

DIE CHEMIE

(*Angew. Chemie, Neue Folge*)

57. Jahrgang, Nr. 3/4, Seiten 17—28, 22. Januar 1944

Die Unendlichkeit der Welt

Eine Studie über das Symbolische in der Naturwissenschaft

Von Prof. Dr. C. F. FREIHERR VON WEIZSÄCKER, Reichsuniversität Straßburg

(Schluß von S. 6.)

5. Neuzeit:

Erweiterung der Grenzen der bekannten Welt.

Die Welt ist unendlich. Aber reicht unsere Phantasie aus, diese Welt mit der für sie notwendigen Unendlichkeit von Gestalten zu bevölkern? Mögen alle Sterne, die wir sehen, Sonnen sein, so ist doch damit, verglichen mit dem unendlichen, unbekannten Rest, nicht mehr ausgefüllt als mit einem einzigen Sandkorn. Die aktuell unendliche Welt bleibt eine unerfüllbare Forderung an unser Vorstellungsvermögen. Der wirkliche Gebrauch, den die Wissenschaft von der Unendlichkeitsvorstellung gemacht hat, liegt in der potentiellen Unendlichkeit der bekannten Welt. Wir dürfen die Grenzen der bekannten Welt immer weiter hinausschieben und brauchen nicht zu fürchten, daß diesem Vordringen einmal anders als durch ein Erlahmen unserer Kräfte Halt geboten werde.

Dieses Hinausschieben der Grenzen begann schon, als man die Grenze unserer Kenntnis noch für die Grenze der Welt hielt. *Kopernikus*, der noch an die von der Fixsternsphäre umschlossene endliche Welt glaubte, mußte den Durchmesser dieser Sphäre schon um mehr als das tausendfache größer annehmen als *Ptolemäus*. Zwar steht schon bei *Ptolemäus* der Satz, die Erde sei im Verhältnis zur Fixsternsphäre nur ein Punkt. Denn sonst müßte derselbe Stern, von verschiedenen, weit auseinanderliegenden Orten aus gesehen, in verschiedener Richtung zu stehen scheinen; er müßte, astronomisch gesprochen, eine „Parallaxe“ zeigen. Wir alle kennen die Erscheinung, daß bei einer Eisenbahnfahrt die Telegraphenstangen rasch an uns vorbeieilen, fernere Häuser langsamer zurückbleiben und ferne Berge fast unbeweglich zu stehen scheinen. Die Richtung, in der wir einen Gegenstand sehen, ändert sich erst dann merklich, wenn wir eine Strecke zurückgelegt haben, die nicht zu klein ist im Vergleich mit der Entfernung des Gegenstandes von uns. Nun stehen die Sterne für unseren Blick fest, auch wenn wir die ganze Erde durchmessen. Daraus kann man ihre ungeheure Entfernung abschätzen. Freilich ist eine derartige Abschätzung immer an die Grenzen der Beobachtungsgenauigkeit gebunden. Eine sehr genaue Winkelmessung könnte vielleicht doch noch eine gewisse Richtungsänderung des Sterns ergeben; und so folgt aus dem ptolemäischen Argument nur eine untere Grenze für die wahre Größe der Welt. Diese untere Grenze nun vergrößert *Kopernikus* außerordentlich. Denn nach ihm ist ja die Erde selbst bewegt und durchmischt im Lauf eines Jahres auf ihrer Bahn um die Sonne eine Strecke, die — wie wir heute wissen — mehr als zweihunderttausendmal größer ist als der Durchmesser der Erde. In dem scheinbaren Zurückbleiben der Planeten, wenn die Erde an ihnen vorbeifliegt, liegt gerade die Erklärung, die *Kopernikus* für die gelegentliche „Rückläufigkeit“ der Planetenbewegung gibt. Die Fixsterne aber zeigten für die damalige Meßgenauigkeit keine Spur eines Zurückbleibens; sie stehen während des ganzen Jahres fest an ihrem Platz am Himmel. So mit muß sogar der Durchmesser der Erdbahn verschwindend klein sein verglichen mit dem Abstand der Fixsterne. Der ungeheure leere Weltraum, der sich auftat, war für viele Astronomen ein Haupteinwand gegen *Kopernikus*. *Tycho Brahe* meinte, Gott könne nicht einen im Vergleich zum Sonnensystem so großen Raum ohne Verwendungszweck geschaffen haben; worauf *Kepler* erwiderte, ähnlich würde man dann auch über das Größenverhältnis des Elefanten zur Fliege urteilen können.

Als man jeden Fixstern als eine ferne Sonne ansehen lernte und die Unendlichkeit der Welt annahm, lautete die Frage nicht mehr: wie weit ist es bis zur Fixsternsphäre?, sondern: wie weit ist es bis zum nächsten Fixstern? Mit jeder Verfeinerung der Meßmöglichkeiten suchte man aufs neue nach der „jährlichen Parallaxe“ der Fixsterne, d. h. nach ihrem Zurückbleiben gegen die Erdbewegung, das ihre Entfernung zu be-

Inhalt: 5. Neuzeit: Erweiterung der Grenzen der bekannten Welt
6. Gegenwart: Kritik der Unendlichkeitsvorstellung — 7. Zur Deutung der gegenwärtigen Lage

stimmen gestatten mußte. Ehe man diese Parallaxe aber fand, trat eine andere, rein begriffliche Frage auf, nämlich die Frage nach dem räumlichen Bezugssystem für die Bestimmung von Orten und Bewegungen im Kosmos.

Für *Ptolemäus* und ebenso für *Kopernikus* hat die Welt einen Mittelpunkt. Jedem Körper kommt somit zu jeder Zeit ein wohldefinierter Ort in der Welt zu; modern ausgedrückt: es gibt ein „natürliches“ Koordinatensystem in der Welt. In der unendlichen Welt kann hingegen jeder Punkt als Mittelpunkt aufgefaßt werden. Der alte Begriff vom Ort eines Körpers verliert seinen absoluten Sinn. Die radikale Folgerung hieraus wäre, den Begriff des Ortes grundsätzlich als Relationsbegriff aufzufassen. Man dürfte dann streng genommen nicht sagen: „dieser Körper befindet sich an diesem Ort“, sondern nur: „er befindet sich, von jenem anderen Körper aus gesehen, an diesem Ort“. So dachte z. B. *Leibniz*. In der Physik hat sich statt dessen die Lehre *Newton*s durchgesetzt, welche der Ortsbestimmung grundsätzlich ihren absoluten Sinn zu sichern sucht durch die Einführung einer neuen physischen, aber immateriellen Realität: des „absoluten Raumes“. Ein entscheidendes Argument für diesen Begriff war das rein physikalische, daß nur er eine einfache Formulierung des Trägheitsgesetzes und des Begriffs der Beschleunigung gestattete. Die Herkunft des Begriffs aber liegt zugestandenermaßen im religiös-symbolischen Denken. Bei *Newton* und seinen Vorfahren erscheint der unendliche absolute Raum als das physische Abbild oder auch als das „Sensorium“ Gottes. Auch als die Physik diese Herkunft des Begriffs vergaß, behielt er für sie eine Bedeutung, die über den Grad empirischer Rechtfertigung, den man ihm geben konnte, hinausging. Man wird wohl sagen dürfen, daß er in unbewußter Weise die an die Stelle Gottes getretene absolute Natur symbolisierte.

In der Mitte des 19. Jahrhunderts fand man die erste Fixsternparallaxe. Bis dahin rückte die Grenze der ausmeßbaren Welt gleichsam im leeren Raum vor. Im Lauf eines knappen Jahrhunderts nahm sie dann alle dem bloßen Auge sichtbaren Himmelserscheinungen in sich auf. Inzwischen gestatteten die besseren Fernrohre immer schwächer leuchtende Himmelsobjekte zu sehen, und mit ihnen rückt die Grenze der bekannten Welt noch heute von Jahrzehnt zu Jahrzehnt weiter hinaus. Welches Bild von der Welt hat sich dabei ergeben?

