

15

WANDLUNGEN
IN DEN GRUNDLAGEN
DER NATURWISSENSCHAFT

ZWEI VORTRÄGE

VON

WERNER HEISENBERG



1 9 3 5

Arendt
QC
71
.H39

LAG VON S. HIRZEL IN LEIPZIG

WANDLUNGEN
IN DEN GRUNDLAGEN
DER NATURWISSENSCHAFT

ZWEI VORTRÄGE

VON

WERNER HEISENBERG



1 9 3 5

VERLAG VON S. HIRZEL IN LEIPZIG

Inhalt

Wandlungen der Grundlagen der exakten Naturwissenschaft in jüngster Zeit	5
Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung	27

eingreifen können, nennen wir „zukünftig“. Unserer täglichen Erfahrung entspricht es, zu glauben, daß die Ereignisse, von denen wir etwas erfahren können, von denen, die wir noch ändern können, nur durch einen unendlich kurzen Augenblick, den wir „Gegenwart“ nennen, getrennt seien. Diese stillschweigende Annahme der klassischen Physik erwies sich — durch die experimentellen Forschungen, die uns zur Anerkennung der speziellen Relativitätstheorie gezwungen haben — als unrichtig. Vielmehr liegt zwischen dem, was wir eben „Vergangenheit“, und dem, was wir eben „Zukunft“ nannten, noch ein schmaler, aber endlicher Zeitabschnitt, dessen Dauer bestimmt ist durch den Abstand des Beobachters, der die Feststellung „vergangen“ oder „zukünftig“ trifft, von dem Ort der Ereignisse, um deren zeitlichen Ablauf es sich handelt. Die Theorie, die zu dieser Erkenntnis geführt hat, ist inzwischen durch eine große Reihe experimenteller Bestätigungen zu einer selbstverständlichen Grundlage aller modernen Physik geworden und gilt ebenso, wie etwa die klassische Mechanik oder die Wärmelehre als festes, für immer gesichertes Gut der exakten Naturwissenschaft. Ihre außerordentliche Bedeutung liegt in erster Linie in der ganz unerwarteten Erkenntnis, daß die konsequente Verfolgung des von der klassischen Physik vorgezeichneten Weges die Abänderung der Grundlagen dieser Physik erzwingt. Dieser Sachverhalt wird uns im folgenden noch mehrfach begegnen. Die modernen Theorien sind nicht aus revolutionären Ideen entstanden, die sozusagen von außen her in die exakten Naturwissenschaften hereingebracht wurden; sie sind der Forschung vielmehr bei dem Versuch, das Programm der klassischen Physik konsequent zu Ende zu führen, durch die Natur aufgezwungen worden. Deshalb kann man die Anfänge der modernen

weniger zwingend als die, die wir etwa heute für die allgemeine Relativitätstheorie anführen können. Trotzdem war die Tatsache, daß man nicht in Unsinn geriet, wenn man behauptete, die Erde bewege sich um die Sonne, Grund genug für Galilei, um mit der ganzen Kraft seines Geistes für Kopernikus einzutreten. In ähnlicher Weise wird die Tatsache, daß man nicht in Unsinn gerät, wenn man behauptet: die Geometrie in der Welt hängt von der Materieverteilung ab, unabhängig von jeder experimentellen Bestätigung einen solchen Einfluß auf die zukünftige Forschung ausüben, daß eine Theorie der Gravitation künftig nie an der allgemeinen Relativitätstheorie vorbei, sondern nur durch sie hindurchgehen kann.

Kaum ein Jahrzehnt, nachdem die Relativitätstheorie gezeigt hatte, daß die als selbstverständlich angesehenen Grundlagen der exakten Naturwissenschaft durch neue Erfahrungen verändert werden können, wurde der eigentliche Kern der klassischen Physik, der Glaube an den objektiven, von jeder Beobachtung unabhängigen Ablauf von Ereignissen in Raum und Zeit durch die experimentellen Entdeckungen angegriffen, die in ihren Konsequenzen zur Bohrschen Theorie des Atombaus geführt haben. Auch in der Quantentheorie geschah die Abkehr von den Grundsätzen der klassischen Naturbeschreibung nicht durch das Eindringen neuer, der bisherigen Physik fremder Ideen in unsere Wissenschaft; vielmehr wurde hier die Forschung durch eine Kette der denkwürdigsten experimentellen Entdeckungen Schritt für Schritt zum Verlassen des Bodens der klassischen Physik gezwungen. Nach der Entdeckung des Wirkungsquantums durch Planck war hier der wichtigste erste Schritt die durch die Untersuchungen von Lenard und ihre Deutung durch Einstein gewonnene Einsicht, daß das

Licht, das wir auf Grund zahlloser Interferenzversuche als Wellenvorgang auffassen müssen, gleichwohl in gewissen Experimenten korpuskulare Eigenschaften zeigt. Wir finden also wieder am Anfang der neuen Theorie den inneren Widerspruch, in den die klassische Physik sich durch eine auf ihrem Boden völlig konsequente Deutung gewisser Experimente verwickelt. In der auf den Rutherford'schen Experimenten fußenden Bohrschen Atomtheorie trat dann der Dualismus klassischer und der früheren Physik völlig fremder Gesetzmäßigkeiten noch deutlicher zutage. In den folgenden Jahren erhielt diese Theorie eine feste Grundlage durch eine Reihe von experimentellen und theoretischen Untersuchungen, von denen als Beispiele nur die von Franck und Hertz, Stark, Stern und Gerlach einerseits, Sommerfeld, Kramers, Born, Pauli andererseits genannt werden sollen. Dann entdeckte de Broglie den Dualismus von Wellenvorstellung und korpuskularer Vorstellung auch im Verhalten der Materie. Schließlich gelang es der gleichzeitigen Arbeit des Göttinger Kreises und Diracs und Schrödingers, die verschiedenartigen experimentellen Ergebnisse in einem mathematischen Schema zusammenzufassen, durch das eine klare neue Situation gegenüber den Grundlagen physikalischer Untersuchungen geschaffen war. Die Analyse dieser Situation, die ich hier wieder nur andeuten kann, verdanken wir in erster Linie Bohr. Es zeigte sich, daß in unserer Erforschung atomarer Vorgänge ein eigentümlicher Zwiespalt unvermeidbar ist: Einerseits sind die experimentellen Fragen, die wir an die Natur richten, stets mit Hilfe der anschaulichen Begriffe der klassischen Physik formuliert und bedienen sich insbesondere der Begriffe von Raum und Zeit der Anschauung; denn wir besitzen

