwei wesensverschiedene, in sich einheitlich geordnete Reiche miteinander verknüpfen würden, wären allerdings etwas ganz anderes, als die Weylschen Korpuskeln. Wir wollen uns aber nicht weiter in philosophische Spekulation einlassen! Die Darstellung eines Wirkungszusammenhanges zwischen „Ich-Individuen“ und dem raumzeitlichen Zustandskontinuum des Naturgeschehens gehört jedenfalls nicht in die Physik. Ich möchte nur noch bemerken, daß meiner Ansicht nach die Anerkennung eines gewissen freien Eigenwillens, einer „vita propria“, eines gliedhaften Eigenlebens, im Spannischen Sinne, den Erkenntniswert der mathematisch-naturwissenschaftlichen Ordnungsform nicht in Frage stellt. Die physikalische Forschung wendet ihre Ordnungsform auf das einmalige, unwiederholbare Geschehen der Wirklichkeit an, indem sie die Wirklichkeit zerschneidet, idealisiert, durch geeignete Versuchsbedingungen reproduzierbare Erscheinungen herausschält und sorgfältig alles ihrer Ord-

49) O. Spann, „Kategorientheorie“. Jena 1924. G. Fischer.
Lohr, Atomismus

nungsform Fremdartige ausschaltet und fernhält. Sie erschafft sich so ein einheitlich und eindeutig geordnetes Naturgeschehen und der Erfolg beweist, daß ihre Methode weiten Gebieten der gegebenen Wirklichkeit adäquat ist. Er beweist aber nicht, daß alles Geschehen, und daß es exakt durch die naturwissenschaftliche Methode erfäßbar sein muß.

Da alles Erkennen auf die systematische Ordnung des Gegebenen durch allgemeingültige Begriffe abzielt, muß jede Naturerkenntnis nach konstanten, in sich beständigen, allem Wechsel entzogenen Formen streben, die wohl nicht im gewöhnlichen Sinne existieren, also keine für sich stehenden „Substanzen“ sind, wohl aber für alles Naturgeschehen gelten sollen.

Sie sind das in sich ruhende, keiner weiteren Erklärung fähige „Absolute“, das von jeder Forschung irgendwie vorausgesetzt wird; anfänglich allerdings — was besonders beim Atomismus deutlich in Erscheinung tritt — in der Gestalt eines absoluten, unveränderlichen, räumlich substantiellen Seins. Die theoretische Entwicklung weist aber unverkennbar in die Richtung der stetigen Verfeinerung und schließlich der Auflösung des ursprünglichen primitiven Substanzbegriffes. Damit muß aber folgerichtigerweise auch an die Stelle einer aus diskreten Substanzkorpuskeln zusammengesetzten Welt das gesetzmäßig gegliederte Ganze des qualitätsbegabten, durch Zustandsvariable charakterisierten Raum-Zeit-Kontinuums treten.

WISSENSCHAFTLICHE GRUNDFRAGEN

Philosophische Abhandlungen in Gemeinschaft mit Fachgenossen

herausgegeben von Prof. Dr. R. Hönigswald, Breslau

Zunächst liegen vor:

1. Heft: **Das Naturgesetz.** Ein Beitrag zur Philosophie der exakten Wissenschaften. Von Prof. Dr. B. Bauch.

Ist für die Naturforschung die Naturgesetzlichkeit auf der einen Seite ebenso logische Voraussetzung, wie auf der anderen Seite Ziel wissenschaftlicher Erkenntnis, für die Philosophie eben darum ein ungemein bedeutungsvolles wissenschaftstheoretisches Problem, so kommt es der philosophischen Untersuchung darauf an, die Struktur des Naturgesetzes aufzudecken, um zu verstehen, welche Bedeutung diese für die Begrifflichkeit der Natur als Voraussetzung der Naturwissenschaft hat.

2. Heft: **Raum, Zeit und Relativitätsprinzip.** Von Prof. Dr. J. A. Schouten.

Schoutens Schrift gibt eine von jeder mathematischen Formulierung absehbende Darstellung der allgemeinen Gedanken, die dem Relativitätsprinzip zu Grunde liegen und zeigt zugleich, wie das Relativitätsprinzip nicht eine vereinzelt stehende Modeerscheinung ist, sondern das notwendige Ergebnis einer sich durch Jahrhunderte — seit Euklid — hinziehenden Entwicklung. Durch denkbar durchsichtige Formulierung des Problems vermag Schouten es auch dem nicht-fachmännischen Gebildeten näher zu bringen.