Der Durchmesser unserer Erde beträgt 12 756 Kilometer. Der Mond ist etwa um das Dreifache dieser Strecke von uns entfernt, die Sonne aber um mehr als das Zehntausendfache, nämlich um rund 150 Millionen Kilometer. Ein Infanteriegeschöß würde bei gleichbleibender Geschwindigkeit in etwa 6 Jahren von der Erde zur Sonne fliegen. Das Licht legt dieselbe Strecke in 8 Minuten zurück. Um die Sonne kreisen die Planeten, deren einer die Erde ist. Den fernsten bekannten Planeten, *Pluto*, erreicht das Sonnenlicht in etwa 6 Stunden. Alle diese Entfernungsbestimmungen beruhen grundsätzlich auf Messungen der Richtung, in der uns die Planeten von verschiedenen Orten der Erde aus erscheinen. Dabei genügt es, für einen besonders nahen Planeten dieses Verfahren anzuwenden; da wir die Mechanik der Planetenbewegung rechnerisch übersehen, können wir daraus mit Hilfe der beobachteten Bewegungen der Planeten alle anderen Entfernungsberechnungen.

Die übrigen Planeten sind der Erde in ihrem Bau verwandt; insbesondere sind sie nicht selbstleuchtend. Die Sonne hingegen ist ein ungeheuerer glühender Gasball. Ihr Durchmesser ist 1,39 Millionen Kilometer. Setzte man die Erde in ihre Mitte, so könnte der Mond sie in seinem natürlichen Abstand umkreisen, ohne die Sonne zu verlassen. Die Sonne besteht nach Ausweis ihres Spektrums aus denselben chemischen Elementen wie die Erde. Die Oberflächentemperatur der Sonne läßt sich aus der Zusammensetzung des von ihr ausgesandten

Lichtes zu etwa 6000 Grad bestimmen. In ihrem Mittelpunkt muß nach einer gut begründeten thermodynamischen Abschätzung eine Temperatur von etwa 20 Millionen Grad herrschen. Die Quelle dieser Wärme liegt nach heutiger Kenntnis in Reaktionen der Atomkerne, bei denen sich ständig Wasserstoff in Helium verwandelt.

Die Fixsterne sind sonnenähnliche Körper. Auch sie sind aus denselben chemischen Elementen wie die Sonne und die Erde zusammengesetzt. Der nächste Fixstern, α Centauri, ist 40 Billionen Kilometer von uns entfernt. Als Einheit für diese großen Längen wählt man das Lichtjahr, das ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Die Entfernung von α Centauri beträgt 4 Lichtjahre. Diese Entfernung und diejenige anderer, einigermaßen naher Sterne wird nach der oben geschilderten Methode der Parallaxe bestimmt. Die Bahn der Erde um die Sonne erscheint von α Centauri aus unter einem Winkel von nicht ganz einer Bogensekunde (das ist etwa der zweitausendste Teil des Durchmessers, den der Mond von der Erde aus gesehen zeigt); um ebensoviel unterscheiden sich die Richtungen, in denen der Stern von der Erde aus gesehen in zwei um ein halbes Jahr auseinanderliegenden Zeitpunkten steht. Für wesentlich fernere Sterne ist diese Abweichung unmeßbar klein. Man hat aber mehrere indirekte Verfahren zur Bestimmung größerer Entfernungen entwickelt, unter denen dasjenige mit Hilfe der veränderlichen Sterne am weitesten trägt.

Gewisse Sterne (die „ δ -Cephei-Veränderlichen“) erleiden regelmäßige Schwankungen ihrer Helligkeit, die vermutlich auf Pulsationen des Sternkörpers beruhen. Man hat nun ein empirisches Gesetz gefunden: je heller ein δ -Cephei-Stern im Mittel ist, desto langsamer schwankt seine Helligkeit um diesen Mittelwert; die Länge der Schwankungsperiode ist eine eindeutige Funktion der Durchschnittshelligkeit des Sterns. Unter seiner „Helligkeit“ ist dabei natürlich nicht die „scheinbare“ Helligkeit verstanden, die er für unser Auge zeigt, sondern die gesamte von ihm ausgesandte Lichtmenge; denn wenn zwei an sich gleich helle Sterne verschieden weit von uns entfernt sind, so wird ja der nähere unserem Auge heller erscheinen. Da man die Entfernungen der δ -Cephei-Sterne zunächst nicht kennt, hat man das Gesetz auch nur dadurch aufgefunden, daß man δ -Cephei-Sterne miteinander verglich, die denselben Sternhaufen angehören und daher jedenfalls alle etwa dieselbe Entfernung von uns haben. Eine vollständige Erklärung des Gesetzes ist noch nicht geglückt; doch gehört offenbar zu jeder Schwankungsdauer eine bestimmte physikalische Konstitution des Sterns und somit eine bestimmte Helligkeit. Zur Entfernungsbestimmung wendet man es nun folgendermaßen an: Haben zwei δ -Cephei-Sterne dieselbe Schwankungsperiode, so müssen sie an sich gleich hell sein. Erscheinen sie uns verschieden hell, so müssen ihre Entfernungen verschieden sein. Kennt man nur für einen derartigen Stern die Entfernung durch direkte Messung, so kann man sie für alle übrigen aus ihrer scheinbaren Helligkeit berechnen. Die meisten Sternanhäufungen am Himmel enthalten δ -Cephei-Sterne, und so reicht unser Verfahren bis zu den äußersten Entfernungen, in denen das Fernrohr überhaupt noch einzelne Sterne erkennen läßt.

Die Fülle der sichtbaren Sterne gehört einem großen Gesamtsystem an, dessen fernere Teile sich dem bloßen Auge nur im Schimmer der Milchstraße verraten. Da sich die Milchstraße als schmales Band rings um den Himmel zieht, muß sie die Gestalt einer ziemlich flachen Scheibe haben, und wir müssen uns nahe ihrer Mittelebene befinden. Ihr größter Durchmesser ist etwa 40 000 Lichtjahre. Sie enthält nach roher Schätzung 100 Milliarden leuchtender Sterne und eine an Gewicht ebenso große Menge nichtleuchtender Materie, die zumeist als Staub oder Gas im Raum verteilt ist. Unsere Sonne befindet sich in einem ihrer Außenbezirke.

Kleine neblige Objekte am Himmel, die sogenannten Spiralnebel, sind ferne Sternanhäufungen, die mit dem Milchstraßensystem verglichen werden können. In den nächsten von ihnen kann man noch einzelne δ -Cephei-Sterne wahrnehmen. Daraus ergeben sich als Entfernung z. B. für den berühmtesten unter ihnen, den Andromedanebel, etwa 700 000 Lichtjahre. Bei diesen näheren Nebeln kann man empirisch gewisse Beziehungen zwischen Gestalt und absoluter räumlicher Größe feststellen, aus denen man für fernere Nebel gleicher Gestalt die absolute Größe und — durch Vergleich mit ihrer scheinbaren Größe am Himmel — auch die Entfernung abschätzen kann.

Der fernste den heutigen Fernrohren erreichbare Nebel ist etwa 500 Millionen Lichtjahre entfernt. Als das Licht, das wir heute photographieren, von ihm ausging, befand sich die Erde im frühen geologischen Altertum.