ja gar keine andere als diese den Gegenständen unserer alltäglichen Umgebung angepaßte Sprache, mit der wir z. B. den Aufbau der Meßapparate beschreiben könnten, und wir können Erfahrungen nicht anders als in Raum und Zeit machen. Andererseits sind die mathematischen Gebilde, die sich zur Darstellung der experimentellen Sachverhalte eignen, Wellenfunktionen in mehrdimensionalen Konfigurationsräumen, die keine einfache anschauliche Deutung zulassen. Aus diesem Zwiespalt ergibt sich die Notwendigkeit, bei der Beschreibung atomarer Vorgänge einen Schnitt zu ziehen zwischen den Meßapparaten des Beobachters, die mit den klassischen Begriffen beschrieben werden, und dem Beobachtungsobjekt, dessen Verhalten durch eine Wellenfunktion dargestellt wird. Während nun sowohl auf der einen Seite des Schnittes, die zum Beobachter führt, wie auf der anderen, die den Gegenstand der Beobachtung enthält, alle Zusammenhänge scharf determiniert sind — hier durch die Gesetze der klassischen Physik, dort durch die Differentialgleichungen der Quantenmechanik —, äußert sich die Existenz des Schnittes doch im Auftreten statistischer Zusammenhänge. An der Stelle des Schnittes muß nämlich die Wirkung des Beobachtungsmittels auf den zu beobachtenden Gegenstand als eine teilweise unkontrollierbare Störung aufgefaßt werden. Dieser prinzipiell unkontrollierbare Teil der Störung, die ja mit jeder Beobachtung notwendig verknüpft ist, wird in mehrfacher Weise wichtig. Einmal ist er der Grund für das Auftreten statistischer Naturgesetze in der Quantenmechanik. Dann führt er zu einer Schranke für die Anwendbarkeit der klassischen Begriffe. Es stellt sich heraus, daß die Genauigkeit, bis zu der klassische Begriffe sinnvoll zur Beschreibung der Natur verwendet werden können, durch die sogenannten Unbestimmtheits-

relationen beschränkt ist. Diese Genauigkeitsschranke gibt eben den Grad von Freiheit gegenüber den klassischen Begriffen, der nötig ist, um die verschiedenen anschaulichen Bilder, unter denen ein bestimmtes physikalisches Geschehen erscheinen kann — z. B. Partikel- und Wellenbild —, vernünftig zu verknüpfen. Schließlich sorgt dieser prinzipiell unkontrollierbare Teil der Störung in einer bis ins einzelne verfolgbaren wunderbaren Weise dafür, daß die klassischen und die quantentheoretischen Gesetzesbereiche an der Stelle des Schnittes widerspruchsfrei aneinandergesetzt werden können, so daß ein geschlossenes System von Gesetzen entsteht. Entscheidend ist hierbei insbesondere, daß die Lage des Schnittes — d. h. die Frage, welche Gegenstände mit zum Beobachtungsmittel und welche mit zum Beobachtungsobjekt gerechnet werden — für die Formulierung der Naturgesetze gleichgültig ist. Von dieser Einsicht aus kann auch einem Einwand begegnet werden, der gegen die Endgültigkeit der Quantenmechanik mehrfach vorgebracht wurde: es könnte hinter dem von ihr formulierten statistischen Zusammenhang noch ein System deterministischer Naturgesetze für andere uns bisher unbekannte Bestimmungsstücke der Natur verborgen sein, ähnlich wie hinter der Wärmelehre die Boltzmannsche Mechanik der Atome steckt. Eine genaue Untersuchung dieser Hypothese zeigt bald, daß diese neuen Naturgesetze zu Konsequenzen der Quantenmechanik, die streng determiniert sind, in Widerspruch geraten müßten; die Quantenmechanik läßt nirgends Raum für eine Ergänzung ihrer Aussagen, denn die einzige Stelle, an der sie Unbestimmtheiten enthält, ist der besprochene „Schnitt“. Würde man an irgendeiner durch bestimmte Naturvorgänge definierten Stelle die Unbestimmtheit der Quantentheorie durch Ergänzungen be-

seitigen wollen, so müßten dadurch, daß man den Schnitt von der genannten Stelle wegverlegt, die Widersprüche zwischen der Quantenmechanik und der versuchten Ergänzung deutlich werden.

Damit erhebt sich sogleich die allgemeinere Frage, inwieweit die durch die moderne Physik erzwungene Wandlung der Grundlagen der exakten Naturwissenschaft endgültig ist. Wir haben zu diskutieren, ob die Naturforscher auf den Gedanken an eine allen Beobachtern gemeinsame objektive Zeitskala, an objektive, von jeder Beobachtung unabhängige Geschehnisse in Raum und Zeit für immer verzichten müssen, oder ob die jüngste Entwicklung nur als eine vorübergehende Krisis zu betrachten ist. Es scheint mir, als ob die stärksten Gründe dafür sprächen, zu glauben, daß dieser Verzicht endgültig ist. Um diese Gründe auseinanderzusetzen, möchte ich mit einem Vergleich beginnen. Vor dem Entstehen der antiken Naturwissenschaft stellten sich die Menschen die Welt als eine flache Scheibe vor, und erst durch die Entdeckung Amerikas und die erste Weltumseglung wurde dieser Glaube für alle Zeiten zerstört. Zwar hatte auch vorher niemand den Rand der Erdscheibe je gesehen. Aber dieses „Ende der Welt“ gewann gleichwohl Gestalt und Leben durch die Sagen, in denen von ihm gesprochen wurde, und durch die Phantasie der Menschen, die sich mit ihm beschäftigten. Wir kennen das alte Motiv von dem Mann, der alles erforschen und bis ans Ende der Welt reisen will. Die Frage nach dem Ende der Welt hatte damals einen bestimmten, klaren Sinn. Mit den Entdeckungsfahrten von Columbus und Magellan wurde trotzdem diese Frage für immer als sinnlos erwiesen und die ganze Gedankenwelt, die sich an sie knüpfte, in eine Märchenwelt verwandelt. Die Menschheit verzichtete

nicht deswegen auf die Frage nach dem Ende der Welt, weil sie die ganze Erdoberfläche durchforscht hatte — denn selbst heute kennen wir einzelne Teile der Erdoberfläche noch nicht —, sondern die Fahrten von Columbus und Magellan waren so deutliche Beweise für die Notwendigkeit, sich der neuen Denkmöglichkeit: der Annahme der Kugelgestalt der Erde zu bedienen, daß man den Verzicht auf jene Frage gar nicht mehr als Verzicht empfand. Ganz ähnlich scheint es mir mit den Fragen nach der absoluten Zeitskala und nach dem objektiven Geschehen in Raum und Zeit zu stehen, auf die uns die moderne Physik zu verzichten lehrt. Auch den Sinn dieser Begriffe hatte in der Allgemeinheit, in der an sie geglaubt wurde, nie jemand durch direkte Erfahrung bestätigt; auch sie bildeten ein hypothetisches ‚Ende der Welt‘. Dabei ist die Gedankenwelt, die zugleich mit diesen Fragen der klassischen Physik zerstört werden soll, viel weniger lebendig als jene, die Columbus oder Kopernikus vernichtete. Daher ist die Wandlung unseres Weltbildes, zu der die moderne Physik zwingt, weniger einschneidend als jene im 15. und 16. Jahrhundert. Auch die Überzeugungskraft der Quantentheorie liegt keineswegs darin, daß wir etwa sämtliche Methoden, um Ort und Geschwindigkeit eines Elektrons zu messen, durchprobiert hätten und es nirgends gelungen wäre, die Unbestimmtheitsrelationen zu umgehen. Sondern die experimentellen Ergebnisse etwa von Compton und Geiger und Bothe sind so einleuchtende Beweise für die Notwendigkeit, sich der in der Quantentheorie geschaffenen neuen Denkmöglichkeit zu bedienen, daß der Verzicht auf die Fragen der klassischen Physik gar nicht mehr als Verzicht erscheint. In den neuen Denkmöglichkeiten, zu denen uns die Natur verholfen hat, liegt also die eigentliche Kraft der modernen Physik. Die