3. Heft: **Vom Begriff der religiösen Gemeinschaft.** Eine problemgeschichtliche Untersuchung über die Grundlagen des Urchristentums. Von Prof. D. Dr. E. Lohmeyer.

4. Heft: **Kulturbegriff und Erziehungswissenschaft.** Ein Beitrag zur Philosophie der Pädagogik. Von Privatdozent Dr. H. Johannsen.

5. Heft: **Vom Problem des Rhythmus.** Eine analytische Betrachtung über den Begriff der Psychologie. Von Prof. Dr. R. Hönigswald.

6. Heft: **Atomismus und Kontinuitätstheorie in der neuzeitlichen Physik.** Von Prof. Dr. E. Lohr.

Weitere Hefte sind in Vorbereitung: Koebner, Vom Begriff der geschichtlichen Aufgabe. — Löwi, Philosophie und Psychologie. — Petzelt, Das Problem des Blinden. — Rademacher, Zur logischen Grundlegung der Mathematik. — Schönfeld, Die logische Natur des Rechtssatzes. — Stenzel, Das Problem der Zeit bei Plotin. Ein Beitrag zur Erkenntnislehre des Neuplatonismus.

Sodann sind unter der Leitung von Prof. J. Stenzel eine Reihe von Abhandlungen sprachphilosophischer Richtung, Texte und Probleme, in Aussicht genommen.

Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften. Von Geh. Reg.-Rat Dr. P. Natorp, weil. Prof. an der Univ. Marburg. 3. Aufl. [XX u. 416 S.] 8. 1923. (Wissenschaft und Hypothese XII.) Geb. M. 11.60

Das Buch versucht eine in den Hauptzügen vollständige, geschlossene Philosophie der exakten Wissenschaften zu bieten, wobei ein strenger Systemzusammenhang angestrebt ist.

Atomtheorie des festen Zustandes. (Dynamik der Kristallgitter.) Von Dr. M. Born, Prof. an der Univ. Göttingen. 2. Aufl. Mit 13 Fig. i. Text u. 1 Tafel. [VI, 527—789 S.] gr. 8. 1923. (Fortschr. d. math. Wissensch. Bd. 4.) Geb. M. 13.40

„Das Buch ist einzig in seiner Art, von einem Beherrscher des Stoffes geschrieben und für jeden, schon wegen des reichen Literaturnachweises, unentbehrlich, der sich mit der Theorie des festen Zustandes beschäftigen will.“
(Zeitschrift für techn. Physik.)

Atom- und Quantentheorie. Von Prof. Dr. P. Kirchberger, Nikolasee bei Berlin. I. Teil: Atomtheorie. Mit 5 Fig. i. Text. [IV u. 49 S.] 8. 1922. II. Teil: Quantentheorie. Mit 11 Fig. i. Text. [IV u. 52 S.] 8. 1923. (Math.-Phys. Bibl. Bde. 44/45.) Kart. je M. 1.20

„Dank der sorgfältigen und klaren Darstellung stellen die beiden Hefte eine vortreffliche Einführung in die neuere Atomtheorie dar.“
(Zeitschrift für analyt. Chemie.)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Ionentheorie. Von Dr. *P. Brauer*, Studienrat am Realgymnasium zu Hannover. Mit 9 Fig. i. T. [IV u. 51 S.] 8. 1919. (Math.-Phys. Bibl. Bd. 38.) Kart. M. 1.20

Leitet in gemeinverständlicher, auf das Experiment gestützter Darstellung in die für die moderne anorganische Chemie so bedeutungsvolle Ionentheorie ein, wie sie sich aus den Forschungen eines Faraday, Kohlrausch, Helmholtz, Ostwald, van't Hoff und Arrhenius entwickelt hat.

Ionen und Elektronen. Von Dr. *H. Greinacher*, Prof. a. d. Universität Zürich. Mit 24 Fig. i. T. [58 S.] gr. 8. 1924. (Abhandlungen und Vorträge a. d. Gebiete d. Mathem., Naturwissenschaft u. Technik, Heft 9.) Geh. M. 2.—

Die Schrift will in möglichst verständlicher und anregender Form eine Einführung in das Gebiet geben, und die Behandlung sucht dabei sowohl der mathematischen als auch der praktischen Seite gerecht zu werden.