Die Gesamtzahl der Spiralnebel bis zu der Entfernung, in die unsere besten Beobachtungen dringen, kann zu etwa 100 Millionen geschätzt werden. Vielfach ordnen sich die Spiralnebel zu losen Anhäufungen zusammen. Diese „Nebelnest“ sind die größten bekannten Materiezusammenfassungen. Sie erfüllen den bekannten Raum ungefähr gleichmäßig. —

Ebenso wie die Grenzen des Raumes hat die Neuzeit auch die Grenzen der Zeit, die das Mittelalter anerkannte, gesprengt. Als die Geologie Fossilien „vorsintflutlicher“ Lebewesen fand, und als sie lernte, das Alter vergangener Erdeepochen durch die Zählung von Jahresschichten in Sedimentgesteinen abzuschätzen, mußte man die Zeitrechnung nach der wörtlich gedeuteten biblischen Schöpfungsgeschichte aufgeben. Heute beruht die sicherste Zeitbestimmung geologischer Epochen auf den radioaktiven Mineralien. Einige Elemente, vor allem Uran und Thorium, wandeln sich unter Abspaltung von Helium langsam spontan in Blei um. Diese Umwandlung besteht in einem Zerfall des Atomkerns und ist, wie alle Vorgänge im Kern, durch äußere Eingriffe mechanischer, chemischer oder thermischer Natur völlig unbeeinflußbar. Aus der beobachteten Geschwindigkeit des Zerfalls folgt, daß sich z. B. von einer gegebenen Menge Uran in 4,5 Milliarden Jahren gerade die Hälfte in Blei verwandeln muß. Findet man nun ein uranhaltiges Material, so braucht man nur festzustellen, wieviel Blei sich in ihm schon angesammelt hat, um sein Alter zu kennen. Als das Alter des Minerals gilt dabei die Zeit, seit es sich aus seinen Bestandteilen zusammengefügt hat; denn seit diesem Augenblick konnte aus seinem Innern kein Blei mehr verlorengehen. Mineralien aus den ältesten bekannten Erdgeschichten haben ein Alter von zwei Milliarden Jahren ergeben. Dies ist also eine untere Grenze für die Zeit, die seit der Entstehung der Erde verflossen ist. Für das Alter der Sonne und der übrigen Sterne gibt es Abschätzungen, die auf nicht sehr viel größere Zeiten schließen lassen. Wir werden diese Abschätzungen im nächsten Abschnitt besprechen, da sie schon mit der Kritik der Unendlichkeitsvorstellung zu tun haben. Dort werden wir auch den noch sehr viel unbestimmteren Schlüssen begegnen, die man auf die Zukunft des Kosmos zieht. —

Schließlich ist die Neuzeit ins „unendlich Kleine“ vorgestossen. Begrifflich geschah dies durch die Aufstellung der Differentialrechnung und des Kontinuitätsprinzips. Die Atomlehre der Chemie knüpfte dann freilich die Erfahrungen zunächst an die antike Idee unteilbarer kleinster Einheiten an. Immerhin lehrte sie uns damit bereits materielle Gebilde von vorher nicht bekannter Kleinheit kennen. Ihr Durchmesser ist der hundertmillionste Teil eines Zentimeters (10^{-8} cm). Die Physik wies dann nach, daß diese „Atome“ weiter zerlegt werden können in einen noch zehntausendmal kleineren Kern und eine diffuse Elektronenhülle. Der Kern wird heute weiter aufgespalten. Die Bewegungsgesetze der Atombestandteile geben freilich Anlaß, den Begriff des Unendlichkleinen mit Vorbehalt anzusehen.

6. Gegenwart: Kritik der Unendlichkeitsvorstellung.

Es ist ein verbreitetes Empfinden, daß sich die exakte Naturwissenschaft der Gegenwart in einer Krise befindet. Worin besteht diese Krise? Sie ist nicht durch Zweifel an der naturwissenschaftlichen Methode, sondern durch ihre konsequente Anwendung entstanden. Sie hat auch den Umfang der naturwissenschaftlichen Kenntnisse nicht eingeschränkt, sondern erweitert und hat die innere Einheit der gesamten Naturwissenschaft in ungeahntem Maße gefördert. Als den begrifflichen Gehalt der Krise kann man vielleicht die Kritik des Schlusses vom Endlichen aufs Unendliche bezeichnen.

Alle im vorigen Abschnitt geschilderten Schlüsse setzen voraus, daß die uns bekannten Naturgesetze auch in sehr fernen Räumen und Zeiten gelten. Beispielsweise kann man aus einer Parallaxe nicht in der geschilderten Weise die Entfernung eines Sterns bestimmen, wenn die Lichtstrahlen im Kosmos nicht mehr geradlinig laufen; und die Altersbestimmung der Erde wird hinfällig, wenn Uran in früheren Zeiten schneller oder langsamer zerfiel als heute. Man muß diese Fragen prüfen und hat sie geprüft. So zeigen die Überreste von Lebewesen,

die den heutigen ähnlich waren, daß auch in früheren Erdperioden die organische Chemie denselben Gesetzen genügt hat wie heute; wieviel mehr ist dies dann von den schwerer beeinflußbaren Atomkernprozessen zu erwarten. Man kann ferner mehrere verschiedene Methoden der Altersbestimmung verwenden, die auf verschiedenartigen Naturgesetzen beruhen; die Übereinstimmung ihrer Ergebnisse stützt sie dann wechselseitig. Freilich verwenden alle derartigen Schlüsse Wahrscheinlichkeitsargumente. Doch ist es ja überhaupt die einzige Methode, die der empirischen Wissenschaft beim Aufstellen allgemeiner Sätze zur Verfügung steht, Wahrscheinlichkeiten durch Häufung der Belege zur praktischen Gewißheit zu steigern.

Mit dem Fortschritt unserer Kenntnisse sind wir aber in mehreren Richtungen an einem Punkt angekommen, an dem die Permanenz der Naturgesetze fraglich oder sogar aus der Erfahrung widerlegbar geworden ist. Und zwar wurden dabei nicht nur die speziellen Naturgesetze geändert, die den mit den allgemeinen Begriffen des unendlichen Raums, der unendlichen Zeit usw. gesteckten Rahmen ausfüllen, sondern es handelte sich jeweils um die Frage, ob diese allgemeinen Begriffe selbst noch statthaft seien: die Idee der unendlichen Erweiterbarkeit der bekannten Welt wurde als solche kritisiert. Diese Kritik setzte zunächst an ganz speziellen Punkten ein, an denen sie nahezu den Charakter eines technischen Details hatte. Heute aber ist schon zu sehen, daß sich hier auf vielen Anwendungsbereichen eine allgemeine Wahrheit durchsetzt. In unserer Übersicht, die notwendig summarisch sein muß, gehen wir denselben Weg vom Speziellen zum Allgemeinen. —

