

1931 D 56

# Die Einheit der Naturwissenschaft

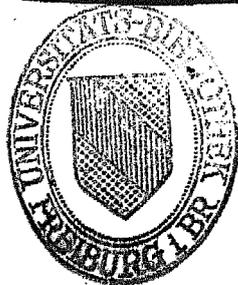
Rede

beim Antritt des Rektorats  
der Christian-Albrechts-Universität

am 5. März 1929

gehalten von

Dr. Walther Kossel,  
Professor der Theoretischen Physik



Kiel 1929

Kommissionsverlag der Universität Kiel  
Lipsius & Tischer

Druck von Max Tandler, Kiel

Hochansehnliche Festversammlung!

Verehrte Kollegen!

Liebe Kommilitonen!

Die Feier, in der die Selbstverwaltung der Universität in andere Hände gelegt wird, führt stets besonders lebhaft vor Augen, wie reich an Gestalten die heutige Forschung ist. An dieser Stelle übergab der Mediziner dem Kunsthistoriker, dieser dem Juristen die Leitung der Geschäfte und heute sind sie aus dessen Hand in die eines Vertreters der exakten Naturwissenschaften übergegangen. Der Tradition gemäß berichtet ein jeder bei der Übernahme des Amtes über eine Frage seines Gebietes, die ihm lebendig und bedeutend zu sein scheint. So zeigt sich ein buntes Bild und da die materielle Verschiedenheit der Aufgaben und Ergebnisse viel stärker ins Auge fällt als die Übereinstimmung im Charakter der forschenden Arbeit, aus der sie hervorgehen, tritt wieder einmal die Frage vor uns, wie es eigentlich mit der inneren Geschlossenheit dieser so verschiedenartig erscheinenden Arbeit stehe. Der Vortrag fachwissenschaftlicher Probleme erinnert an die Gefahr allzu hoher Spezialisierung, des Auseinanderfallens in Fachbetriebe, die unser ganzes kulturelles Leben bedroht und auch in der Universität oft unsere Gedanken beschäftigt. Es kann leicht so scheinen, als drohe das von der Wissenschaft selbst geförderte Material mit seiner Masse alle alten Bande zu sprengen. Am meisten fällt das in der Naturwissenschaft und der Hand in Hand mit ihr arbeitenden Medizin ins Auge. Der immer breiter werdende Strom sachlicher und methodischer Kenntnis verlangt von Jahr zu Jahr mehr Raum und die Aufgabe, ihn zu bewältigen, bereitet zum Beispiel denen, die sich heute für den medizinischen Unterricht verantwortlich fühlen, schwere Sorgen. Schon die rein technische Frage, wie der Studierende in begrenzten Studienjahren überhaupt die Zeit für sie finden soll, ist hier dringend geworden. Noch schärfer fast prägt sich die gleiche Lage in dem anderen Gebiet aus, auf dem naturwissenschaftliche Erkenntnis zu praktischer Anwendung umzuformen ist, an den technischen Hochschulen. Wir wissen, daß man dort zum Teil geradezu den Eindruck hat, in eine Krise hineingetrieben zu sein, aus der man nur durch eine gründliche Reform herauskommen könne. Neben der rein technischen

Frage der Unterrichtszeit steht die tiefergehende, wie der Student geistig die verschiedenartigen Fächer, die zum Teil recht ungeduldig ihre Selbständigkeit und Wichtigkeit betonen, erfassen und zu lebendigem Besitz verarbeiten solle.

Als gemeinsame Nährmutter solcher Unruhe erscheint die Naturwissenschaft. Muß man ihr nicht vorwerfen, daß sie mit einer hypertrophischen Entwicklung überall, wo sie hinkommt, den Störenfried macht? Sie ist es doch, die immer neue Methoden in Medizin und Technik hineinwirft, die so der Anlaß ist, daß sich Spezialisten für diese Methoden ausbilden müssen, und davon so beansprucht werden, daß sie Gefahr laufen, in anderen Teilen ihres eigentlichen medizinischen oder technischen Faches zurückzubleiben. Wie steht es denn mit der inneren Einheit der Naturwissenschaft selbst? Werden ihre Anhänger nicht selbst auseinandergelockt von all den schönen, bunten Dingen, mit denen sie sich im einzelnen befassen? Ist nicht das reiche Leben und die große Fruchtbarkeit der heutigen Naturwissenschaft eine große Gefahr für ihre eigene Einheit?

Das ist augenscheinlich eine sehr ernste Frage. Einmal halten wir in Deutschland von Alters her dafür, daß eine Arbeit umso mehr befriedige, je größer der Gedankenkreis ist, dem sie sich eingliedert. Besonders gewichtig aber ist die Frage innerhalb der Universität. Gerade die Universität verkörpert uns doch die Einheit theoretischer Arbeit. Bedeutet die theoretische Erforschung der Naturerscheinungen eine Gefahr für diese Einheit, weil sie selbst durch das anschwellende Material zerrissen wird, daß sie förderte?

Man erwähnt in diesem Zusammenhang gern Alexander von Humboldts nun bald ein Jahrhundert zurückliegenden Versuch, das ganze naturwissenschaftliche Weltbild in seinem „Kosmos“ \*) zusammenzufassen und führt aus, daß solche Unternehmung heute unmöglich geworden sei. Das ist gewiß richtig, soweit es die Fülle des Materials angeht, — ein Blick auf die Ausmaße unserer nach dem Kriege erschienenen Handbücher beweist es. Aber ich glaube nicht, daß diese Meinung richtig ist, soweit sie die begriffliche Struktur der Naturwissenschaften betrifft. Ich glaube, daß die oben geschilderte Gefahr, die so besonders deutlich in den anwendenden Fächern hervortritt, eben erst da eine ernste geistige Bedeutung annimmt, wo man versucht, zur Anwendung überzugehen. Sie scheint mir aus der rein materiellen Seite, aus der Fülle des Materials, hervorzugehen. In der reinen Forschung selbst aber steht es anders.

\*) Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. 1844.

Es ist eines der reizvollsten Erlebnisse, die einem wieder und wieder in der Naturwissenschaft begegnen, daß ihre Gedanken sich vereinfachen können, während ihr Inhalt sich vermehrt. Wer in seinem Spezialfach rücksichtslos vordringt und allein die dafür geeigneten Begriffe ausbildet, kann sich plötzlich in überraschender Berührung mit dem finden, der auf dem Nachbargebiet das Gleiche tat. So fügen sich heute Physik, Chemie, Mineralogie nach langem selbstständigen Arbeiten von Tag zu Tag enger zusammen, wobei jedes seine eigentümliche Arbeitsweise bestätigt findet. Alle drei bearbeiten die unorganische Materie und alle drei finden sich heute darin, daß sie zur atomistischen Deutung der Materie vorgedrungen sind. Mehr und mehr wissen sie sich miteinander darüber zu einigen, wie es unter den Atomen, unter den Gebilden aussieht, die nur noch nach Millionteln Millimeter messen.