Hoffnung, man werde durch neue Experimente doch noch dem objektiven Geschehen in Raum und Zeit oder der absoluten Zeit auf die Spur kommen, dürfte daher nicht besser begründet sein als die Hoffnung, irgendwo in den unerforschten Teilen der Antarktis werde schließlich doch das Ende der Welt gefunden werden. Noch in einem anderen Punkt läßt sich der Vergleich durchführen: Für die Geographie der Mittelmeerländer waren die Entdeckungen des Columbus unwesentlich, und es wäre ganz falsch, zu behaupten, die Entdeckungsfahrten des berühmten Genuesen hätten die positiven geographischen Kenntnisse der damaligen Welt umgestürzt. Ebenso falsch ist es, heute von einem Umsturz der Physik zu sprechen; an den großen klassischen Disziplinen der Physik, z. B. Mechanik, Optik, Wärmelehre, hat sich durch die moderne Physik nichts geändert. Nur das Bild, das wir aus der Kenntnis eines beschränkten Teils der Welt voreilig von ihren noch unerforschten Gebieten entwarfen, hat eine entscheidende Wandlung durchgemacht. Freilich ist dieses Bild stets bestimmend für den Weg, den die Forschung einschlägt.

Nach dieser kurzen und oberflächlichen Übersicht über das, was in der theoretischen Physik in der jüngstvergangenen Zeit geschehen ist, soll weiter die Frage besprochen werden, ob und inwiefern dieses Geschehen wichtig werden und welche Wirkungen es auf die weitere Gestaltung des naturwissenschaftlichen Denkens vielleicht ausüben kann. Zwei Aufgaben sind ja der Naturwissenschaft gestellt: sie soll Kenntnisse der Natur vermitteln, die die Menschen in den Stand setzen, die Naturkräfte ihren eigenen Interessen dienstbar zu machen, und sie soll durch eine wirkliche Einsicht in die Zusammenhänge der Natur den Menschen die richtige Stellung in ihr zuweisen. Die

für theoretische Erkenntnisse bildet, und daß prinzipielle Fortschritte nur unter dem Druck experimenteller Resultate, nicht durch Spekulationen errungen werden. Andererseits dürfte doch oft die Richtung, in der die experimentelle Forschung fortschreitet, durch die Wege der Theorie bestimmt sein. Das berühmteste Beispiel für die ergänzende Zusammenarbeit, die seit dem Beginn der modernen Naturwissenschaft das Verhältnis von Theorie und Erfahrung bestimmt hat, ist wohl die gemeinsame Leistung Tycho Brahes und Keplers. Das ungeheure Beobachtungsmaterial Tychos über die Planetenbewegungen, das Kepler nie in dieser Genauigkeit hätte sammeln können, war die notwendige Voraussetzung für die Arbeit Keplers; die Richtung, in der sich die Astronomie der nächsten Jahrhunderte entwickelte, wurde durch die Entdeckungen Keplers bestimmt. Aber wir brauchen kaum soweit zurückzugehen, um dieses Wechselspiel von Erfahrung und theoretischer Kenntnis zu beobachten: Die Wandlung der Grundlagen der exakten Naturwissenschaft, die sich in der modernen Physik vollzogen hat, ist Schritt für Schritt durch experimentelle Untersuchungen erzwungen worden. Ein Vergleich der Arbeitsgebiete der physikalischen Laboratorien jetzt und vor zwanzig Jahren zeigt andererseits sofort, wie sehr durch die Änderung unserer Kenntnis der Naturgesetze auch die Richtung der experimentellen Forschung verändert wird; und jede Neuerung, die in der beobachtenden Physik ihren Einfluß ausübt, pflanzt sich von dort in die Entwicklung der Technik fort. Wenn also in der heutigen Zeit darüber beraten wird, ob das Interesse der Öffentlichkeit sich in erster Linie der Technik, der experimentellen oder der theoretischen Wissenschaft zuwenden solle, so sollte vor allem bedacht werden, daß diese drei Arbeitszweige sich gegenseitig

bedingen und ergänzen. Es ist in jedem Zeitpunkt die Aufgabe der reinen Naturwissenschaft, den Boden urbar zu machen, auf dem die Technik wachsen soll; und da der bebaute Boden bald verbraucht wird, ist es wichtig, daß stets neuer hinzugewonnen werde. Diesem Zweck dient auch die theoretische Forschung. Letzten Endes beruht die Wechselwirkung zwischen Technik und Naturwissenschaft darauf, daß sie beide aus den gleichen geistigen Quellen gespeist werden; ein Vernachlässigen der reinen Wissenschaft wäre ein Symptom für das Versiegen der Kräfte, die das Leben von Technik und Wissenschaft gemeinsam bedingen.

Mit dem eben geschilderten Einfluß auf die Technik und die experimentelle Forschung ist aber wohl die Wirkung, die von der Wandlung der Grundlagen der exakten Naturwissenschaft ausgehen kann, noch keineswegs erschöpft. Ein Gebiet, in dem bereits manche Ansätze zu einer solchen Wirkung vorliegen, ist die philosophische Erkenntnistheorie. Hier ist die von Kant aufgeworfene und seitdem viel diskutierte Frage nach der Apriorität der Anschauungsformen und Kategorien durch die Kritik der absoluten Zeit und des euklidischen Raumes in der Relativitätstheorie, des Kausalgesetzes in der Quantentheorie in ein neues Licht gerückt worden. Einerseits hat sich herausgestellt, daß unsere raumzeitlichen Anschauungsformen und das Kausalgesetz nicht in dem Sinne unabhängig von aller Erfahrung sind, daß sie in alle Zukunft notwendig inhaltliche Bestandteile jeder physikalischen Theorie bleiben müßten. Andererseits ist, wie besonders Bohr betont hat, auch in der modernen Physik die Anwendbarkeit dieser Anschauungsformen und des Kausalgesetzes die Voraussetzung jeder objektiven wissenschaftlichen Erfahrung. Denn wir können Verlauf und Resultat einer Mes-