Die spezielle Relativitätstheorie kritisiert auf Grund der Erfahrung die Annahme, ein Körper könne eine beliebig große Geschwindigkeit haben. Sie gibt vielmehr eine endliche Grenzgeschwindigkeit an: die des Lichts. Die Geschwindigkeit ist dabei nicht in bezug auf einen ruhend gedachten „absoluten Raum“ oder „Äther“ gemeint, sondern sie kann von jedem beliebigen anderen Körper aus gemessen werden. Dies erscheint zunächst widerspruchsvoll. Denn wenn etwa von einem ruhend gedachten Körper zwei Geschosse (z. B. Elektronen) beide nahezu mit Lichtgeschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung abgesandt werden, so müßten sich nach unserer üblichen Anschauung die beiden Geschosse voneinander nahezu mit der doppelten Lichtgeschwindigkeit entfernen. Nach der Relativitätstheorie aber muß auch die Geschwindigkeit des einen Geschosses, vom anderen aus gemessen, kleiner als die Lichtgeschwindigkeit sein. Der Widerspruch wird aufgelöst durch eine genaue Untersuchung darüber, wie man Geschwindigkeiten tatsächlich mißt. Dabei ergibt sich die bekannte Kritik des Begriffs der Gleichzeitigkeit entfernter Ereignisse und eine neue Regel für die Zusammensetzung von Geschwindigkeiten. Nach der experimentellen Definition des Begriffs der Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der neuen Naturgesetze darf man nämlich sehr große Geschwindigkeiten nicht mehr einfach additiv zusammensetzen; insbesondere ergibt die Lichtgeschwindigkeit, zur Lichtgeschwindigkeit hinzugefügt, wieder die Lichtgeschwindigkeit. Es ist nun noch zu prüfen, ob man nicht einfach einen Körper immer weiter beschleunigen könnte, bis er die Lichtgeschwindigkeit überschreitet. Es zeigt sich aber, daß auch die Energie der Bewegung eine Masse besitzen muß, und daß der Körper daher immer schwerer wird, je schneller er sich bewegt. Somit setzt er auch der weiteren Beschleunigung einen immer größeren Widerstand entgegen. Hätte er die Lichtgeschwindigkeit genau erreicht, so wäre seine Masse unendlich geworden, und jede weitere Beschleunigung durch eine endliche Kraft wäre unmöglich. Dieser Massenzuwachs bei wachsender Geschwindigkeit ist experimentell direkt beobachtet worden. Wir sehen also am Sonderfall des Begriffs der Geschwindigkeit, wie neue Naturgesetze seiner Anwendung über eine endliche, angebbare Grenze hinaus jeden Sinn entziehen. Entscheidend ist dabei, daß wir den Begriff nicht naiv in einem Gebiet verwenden, von dem wir keine unmittelbare Anschauung mehr haben, sondern prüfen, welche Möglichkeiten für seine experimentelle Realisierung in einem Gebiet noch bestehen.

Die Quantentheorie besagt, daß es keine „Wirkung“ geben kann, die kleiner ist als das „Wirkungsquantum“. Sie kritisiert damit zugleich unsere Vorstellung von beliebig kleinen Raum- und Zeitspannen. Sie verbietet uns zwar nicht grundsätzlich, ins beliebig Kleine vorzudringen, aber sie knüpft dieses Vordringen an bestimmte dynamische Bedingungen. Die Existenz der Körper der uns umgebenden Welt beruht auf der Stabilität

der chemischen Atome. Diese Stabilität aber wird durch die Analyse des inneren Baus der Atome zerstört. Dies gilt nicht nur experimentell, sondern begrifflich. Denn aus den Eigenschaften der Bestandteile, in die wir das Atom zerlegen können, läßt sich nicht in einer raumzeitlich deutbaren Weise die Stabilität der Atome erklären. Sie ist vielmehr die Folge des neuartigen Naturgesetzes der kleinsten Wirkung. Erst die stabilen Atome schaffen die festen Gestalten, welche die Anwendung unserer Raum- und Zeitvorstellung auf Körper „an sich“ ermöglichen. Unterhalb der Größe der Atome ist die Welt nicht mehr an sich räumlich gegliedert, sondern das Hineinragen der weiteren räumlichen Unterteilung in diesen Bereich ist ein menschlicher Gewaltakt, der die ursprüngliche Beschaffenheit der Atome zerstört.

Auch dieser Gewaltakt scheint aber nicht unbegrenzt möglich zu sein. Die neueste Entwicklung der Atomphysik legt die Vermutung nahe, daß es eine nicht mehr unterschreitbare „kleinste Länge“ gebe. Die Konsequenzen dieser Annahme sind aber noch nicht im einzelnen geprüft. —

Auch für das unendlich Große scheinen sich Grenzen zu zeigen, die freilich noch nicht zu geschlossenen, empirisch gesicherten Theorien geführt haben. Doch lohnt es, die Indizien zu betrachten.

Beziiglich der zeitlichen Unendlichkeit des Weltgeschehens hat schon im vorigen Jahrhundert der zweite Hauptsatz der Thermodynamik Zweifel erweckt. Dieser Satz besagt, daß es in der Natur unumkehrbare Vorgänge gibt. So kühlst heißes Wasser sich unter Erwärmung seiner Umgebung von selbst ab; aber Wasser von Zimmertemperatur wird nicht unter Abkühlung seiner Umgebung von selbst heiß. Mathematisch besagt der Satz, daß es eine Größe, die „Entropie“, gibt, die in einem gegen die Umgebung isolierten Gebilde nur zunehmen oder konstant bleiben, aber nie abnehmen kann. Atomtheoretisch betrachtet ist die Entropie das Maß der „Unordnung“. Z. B. bedeutet die Versammlung der Wärmeenergie in einem Wassertopf eine „Ordnung“, welche durch die Verstreitung der Energie über die ganze Umgebung in Unordnung verwandelt wird. Ordnung ist ein Zustand, der nur auf ganz spezielle Weise realisiert werden kann und daher praktisch nie von selbst eintritt. Unordnung hingegen ist ein Sammelname für die Gesamtheit aller Zustände, in denen keine bestimmte Ordnung realisiert ist; sie kann also auf tausend verschiedene Weisen verwirklicht werden. Wenn also irgendeine nicht näher bestimmte Veränderung in der Natur erfolgt, so ist mit erdrückender Wahrscheinlichkeit zu erwarten, daß sie Ordnung in Unordnung überführt und nicht umgekehrt.

Jeder Vorgang in einem isolierten Gebilde hat nach dem zweiten Hauptsatz nur eine endliche Dauer. Man beginnt mit einem „geordneten“ Zustand; z. B. einem Kessel heißen Wassers in einem kalten Zimmer. Dann laufen so lange Vorgänge ab, bis der „wahrscheinlichste“ Zustand maximaler Unordnung erreicht ist; in unserem Beispiel: bis sich die Wärme im ganzen Zimmer gleichmäßig verteilt hat. Ist dieser Zustand erreicht, so geschieht nichts mehr. Diese Überlegung hat man auch auf die Welt im ganzen angewandt und gefordert, daß sie einem ereignislosen Zustand gleichverteilter Wärme, dem „Wärmetod“, entgegengehe. Entsprechend muß gefolgt werden, daß sie einmal mit einem Zustand maximaler Ordnung begonnen habe. Anfang und Ende brauchen nicht scharf markiert zu sein; die Welt könnte aus einem Anfangszustand, der „von Ewigkeit her“ bestanden hat, zuerst langsam und dann immer schneller in die Zeit der „Ereignisse“ hineingeraten sein und ebenso allmählich wieder „erstarren“. Man hat eingewandt, daß der zweite Hauptsatz für das Ganze einer unendlichen Welt, die einen unendlichen Energievorrat hätte, nicht zu gelten brauchte. Aber immerhin sind wohl Gebilde wie unser Milchstraßensystem und die Spiralnebel in hinreichender Näherung isoliert von Umwelteinflüssen; einerlei, was der übrigen unbekannten Welt geschieht, wird man jedenfalls erwarten, daß diese Systeme einen Anfang und ein Ende haben. Allgemein kann man sagen, daß jedenfalls jeder endliche Teil der Welt nur einen endlichen „Vorrat möglicher Ereignisse“ hat.

Diese mehr formalen Betrachtungen haben in neuester Zeit einen greifbaren Inhalt bekommen durch Abschätzungen des Alters der bekannten Welt. Überraschenderweise hat sich für die chemischen Atome, die Sterne und die Spiralnebel nach völlig verschiedenen Methoden dasselbe Alter von etwa fünf Milliarden Jahren ergeben. Die Altersbestimmung der

chemischen Atome geht von den radioaktiven Elementen Uran und Thorium aus. Da diese Stoffe allmählich zerfallen, müssen sie entweder dauernd nachgebildet werden oder vor so „kurzer“ Zeit entstanden sein, daß sie seitdem noch nicht wieder ganz zerfallen sind. Die erste Annahme ist heute sehr unwahrscheinlich geworden; wir kennen keine Stelle im Kosmos, welche die zur Bildung von Uran und Thorium erforderlichen physikalischen Bedingungen bietet. Entschließt man sich zur zweiten Annahme, so folgt ein Alter dieser (und wahrscheinlich aller zusammengesetzten) Elemente von rund 5 Milliarden Jahren. Das Alter der Sterne läßt sich abschätzen, seit man die Quelle der von ihnen ständig ausgestrahlten Energie in den Kernreaktionen gefunden hat und die Geschwindigkeit der Erschöpfung dieser Quelle berechnen kann. Z. B. folgt aus dem heutigen Wasserstoff- und Helium-Gehalt der Sonne, daß sie zwar schon einige Milliarden Jahre in der jetzigen Weise gestrahlt haben kann, aber nicht wesentlich länger.