Die Arbeiter in solchen Fächern gleichen Forschungsreisenden, die aus demselben Land, dem Tal der täglichen Erfahrung, nach den verschiedensten Seiten fortzogen, der eine zu Schiff, der andere zu Pferde, während der Dritte an polares Eis geriet und sich mit dem Schlitten weiter vorwärts arbeiten mußte. Nachdem sie lange ganz Verschiedenes nach Hause berichtet und ihre eigentümliche Reisetchnik mehr und mehr durchgebildet haben, finden sie sich überrascht in ganz veränderter Gegend bei den Antipoden zusammen und vermögen nun einander desto besser zu unterstützen, je geschickter sich jeder in dem von ihm durchwanderten Gebiet zu bewegen weiß. Hier führt der Gegenstand selbst die Forschenden zur Einheit zurück und die Idee eines Kosmos bestätigt sich überraschend im Erfolge der Arbeit selbst. Es ist nur Erfahrung, die die einzelnen Reisenden leitete, äußere Erfahrung derselben Art, wie sie sie auch am Ausgangspunkt der Reise, im täglichen Leben machen konnten. Aber die wachsende Erfahrung gestaltet ihnen die Begriffe um, mit denen sie die Erscheinungen erfassen. Unsere Reisenden sehen nun nicht mehr allein den ihrer Heimat benachbarten Ausschnitt von Ländern mit unbestimmtem Umriss vor sich, sondern eine abgeschlossene Kugel, über die hin Winde, Wolken und Meeresströmungen in einem geschlossenen Ganzen zusammenwirken. Ihr Bild von der Erdoberfläche hat, indem sie es forschend erweiterten, schließlich eine größere begriffliche Einfachheit gewonnen als je zuvor.

So aber ergeht es uns schließlich stets in der Naturwissenschaft. Immer wieder erleben wir, daß die an Hand der Erfahrung umgestalteten Begriffe dem menschlichen Geist, wenn er sie einmal lebendig erfaßt hat, nicht nur zweckmäßiger, sondern auch geschlossener, innerlich

befriedigender erscheinen. Wir machen stets die Erfahrung, daß die Natur, wenn wir ihr aufmerksam und bescheiden folgen, uns Schöneres und Sinnvolleres zeigt, als wir uns vorher in einer auf geringerer Erfahrung aufbauenden Phantasie vorstellen konnten. Hierin, daß wir die größere Vertrautheit mit den Erscheinungen stets auch innerlich als Bereicherung empfinden und bejahen, liegt ein tiefes Zeugnis dafür, daß wir nicht nur Zuschauer des Weltgeschehens sind, sondern selbst ganz und gar hineingehören. Und darin liegt auch die Sicherheit, daß die Naturwissenschaft die Geschlossenheit des Ganzen der theoretischen Wissenschaften nicht sprengen, sondern sie nur bereichern wird.

Erlauben Sie mir, diese Behauptung von der Art der naturwissenschaftlichen Erfahrung nun etwas näher zu belegen. Wie es natürlich ist, spreche ich von Erfahrungen aus meinem eigenem Fachgebiet, der Physik. Was wir dabei im Auge behalten wollen, ist aber überall die Frage nach der inneren Einheit der Naturwissenschaft.

In der Entwicklung der physikalischen Grundbegriffe möchte ich für unsere Betrachtung drei große Schritte hervorheben.

Der erste ist die Erkenntnis, daß sich die Natur überhaupt in einem ganz bestimmten Sinn als gesetzlich begreifen läßt. Rein physikalisch bezeichnet ist dies die Periode der klassischen Mechanik. Sie ist begründet am Ende des 17. und sie erfüllt das 18. Jahrhundert.

Der zweite Schritt betrifft den Zusammenhang der Naturkräfte und die großen Prinzipien, denen sie alle gehorchen. Er kann kurz als die Leistung des 19. Jahrhunderts bezeichnet werden.

Der dritte ist die Analyse der Materie. Mit ihm sind wir seit 30 Jahren beschäftigt.

Der erste Schritt beginnt etwa 1600 mit Galileis Beobachtungen über den Fall und wird vollendet in Newtons mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie, die 1687 erschienen. Die neue Mechanik, die erste Naturwissenschaft des neu erwachten Abendlandes, geht von Anfang an über das von der Antike bearbeitete Gebiet der ruhenden Systeme, die Statik oder Gleichgewichtslehre hinaus. Sie greift die Bewegung selbst an, sie entwickelt die Dynamik. Die junge Naturwissenschaft richtet also sofort ihren Blick auf das Geschehen in der Natur, in seiner einfachsten faßlichsten Form. So macht sich Galilei zunächst einmal daran, durch Beobachtungen festzustellen, wie eigentlich der freie Fall abläuft und verknüpft damit die Bewegung des Pendels. Huyghens studiert die Rotation, Newton weiß die Bewegung der Himmelskörper den neugewonnenen Prinzipien einzuordnen.

In Newtons ausgereifter Behandlungsweise der Dynamik tritt nun zum ersten Mal eine Beziehung hervor, die von höchster erkenntnistheoretischer Bedeutung ist und sich später in ganz analoger Form auf dem zweiten fundamentalen Erscheinungsgebiet der Physik, im Elektromagnetismus, wiederholt. Wir wollen sie in der Weise einführen, daß wir das eigenartige Schicksal eines Begriffes schildern, der bis dahin als unumgänglicher Bestandteil jeder mechanischen Aussage gegolten hatte, des Begriffes der Kraft. Für das primitive Gefühl, das sich dabei an den Willen erinnert fühlt, gilt der Begriff der Kraft als höchst anschaulich und die allgemein übliche Vertretung der Kräfte durch Gewichte gab diesem Begriff auch in der Statik einen genügend scharf definierten Inhalt. Nun aber trat die Dynamik auf und forderte eine bestimmte Aussage darüber, welche Bewegung von einer gegebenen Kraft eingeleitet werde. Newton ging höchst radikal vor. Er lehnt jede spekulative Vorstellung über das Wesen von Kräften ab und gibt unmittelbar eine Verknüpfung der Kraft mit der Bewegungsgröße. Die Behauptung, daß ein Körper von einer bestimmten Kraft angegriffen werde, sagt für ihn nicht mehr, als daß der Körper, dessen Masse bekannt sei, eine bestimmte Beschleunigung erfahre. „Aus den Erscheinungen der Bewegung“, sagt er schon im Vorwort, „haben wir die Kräfte der Natur zu erschließen“. Wenn er nun auf der anderen Seite festsetzt, daß die Kräfte von den Massen und Lagen der Körper abhängen — z. B. in der allgemeinen Schwerewirkung mit dem Quadrat der Entfernung abnehmen, — so heißt das zusammen nichts anderes, als daß die Beschleunigungen von den Massen und Lagen der Körper abhängen. In der endgültigen Aussage ist also der anthropomorphe, dem menschlichen Willen nachgebildete Begriff der Kraft völlig wieder verschwunden. Es ist nur noch von Lagen, von Beschleunigungen und von gewissen für die bewegten Teile bezeichnenden Zahlen, den Massen, die Rede. Die Aussage ist sozusagen rein geometrischer Natur geworden, — wenn wir die Zeit als Ausdehnungsgröße neben dem Raum in eine erweiterte Geometrie aufnehmen. Der natürliche Verlauf der Rechnung läßt etwa auf der linken Seite einer Gleichung eine Beschreibung der Körperlagen erscheinen, auf der rechten Seite aber eine Größe, in die die Zeit eingeht, nämlich die von den Körpern erfahrene Beschleunigung. Die so ausgesprochene Verknüpfung von Anordnung und Beschleunigung, von räumlicher Situation und zeitlichem Ablauf, von Lage und Ereignis, ist die denkbar schärfste Formulierung der Erkenntnis, die gewöhnlich als Verknüpfung von Ursache und Wirkung ausgesprochen zu werden pflegt. Man kann die Überzeugung, daß in einer bestimmten gegebenen Lage ein ganz bestimmtes

Ereignis eintreten müsse, nicht knapper ausdrücken, als indem man Lage und Ereignis als die beiden Seiten einer Gleichung unmittelbar einander gegenüberstellt.