Zwei Abhandlungen über die Grundgleichungen der Elektrodynamik. Von Dr. *H. Minkowski*, weil. Prof. a. d. Univ. Göttingen. Mit einem Einführungswort von Dr. *O. Blumenthal*, Prof. a. d. Techn. Hochsch. Aachen. [82 S.] gr. 8. 1910. (Fortschr. d. math. Wissensch., Heft 1.) Geh. M. 3.—

Das Buch ist eine Sonderausgabe zweier ursprünglich in Zeitschriften veröffentlichten Abhandlungen, die zusammen wohl eine vollständige Darstellung von Minkowskis Anschauungen über die Elektrodynamik bewegter Körper geben. Die erste ist noch von Minkowski selbst veröffentlicht worden, die zweite hat Herr Born Göttingen nach Minkowskis Tode auf Grund mündlicher Mitteilungen des Verstorbenen verfaßt und mit Minkowskis handschriftlichem Nachlaß verglichen.

Das Relativitätsprinzip. Von Prof. Dr. *H. A. Lorentz*, Kurator d. phys. Laborat. in Haarlem, Dr. *A. Einstein*, Prof. a. d. Univ. Berlin u. Dr. *H. Minkowski*, weil. Prof. a. d. Univ. Göttingen. Eine Sammlung v. Abhandl. mit einem Beitrag von Dr. *H. Weyl*, Prof. a. d. Techn. Hochsch. Zürich, u. Anmerk. v. Geh. Hofrat Dr. *A. Sommerfeld*, Prof. a. d. Univ. München. Vorwort v. Dr. *O. Blumenthal*, Prof. a. d. Techn. Hochsch. Aachen. 4., verb. Aufl. 1922. [IV u. 159 S.] gr. 8. (Fortschr. der math. Wissensch., H. 2.) Geb. M. 6.—

„Diese Sammlung von Urkunden zur Geschichte des Relativitätsprinzips ist für jedes tiefere Studium der Herkunft, des Werdegangs und der geschichtlichen Entwicklung der Relativitätstheorie von grundlegender Bedeutung.“ (Aus der Natur.)

Das Relativitätsprinzip. Eine Einführung in die Theorie. Von Dr. *A. v. Brill*, Prof. a. d. Univ. Tübingen. 4. Aufl. Mit 6 Fig. im Text. [IV u. 49 S.] 8. 1920. (Abh. u. Votr. a. d. Geb. d. Math., Naturw. u. Techn. H. 3.) Geh. M. 1.80

„Die große Reichhaltigkeit des Inhalts, die fesselnde Art des Vortrags und die Behandlung auch der mehr philosophischen Seite der Probleme, machen das Buch für jeden wichtig und wertvoll, der die Folgerungen und Fortschritte der Relativitätstheorie kennen lernen will.“ („Sokrates“)

Relativitätstheorie und Erkenntnislehre. Von Dr. *J. Winternitz*, Prof. an der deutschen Universität Prag. Mit 6 Fig. [XIII u. 230 S.] 8. 1923. (Wissensch. u. Hypoth. Bd. XXIII.) Geb. M. 6.—

Der erste Versuch, den ganzen mit der Relativitätstheorie zusammenhängenden philosophischen Problemkreis systematisch darzustellen. Das Buch setzt weder auf dem Gebiet der Physik, noch auf dem der Philosophie besondere Fachkenntnisse voraus. Es erscheint deshalb besonders geeignet, das Verständnis für die allgemein weltanschauliche Bedeutung der Relativitätstheorie zu verbreiten und zu vertiefen.

Physik und Erkenntnistheorie. Von Dr. *E. Gehrcke*, Prof. an der Universität Berlin. Mit 4 Fig. im Text. [IV u. 119 S.] 8. 1921. (Wissensch. u. Hypoth. Bd. XXII.) Geb. M. 3.20

„Das Buch des verdienstvollen Physikers und scharfen Denkers, der in der Relativitätsfrage entscheidend eingriff, ist auf das wärmste zu begrüßen. Er gibt ein anregendes, mannigfaltiges Bild physikalischer Begriffe und Denkweisen. Besonders dankenswert ist, daß Gehrcke auch einen Überblick über die hauptsächlichsten für die Physik wichtigen allgemeinen Begriffe gibt, sofern sie auch philosophisch von Belang sind, von Aristoteles bis Kant und Vaihinger, Hilbert und Poincaré.“ (Beiträge zur Philosophie des Deutschen Idealismus.)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Hofrat Dr. *F. Auerbach*, Prof. a. d. Univ. Jena. 5. Aufl. Mit 63 Fig. [128 S.] 8. 1926. (ANuG Bd. 40.) Geb. M. 2.—