Besonders bemerkenswert ist die Altersbestimmung der Spiralnebel. Diese Gebilde zeigen eine spektrale Verschiebung des von ihnen ausgesandten Lichts nach der roten Seite, die um so größer ist, je weiter der gerade betrachtete Nebel von uns entfernt ist. Dieses Phänomen deutet nach üblicher Auffassung darauf hin, daß alle Spiralnebel sich voneinander und somit auch von uns entfernen. Denn die Rotverschiebung des Lichtes besteht darin, daß in der Sekunde weniger Lichtwellen auftreffen als bei gewöhnlichem Licht, und eben dies ist zu erwarten, wenn die Nebel sich von uns entfernen. Nehmen wir diese Deutung einmal an, so folgt, daß die Spiralnebel in derselben Weise auseinanderstreben wie die Sprengstücke einer großen Explosion; denn nach einer solchen Explosion müssen in der Tat die am schnellsten fliegenden Sprengstücke nach Ablauf einiger Zeit auch schon am weitesten geflogen sein, so wie es die Abhängigkeit der Rotverschiebung von der Entfernung zeigt. Berechnet man nun aus der Fluggeschwindigkeit und dem gegenwärtigen Abstand der Spiralnebel den Augenblick der „Explosion“, so erhält man wiederum einen um etwa 5 Milliarden Jahre zurückliegenden Zeitpunkt. Diese Übereinstimmung ist so auffallend, daß man ihr wohl eine reale Bedeutung zuschreiben möchte. Das hieße also, daß die Teile der heute bekannten Welt, Spiralnebel, Sterne und Atome, sich zu diesem Zeitpunkt aus einem vom heutigen wesentlich verschiedenen Zustand der Welt gebildet hätten.

Wie hat die Welt vor jenem Zeitpunkt ausgesehen? Wir wissen nicht, wie wir vom heutigen Zustand auf jenen früheren schließen sollen. Wir wissen auch nicht, ob man für den früheren Zustand die heute geltenden Naturgesetze voraussetzen darf. Wir wissen nicht einmal, ob jener Zustand noch die Voraussetzungen bietet, um den Begriff der Zeit in einem klaren Sinn auf ihn anzuwenden. Denn eine Brücke direkter „Erinnerung“ scheint nicht über jene Anfangskatastrophe hinauszuführen; und ob der Zustand „vorher“ überhaupt die Möglichkeit bot, etwas wie eine „Uhr“ ablaufen zu lassen, ist unbekannt. Eine Uhr muß ja „gehen“, d. h. sie setzt voraus, daß etwas geschieht. Nach dem zweiten Hauptsatz aber ist es denkbar, daß für unsere Welt die Zeit der Ereignisse erst mit jener Anfangskatastrophe begonnen hat. Wir kehren damit noch einmal zur Deutung des zweiten Hauptsatzes zurück: wenn ein Naturgesetz zeigt, daß von einer unendlich gedachten Zeitspanne nur ein endlicher Teil mit wirklichen Ereignissen ausgefüllt werden kann, so liegt der Verdacht nahe, daß die Vorstellung der unendlichen Zeit einen unphysikalischen, nur gedanklich konstruierten Zeitbegriff voraussetzt. Man sollte dann erwarten, daß ein Zeitbegriff, der auf die Möglichkeit der physikalischen Realisierung von Zeitbestimmungen Rücksicht nimmt, automatisch zur Annahme einer endlichen Zeit führt. Der Einwand, auch wenn nichts geschehe, laufe doch „an sich“ die Zeit ab, ist von derselben philosophischen Fragwürdigkeit wie etwa die Behauptung, die Zustandsgrößen, welche die Quantenmechanik unbestimmt läßt, müßten doch „an sich“ bestimmte Werte haben.

Die heute wahrscheinlichste inhaltliche Ausfüllung der Annahme des „Wärmemodells“ in der Zukunft sieht so aus, daß schließlich die Energiequellen der Sterne versiegen und die Spiralnebel sich im Raum völlig zerstreuen. Doch wird man eine bestimmte Prophezeiung noch weniger wagen als eine bestimmte Behauptung über die Vergangenheit. —

Für den Gedanken, daß die Welt vielleicht auch im Raum nicht unendlich sei, ist das mathematische Gewand schon vor

hundert Jahren in der nichteuklidischen Geometrie gefunden worden. Nach dieser Geometrie ist z. B. eine zwar unbegrenzte, aber gleichwohl endliche Welt denkbar, die man sich durch den Vergleich mit der Oberfläche einer Kugel begreiflich machen kann. Fährt man auf der Erdoberfläche geradlinig in beliebiger Richtung, so trifft man niemals auf eine Grenze, aber man kehrt stets zum Ausgangspunkt zurück; und der gesamte Flächeninhalt der Erdoberfläche ist endlich. Ebenso wäre es denkbar, daß der Kosmos zwar nirgends „mit Brettern vernagelt“ wäre, aber daß jeder gerade Weg in ihm schließlich in sich zurückführt, und der gesamte Rauminhalt der Welt endlich wäre. Einen derartigen Raum können wir uns zwar nicht als Ganzes anschaulich vorstellen. Es ist aber zu bedenken, daß sich auch die aktuelle Unendlichkeit des Newtonschen absoluten Raumes unserem Vorstellungsvermögen entzieht. Vorstellbar sind nur die endlichen Figuren, von denen die ursprüngliche euklidische Geometrie handelt.

Die allgemeine Relativitätstheorie hat den Gedanken eines derart endlichen Raumes als physikalische Hypothese eingeführt. Freilich sind auch noch andere, unendliche Raumformen denkbar, und es ist wahrscheinlich, daß die Erfahrung eine Entscheidung zwischen ihnen auf absehbare Zeit hinaus nicht gestatten wird. Sicher erschüttert ist aber die Selbstverständlichkeit der älteren Raumvorstellung. Nachdem die nichteuklidische Geometrie gezeigt hat, daß verschiedene Strukturen des Raums denkmöglich sind, liegt es nahe, mit der allgemeinen Relativitätstheorie anzunehmen, daß der Raum nicht eine fertige „Mietkaserne“ ist, in welche die Materie einzieht, sondern daß die Materie selbst erst die Raumstruktur bestimmt. Damit kann aber selbst die Frage, ob der Raum endlich oder unendlich sei, nicht mehr unabhängig von der anderen Frage erörtert werden, was für Materie er enthält. —

Eine entsprechende Entwicklung hat schließlich auch der rein mathematische Begriff der Zahl durchgemacht. Die Mengenlehre hatte in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts den Begriff des aktuell Unendlichen in die Mathematik eingeführt. Man verglich und unterschied verschiedene unendliche Anzahlen, so z. B. die Anzahl aller ganzen Zahlen und die Anzahl aller Punkte auf einer gegebenen Strecke. Man wählte sogar den abstrakten Begriff der „Menge“, der endliche und unendliche Gesamtheiten gleichmäßig umfaßt, zum Ausgangspunkt aller mathematischen Begriffsbildung. Man schien dazu genötigt zu sein, wenn man die Grunddisziplin der neuzeitlichen Mathematik, die Differentialrechnung, einwandfrei begründen wollte. Die aristotelischen Einwände gegen das aktuell Unendliche konnten widerlegt werden.