Damit aber wird eine völlige Autonomie des Naturgeschehens behauptet. Die Größen, die den zeitlichen Ablauf des Naturereignisses bestimmen, sind völlig außen in der Natur selbst nachweisbar. In unserm Beispiel sind es die den Körpern eigenen Massen und ihre der Beobachtung zugänglichen Lagen. Da die neuen Lagen, die die Körper in der nun einsetzenden Bewegung erreichen, wiederum deren weiteren Ablauf bestimmen, ist das Geschehen in der Natur völlig selbständig geworden. Keine Freiheit, keine Willkür scheint eingreifen zu können, nirgends läßt sich in einer Welt, die solchen Gesetzen folgt, ein bewußtes Streben auf ein Ziel erkennen.

Wir können uns heute nur noch mit großer Mühe einen Begriff davon machen, welch ein ungeheures Erlebnis diese Erkenntnisse für ihre Zeit bedeuteten. Ihr Inhalt ist uns zu geläufig und zum Teil selbstverständlich geworden. Damals aber gaben sie mehr als einem Jahrhundert geistig zu tun. Newtons Werk erschien 1687, die Mécanique céleste von Laplace 1799. Das sind die in der Physik selbst stehenden Eckpfeiler. Dazwischen aber liegt die ganze Aufnahme dieser Gedanken in das kulturelle Bewußtsein. Der „Newtonismus“ ist das anerkannte Naturbild der Aufklärung. Das ungeheure Gefühl von Klarheit und von geistiger Macht des Menschen, der mit einem Griff die Bewegung der Himmelskörper von irdischen Erfahrungen aus zu umfassen wußte, wirkte geradezu berauschend. Ich erinnere nur an ein äußeres Zeichen des äußeren Erfolges, an das Voltairerbild von Chodowicki, unter dem als größter Ruhmestitel allein der Satz verzeichnet ist: „Ich war der erste, der in Frankreich Newtons Philosophie bekannt machte“.

Für uns ist es wichtiger, daß es sich für Kant von Anfang an von selbst verstand, daß die Naturwissenschaft sich in der Mechanik in reinster Gestalt zeige. Daneben aber wollen wir noch jene bezeichnende extreme Formulierung des Kausalitätsbegriffes anführen, die zuerst wohl Leibniz formuliert hat. Er sagt: „Wenn diese Welt, wie einige annehmen, nur aus einer endlichen Zahl von Atomen zusammengesetzt ist, die sich nach den Gesetzen der Mechanik bewegen, so ist es sicher, daß ein endlicher Geist sich weit genug erheben könnte, um alles, was in einer bestimmten Zeit geschehen muß, zu verstehen und beweis-

kräftig vorauszusagen“\*). Das ist wohl die extremste Formulierung, die man dem naturwissenschaftlich begründeten Determinismus geben kann und wir führen sie an, um sie später mit Zweifeln kontrastieren zu können, die heute auf diesem Gebiete entstanden sind. Vor der Hand erinnern wir uns noch, daß dem 18. Jahrhundert zwar der streng kausale Ablauf der unbelebten Natur gewiß schien, daß man aber eifrig diskutierte, ob nicht der Welt des Lebens der zweckbestimmte Charakter erhalten bleiben könne. Der ungeheure Eindruck der klassischen Mechanik wirkte weiter darin fort, daß es durchweg als anerkannte Aufgabe galt, die Naturerscheinungen überhaupt nach dem Muster der Mechanik, als Bewegung von Massenpunkten unter ortsbestimmten Kräften, zu deuten.

Dem beginnenden 19. Jahrhundert stand ja zunächst noch eine reiche Mannigfaltigkeit verschiedenartiger Naturkräfte vor Augen, von denen noch durchaus nicht klar war, wie sie untereinander zusammenhängen, geschweige denn, ob sie wirklich auf das Schema der klassischen Mechanik zu bringen sein würden. Noch bestand die Trennung der physikalischen Disziplinen nach dem Sinnesindruck; Schall, Wärme, Licht standen getrennt da, daneben Magnetismus und Elektrizität — noch ohne Zusammenhang miteinander, ja, die Erscheinungen der Elektrizität selbst erst ganz unvollkommen bekannt. Die Erkenntnis von den Zusammenhängen der Naturkräfte, die wir als zweite Stufe der Entwicklung behandeln wollen, entwickelt sich vor allem in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts. Der Gedanke an einen solchen Zusammenhang steht begeistert überall zwischen den Einzelforschungen der Faradayschen Versuchsberichte und leitet die erste Schrift des jungen Helmholtz. Er findet seine begriffliche Krönung in der Aufstellung großer zusammenfassender Prinzipien, die der gesamten Physik dann bis zum Jahre 1895 den Charakter eines im wesentlichen abgeschlossenen Gebäudes verleihen. Dies Gebäude hat zwei große Flügel: Mechanik und Elektrodynamik. Die Erscheinungen von Schall und Wärme werden bei der Mechanik untergebracht. Das Licht aber, lange ebenfalls als mechanische Wellenbewegung angesehen, wird in den 50er Jahren endgültig dem Elektromagnetismus eingegliedert. Eine Gruppe von wenigen großen Sätzen, — die Prinzipie der Mechanik, die Grundgleichungen der Elektrodynamik, die Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie, — führt nun die Regierung. Das größte Ansehen

---

\*) Der gleiche Gedanke ist mehr als hundert Jahre später von Laplace ausgesprochen worden, und so findet man den hier gedachten Geist vielfach als „Laplace'schen Geist“ angeführt.

genießt unter ihnen der aus einem rein mechanischen Satz zu einem für alle Naturkräfte geltenden Prinzip emporgestiegene erste Hauptsatz der Wärmetheorie: das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Die bezeichnendsten Neuschöpfungen, die gegen das Ende des Jahrhunderts entstanden, die Durchführung der in der Elektrotechnik benutzten Begriffe, die zu der Darstellung der elektrischen Wellen führenden Arbeiten von Heinrich Herz, die wärmetheoretische Behandlung chemischer Erscheinungen, die dazu hilft, eine eigene physikalische Chemie zu begründen, alle diese tragen deduktive Züge: sie berufen sich auf anerkannte Prinzipien und gewinnen aus ihnen neue Ergebnisse, indem sie sie auf bisher nicht bearbeitete Verhältnisse anwenden. Als letztes Glied dieses großen Zuges immer stärkerer Vereinfachung und Verschmelzung des klassischen Besitzes ist die Relativitätstheorie zu nennen, die noch in unserem Jahrhundert neben dem Gewimmel der aufstrebenden Atomistik und Quantentheorie als letzter großer Pfeiler von klassischer Geschlossenheit errichtet wird.