sung gar nicht anders mitteilen, als indem wir die dazu nötigen Handgriffe und die Zeigerablesung als objektive, in Raum und Zeit unserer Anschauung sich abspielende Vorgänge beschreiben, und wir könnten aus einem Meßresultat nicht auf die Eigenschaften des beobachteten Objekts schließen, wenn das Kausalgesetz nicht einen eindeutigen Zusammenhang zwischen beiden garantierte. Der scheinbare Widerspruch zwischen diesen beiden Feststellungen löst sich, wenn man bedenkt, daß die physikalischen Theorien nur dort eine von der klassischen Physik verschiedene Struktur besitzen können, wo ihre Gegenstände nicht mehr Objekte einer unmittelbaren sinnlichen Erfahrung sind, d. h. wo sie den Bereich der täglichen Erfahrung, die von der klassischen Physik beherrscht wird, verlassen. In dieser Weise hat die moderne Physik die Grenzen, die der Idee des „a priori“ in den exakten Naturwissenschaften gesteckt sind, genauer bezeichnet, als dies zu Kants Zeiten möglich war. Die Frage, wieweit diese Idee in den weiteren philosophischen Bereichen, die für Kant das Wesentliche waren, noch fruchtbar bleibt, ist von dem neu gewonnenen Standpunkt aus noch nicht zu Ende diskutiert worden.

Diese erkenntnistheoretischen Spezialfragen hängen schon mit der zweiten großen Aufgabe zusammen, die der physikalischen Theorie gestellt ist: uns Aufschluß zu geben über die allgemeineren Zusammenhänge der Natur, in der wir stehen. Die Naturwissenschaft darf sich dieser Aufgabe nicht entziehen, wenn sie sich selber treu bleiben will. Es sei nur daran erinnert, daß in der Antike einige der ersten Vertreter der entstehenden Naturerforschung zugleich Träger einer religiösen Bewegung waren. Und wenn wir bedenken, daß die Wandlung des naturwissenschaftlichen Weltbildes am Ende der Renaissance das

sophischer Systeme. Ähnlich wie im Altertum die Geometrie das Vorbild für folgerichtiges philosophisches Denken lieferte, so entstanden unter dem Einfluß der Naturwissenschaft die philosophischen Systeme, bei denen — ähnlich wie in ihr — eine oder mehrere als unbezweifelbar erkannte Wahrheiten an die Spitze gestellt und alles andere aus diesen deduziert werden sollte. Die Systeme von Cartesius und Spinoza sind Beispiele dafür. Auch die Philosophie Kants, die eine Kritik der voreiligen Dogmatisierungen naturwissenschaftlicher Begriffe beabsichtigte, konnte die Erstarrung des naturwissenschaftlichen Weltbildes nicht hindern; sie hat diese sogar in mancher Beziehung vielleicht gefördert. Denn nachdem die Grundzüge der klassischen Physik als die Vorbedingung a priori physikalischer Forschung erkannt waren, entstand durch eine naheliegende, aber unrichtige Extrapolation der Glaube, sie seien absolut, d. h. für immer gültig und könnten durch neue Erfahrungen nie verändert werden.

Damit bildete sich der feste Rahmen der klassischen Physik. Es entstand die Vorstellung einer objektiven, in Zeit und Raum sich abspielenden körperlichen Welt, die einer Maschine vergleichbar dem ersten Anstoß nach unabänderlichen Gesetzen folgt. Die Tatsache, daß diese Maschine ebenso wie die ganze Naturwissenschaft selbst wieder ein Produkt des menschlichen Geistes war, erschien als unwesentlich und für das Verständnis der Natur belanglos. Erst diese Ausdehnung naturwissenschaftlicher Denkformen weit über ihren legitimen Anwendungsbereich hinaus führte wohl zu der oft beklagten Spaltung des geistigen Lebens in die wissenschaftliche Region einerseits und die im engeren Sinn lebendigen Bereiche der Religion und der Kunst andererseits. Die exakte Wissenschaft griff auf andere

Bezirke des geistigen Lebens über und bedrohte — überzeugt von der allgemeinen Gültigkeit und Anwendbarkeit der naturwissenschaftlichen Grundsätze — ihre selbständige Bedeutung; da aber ihre Kraft zu einer inhaltlichen Erfüllung dieser anderen Bereiche nicht genügte, bildeten sich aus der Gegenwehr schwer überschreitbare Grenzen zwischen den nunmehr feindlichen Gebieten. Das so entstandene naturwissenschaftliche Weltbild des 19. Jahrhunderts gilt als rationalistisch, weil sein Zentrum, die klassische Physik, aus einer geringen Anzahl rational analysierbarer Axiome aufgebaut werden kann und weil es daher von dem Glauben an die Möglichkeit der rationalen Analyse aller Realität in der Welt ausging. Es muß aber betont werden, daß die Hoffnung, aus der Kenntnis eines kleinen Teils der Welt das Verständnis ihrer unendlichen Mannigfaltigkeit zu gewinnen, niemals rational begründet werden kann. — Die Wandlung der naturwissenschaftlichen Grundlagen, zu der uns die Natur in den atomaren Erscheinungen in so wunderbarer Weise gezwungen hat, läßt zwar die klassische Physik unberührt; aber sie zeigt, daß naturwissenschaftliche Systeme — wie etwa die klassische Mechanik oder andere Teile der klassischen Physik —, stets in sich abgeschlossen sein müssen, um richtig sein zu können; daß also die Ausdehnung naturwissenschaftlicher Forschung auf neue Erfahrungsgebiete ganz anders erfolgt als durch Anwendung der früher bekannten Sätze auf neue Gegenstände. Ich möchte hier wieder an den vorhin besprochenen Vergleich erinnern zwischen der Entdeckung der Kugelgestalt der Erde und den Resultaten der modernen Physik. Solange die Erde als eine sehr große Scheibe galt, konnte man hoffen, daß der Mensch, der bis ans Ende der Welt gereist war, über alle Dinge, die es auf der Welt gibt, würde Aufschluß

geben können. Mit der Entdeckung des Columbus, die doch nur die Ansichten über die bis dahin unbekanntem Teile der Welt veränderte, wurde diese Hoffnung für immer zerstört. Wir wissen jetzt, daß es viele Fragen gibt, auf die man durch noch so langes Reisen auf der Erde keine Antwort bekommen kann, weil gleichsam außerhalb dieses abgeschlossenen, in sich selbst zurückkehrenden Reiseweges erst die Unendlichkeit der Welt beginnt. In ganz ähnlicher Weise hat die moderne Physik gezeigt, daß das Gebäude der klassischen Physik — wie das der modernen Physik — in sich „abgeschlossen“ ist. Es reicht so weit, als die Begriffe, die seine Grundlage bilden, angewendet werden können; aber die Begriffe der klassischen Physik sind schon auf die Vorgänge der Atomphysik nicht allgemein anwendbar, also erst recht nicht auf alle Gebiete der Wissenschaft, die weiter von der klassischen Physik entfernt liegen. Die Hoffnung, alle Bereiche des geistigen Lebens von den Prinzipien der klassischen Physik her verstehen zu wollen, ist also wohl um nichts mehr gerechtfertigt, als die Hoffnung des Wanderers, der alle Rätsel lösen zu können glaubt, wenn er bis ans Ende der Welt reist.