Um die Jahrhundertwende zeigte sich aber, daß die Mengenlehre gleichwohl zu logischen Widersprüchen führt. In der Kritik, die zur Ausschaltung der Möglichkeit solcher Widersprüche notwendig war, entwickelte sich eine andere Auffassung von der Zahl, deren eindeutigste Fassung der sogenannte Intuitionismus gegeben hat. Man muß danach etwa sagen: Zahlen, als gedankliche Gebilde, gibt es nicht „an sich“, sondern sie sind Ausdruck der Fähigkeit des Menschen, zu zählen. Daß es unendlich viele ganze Zahlen gibt, bedeutet demnach nur: wenn man noch so weit gezählt hat, so kann man doch immer noch weiter zählen. Zu den logischen Voraussetzungen dieses Zahlbegriffs gehört also die menschliche Freiheit, die zu der Gesamtheit des schon Geschehenen stets noch einen neuen Akt hinzufügen kann. Mathematische Aussagen, die mit den Worten „es gibt“ beginnen (z. B.: „es gibt zwischen zwei Punkten auf einer Strecke stets noch einen weiteren Punkt“), gelten nur als sinnvoll, wenn für die Worte „es gibt“ auch gesetzt werden kann: „man kann konstruieren bzw. angeben“. Damit ist klar, daß es aktuell unendliche Gesamtheiten nicht gibt, denn man kann zwar immer noch mehr konstruieren, als man schon konstruiert hat, aber stets nur endlich viel.

Die intuitionistischen Begriffe erwiesen sich nun freilich als zu eng zur Begründung des praktisch notwendigen Bestandes der Mathematik, insbesondere der Differentialrechnung. Die moderne „Beweistheorie“ sucht daher die aktuell unendlichen Gesamtheiten als technische Hilfsbegriffe zu rechtfertigen. D. h. sie nimmt die vom intuitionistischen Standpunkt aus sinnlosen Aussagen nicht als selbstverständlich hin, sondern sucht unter ihnen diejenigen aus, deren Hinzufügung zur intuitionistischen Mathematik nicht zu einem logischen Widerspruch führt; diese Widerspruchsfreiheit muß jeweils ausdrücklich bewiesen

werden. Diese Zusatzaussagen sind freilich vom intuitionistischen Standpunkt aus nicht eigentliche Mathematik, sondern ein formales Spiel mit Begriffen. Zu ihrer Rechtfertigung kann man nur darauf hinweisen, daß die Physik die Differentialrechnung praktisch braucht. Bedenkt man freilich, daß in der Physik Begriffe, wie der einer kleinsten Länge, auftauchen, so erscheint es denkbar, daß die klassische Differentialrechnung hinsichtlich des Verhaltens der Dinge im kleinen ebenso nur eine von mehreren möglichen Theorien ist, wie die euklidische Geometrie hinsichtlich des Raums im großen, und daß auch hier der Erörterung der experimentellen Möglichkeiten das letzte Wort bleibt. —

Zum Abschluß drängt sich uns eine Erinnerung an *Kants* Antinomienlehre auf. Nach *Kant* führt die Frage nach dem Unendlichen stets auf widersprüchsvolle Antworten, möge es sich nun um das Unendliche hinsichtlich der Größe oder der Kleinheit, hinsichtlich des Raums, der Zeit oder der Kette der Ursachen handeln. Das liegt daran, daß wir in zwei entgegengesetzten Richtungen fragen können und dabei entgegengesetzte Voraussetzungen machen müssen. Gehen wir von unserem eigenen Standort aus, so können wir nach immer fernierliegenden Gegenständen fragen, und es ist nicht einzusehen, wie wir damit an eine Grenze kommen sollen. Wollen wir umgekehrt von einer objektiven Wirklichkeit ausgehend unseren eigenen Zustand erklären, so können wir rein praktisch nicht „von unendlich her kommen“, sondern müssen einen Anfangspunkt im Endlichen wählen. Soll nun die Erklärung definitiv sein, so daß hinter ihr nicht wieder eine andere steckt, so müssen wir jenen Anfangspunkt als unüberschreitbare Grenze des Fragens voraussetzen im Widerspruch zu der vorigen Annahme.

Die moderne Wissenschaft hat sich im allgemeinen auf einen „pragmatischen“ Standpunkt gestellt. D. h. sie hat auf definitive Erklärungen von vornherein verzichtet und damit nur die eine Fragerichtung, die vom Menschen nach den Dingen hin, übrigbehalten; so fällt natürlich der Widerspruch fort. Die Gegenwart aber zeigt, daß das konsequent pragmatische Denken beide Seiten des Gegensatzes aufhebt. Vielleicht darf man die soeben geschilderten Ergebnisse und Kritiken in die programmatische Formel zusammenfassen: Die Welt ist nicht au sich endlich, sie ist aber auch nicht an sich unendlich. Objektiv vorhandene Dinge der uns vertrauten Beschaffenheit, von denen aus wir unsere eigene Situation erklären können, finden sich nur in einem endlichen Umkreis unseres eigenen Standorts. Diesen Umkreis können wir verlassen. Aber dann finden wir nicht mehr objektive Gegenstände, die schon vorher so da waren, sondern Zustände, die wir selber gemacht haben. Die Naturgesetze verwandeln sich aus Angaben über die seiende Welt in Angaben darüber, was man machen kann. Die beiden Seiten der Antinomie stehen nicht mehr in Widerspruch, sondern sie stehen zur Wahl. Wollen wir Seiendes aus Seiendem erklären, so müssen wir es in seiner Endlichkeit bestehen lassen; wollen wir „hinter es kommen“, so müssen wir es zerstören. Wieweit wir es in beiden Fällen treiben können, zeigt nur von Fall zu Fall die Erfahrung. Gewiß ist aber, daß wir die Begriffe, die für das Endliche gelten — möge es sich dabei um Gegebenes oder um von uns Gemachtes handeln — nicht naiv dort verwenden dürfen, wo uns nichts mehr gegeben ist, und wir nichts mehr machen können.

7. Zur Deutung der gegenwärtigen Lage.

Was bedeuten uns diese Ergebnisse? Drücken sie etwas von unserem Wesen, von unserer Lage aus?

Wohl keiner von uns hat die neue Denkweise der Naturwissenschaft von vornherein ohne Widerstreben angenommen. Auch wenn man sich überzeugt hatte, daß sich logisch keine Einwände gegen sie erheben lassen, blieb zum mindestens ein Unbehagen zurück, daß sich in manchen Fällen bis zu leidenschaftlichem Widerspruch steigerte. Zerstört die neue Denkweise nicht unsere Begriffe von Wahrheit und Wirklichkeit in den Grundlagen? Hebt sie nicht alles Absolute, alles Fraglose auf?

Wo um wissenschaftliche Sätze mit solchen Begründungen gekämpft wird, ist zu erwarten, daß sie nicht nur um ihrer selbst willen wichtig sind, sondern weil sie symbolisch stehen für menschliche Haltungen. Was bedeutete es für das praktische Leben der Menschen zur Zeit des *Kopernikus*, ob die Erde sich um die Sonne dreht oder in der Mitte der Welt ruht?

Was braucht uns heutige Menschen die Bewegung der Spiralnebel und der Bau des Wasserstoff-Atoms zu kümmern? Wie können Erkenntnisse über die fernsten Bereiche der äußeren Welt die Ruhe der menschlichen Seele stören?