Wir kommen zur dritten Stufe, zur Analyse der Materie. Um 1895 setzt eine völlig neue Entwicklung ein, die zunächst von allen älteren Kenntnissen fortzuführen scheint. Elektronik, Röntgenstrahlen, Radioaktivität sind Phänomene, die sich durchaus nicht in den Canon der klassischen Physik eingliedern lassen. Die Verlegenheit wird so groß, daß man Jahre hindurch ernstlich mit der Möglichkeit rechnet, die dauernde Energielieferung der radioaktiven Substanzen werde das oberste aller bisher anerkannten Prinzipien, den Satz von der Erhaltung der Energie, zu Fall bringen. Allmählich aber ergibt sich eine erstaunliche Umwandlung: die neuen Erscheinungen, die zuerst so unbändig über alle alten Grenzen hinausführen, zeigen sich fähig, altgewohnte, aber noch getrennt stehende Erscheinungen zu verknüpfen. Die Elektronentheorie greift in die Optik ein und klärt manche Züge aus der Elektrizitätsleitung der Metalle, die Röntgen- und Gammastrahlen erweitern das Gebiet der elektromagnetischen Wellen um viele Oktaven. Die wichtigsten Ergebnisse aber sind die, die über die Physik hinausführen. Es zeigt sich, daß alle diese neuen Phänomene Wichtiges über den Aufbau der Materie zu sagen wissen. Die Radioaktivität, als spontane Verwandlung der schwersten chemischen Elemente in leichtere erkannt, zeigt zum ersten Male einen lebendigen Vorgang, der die Elemente verknüpft, die bisher, unangreifbar für die Mittel des Chemikers, starr und doch augenscheinlich verwandt nebeneinander standen. Es gelingt, ein einfaches Bild für den Bau der Atome zu entwerfen, in dem alle Eigenschaften der unbelebten Materie in einen klaren und

eindeutigen Zusammenhang treten. Es gelingt, den alten Gedanken von Berzelius, die chemischen Kräfte seien elektrischer Natur, für einen großen Teil chemischer Erscheinungen als gesund und richtig zu erweisen, und so einige der eigentümlichsten Phänomene einer bisher getrennt stehenden Wissenschaft mit bekannten physikalischen Gesetzen zu verknüpfen und zu neuen Schlüssen über die Gliederung des Atoms selbst zu benutzen. Die Röntgenstrahlen erleuchten seit Laues Entdeckung das Innere der Krystalle und zeigen uns, welche wundervolle Ordnung der Atome den regelmäßigen Eigenschaften dieser Stoffe zugrunde liegt. Diese Ordnung trifft sich mit den Symmetriebeobachtungen des Mineralogen, mit den Formelbildern, die der Chemiker für die Anordnung der Atome in seinen Molekülen und Radicalen vermutet hat. Und schließlich dürfen wir, — um ein Ergebnis zu erwähnen, dem in den letzten Jahren hier in Kiel sowohl im Mineralogischen wie im Physikalischen Institut Arbeit gewidmet worden ist, die von einem fruchtbaren Gedankenaustausch begleitet war — annehmen, daß auch die Prozesse des Wachstums der Krystalle unseren Überlegungen zugänglich sein werden und daß wir an einigen ganz einfachen Fällen schon verstehen, warum die Krystalle dabei die schöne ebenflächige äußere Gestalt annehmen, durch die sie zuerst die Aufmerksamkeit auf sich lenken.

Zugleich aber wuchsen die Beziehungen zu einem anderen Nachbarn, zur Astronomie. Auf dem stolzen Weg, den Bunsen und Kirchhoff betraten, als sie die Spektralanalyse auf die Gestirne anwandten und uns lehrten, in ihnen dieselben Elemente zu erkennen, die wir auf der Erde um uns haben, konnte man erheblich weiter fortschreiten, als man gelernt hatte, die Sprache der einzelnen Spectrallinien jedes Elementes zu deuten. Heute vermag der Astrophysiker das leuchtende Atom als Thermometer und Barometer für die Gestirne zu gebrauchen, indem er aus dem Auftreten einzelner Spectrallinien auf Temperatur und Dichte der dort vorhandenen Materie schließt und die neue physikalische Atomtheorie arbeitet aufs lebhafteste an den Erwägungen über Aufbau und Umwandlung der Gestirne mit. Ja, der Astronom hofft, dem Physiker mit Hilfe der im Weltraum anzutreffenden ungeheuren Massen und gewaltigen Abmessungen Phänomene nachweisen zu können, für die in keinem irdischen Laboratorium die Bedingungen hergestellt werden können.

So bietet uns gerade die neueste Entwicklung wieder die schönsten Beispiele dafür, daß Phänomene, die zunächst in die Weite zu führen schienen, schließlich dahin leiten, die verschiedenen Zweige der Forschung enger zu verbinden. Und diese Bindung geschieht nicht aus einem äußeren Interesse, sondern dadurch, daß die letzten schwierigsten Fragen

der Einzelforschungen einander berühren, sobald sie genügend bekannt und geistig genügend durchgeformt sind.

Es gäbe nun aber ein ganz falsches Bild, wenn wir es bei dem Eindruck belassen wollten, als sei allein diese Einigung einiger Nachbarwissenschaften erreicht. Die Vorstellungen über den Atombau, die dazu dienen, können heute, da alle einschlägigen Wissenschaften über ihre Brauchbarkeit einig sind, als Grundzüge für den Aufbau der Materie gelten. Um so bedeutsamer ist es, daß sie einige höchst seltsame Züge enthalten, die von allen Vorstellungen abweichen, die man früher über die letzten Teilchen der Materie haben konnte. Diesen Problemen sei die zweite Hälfte unserer Betrachtungen gewidmet.

Wir verschaffen uns zunächst einen kurzen Überblick über die Größen, um die es sich handelt. Dazu erinnern wir daran, daß die Physiker für sehr kleine Längen besondere Namen erfunden haben. Wie man vom Zentimeter aufwärts zum Meter und Kilometer geht, ist uns allen geläufig. Auch der erste Schritt abwärts ist uns noch vertraut, daß nämlich das Zehntel eines Zentimeters ein Millimeter heißt. Für Gegenstände aber, die kleiner sind als  $\frac{1}{10}$  mm, pflegt man sich nicht weiter zu interessieren, da sie nicht mehr zu greifen und nicht ohne weiteres zu sehen sind. Hier aber haben wir nun in die Tiefe zu gehen. Die erste Station liegt bei einem Zehntausendstel Zentimeter. In dieser Gegend nämlich liegt die Wellenlänge des Lichtes und damit die untere Grenze der Gegenstände, die wir überhaupt mit dem Auge unterscheiden können. Auch das beste Mikroskop kommt nicht weiter, da es sich des Lichtes bedienen muß, und dieses nun einmal nicht feiner ist. Diese Länge hat den Namen ein Mikron. Die zweite Station ist wieder ein Zehntausendstel des Mikrons, also ein Hundertmillionstel des Zentimeters, sie heißt nach einem schwedischen Physiker Ängström-Einheit. Dies ist nun eine Gegend, in der wir ganz zu Hause sind, denn hier liegen die Dimensionen der Atome und wir fangen gerade an, auch den Raum, den ein Atom in einem Kristall beansprucht, ebenso in „Kubik-Ängström“ anzugeben, wie den Inhalt einer Medizinflasche in Kubikzentimetern. Auch damit aber ist es nicht genug, denn das chemische Atom ist ja noch ein großes Gebäude. Wir steigen ein drittes Mal zu einem Zehntausendstel herab, zu den Billionteilen Zentimetern also, und erreichen damit die Dimensionen, in denen die Struktur der Atomkerne sich bemerkbar macht und in denen die Vorgänge der Kernzertrümmerung sich abspielen. Hier also haben wir die elementaren Teilchen erreicht, aus denen alle Materie aufgebaut ist.