Nun muß aber an dieser Stelle gleich dem Mißverständnis entgegengetreten werden, als habe die Wandlung in den exakten Naturwissenschaften bestimmte Grenzen für die Anwendung des rationalen Denkens überhaupt an den Tag gebracht. Nicht dem rationalen Denken, sondern nur gewissen Denkformen ist ein engerer Anwendungsbereich zugewiesen worden. Durch die Entdeckung, daß die Erde nicht die ganze Welt, sondern nur ein kleiner, in sich geschlossener Teil der Welt ist, wurde es möglich, die Unklarheiten des Begriffs „Ende der Welt“ zurückzuschieben und dafür eine genaue Karte der ganzen Erdober-

fläche zu zeichnen. In ähnlicher Weise hat die moderne Physik eher die klassische Physik von manchen mit der Annahme ihrer unbegrenzten Anwendbarkeit verbundenen Unklarheiten gereinigt und gezeigt, daß die einzelnen Teile unserer Wissenschaft: z. B. Mechanik, Elektrizitätslehre, Quantentheorie in sich abgeschlossene, rational bis ins letzte durchdringbare wissenschaftliche Systeme sind, die die ihnen zugehörigen Naturgesetze wohl für immer richtig darstellen. Wesentlich ist hierbei die „Abgeschlossenheit“ der Systeme. Das wichtigste neue Ergebnis der Atomphysik war die Erkenntnis der Möglichkeit, daß ganz verschiedenartige Schemata von Naturgesetzen auf das gleiche physikalische Geschehen angewendet werden können, ohne sich zu widersprechen. Es liegt dies daran, daß in einem bestimmten System von Gesetzen wegen der Grundbegriffe, auf die es aufgebaut ist, nur ganz bestimmte Fragestellungen einen Sinn haben und daß es sich dadurch gegen andere Systeme, in denen andere Fragen gestellt werden, abschließt. Der Übergang der exakten Naturwissenschaft von den erforschten zu einem neuen Erfahrungsbereich wird sich also nie so vollziehen, daß etwa die bisher bekannten Gesetze einfach auf die neuen Erfahrungen anzuwenden wären. Vielmehr wird ein wirklich neuartiger Erfahrungsbereich stets dazu führen, daß sich ein neues System wissenschaftlicher Begriffe und Gesetze herausbildet, die zwar nicht weniger rational analysierbar, aber grundsätzlich anders als die früheren sind. Aus diesem Grunde nimmt die moderne Physik zu den Gebieten der Wissenschaft, die noch nicht zu ihrem Forschungsbereich gehören, eine andere Stellung ein als die klassische Physik. Wenn man zum Beispiel an die Probleme denkt, die mit der Existenz lebendiger Organismen verbunden sind, so wird man nach Bohr vom Standpunkt der modernen

Physik aus vermuten, daß sich die für die Organismen charakteristischen Gesetze in einer ähnlichen, rational genau durchschaubaren Weise von den rein physikalischen Gesetzen abschließen, wie etwa die der Quantentheorie von denen der klassischen Mechanik. Ein ähnlicher Vorgang wird sich vielleicht, wenn auch in kleinerem Maßstab, bei der Erforschung der Eigenschaften des Atomkerns abspielen, die im Mittelpunkt des Interesses der gegenwärtigen Physik steht. Das Gebäude der exakten Naturwissenschaft kann also kaum in dem früher erhofften, naiven Sinn eine zusammenhängende Einheit werden, so, daß man von einem Punkte in ihm einfach durch die Verfolgung des vorgeschriebenen Weges in alle anderen Räume des Gebäudes kommen kann. Vielmehr besteht es aus einzelnen Teilen, von denen jeder, obwohl er zu den anderen in den mannigfachsten Beziehungen steht und manche andere umschließt und von manchen umschlossen wird, doch eine in sich abgeschlossene Einheit darstellt. Der Schritt von seinen schon vollendeten Teilen zu einem neu entdeckten oder neu zu errichtenden erfordert stets einen geistigen Akt, der nicht durch das bloße Fortentwickeln des Bestehenden vollzogen werden kann.

So ist die heutige Naturwissenschaft mehr als die frühere durch die Natur selbst gezwungen worden, die alte Frage nach der Erfassbarkeit der Wirklichkeit durch das Denken aufs neue zu stellen und in etwas veränderter Weise zu beantworten. Früher konnte das Vorbild der exakten Naturwissenschaft zu philosophischen Systemen führen, in denen eine bestimmte Wahrheit — etwa das „cogito, ergo sum“ des Cartesius — den Ausgangspunkt bildete, von dem aus alle weltanschaulichen Fragen angegriffen werden sollten. Die Natur hat uns jetzt aber in der modernen Physik auf deutlichste daran erinnert, daß wir

*Nicht-
dimensionen*

nie hoffen dürfen, von einer solchen festen Operationsbasis aus das ganze Land des Erkennbaren zu erschließen. Vielmehr werden wir zu jeder wesentlich neuen Erkenntnis immer wieder von neuem in die Situation des Columbus kommen müssen, der den Mut besaß, alles bis dahin bekannte Land zu verlassen in der fast wahnsinnigen Hoffnung, jenseits der Meere doch wieder Land zu finden.

*synthet.
Allgem.*

Diese Einsicht kann uns vor dem früher nicht immer vermiedenen Fehler bewahren, neue Erfahrungsbereiche in ein altes, ihnen unangemessenes Begriffsgerüst einzwängen zu wollen. Daher wird es auch umgekehrt leichter sein, Denkweisen, die im Gegensatz zum Erkenntnisideal der klassischen Naturwissenschaft entstanden sind, in einen umfassenden und doch einheitlichen und logisch ausgearbeiteten Begriff von Wissenschaft einzufügen. Der Versuch, nun voreilig die verschiedenen Bereiche der menschlichen Erkenntnis zu verknüpfen mit dem Hinweis darauf, daß ihre Verschiedenheit vielleicht nicht mehr zu Schwierigkeiten führen werde, hätte allerdings ebensowenig die Kraft zu einer echten Vereinheitlichung des geistigen Lebens, wie seinerzeit die Verallgemeinerung der rationalen Naturwissenschaft zum rationalistischen Weltbild. Aber wie jene Verallgemeinerung gleichwohl fruchtbar wurde, indem sie dem Denken auf vielen Gebieten neue Wege zeigte, werden wir auch heute der Zukunft den besten Dienst erweisen, wenn wir den neugewonnenen Denkformen wenigstens die Wege ebnen und sie nicht um ihrer ungewohnten Schwierigkeiten willen bekämpfen. Vielleicht ist es nicht zu kühn, zu hoffen, daß uns dann neue geistige Kräfte der in den letzten Jahrzehnten so gefährdeten Einheit des wissenschaftlichen Weltbildes wieder näherbringen werden.

die verschiedenartige Gestalt, Bewegung und Lagerung der Atome im leeren Raum.