Ohne Zweifel ist das Weltbild der neuzeitlichen Naturwissenschaft von einer unbewußten Symbolik getragen. Wir haben ihren Ursprung kennengelernt. Die Würde, die im Mittelalter Gott vorbehalten war, ist in der Neuzeit der Welt zugefallen. Damit haben unsere Anschauungen vom Wesen der Welt es auch übernehmen müssen, uns den inneren Halt zu geben, den vorher der Glaube an Gott gegeben hatte. Überzeugungen wie die vom absoluten Raum und von der Zurückführbarkeit aller Naturerscheinungen auf die Geometrie und Mechanik der Atome verdanken ihre Stärke dieser Rolle, die ihnen meist unbewußt, im materialistischen Lager aber auch bewußt zugeteilt worden ist. Dasselbe lehrt uns auch die Erörterung der Unendlichkeitsfrage.

So hat der Schluß aus dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre auf eine begrenzte Dauer des Weltgeschehens einen Willen zum Widerspruch ausgelöst, der mit den logischen Lücken, die in dem Schluß stecken mochten, nicht erklärt ist. Vielmehr sträubt sich das Gefühl des modernen Menschen gegen die Vermutung, daß die Welt nicht unendlich daure. Warum? Das Leiden jedes Menschen an Zeit und Vergänglichkeit ist wohl so groß, daß er an etwas der Vernichtung Entzobenes glauben muß, um leben zu können. Wer nicht mehr an ein ewiges Leben glaubte, der mußte wohl an eine unendliche Dauer der materiellen Welt glauben. Die symbolische Kraft dieses Glaubens läßt den Menschen kaum fühlen, daß ihm persönlich ja mit einer Fortdauer seiner Umwelt nach seinem eigenen Tode nur wenig genützt ist. Schließlich ist die Unendlichkeit der Welt in jeder Dimension das sinnfälligste Symbol des Fortschrittsglaubens. Dem Christen des Mittelalters war in der Heimkehr seiner Seele zu Gott ein genügendes, unendlicher Anstrengung wertes Ziel gesteckt. In dem Augenblick, in dem das Ziel des Strebens nach außen verlagert wird, erweist jedes Ding seinen nur begrenzten Wert, und der uns einwohnende Drang nach dem Absoluten vermag sich nirgends zu begnügen, sondern sieht jeden Schritt nur als Vorbereitung des nächsten gerechtfertigt. Nur der Gedanke eines unendlichen Auswirkungsfeldes verschafft diesem Lebensgefühl wenigstens das Symbol einer Befriedigung; jeder Gedanke an eine noch so ferne Grenze beunruhigt es tief.

In diese Symbolik ist nun durch die Entdeckungen der Gegenwart eine tiefe Bresche geschlagen; ja, ihre Fundamente sind bereits zerstört. Die neuen Erfahrungen und die durch sie wachgerufene methodische Besinnung haben den Einfluß der unbewußten Unendlichkeitssymbolik auf die Formulierung der Naturgesetze aufgehoben. In der Frage, wie die Naturgesetze zu lauten haben, hat die realistische Komponente der Naturwissenschaft wiederum über die symbolische gesiegt. Dieser Sieg stellt keine neue Entscheidung dar, sondern er ist nur die Folge der Entscheidung, die schon zur Zeit *Galileis* gefallen ist. Die Welt ist ein Bereich von Tatsachen, und unser Urteil über diese Tatsachen richten wir nach der Erfahrung, die wir über sie gewinnen können, und nicht nach dem Symbolwert, den sie für uns haben sollen. Könnte denn eine falsche oder fragwürdige Behauptung über Tatsachen uns noch ein glaubwürdiges Symbol abgeben? Neu ist nur die Entdeckung, daß wir die Selbstbeschränkung auf das Tatsächliche, zu deren Anwalt wir uns gemacht haben, an einer entscheidenden Stelle selbst noch nicht vollzogen hatten.

Wir haben den äußersten uns heute vorstellbaren Grad naturwissenschaftlicher Ernüchterung erreicht und blicken auf den durchmessen Weg zurück. Zu allen Zeiten bedeutete die Welt Gott, aber in verschiedener Weise. Einst war sie selbst göttlich. Später wies sie auf ihren Schöpfer zurück. In der Neuzeit wurde sie zum Ersatz für Gott. Wir sind damit nicht etwa zu der Welt des vorchristlichen Heidentums zurückgekehrt, die selbst göttlich oder, wie man treffend gesagt hat, selbst voll war von Göttern. Nur als eine schöne, aber meist mißverstandene Erinnerung ist diese Welt für die Neuzeit wieder aufgetaucht. Der Weg zu ihr zurück war verstellt durch eine stärkere Triebkraft: den Drang nach dem Unendlichen. Die Götter der heidnischen Welt sind die Kräfte der Natur in uns und um uns. Unser natürlicher Lebensbereich aber ist endlich und bedingt. Das Christentum hat das Unendliche und Unbedingte zum Ziel des Strebens gemacht. Der säkularisierte Mensch der Neuzeit

hat dieses Streben beibehalten und nur seine Erfüllung in einer anderen Ebene gesucht. Es ist darum das Wesen seines Verhältnisses zur Natur, daß er die Grenzen und Bedingungen seines ursprünglich natürlichen Daseins überschreitet. Er dringt, antik gesprochen, in einen Bereich vor, in dem es keine Götter gibt, oder dessen Götter uns fremd sind. Er gewinnt dafür ein Wissen und eine Macht, welche jeder früheren Zeit ebenso unerlaubt wie unmöglich erschienen wären. Wissen und Macht waren unsere Götter, und sie trugen den Nimbus des Unendlichen und des Unbedingten.

Heute beginnt sich zu enthüllen, was wir in Wahrheit erreichen können: nicht das Unbedingte, sondern die Einsicht in die Bedingungen unseres Wissens und unserer Macht. Wir wollten hinter die Erscheinung zu den Dingen selbst vordringen, um sie zu kennen und zu besitzen; nun zeigt sich, daß gerade jenseits unserer natürlichen Anschauungswelt sogar der Begriff des Dings nur definiert werden kann in bezug auf den Menschen, dem es erscheint, oder der es selber macht. Wissen von der Natur und Macht über die Natur sind ihrem Wesen nach endlich. Sie sind es nicht wie eine begrenzte Herrschaft, die sich in einem unbegrenzten Raum immer weiter ausdehnen könnte, sondern ihre Grenzen liegen dort, wo sie das, worum es ihnen geht, selbst erst hervorbringen müssen. Die Symbole, die ihre Unendlichkeit andeuteten, müßten gestürzt werden, weil sie selbst Träume und nicht wirkliches Wissen oder wirkliche Macht waren.

Haben wir uns hiermit zu begnügen? Bedeutet die Welt nichts? Ist nur derjenige glücklich — wenn es ihn gibt —, der es vermag, der Frage nach dem Sinn und dem Recht, mit dem er sein Wissen und seine Macht gebraucht, stets auszuweichen? Bleibt den anderen, die die Bewegung der Neuzeit durchlaufen haben, nicht mehr übrig, als daß neben die beiden alten Aspekte der Welt: das Leiden und die Schuld, als dritter die Sinnlosigkeit getreten ist?

Ich glaube das nicht. Ich glaube allerdings, daß wir als erstes den Abgrund sehen, das Vakuum ertragen müssen. Aber ich glaube, daß dieses Vakuum kein Ende, sondern die Aufforderung zu einer Entscheidung bedeutet. Spricht Gott nicht mehr zu uns? Die Ersatzsymbolik ist zusammengebrochen, nicht weil sie Symbolik, sondern weil sie Ersatz war. Schon das Schweigen, das an ihre Stelle tritt, ist bereit genug, denn es stellt uns vor unsere wirkliche Lage. Wir müssen wohl nur wissen, ob wir überhaupt Gott hören wollen, nicht da, wo wir ihn zu hören wünschen, sondern da, wo er wirklich zu uns spricht. —

Es ist wohl richtig, dies hier als Frage stehen zu lassen. Im naturwissenschaftlichen Zusammenhang aber erhebt sich eine Teilfrage, die wir zum Abschluß erörtern wollen. Gesetzt, wir seien bereit zu hören und öffneten uns damit den entscheidenden menschlichen Erfahrungen, die auf uns warten, werden wir dadurch nicht aus der Naturwissenschaft unwiderruflich hinausgeführt? Zerfällt unser Leben dann nicht in zwei Bereiche: das eigentlich menschliche Dasein und die unvermeidliche, aber in sich sinnlose technisch-physikalische Welt? Können wir die Sinnentleerung der äußeren Welt rückgängig machen, ohne uns selbst zu betrügen?