Diese hohen Zahlen und ungewohnten Bezeichnungen erwecken leicht den Eindruck, als müsse man sich ein ganz anderes Denken angewöhnen, um hier arbeiten zu können. Das ist aber nicht richtig. Man beobachtet und schließt im Grunde ebenso wie in den uns aus dem täglichen Leben gewohnten Vorgängen. Der Physiker, der in die kleinen Dimensionen herabsteigt, verfährt nicht anders als der Geograph, der in fremde Länder reist. Beide kommen in ganz normaler Fortbewegung in entlegene Gegenden, in denen es sehr ungewohnt aussehen kann. Um von dieser Methode des Atomphysikers, in die Welt des Kleinen zu reisen, einen etwas lebendigeren Begriff zu geben und zu betonen, daß man dabei auf ganz neue Erscheinungen und Gesetze stoßen kann, die man nicht vermuten konnte, solange man bei gröberer Gegenständen blieb, wollen wir nun einen kleinen Gedankenversuch machen, bei dem wir schon genau wissen, was herauskommt. Wir wollen uns nämlich einen Beobachter denken, der so ungeheuer groß ist, und dessen Auge so grob gebaut ist, daß er die ganze Welt, in der wir leben, erst allmählich zu entdecken vermag, indem er sich geeignete Mikroskope baut. Sein Auge sei für Licht empfindlich, aber so grob, daß ihm die ganze Erde nur als ein gerade wahrnehmbares Stäubchen erscheint. In der Kenntnis größerer Himmelskörper sei er wohl erfahren. Der Aufbau der Milchstraße und der verschiedenen Arten der Nebel sei ihm vertraut, besonders aber seien ihm die zahlreichen Sterne, die etwa die Größe der Sonne haben, wohl bekannt. Wenn wir nun verfolgen, wie dieser Beobachter allmählich mit immer besseren und besseren Mikroskopen die Erde erforscht, so haben wir ein Bild davon, wie der Atomphysiker in die Welt des Kleinen hinabreißt und haben außerdem den Vorteil, uns selbst und die tägliche Welt, in der wir gefangen sind, von oben zu sehen, und besser zu überblicken, wo wir eigentlich auf der Stufenleiter zur molekularen Welt stehen. Wenn er so weit gekommen ist, auf dieser Erde einzelne Menschen wahrzunehmen, hat er etwa dasselbe geleistet, was wir erreicht hatten, als wir die Größe des Atoms angeben konnten.

Unser Beobachter ist also irgendwie auf dieses Stäubchen „Erde“ aufmerksam geworden, — etwa dadurch, daß es zu den merkwürdigen Himmelskörpern gehört, die nicht selbst leuchten. Sobald er ein Mikroskop gebaut hat, das ihm erlaubt, Einzelheiten auf der Erde zu unterscheiden, wird er die weiße Wolkendecke und den Wechsel ihrer Verteilung bemerken und das Ganze zunächst als einen durch die Schwere zusammengehaltenen Gastropfen ansehen, in dem die Gase durcheinanderwirbeln, wie er es von der Sonne und ihren Verwandten

gewohnt ist. Nach einiger Verbesserung seines Mikroskops aber wird er eine Entdeckung machen, die ihn aufs höchste erstaunt. Er bemerkt, daß in den dunklen Teilen der Erdoberfläche eine feine Zeichnung wahrzunehmen ist, die unverändert wieder hervortritt, auch wenn eine Zeit lang die weißen Wolken die betreffende Stelle eingenommen haben. Er findet also, daß es hier Materie gibt, die unverändert stets dieselbe Anordnung einhält; er entdeckt, daß die Materie einen festen Zustand anzunehmen vermag. Damit aber hat er die erste Äußerung der molekularen Kräfte beobachtet, die die Materie zu den bestimmten dauernden Gestalten zusammentreten lassen, wie sie uns dauernd umgeben. In den glühenden Wirbeln der großen Gestirne kann sich nichts dergleichen bilden. Die Materie ist dort bis auf die einzelnen Atome herab zerschlagen und auch diese sind noch eines großen Teiles ihrer Elektronen beraubt. Erst in dem kühlen Winkel der Welt, den unser Beobachter entdeckt hat, können die Atome zu Molekülen und zu festen Gestalten zusammentreten. Erst hier werden die Erscheinungen möglich, mit denen Chemie und Mineralogie sich beschäftigen.

Unser Beobachter muß nun seine Instrumente ganz gewaltig weiter verbessern, bis es ihm gelingt, wieder eine Entdeckung zu machen, die jener ersten an Bedeutung zu vergleichen ist. Sobald sein Mikroskop ihm erlaubt, Gegenstände wahrzunehmen, die nur noch wenige Meter messen, entdeckt er die ersten lebenden Wesen. Indem er weiter vordringt, findet er mehr und mehr lebende Geschöpfe bis in die Nähe atomistischer Dimensionen herunter. Er hat nun auch den Bereich der Biologie gefunden und kennt damit den ganzen Aufgabenkreis unserer Naturwissenschaft.

Mit dem Treiben der lebenden Individuen zeigt sich wiederum in kleinen Dimensionen eine Erscheinung, zu der es in größeren nichts Vergleichbares gab und wiederum haben wir festzustellen, daß von dieser neuen Erscheinung aus ein stetiger Zusammenhang bis in die Welt der Atome hinabführt. Vor allem fällt die Tatsache der Individualität, also der atomistische Charakter dieser Wesen selbst auf; nur als Ganzes, nur unverletzt, vermögen sie ihr eigentümliches Wesen zu treiben.

Wir denken uns nun, daß wir gemeinsam mit unserem Beobachter in die weiteren Tiefen hinabsteigen und sehen zu, ob uns noch weiter Überraschendes begegnet. Das 18. Jahrhundert hat uns ja versichert — und das 19. hat dieser Annahme vielfach zugestimmt —, daß die Natur befriedigend gedeutet sein würde, wenn es gelänge, alle Vorgänge in

Bewegungen von Atomen aufzulösen, die nach den Gesetzen der klassischen, an den uns gewohnten Erscheinungen der großen Welt entwickelten Mechanik sich bewegen. Wir haben schon berichtet, daß man in der Tat in einer bestimmten Tiefe elementaren Teilchen begegnet, die in aller Materie die gleichen sind, und daß ihr Verhalten den Zusammenhang sehr verschiedenartiger Erscheinungen verständlich macht. Fragt man aber nun, ob wirklich die gewohnte Mechanik jene Tiefen völlig beherrsche, so müssen wir antworten: Nein! Die Annahme, daß die letzten Teilchen der Materie sich so verhielten, wie die sogenannten „Massenpunkte“ der theoretischen Mechanik, hat sich als eine allzu naive Übertragung der in großen Dimensionen brauchbaren Vorstellungen herausgestellt.