Zweifellos bedeutet diese Entwicklung des Begriffs Materie von Thales bis Demokrit einen ungeheuren Fortschritt für die Erklärung der fundamentalen Eigenschaften der Substanz. Die Möglichkeit der verschiedenen Aggregatzustände wird unmittelbar anschaulich gemacht, die mit der Mischung etwa von Flüssigkeiten verknüpften Phänomene können vernünftig interpretiert werden und, — wie wir heute wissen —, auch der damals noch unbekannte Begriff der chemischen Verbindung erhält eine anschauliche geometrische Deutung. So sehr wir also Grund haben, diese Fortschritte als Erfolge einer konsequenten Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zu bewundern, so wenig dürfen wir vergessen, daß mit diesen Erfolgen ein für die ganze Folgezeit schwerwiegender Verzicht notwendig verbunden war: Der Verzicht auf das „unmittelbare“ Verständnis der Qualitäten. In unserer Erfahrung sind Qualitäten wie Farbe, Geruch, Geschmack ebenso unmittelbare Gegebenheiten wie Gestalt und Bewegung. Beraubt man die Atome dieser Qualitäten — in dieser Abstraktion liegt eben die Stärke der Atomhypothese —, so verzichtet man von vornherein darauf, die Qualitäten der Dinge durch Benützung der Atomvorstellung im eigentlichen Sinne des Wortes zu „verstehen“. An Stelle dessen, das soeben als „unmittelbares Verständnis“ bezeichnet wurde, tritt in der Atomtheorie eine Art „analytisches“ Begreifen: Die Qualitäten „rot“, „sauer“ usw. erweisen sich als abbildbar auf gewisse geometrische oder dynamische Konfigurationen der Atome; in der Erfahrung gegebene Beziehungen zwischen den Qualitäten entsprechen etwa anschaulich evidenten geometrischen Beziehungen der Atombilder. Die qualitative

gatzustände zum Beispiel basiert eben auf der Unabhängigkeit von Raumstruktur und Materie. Also auch hier müssen wir daran erinnern, daß die Erfolge der Lehre Demokrits erkaufte worden sind durch den Verzicht auf ein Verständnis des Wesens jener Beziehung von Raum und Materie. Sie wissen, daß erst in allerneuester Zeit durch die „allgemeine Relativitätstheorie“ in dieser Frage nach dem Verhältnis „Raum—Materie“ ein wesentlicher Fortschritt erzielt worden ist. Für die ganze Entwicklung der Naturwissenschaft von Demokrit bis Newton und Maxwell hat die Diskussion jenes Problemes keine Rolle gespielt. Der Raum wurde „erklärt“, indem man seine geometrischen Eigenschaften analysierte, wobei man die geometrischen Erfahrungen des täglichen Lebens ohne Bedenken auf die Welt der Atome oder der Sterne übertrug. Auf ein tieferes Verständnis der Beziehung Raum—Materie hatte man verzichtet.

In diesen beiden Diskussionen über die Begriffe Materie und Raum tritt uns bereits das ganz allgemeine Problem entgegen, was denn eigentlich mit einem „Verständnis“ der Natur gemeint sei. Hatte die Atomtheorie Demokrits zu einem Verständnis der Qualitäten der Materie geführt, oder hatte sie auf ihr Verständnis verzichtet? In welchem Sinne wurde das geometrische Verhalten der Körper durch die Theorie „erklärt“? Konnte man die Untersuchungen der Schüler des Pythagoras über die Schwingungen der Saiten und die Harmonien, konnte man die Vorstellungen Demokrits als Natur„wissenschaft“ bezeichnen? Solche Fragen haben schon früh das philosophische Denken der Griechen beschäftigt:

Sie erinnern sich an das berühmte Gleichnis in Platons „Staat“, in dem der Philosoph die Welt mit einer dunklen Höhle vergleicht und die Menschen mit Gefangenen, die dort

Verständnisses gegenüber den Methoden der gewöhnlichen Naturwissenschaft war, geht aus der Stellung hervor, die er dem Erkennenden über die Gefangenen im Gleichnis einräumt. Er schreibt dort: „Und wie, wenn er nun seiner ersten Wohnung gedenkt und der damaligen Mitgefangenen, meinst du nicht, er werde sich selbst glücklich preisen über die Veränderung, jene aber beklagen? Und wenn sie dort unter sich Ehre, Lob und Belohnungen für den bestimmt hatten, der das Vorüberziehende am schärfsten sah und sich am besten behielt, was zuerst zu kommen pflegte und was zuletzt und was zugleich, und daher also am besten vorhersagen konnte, was nun erscheinen werde, glaubst du, es werde ihn danach noch groß verlangen und er werde die bei jenen Geehrten und Machthabenden beneiden?“

Wie steht es nun historisch in den Naturwissenschaften mit diesen beiden Arten von Erkenntnis? Wir wissen aus der Geschichte, daß auf dem ganzen Wege von Thales bis in die heutige Zeit stets die Einsicht in die Natur, die „*διάνοια*“ vermehrt wurde; aber die Betrachtung der Entwicklung ruft den Eindruck hervor, als ob die beiden Arten von Erkenntnis: *ἐπιστήμη* und *διάνοια*, obwohl sie sich in gewisser Weise gegenseitig bedingen, doch in einem ausschließenden Verhältnis zueinander stünden. Denn je weiter das Gebiet reicht, das Physik, Chemie und Astronomie uns erschließen, desto mehr pflegen wir das Wort „Naturerklärung“ zu ersetzen durch das bescheideneren Wort „Naturbeschreibung“, um so klarer wird es, daß es sich bei diesen Fortschritten nicht um unmittelbares Wissen, sondern um analytisches Begreifen handelt. Mit jeder großen Entdeckung — und das kann man besonders in der modernen Physik verfolgen — werden die Ansprüche der Naturforscher auf ein Verständnis der Welt im ursprünglichen Sinne geringer.

Wir glauben, daß dieser Vorgang tief im Wesen der Sache oder im Wesen des menschlichen Denkens begründet liegt. Freilich hinterläßt der Versuch, durch erkenntnistheoretische Analyse des Wortes „Verstehen“ die Zwangsläufigkeit dieser Entwicklung darzutun, ein Gefühl des Ungenügens. Aber es ist hier nicht der Ort, über den Wert und die Notwendigkeit dieser Entwicklung zu argumentieren. Es scheint mir richtiger, Ihnen an der Geschichte der Physik auch in neuerer Zeit zu zeigen, wie geradlinig und konsequent die Naturwissenschaft hier im Laufe der Jahrtausende fortgeschritten ist und Ihnen dadurch ein Gefühl zu vermitteln für den merkwürdigen, ganz unpersönlichen Zwang, der in dieser Entwicklung zu liegen scheint.