Wir wenden unseren Blick noch einmal zurück auf die letzte große Verbindung von Naturwissenschaft und objektiver Symbolik. Inwiefern sind wir in einer anderen Lage als *Kepler*? Die rein naturwissenschaftlichen Voraussetzungen haben sich seit seiner Zeit in dem für die objektive Symbolik entscheidenden Punkt nicht geändert. Damals galt das mathematische Naturgesetz als das Medium, durch welches die Natur den Geist darstellt. Heute ist die mathematische Erfassung der Natur zwar um vieles weiter fortgeschritten. Sie ist uns so vertraut geworden, daß wir uns vielleicht weniger über ihre Möglichkeit wundern. Aber so wenig wie einst *Kepler* haben wir eine empirisch-rationale Erklärung für die Tatsache, daß gerade diejenigen Naturgesetze, die sich in der Erfahrung bewähren, vor allen anderen denkbaren immer wieder durch einen besonders hohen Grad mathematischer Einfachheit ausgezeichnet sind. Das oft angeführte Prinzip der Denökonomie begründet höchstens, warum wir nach einfachen Gesetzen suchen, aber nicht, warum wir sie finden. Das wird am deutlichsten durch die Tatsache, daß wir oft lange vergeblich suchen und sehr wohl zwischen einer plausiblen Arbeitshypothese und einer fundierten Theorie zu unterscheiden wissen. Tiefer dringt der an *Kant* anknüpfende Gedanke, daß Gesetzlichkeit die Bedingung für

die Möglichkeit von Erfahrung ist; daß wir ohne das Bestehen von Naturgesetzen nicht einmal die Begriffe bilden könnten, in denen wir nach ihnen fragen. Dieser Gedanke erklärt zwar nicht, warum es Naturgesetze und ihnen angemessene Begriffe gibt. Aber er zeigt, warum wir auf diese Frage im ganzen keine Antwort in Begriffen erwarten dürfen, die nach der Art der Naturwissenschaft gebildet sind. Denn die bloße Verwendung solcher Begriffe setzt ja das Bestehen der fraglichen Art von Gesetzen schon voraus.

Eben aus dieser Situation erwächst aber auch *Keplers* bewußt metaphysische Begründung. Rational äußert sich das in dem ausdrücklichen Zurückgehen auf Gott, also auf eine nicht mehr naturwissenschaftlich beschreibbare Realität, welche zugleich Ursprung der Natur und unseres Geistes ist. Hierin enthüllt sich aber zugleich eine Erfahrung von nicht naturwissenschaftlicher Art. Der Geist, der in der objektiven Ordnung der Natur dem Geheimnis seines eigenen Ursprungs begegnet, erlebt, wie das reine Sein gleichsam durchscheinend wird, als Träger einer nicht mehr aussprechbaren Bedeutung. Dieses Erlebnis spricht eine andere Schicht der Persönlichkeit an als das willkürlich reproduzierbare Sinnenerlebnis, das im physikalischen Experiment verwendet wird. Offenbar läuft die Frage, ob wir etwas wie eine objektive Natursymbolik für möglich halten, auf die andere Frage hinaus, wie wir uns zu den Erfahrungen dieser Schicht unseres Wesens verhalten.

Die Naturwissenschaft der Neuzeit hat sie aus dem Kreis ihrer verbindlichen Voraussetzungen ausgeschlossen und in die private Sphäre verwiesen. Sie hat damit das Ergebnis, zu dem sie nunmehr gelangt ist, vorweg festgelegt. Zugleich hat sie damit jener Schicht von Erfahrungen nach und nach die allgemeinverständlichen Ausdrucksmittel entzogen und ihr so den Weg zur vollen Bewußtheit immer mehr erschwert. Daß sie sie nicht ersticken könnte, beweist schon das Auftreten der Ersatzsymbolik. Unverfälschter spricht für den, der hören kann, das fast religiöse Verhältnis vieler tätiger Naturforscher zu ihrem Gegenstand. Die Scheu des modernen Wissenschaftlers, von dieser Seite seiner Arbeit zu reden, ist für den Hörenden in manchen Fällen so bereit wie die begeisterten Worte *Keplers*. Es bedarf nicht nur einer Haltung der Hingabe und des Glaubens, um die Voraussetzungen einer Entdeckung zu schaffen; sondern das Erschrecken vor der aufleuchtenden Wahrheit, vor dem Abgrund, in den wir schauen, wenn uns das Wirkliche, das wir nicht gemacht haben, mit einem Male unwidersprechlich gegenübersteht, ist nahe dem Erschrecken des Menschen vor Gott.

Erkenntnistheoretisch betrachtet ist die Trennung der Symbolik von der Naturwissenschaft also nur die Folge des Entschlusses zu einer bestimmten Methode. Historisch freilich scheint dieser Entschluß unvermeidlich gewesen zu sein. Er war selbst der Ausdruck einer bestimmten menschlichen Haltung. Wir werden aber folgern dürfen, daß eine erneute Änderung der menschlichen Haltung auch diese Frage in ein neues Licht rücken kann. Die Ergebnisse der heutigen Naturwissenschaft weisen selbst in diese Richtung. Nicht das isolierte Ding, sondern nur das Ganze des Zusammenhangs Mensch-Ding gilt der modernen Physik als faßbare Wirklichkeit. Eine Änderung in einem Pol dieses Zusammenhangs kann den anderen nicht unberührt lassen. Es ist müßig, über die Auswirkungen dieser Änderung zu spekulieren, ehe sie selbst eingetreten ist. Gewiß wird sie das Rad der Geschichte nicht zurückdrehen. Sie wird den methodisch sauberen Begriff von Naturwissenschaft, den die Neuzeit erarbeitet hat, nicht zerstören. Aber sie wird uns einiges außerdem sehen lehren, was wir bisher übersiehen haben, weil wir es nicht sehen wollten. An einem Tage, von dem heute noch niemand sagen kann, ob er nah oder fern ist, wird vielleicht ein neuer Mensch die Augen öffnen und sich mit Erstaunen einer neuen Natur gegenüber sehen.

ANMERKUNGEN.

Im folgenden ist in unsystematischer Weise eine kleine Anzahl von Schriften genannt, denen ich wichtige Anregungen verdanke oder die zur näheren Unterrichtung über die in dem Aufsatz angeschnittenen Fragen geeignet sind.

Zum Abschnitt 4: Das Gleichnis der unendlichen Kugel behandelt *D. Mahnke*: Unendliche Sphäre und Altmittelpunkt, Halle 1937. Dort umfangreiche Literaturhinweise zu den Abschnitten 5 und 6: Die Spiralnebel behandelt *E. Hubble*: Das Reich der Nebel, Braunschweig 1938.

Für die hier hervorgehobene Seite des Zahlproblems *D. Hilbert* u. *P. Bernays*: Grundlagen der Mathematik, Berlin 1934 und 1939; *A. Heyting*: Mathematische Grundlagenforschung, Intuitionismus, Beweistheorie, Berlin 1934; *G. Gentzen*: Der heutige Stand der mathematischen Grundlagenforschung, 1940. (Alle nur für mathematisch geschulte Leser.)

[A. 48.]