In gewissen Zügen zwar ist die klassische Mechanik völlig erhalten. Es war ein ganz vorzügliches Verfahren, das Atom zunächst einmal als ein Planetensystem zu betrachten, in dem sich die Elektronen nach denselben Gesetzen bewegen, die am Himmel gelten. Aber man darf dem Atom durchaus nicht alle Eigenschaften zuschreiben, die ein Planetensystem haben würde, und man kommt mit diesem Bilde nicht aus. Vor einigen Jahren stellte man fest, daß sich einige Erscheinungen viel besser verstehen ließen, wenn man die Anwesenheit eines Elektrons im Atom nicht als Bewegung eines Punktes darstelle, sondern wie das Bestehen der Wellenbewegung in einer tönenden Pfeife. In den letzten Jahren hat man mit großer Überraschung entdeckt, daß diese Auffassung auch für freie Elektronen einen guten Sinn hat: Ein Elektronenstrahl verhält sich in vielen Punkten ebenso wie ein Lichtstrahl, er kann ebenso Interferenzen zeigen, man kann mit einem Beugungsgitter ein Elektronenspektrum entwerfen. Damit ist für die Materie dasselbe eingetreten, was sich seit Jahren allmählich beim Licht entwickelt hatte: beide müssen ebensowohl als ausbreitungsfähige Wellen wie als wohlbestimmte Einzelteilchen gelten. Dieser Dualismus berührt natürlich unmittelbar die Erkenntnistheorie; denn wenn ein solcher Widerspruch möglich ist, wird fraglich, ob denn überhaupt die Übermittlung der physikalischen Wirkungen in der Atomwelt noch in der uns gewohnten Weise mit den Begriffen von Raum und Zeit beschrieben werden kann.

In der Erfahrung sieht die Sache so aus, daß jene Einzelprozesse, in denen Licht oder Materie als Teilchen zu wirken scheinen, an einem gegebenen Ort in umso höherer Zahl auftreten, je stärker dort die nach der Wellentheorie zu erwartende Bewegung sein würde. Wie das gemeint ist, kann man sich etwa an dem Vorgang einer photographischen Aufnahme vorstellen. Die Linse entwirft uns ein Bild, dessen Hellig-

keitsverteilung wir nach der Wellentheorie berechnen. Die photographische Platte aber kann ja darauf nur mit chemischen Umwandlungen, also mit ruckweisen Einzelprozessen antworten und ergibt eben da eine größere Zahl geschwärzter einzelner Silberkörner, wo nach der Wellentheorie die stärkere Lichtbewegung besteht. Man beobachtet also nur einen statistischen Zusammenhang. Da nun allgemein, für Materie und für Licht, diese Doppelnatur von Wellen und Einzelvorgang vorliegt, denkt man heute lebhaft daran, dem Dilemma dadurch aus dem Wege zu gehen, daß man erklärt, die Wirkungszusammenhänge in der Atomwelt seien stets nur statistischer Natur, die Wellenseite der Erscheinungen gebe stets nur die Wahrscheinlichkeit dafür an, daß bestimmte Einzelprozesse eintreten. Eine sichere Bestimmung für diese aber gebe es nicht, sie seien nicht im alten Sinne kausal determiniert.

Ich müßte allzu sehr in die Besprechung physikalischer Einzelfragen und in Begriffsbestimmungen zur Wahrscheinlichkeitstheorie eintreten, wenn ich ausführen wollte, daß mir diese Schlußweise nicht völlig überzeugend erscheint. Auch lassen die prinzipiellen Äußerungen der Autoren, die diese Ansicht vertreten, noch sehr voneinander abweichende Auffassungen zu. Wir haben aber auf jeden Fall eine sehr ernste Krise des alten physikalischen Kausalitätsbegriffes vor uns. Dies sei noch an einem Beispiel erläutert.

Wir pflegen voranzusetzen, das Spiel von Ursache und Wirkung könne vor uns ablaufen, während wir als unbeteiligte Zuschauer danebenstehen. Heisenberg aber hat darauf aufmerksam gemacht, daß diese Annahme ungenau ist und daß diese Ungenauigkeit zu verhängnisvoller Größe anschwillt, wenn wir zu atomistischen Vorgängen herabsteigen. Wir können ja gar nicht beobachten, ohne selbst in die Kausalverbindung verflochten zu sein. Von den Erscheinungen her muß eine Wirkung unsere Sinnesorgane erreichen, der Fluß von Ursache und Wirkung strömt also gar nicht isoliert an uns vorbei, er sendet stets einen Zweig zum Beobachter. Im allgemeinen müssen dem zu beobachtenden System sogar erst bestimmte Einwirkungen zugeführt werden, um es überhaupt wahrnehmen zu können. Meistens senden wir Licht darauf, wir beleuchten es. Die Folge von Ursache und Wirkung, die wir beobachten wollen, wird dann von einer zweiten gekreuzt, die von der Sonne über den beobachteten Gegenstand in unser Auge führt. Wir nehmen gewöhnlich an, daß die letzte Reihe die erstere nicht störe. Wenn etwa ein Dampfer sich durch die Eisdecke, die draußen die Erde bedeckt, in einzelnen Anläufen hindurcharbeitet, so kann bei jedem einzelnen Vorgang der Stoß des Dampfers als Ursache, das Platzen

der Eisdecke als Wirkung gelten. Augenscheinlich wird es für die Wirkung gleichgültig sein, ob dazu noch die Sonne scheint und Dampfer und Eis noch das Licht in unser Auge zurückwerfen müssen, damit wir den Vorgang beobachten können. Der Gedanke, daß das Eis etwa unter dem Rückstoß des zurückgeworfenen Lichtes leichter platzen könnte, erscheint auf den ersten Blick überhaupt lächerlich. Etwas nachdenklicher wird man schon vor den Zahlen. Die volle Sonnenstrahlung lastet immerhin mit einigen Zehnteln Milligramm auf dem Quadratmeter. Wenn das auch praktisch neben den Tonnen des Dampfers vollkommen verschwindet, so ist es doch eine endliche Wirkung und es könnte sein, daß sie unter anderen Bedingungen in den Vordergrund träte. Sie erscheint uns schon respektabler, wenn wir uns daran erinnern, daß der Druck des Sonnenlichtes die Kometenschweife zu erzeugen scheint, indem er die aus dem Kern des Kometen austretende Materie vor sich herbläst. Da wir nun die Kometenschweife wiederum nur vermöge dieses Sonnenlichtes sehen, das sie zugleich beleuchtet und bewegt, können wir hier die Ursache des Bewegungsvorganges und das Mittel, das seiner Beobachtung dient, gar nicht mehr trennen. Noch nennenswerter werden diese Vorgänge, wenn wir zu den kleinsten Teilchen, also zu Atomen oder Elektronen herabsteigen. Der Rückstoß, den das einzelne Elektron durch die Beleuchtung erfährt, ist vor einigen Jahren von A. H. Compton unmittelbar nachgewiesen worden. Ein solcher Rückstoß ist aber unumgänglich nötig, um das Teilchen überhaupt wahrnehmen zu können, denn wir schließen ja beim Sehen nur dadurch auf das Vorhandensein von Gegenständen an bestimmten Raumpunkten, daß das Licht dort plötzlich eine andere Richtung einschlägt. Der Gegenstand „wirft das Licht zurück“. Anders kann es auch mit dem einzelnen Elektron nicht stehen: es muß ebenfalls dem auffallenden Licht eine andere Richtung geben, damit wir sein Dasein überhaupt bemerken können. Gerade bei diesem Herumwerfen des Lichtes in eine andere Richtung aber erfährt das Teilchen selbst einen Rückstoß.