Der Ausgangspunkt der Physik Galileis ist abstrakt und liegt ganz in der Linie, die schon Platon für die Naturwissenschaft vorgezeichnet hatte: Aristoteles hatte noch die wirklichen Bewegungen der Körper in der Natur beschrieben und daher zum Beispiel festgestellt, daß die leichten Körper im allgemeinen langsamer fallen als die schweren; Galilei dagegen stellt die Frage: wie würden die Körper fallen, wenn es keinen Luftwiderstand gäbe; wie fallen die Körper im „leeren Raum“. Es gelingt ihm, die Gesetze dieser theoretischen Bewegung, die sich experimentell stets nur annähernd realisieren läßt, mathematisch zu formulieren. An die Stelle des unmittelbaren Eingehens auf die Vorgänge der Natur, die uns umgibt, tritt die mathematische Formulierung eines Grenzgesetzes, das nur unter extremen Bedingungen nachgeprüft werden kann. Die Möglichkeit, aus den Naturvorgängen auf einfache, präzise formulierbare Gesetze zu schließen, wird erkaufte durch den Verzicht darauf, diese Gesetze unmittelbar auf das Geschehen in der Natur anzuwenden.

Auch die berühmte Entdeckung des Kopernikus geht in derselben Richtung: Um die Bewegungen der Sonne und der Planeten einfacher und einheitlicher formulieren zu können, wird auf einen uns unmittelbar gegebenen Tatbestand, die zentrale Stellung der Erde, verzichtet.

Dieser Teil der Entwicklung wird schließlich konsequent zu Ende geführt durch das Genie Newtons, das zwei völlig getrennte Erfahrungsgebiete: die Bewegungen der Sterne am Himmel und die Schwere der Körper auf der Erde in einer Gesetzmäßigkeit formal zusammenfaßt. Wir können uns heute kaum mehr vorstellen, welch ein außerordentliches Erlebnis es für die Forscher der damaligen Zeit gewesen sein muß, zu erkennen, daß die Bewegungen der Sterne und die Bewegungen der Körper auf der Erde auf ein und dasselbe einfache System von Gesetzen zurückgeführt werden können; wer nicht selbst ein wenig von der Bedeutung dieses Wunders verspürt hat, kann nie hoffen, etwas vom Geist der modernen Naturwissenschaft zu verstehen. Trotzdem muß wieder die Frage gestellt werden: inwieweit ist durch Newtons Entdeckung die Bewegung der Sterne „erklärt“ worden, verstehen wir sie wirklich besser als früher? Zur Erläuterung dieser Frage mag es nützlich sein, die Beschreibung der Planetenbewegung in der griechischen Wissenschaft zu vergleichen mit einer entsprechenden Beschreibung in einem modernen Lehrbuch der Astronomie. Bei Platon (Timaios) heißt es in der Kosmogonie: „Nachdem also alle die Sterne, die zur Erzeugung der Zeit mitwirken sollten, in den einem jeden zukommenden Umschwung gebracht und durch belebte Bänder, die ihre Körper zusammenhielten, zu lebendigen Wesen erhoben und des ihnen Aufgetragenen innegeworden waren, so gingen sie . . . herum, indem sie teils eine größere,

teils eine kleinere Kreisbahn umschrieben, und zwar die, welche eine kleinere beschrieben, schneller, und die, welche eine größere, langsamer.“ Die entsprechende Stelle im Lehrbuch der Astronomie von Newcomb-Engelmann heißt so: „Die Planeten bewegen sich um die Sonne und müssen demnach einer gegen die Sonne gerichteten Kraft gehorchen. Diese Kraft kann nichts anderes sein, als die Gravitation, die Anziehung der Sonne selbst.“ „Eine einfache Rechnung nach Keplers drittem Gesetze zeigt, daß die Kraft, mit der die Planeten gegen die Sonne gravitieren, sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer mittleren Entfernungen verhält.“ „Es fragt sich jetzt nur noch, welche Art von Bahn ein Planet beschreiben wird, wenn eine Kraft von der erwähnten Beschaffenheit ihn um die Sonne führt. Newton wies nach, daß die Bahn allgemein ein Kegelschnitt sein müsse, mit der Sonne in einem der Brennpunkte. So verschwand alles Geheimnisvolle aus den himmlischen Bewegungen, und die Planeten erwiesen sich einfach als schwere Körper, die sich nach denselben Gesetzen bewegen, die wir um uns wirksam sehen.“ Die moderne Beschreibung unterscheidet sich von der alten durch drei charakteristische Züge: dadurch, daß sie an Stelle der qualitativen Aussagen quantitative setzt, daß sie verschiedenartige Phänomene auf den gleichen Ursprung zurückführt und dadurch, daß sie auf die Frage nach dem „Warum“ verzichtet. Es ist im Hinblick auf diesen eben genannten Verzicht charakteristisch, daß zum Beispiel die Naturforscher der Romantik mit Newtons Theorie nicht zufrieden waren und daß ein bedeutender Gelehrter wie Lorenz Oken diese Theorie durch eine „lebendigere“ zu ersetzen suchte. Oken schreibt einmal: „Nicht durch Stoßen und Schlagen schafft ihr die Welt, sondern durch Beleben. Wäre der Planet tot, so könnte er von der Sonne nicht angezogen werden.“

Gehen wir nun über von der Mechanik zur Optik. *Newton* zerlegt zunächst das für unsere Empfindung einheitliche weiße Licht in das Spektrum der verschiedenen Farben, *Huygens* ersetzt das Licht durch die Wellenbewegungen eines hypothetischen Mediums, das Äther genannt wird, *Maxwell* schließlich deutet diese Wellenbewegung als Schwingung der elektrischen und magnetischen Feldstärke im leeren Raum. Auch hier sehen wir deutlich, daß die Naturwissenschaft immer mehr auf ein Lebendigmachen des sinnlich unmittelbar gegebenen Phänomens verzichtet und nur den mathematisch-formalen Kern des Vorgangs herausschält. Es ist zweifellos eine Entdeckung allerersten Ranges, daß die elektrischen, magnetischen und optischen Erscheinungen zusammengehörige Phänomene sind und sich auf das gleiche einfache System der *Maxwell*schen Gleichungen zurückführen lassen. Andererseits müssen wir zugeben, daß zwar ein von Natur Blinder die ganze Optik lernen und verstehen kann, daß er aber durch dieses Studium doch nie die geringste Kenntnis davon erwirbt, was Licht sei. Dieser Verzicht auf Lebendigkeit und Unmittelbarkeit, der die Voraussetzung war für die Fortschritte der Naturwissenschaft seit *Newton*, bildet auch den eigentlichen Grund für den erbitterten Kampf, den *Goethe* gegen die physikalische Optik *Newtons* in seiner Farbenlehre geführt hat. Es wäre oberflächlich, diesen Kampf als unwichtig zu vergessen; es hat seinen guten Sinn, daß einer der bedeutendsten Menschen alle Kraft daran setzte, die Fortschritte der *Newtonschen* Optik zu bekämpfen. Wenn man hier *Goethe* etwas vorwerfen kann, dann nur einen Mangel an letzter Konsequenz; er hätte nicht die Ansichten *Newtons* bekämpfen sollen, sondern sagen müssen, daß die ganze Physik *Newtons*: Optik, Mechanik und Gravitationsgesetz vom Teu-