Physik und Kulturentwicklung durch technische und wissenschaftliche Erweiterung der menschlichen Naturanlagen. Von Geh. Hofrat Dr. *O. Wiener*, Prof. a. d. Univ. Leipzig. 2. A. Mit 72 Abb. i. T. [X u. 118 S.] 8. 1921. M. 2.80, geb. M. 4.—

Naturwissenschaft und Technik der Gegenwart. Eine akademische Rede mit Zusätzen von Dr. *R. v. Mises*, Prof. an der Technischen Hochschule Berlin. [II u. 32 S.] gr. 8. 1922. Geh. M. 1.20

Physik in graphischen Darstellungen. Von Hofrat Dr. *F. Auerbach*, Prof. an der Univ. Jena. 2. Aufl. 1557 Fig. auf 257 Tafeln. Mit erläuterndem Text. [XII, 257 Tafel- u. 30 Textseiten.] gr. 8. 1925. In Ganzl. geb. M. 14.—

„Besonders hervorgehoben sei die vorzügliche Ausführung der zeichnerischen Darstellungen, die neben der gediegenen Ausstattung des Buchs dem Verlag alle Ehre macht.“
(Archiv für Eisenbahnwesen.)

Chemie. Unter Mitarbeit hervorragender Fachgelehrter herausgegeben von Geh. Hofrat Prof. Dr. *E. v. Meyer*. **Allgem. Kristallographie und Mineralogie.** Herausgegeben von Geh. Hof- und Reg.-Rat Dr. *Fr. Rinne*, Prof. an der Univ. Leipzig. Mit 55 Abb. [XIV u. 663 S.] gr. 8. 1913. (Die Kultur der Gegenwart. Hrsg. von Prof. *P. Hinneberg*. Teil III, Abt. III, 2.) Geh. M. 25.—, geb. M. 28.—, in Halbleder mit Goldoberschnitt M. 33.—

Die Philosophie des Altertums. Problemgeschichtliche und systematische Untersuchungen. Von Dr. *R. Hönigswald*, Prof. an der Universität Breslau. 2. Aufl. [X u. 432 S.] gr. 8. 1924. Geh. M. 14.—, geb. M. 16.—

Geschichte der Philosophie. Von weil. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. *A. Gercke*. 3. Aufl. [119 S.] 8. 1922. (Einleitung in die Altertumswissenschaft, hrsg. von A. Gercke und E. Norden. Bd. II, 6.) Kart. M. 4.—

Exakte Wissenschaften und Medizin. Von Dr. *J. L. Heiberg*, Prof. an der Univ. Kopenhagen. [40 S.] 8. 1922. (Einleitung in die Altertumswissenschaft, hrsg. von A. Gercke u. E. Norden. Bd. II, 5.) Kart. M. 1.80

Naturwissenschaften, Mathematik und Medizin im klassischen Altertum. Von Dr. *J. L. Heiberg*, Prof. an der Universität Kopenhagen. 2. Aufl. Mit 2 Figuren. [104 S.] 8. 1920. (ANuG Bd. 370.) Geb. M. 2.—

Das Leben und die Lehre Epikurs. Diogenes Laertius Buch X. Übersetzt u. mit kritischen Bemerkungen versehen v. Dr. *A. Kochulsky* in Marienburg. [VIII u. 78 S.] 8. 1914. Geh. M. 2.40

Zahl und Gestalt bei Platon und Aristoteles. Von Prof. Dr. *J. Stenzel* Prof. an der Univ. Kiel. [VIII u. 146 S.] 1924. gr. 8. Geh. M. 6.—, geb. M. 7.20

Sternglaube und Sterndeutung. Die Geschichte und das Wesen der Astrologie. Unter Mitwirkung von Prof. Dr. *C. Bezold* dargestellt von Geh. Hofrat Prof. Dr. *Fr. Boll*. 3. Aufl. nach der Verfasser Tod mit Unterstützung der Bibliothek Warburg herausgegeben von Dr. *W. Gundel*, Prof. an der Universität Gießen. Mit zahlr. Abb. im Text und auf Tafeln sowie einer Sternkarte. [U. d. Pr. 1926.]