Hieraus entsteht nun eine höchst interessante Aporie für die Anwendung des Kausalprinzipes. Je genauer man die Lage des Teilchens feststellen will, desto kürzer muß man die Wellenlänge des Lichtes nehmen, mit dem man beleuchtet. Nun wird aber der Rückstoß um so stärker, je kürzer die Wellenlänge. Im selben Maße also, wie man die Beobachtung der Lage durch Anwendung immer kürzerer Wellen verfeinert, verdirbt man die Beobachtung der Erscheinung mehr und mehr, indem man die Teilchen beim Beleuchten immer stärker anstößt. Je genauer wir also das Phänomen ins Auge zu fassen suchen, dessen Ab-

lauf wir studieren wollen, desto mehr stören wir den Ablauf selbst, da unser Beobachtungsverfahren immer größere Eingriffe macht.

Der fundamentale Charakter der hier angegebenen Schwierigkeit besteht nun darin, daß Lage und Geschwindigkeit zusammen betroffen werden. Das sind ja gerade die beiden Größen, deren Kenntnis die klassische Mechanik fordert. Sie behauptet, der Ablauf der Bewegungen in einem gegebenen System sei völlig bestimmt, wenn wir nur Lage und Geschwindigkeit aller Teile in einem bestimmten Zeitpunkt anzugeben vermögen. Um sie aber angeben zu können, müssen wir sie beobachten. Nun sehen wir, daß das nicht mit beliebiger Genauigkeit möglich ist. Wenn wir, um recht genau zu sein, zur atomistischen Welt hinabsteigen, stellt sich heraus, daß in der Tat jede der beiden Größen nur auf Kosten der anderen genau bestimmt werden kann. Die Quantentheorie gibt hierfür eine scharfe zahlenmäßige Angabe und diese „Un-genauigkeitsrelation“ Heisenbergs berührt also gerade die Möglichkeit desjenigen Verfahrens, an dem sich in der klassischen Physik das Kausalitätsprinzip am schärfsten bewähren sollte. Eben diese Unmöglichkeit, die mechanischen Größen mit beliebiger Schärfe zu beobachten, gilt heute als ein weiterer Beweis dafür, daß der Kausalzusammenhang nicht streng, sondern nur statistisch bestimmt sei. Es scheint mir aber, daß diese Schwierigkeit vielleicht nicht von anderer Natur ist als diejenige, der man begegnen würde, wenn man die Sätze der Geometrie in der Erfahrung prüfen wollte. Geht man hier zu atomistischen Dimensionen herab, so lassen sich die Lagen schließlich nur noch durch einzelne von andern unterschiedene Atome, d. h. innerhalb eines bestimmten endlichen Bereiches, bezeichnen, und die geometrischen Sätze werden, an den so ausgeführten Gebilden geprüft, nur noch statistisch, innerhalb einer gewissen Genauigkeit bestätigt werden, die um so geringer wird, je kleiner wir die Dimensionen der beobachteten Gebilde wählen.

Neben diesen Problemen, die der von Planck begründeten sogenannten „Quantentheorie“ angehören, hat sich in letzter Zeit immer deutlicher ein anderer Zusammenhang gezeigt, der vielleicht eine wichtige im System der Naturwissenschaften noch bestehende Lücke schließen mag.

Hält man gewisse Erfahrungen über die innersten Elektronen der Atome — die Erscheinungen, die sich bei der Erregung der Röntgenspektren zeigen — mit Erfahrungen über die äußeren Elektronen derselben Atome — ihrer chemischen Tätigkeit — zusammen, so ergibt sich die zwingende Notwendigkeit, anzunehmen, daß sich die Elektronen des ganzen Atoms zu Schalen um den Atomkern gruppieren und daß in

jeder Schale, wieviele Elektronen auch im ganzen Atom vorhanden sein mögen, nur eine bestimmte Zahl von Elektronen Aufnahme findet. Jede Schale unterscheidet sich von ihren Nachbarinnen durch das quantentheoretische Gesetz, dem ihre Elektronen gehorchen. Gehen wir durch das System der Elemente hindurch, so entwickelt sich, da immer mehr Elektronen zur Verfügung stehen, eine solche Schale nach der anderen. Niemals aber kann man, wenn eine solche Schale vollendet ist, mehr Elektronen hineinzwängen — es ist z. B. verboten, der innersten Schale mehr Elektronen zu geben als zwei. Auf diesem Satz, der zunächst vielfach als ungewohnt empfunden wurde, beruhen vor allem die chemischen Eigenschaften der Elemente. Bestimmte Elemente, die gerade abgeschlossene Gruppen dieser Art besitzen, sind chemisch träge, es sind die „Edelgase“. Ihre Nachbarn ahmen sie nach, indem sie danach streben, dieselbe Elektronenzahl anzunehmen. Die weitere Entwicklung hat gezeigt, daß sich dieses Prinzip zu immer feinerer Anwendung ausgestalten läßt: man lernte innerhalb der größeren Elektronengruppen kleinere zu unterscheiden (Bohr) und kam damit schließlich bis zum einzelnen Elektron herunter (Pauli). Mit dieser Erkenntnis, daß für jedes Elektron ein einziger wohldefinierter Platz im Atom bereit steht, an den sich kein zweites Elektron mehr hindrängen läßt, hat das Prinzip augenscheinlich seine abschließende Form erhalten, die sich in ihrer Prägnanz außerordentlich brauchbar gezeigt hat.

Das ganze Abschlußphänomen selbst ist aber sehr überraschend. Wir haben gewissermaßen zunächst gefunden, daß im Atom Gassen (Schalen bestimmter „Quantenzahl“) sind, in deren jede nur eine bestimmte Zahl von Elektronen einziehen dürfen. Schließlich hat man sogar gezeigt, daß jede Gasse gerade ebensoviele Häuser mit besonderen Hausnummern (mehrfachen „Quantenzahlen“) hat, als sie Elektronen aufnimmt, in jedem Haus also nur ein Elektron wohnen darf. Wo aber bei alledem das Wohnungsamt sitzt, das diese Verbote für das Atominnere erläßt, wissen wir immer noch nicht. Unter den klassischen Gesetzen der Physik steckt es nicht, auch nicht in der Quantentheorie, wie ich besonders gegenüber Einwänden von Nernst betonen möchte. Es ist ein neues physikalisches Prinzip, dessen Wirken wir an den Valenzzahlen der Chemiker und den seltsamen Erregungsbedingungen der Röntgenspektren entdeckt haben. Diese Erfahrung ist etwas Neues gegenüber allem, was wir bisher gekannt haben, sie bedeutet, daß jedes Teilchen des Atoms sich nach einer bestimmten Rücksicht auf das Ganze zu richten hat.