fel stammt. — Umgekehrt ist es ein deutliches Zeichen für die Kraft und innere Konsequenz der abstrakten Naturwissenschaft, daß sie sich trotz aller dieser Einwände stets in der gleichen Richtung fortentwickelt; zum Teil entspringt diese Kraft allerdings, das darf hier nicht vergessen werden, aus der Möglichkeit, mit Hilfe der abstrakten Naturwissenschaft die Welt technisch zu beherrschen.

Der Abschluß der Mechanik durch *Newton*, der Elektrizitätslehre und Optik durch *Maxwell* und die große Entwicklung der Chemie im Anfang des letzten Jahrhunderts wiesen die Forschung wieder auf das Problem der Materie hin und legten es nahe, dieses Problem, zu dessen Lösung die Griechen den Anfang gemacht hatten, mit den neuerworbenen Hilfsmitteln von neuem anzugreifen. Die Atomtheorie *Demokrits* lebte wieder auf; schon *Gassendi* hatte im 17. Jahrhundert sein Leben durch öffentliches Lehren der Atomistik in Gefahr gebracht. Seine Nachfolger erklärten die verschiedenen Aggregatzustände der Materie, indem sie annahmen, daß im festen Zustand die Atome in Reih und Glied stünden, im flüssigen dicht aufeinandergepackt doch ungeordnet herumliefen, im gasförmigen einem Mückenschwarm vergleichbar mit großem gegenseitigen Abstand im Raum umherschwirrten. Damit waren die Qualitäten Dichte, Form und Beweglichkeit auf geometrische Konfigurationen der Atome zurückgeführt. Im vergangenen Jahrhundert kam zu diesen Qualitäten noch die Temperatur; die Wärme, die bis dahin von vielen als eigener Stoff angesehen wurde, bestehend aus den Feueratomen *Demokrits*, wurde nun aufgefaßt als Bewegungsenergie der materiellen Atome; in einem heißen Körper bewegen sich dessen Atome schneller als in einem kalten, eine starke Bewegung der

schmack usw. verloren, es war ihnen nur die der Raumerfüllung geblieben; geometrische Aussagen über die Atome galten als zulässig und bedurften keiner weiteren Analyse. In der modernen Physik verlieren die Atome auch noch diese letzte Eigenschaft, sie besitzen die geometrischen Qualitäten nicht in höherem Maße wie die anderen: Farbe, Geschmack usw. Das Atom der modernen Physik kann zunächst nur symbolisiert werden durch eine partielle Differentialgleichung in einem abstrakten vieldimensionalen Raum; erst das Experiment, das der Beobachter an ihm vornimmt, erzwingt von dem Atom die Angabe eines Ortes, einer Farbe, einer Wärmemenge. Für das Atom der modernen Physik sind alle Qualitäten abgeleitet, unmittelbar kommen ihm überhaupt keine materiellen Eigenschaften zu; d. h. jede Art von Bild, das unsere Vorstellung vom Atom entwerfen möchte, ist eo ipso fehlerhaft. Ein Verständnis „erster Art“ ist für die Welt der Atome — beinahe möchte ich sagen: per definitionem — unmöglich. Diese Entwicklung scheint uns in jeder Hinsicht konsequent; zunächst stellt sie das Gleichgewicht wieder her zwischen den verschiedenen Eigenschaften der Materie, das in der früheren Atomlehre verlorengegangen war: die geometrischen Eigenschaften sind vor den anderen nicht mehr bevorzugt. Wie Bohr hervorgehoben hat, ist es nicht mehr richtig, zu behaupten: die Qualitäten der Körper seien auf die Geometrie der Atome reduziert. Im Gegenteil: die Kenntnis der Farbe eines Körpers wird erst ermöglicht durch den Verzicht auf die Kenntnis der Atom- und Elektronenbewegungen in diesem Körper, die Kenntnis der Elektronenbewegung umgekehrt erzwingt den Verzicht auf die Kenntnis der Farbe, der Energie, der Temperatur; beide sind nur reduzierbar, wenn man so will, auf die Mathematik des Atoms. In

der modernen Atomtheorie wird keine sinnlich gegebene Eigenschaft der Körper unanalysiert hingegenommen und auf die kleinsten Teile der Materie übertragen; vielmehr wird jede Eigenschaft zum Zwecke der *διόνοια* analysiert, woraus dann als natürliche Konsequenz folgt, daß die Atome keine dieser Eigenschaften im gewöhnlichen Sinne besitzen können.

Sie werden schon bei der Diskussion der Newtonschen Mechanik und der Optik empfunden haben, daß die Kraft dieser abstrakten Entwicklung der Naturwissenschaft in erster Linie in der Möglichkeit liegt, große Erfahrungsgebiete einfach zu umspannen und das Bild, das die Wissenschaft von der Natur entwirft, stets weiter zu vereinfachen und zu vereinheitlichen. Daß in dieser Beziehung die Atomphysik zu den glänzendsten Erfolgen geführt hat, haben uns die Fortschritte der letzten Jahre deutlicher denn je gezeigt. Wir können nicht ohne Bewunderung an der Tatsache vorbeigehen, daß die unendlich mannigfaltigen Erscheinungen in der Natur auf der Erde und auf den Sternen nach einem so einfachen Schema von Gesetzen geordnet werden können. Andererseits dürfen wir dabei nicht vergessen, daß für diese Vereinheitlichung des naturwissenschaftlichen Weltbildes ein hoher Preis gezahlt werden mußte: der Fortschritt der Naturwissenschaft wurde erkaufte durch den Verzicht darauf, die Phänomene in der Natur unserem Denken durch Naturwissenschaft unmittelbar lebendig zu machen.

Damit komme ich zurück zu der am Anfang gestellten Frage, ob die Naturwissenschaft den Anspruch erheben darf, zu einem Verständnis der Natur zu führen. Ich habe versucht, Ihnen auseinanderzusetzen, wie Physik und Chemie — wir wissen kaum, durch welche Macht getrieben — sich stets weiter entwickelt haben in Richtung einer mathematischen Analyse der