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

In 2., sorgfältig durchgearbeiteter Auflage ist erschienen:

PHYSIK

Unter Mitwirkung hervorragender Fachgelehrter
herausgegeben von Hofrat Prof. Dr. E. Lecher

Mit 116 Abbildungen

(Die Kultur der Gegenwart. Herausgeg. von Prof. P. Hinneberg.
Teil III, Abt. III, Band I.

[VIII u. 849 S.] 4^o. 1925. Geh. M. 34.—, in Halblein. geb. M. 36.—,
in Halbleder geb. M. 40.—

INHALTSÜBERSICHT:

1. *Mechanik*: E. Wiechert. 2. *Akustik*: F. Auerbach. 3. *Wärmelehre*:
E. Warburg, L. Holborn, F. Henning, W. Jäger, H. Rubens, G. Hettner,
W. Wien, E. Dorn, K. Przibram, A. Einstein. 4. *Elektrizitätslehre*:
F. Richarz, E. Lecher, H. A. Lorentz, R. Gans, E. Gumlich, F. Braun,
M. Dieckmann, M. Wien, H. Starke, W. Kaufmann, E. Gehrcke, O. Reichen-
heim, J. Elster, H. Geitel, St. Meyer, E. v. Schweidler. 5. *Lehre vom*
Licht: O. Wiener, O. Lummer, M. v. Rohr, F. Exner, E. Gehrcke, P. Zee-
mann, H. A. Kramers. 6. *Allgemeine Gesetze und Gesichtspunkte*:
E. Warburg, F. Hasenöhrl, H. Mache, M. Planck, A. Einstein, W. Voigt.

Das Erscheinen einer Neubearbeitung des Bandes, der eine für den Fachmann wie den für physikalische Probleme interessierten gebildeten Laien gleich wertvolle Darstellung der wichtigsten Teilgebiete ihrer historischen Entwicklung und ihrem heutigen Stande nach gibt, wird bei der zunehmenden Bedeutung, die die Physik für viele Gebiete wie für die Ausgestaltung und Vereinheitlichung unseres Weltbildes gewonnen hat, besonders begrüßt werden. Dies um so mehr, als sich in ihr zahlreiche Physiker Deutschlands wieder mit den bedeutendsten Vertretern des Auslandes zu gemeinsamer Arbeit auch für die zeitgemäße Umgestaltung der Beiträge inzwischen verstorbener Verfasser vereinigt haben. Der Quantentheorie wurde ihrer großen Bedeutung entsprechend ein neuer Abschnitt eingeräumt.

„Wir finden vortreffliche Artikel von nahezu 30 Verfassern. Die meisten derselben — manche sind Nobelpreisträger — haben es meisterhaft verstanden, jedem naturwissenschaftlich Gebildeten einen tiefen Einblick in die großen physikalischen Probleme der Gegenwart zu geben, die sie selber und alle vorwärts strebenden Physiker in beständiger Erregung halten. Der Band Physik der „Kultur der Gegenwart“ ist nicht nur für Physiker, sondern auch für alle anderen Leser mit naturwissenschaftlichen Interessen von eminentem Wert.“

(Prof. Zehnder in National-Zeitung, Basel.)

LEIPZIG • B. G. TEUBNER • BERLIN

WISSENSCHAFT UND HYPOTHESE

Sammlung von Einzeldarstellungen aus dem Gesamtgebiete der Wissenschaften mit bes. Berücksichtigung ihrer Grundlagen u. Methoden, ihrer Endziele u. Anwendungen

Die Sammlung will die in den verschiedenen Wissensgebieten durch rastlose Arbeit gewonnenen Erkenntnisse von umfassenden Gesichtspunkten aus im Zusammenhang miteinander betrachten. Die Wissenschaften werden in dem Bewußtsein ihres festen Besitzes in ihren Voraussetzungen dargestellt, ihr pulsierendes Leben, ihr Haben, Können und Wollen aufgedeckt. Andererseits aber wird in erster Linie auch auf die durch die Schranken der Sinneswahrnehmung und der Erfahrung überhaupt bedingten Hypothesen hingewiesen.