Mit aller nötigen Vorsicht möchte ich die Vermutung aussprechen, daß an dieser Stelle der Punkt in der unorganischen Welt liegt, wo

auch die Individualität der lebenden Wesen anzuschließen und damit auch die Biologie der schon zusammengeschlossenen Welt der anorganischen Erscheinungen zu verknüpfen ist. Der Gedanke, daß die Lebensvorgänge, soweit sie Gegenstand der Außenwelt sind, auf rein physikalisch-chemische Vorgänge zurückzuführen seien, ist zwar durch eine übermäßig platte Darstellungsweise, die vor einigen Jahrzehnten aufkam, in seinem Ansehen schwer geschädigt worden — für den Naturwissenschaftler aber besitzt er die überwiegende Wahrscheinlichkeit, die daraus hervorgeht, daß die Lebensvorgänge überall aufs engste mit den unorganischen Vorgängen ineinandergreifen. Man hat aber immer wieder einzelne Züge angeführt, die aus den Vorgängen der unbelebten Welt nicht erklärbar sein sollen. Ein lebendes Wesen, sagte man etwa, kann mit seinem Stoffwechsel und seiner Muskeltätigkeit natürlich gewissen Mechanismen, etwa einer Wärmekraftmaschine, verglichen werden. Aber es unterscheidet sich doch z. B. von dieser grundsätzlich dadurch, daß es eine nicht allzu schwere Wunde wieder auszuheilen vermag. Der Mechanismus ist keiner solchen Regeneration fähig. Also gibt es eine besondere, den Zweck der Erhaltung des Organismus anstrebende Lebenskraft (etwa „Entelechie“). So oberflächlich diese Überlegung schon von vornherein erschien, heute würden wir sie wohl mit besonderer Energie zurückweisen. Wie kannst du, würden wir sagen, eine Dampfmaschine zum Vergleich heranziehen, einen Mechanismus, den wir allein mit Rücksicht auf die Gesetze der großen Dimensionen aus groben Einzelstücken zusammengeschraubt haben! Hier können freilich nicht die Fähigkeiten erwartet werden, die der von molekularen Abmessungen an über die spezifischen Eiweißstoffe aufwärts bis zu den Organen durchgegliederte, durch und durch in einheitlicher molekularer Verknüpfung stehende lebende Organismus zeigt. Ein Blick auf die von den kleinsten wahrnehmbaren Dimensionen an aufwärts führende Entwicklungsreihe der lebenden Organismen zeigt dir doch, daß du unmöglich etwas Endgültiges über die Verknüpfungen der Lebenserscheinungen mit der unorganischen Welt aussagen kannst, bevor du nicht weißt, wie deren Gesetze innerhalb der Atomwelt aussehen! Du müßtest erst zeigen, daß dort keine Regenerationserscheinungen möglich sind, dann erst darfst du behaupten, im lebenden Wesen trete ein neues Prinzip auf. Nun finden wir aber, daß schon in Atomen und Molekülen ein Prinzip tätig ist, nach dem die Einzelteile in ihrem Zusammenbau Rücksicht auf das Ganze nehmen müssen. Wir finden weiter, daß schon das einzelne Atom, wenn wir seinen Organismus verletzen, indem wir etwa durch einen Röntgenstrahl ein Elektron aus seinem Inneren herausreißen, seinen Bau regeneriert und ein zum Ersatz herankommendes fremdes Elektron

wieder nach dem alten Plan in das Ganze aufnimmt. Wir finden weiter, daß mehrere Atome, in denen die nach diesem Plane eröffneten Möglichkeiten der Unterbringung von Elektronen noch nicht erschöpft, nämlich die äußersten Elektronenschalen nicht voll besetzt sind, zu einem größeren Ganzen, dem Molekül des Chemikers zusammenwachsen, indem sie sich gegenseitig Elektronen anvertrauen und so den Plan des Schalenbaus weiter ausführen. Dabei ist das wichtigste aller im lebenden Organismus vorkommenden Atome gerade der Kohlenstoff, das einzige Element, von dem man sagen kann, es steht mitten inne zwischen dem Beginn und der Vollendung einer Elektronenschale. Hier ist man also von der Einfachheit, die der Schalenabschluß den typisch anorganischen, den sogenannten heteropolaren Verbindungen aufprägt, am weitesten entfernt, hier sieht man auch nach diesem Plan die größte Fülle von Möglichkeiten gegenseitiger Rücksichtnahme zwischen den einzelnen Atomen, der innigsten Verknüpfung zwischen den einzelnen Elektronen eines großen Ganzen vor Augen. Da man in der Tat in den letzten Jahren mehr und mehr Anhaltspunkte dafür gewonnen hat, daß dies Gesetz des planmäßigen Aufbaues vom Atom an aufwärts auch für Molekülgruppen und größere Körper gilt, wenn sie nur untereinander zusammenhängen, ist es vielleicht nicht allzu kühn, daran zu denken, daß hier das Prinzip verborgen sein könnte, auf dem auch die Ganzheit des lebenden Organismus beruht.

Wir kehren zum Ausgangspunkt zurück. An den drei großen Entwicklungsstufen der Physik zeigten wir, wie ihr Fortschreiten sie wieder und wieder zur Einheit zurückführt, wie sie sich mit den unorganischen Nachbarwissenschaften bereits verbunden hat, wie es nicht hoffnungslos ist, daß sie sich in den Tiefen, die sie heute erreicht hat, auch mit Grundproblemen der Biologie zusammenfindet, und wie die Gestalt, die ihre Prinzipien heute angenommen haben, der Erkenntnistheorie neue Aufgaben bietet. Wir erinnern uns daran, wie in Kants Darlegungen neben der Geometrie die Naturwissenschaft — in Form der Mechanik — als Vertreterin exakter Wissenschaft überhaupt galt, wir erinnern daran, wie durch die Entwicklung des vorigen Jahrhunderts und durch die Relativitätstheorie die Geometrie, die er kannte, modifiziert worden ist, und wir sehen, wie heute auch das Kausalitätsprinzip, dessen Behandlung durch Hume nach Kants eigenem Geständnis seine kritische Periode einleitete, durch die vertiefte Erfahrung der Naturwissenschaft eine verschärfte Durchprüfung erfährt. So dürfen wir sagen, daß die Entwicklung nicht ins Breite, sondern zur Einheit führt.

Unsere Wissenschaft ist ein Gebiet, auf dem wir auch in der schweren auf Deutschland lastenden Zeit unbekümmert empfinden dürfen, daß es vorwärts geht. Eine reiche Generation bedeutender jüngerer Kräfte zeugt auf diesem Gebiet für die Lebenskraft unseres Landes. Wir dürfen damit rechnen, daß wir weiter Ansehnliches leisten können, wenn uns nur die äußeren Hilfsmittel nicht fehlen. Mit heißen Wünschen gedenken wir auch heute des Schicksals der ganzen Nation und beginnen das neue Arbeitsjahr, indem wir für unser Volk und unsere engere Gemeinschaft die schönen Worte sprechen, mit denen der athenische Bürger seine Stadtgöttin anrief, die auch die Schutzpatronin aller gelehrten Arbeit ist:

*Παλλὰς Τριτογένει', ἀνασσ' Ἀθηνᾶ,  
ἔρθου τήνδε πόλιν τε καὶ πολίτας  
ἄτερ ἀλγέων καὶ στάσεων  
καὶ θανάτων ἀώρων, σύ τε καὶ πατήρ.*