- I. Wissenschaft und Hypothese. Von Henri Poincaré. Deutsch von L. und F. Lindemann. 3. Aufl. Geb. M. 8.—
- II. Der Wert der Wissenschaft. Von Henri Poincaré. Deutsch von E. u. H. Weber. Mit einem Bildnis. 3. Aufl. Geb. M. 6.—
- III. Mythenbildung u. Erkenntnis. Eine Abhandlung über die Grundlagen der Philosophie. Von G. F. Lipps . . . Geb. M. 7.—
- IV. Die nichteuklid. Geometrie. Histor.-kritische Darstellung ihrer Entwicklung. Von R. Bonola. Deutsch von H. Liebmann. 3. Aufl. Mit 52 Fig. i. T. Geb. M. 5.60
- V. Ebbe und Flut sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem. Von G. H. Darwin. Dtsch. v. A. Pockels 2. Aufl. 52 Abb. Geb. M. 10.—
- VI. Das Prinzip d. Erhalt. d. Energie. Von M. Planck. 5. Aufl. Geb. M. 7.40
- VII. Grundlagen der Geometrie. Von D. Hilbert. 6. Aufl. Geb. M. 7.80
- VIII. Geschichte der Psychologie. Von O. Klemm Geb. M. 10.—
- IX. Erkenntnistheoret. Grundzüge der Naturwissenschaften u. ihre Beziehungen zum Geistesleben d. Gegenwart. Von F. Volkmann. 2. Aufl. Geb. M. 10.—
- X. Wissenschaft und Religion in der Philosophie unserer Zeit. Von E. Boutroux. Deutsch von E. Weber. Mit Einführungswort v. H. Holtzmann. Geb. M. 8.—
- XI. Probleme der Wissenschaft. Von E. Enriques. Deutsch von K. Grelling. 2 Teile. I. Wirklichk. u. Logik. M. 7.— II. Die Grundbegriffe d. Wissenschaft M. 7.60
- XII. Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften. Von P. Natorp. 3. Aufl. Geb. M. 11.60
- XIII. Pflanzengeographische Wandlungen der deutschen Landschaft. V. H. Hausrath. Geb. M. 7.—
- XIV. Das Weltproblem vom Standpunkte d. relativist. Positivismus aus. Von J. Petzoldt. 4., neub. Aufl. u. bes. Berücksicht. der Relativitätstheorie. Geb. M. 6.—
- XV. Wissenschaft und Wirklichkeit. V. M. Frischeisen-Köhler. Geb. M. 11.—
- XVI. Das Wissen der Gegenwart in Mathematik u. Naturwissenschaften. Von E. Picard. Deutsch von F. u. L. Lindemann Geb. M. 7.—
- XVII. Wissenschaft u. Methode. Von H. Poincaré. Deutsch von F. u. L. Lindemann Geb. M. 7.—
- XVIII. Probleme der Sozialphilosophie. Von R. Michels . . . Geb. M. 5.—
- XIX. Ethik als Kritik der Weltgeschichte. Von A. Görland. Geb. M. 9.—
- XX/XXI. Die Grundlagen der Psychologie. Von Th. Ziehen. I. Bd. Geb. M. 6.— II. Bd. Geb. M. 7.—
- XXII. Physik u. Erkenntnistheorie. Von E. Gehrcke. Geb. . . M. 3.20
- XXIII. Relativitätstheorie u. Erkenntnislehre. Eine Untersuchung über die erkenntnistheoretischen Grundlagen der Einsteinschen Theorie und die Bedeutung ihrer Ergebnisse für die allgem. Probleme des Naturerkennens. Von J. Winternitz. Geb. M. 6.—
- XXIV. Die philosoph. Grundlagen d. Wahrscheinlichkeitsrechnung. Von E. Czuber. Geb. M. 10.60
- XXV. Über den Bildungswert der Mathematik. Ein Beitrag zur philosoph. Pädagogik. Von W. Birkemeier. Geb. M. 5.60
- XXVI. Zur Geschichte der Logik. Grundlagen u. Aufbau der Wissenschaft im Urteil der mathematisch. Denker. Von E. Enriques. Deutsch von L. Bieberbach. [In Vorb. 1926.]
- XXVII. Die Grundbegriffe der reinen Geometrie in ihrem Verhältnis zur Anschauung. Von R. Strohal. Geb. M. 6.40
- XXVIII. Das Wissenschaftsideal der Mathematiker. Von E. Boutroux. Deutsch von H. Pollaczek. [In Vorb. 1926.]

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG UND BERLIN