

5633

~~6272~~
SAMBURSKY, S.
1967

6272

*
Theosofische Vereniging
Ielstraat 154, Amsterdam

ERANOS-JAHRBUCH 1966

Aa-707

Schöpfung und Gestaltung

SAMBURSKY S., Phänomen und Theorie. Das physikalische Denken der
Antike im Licht der modernen Physik : Eranos-Jb XXXV 1966 303-348. |
Sauver les phénomènes : l'astronomie descriptive des Babyloniens et le système
astronomique des Grecs. La mathématique, langue des sciences naturelles.
Les atomes et le continu. Les limites de la connaissance de la nature.



RHEIN-VERLAG ZÜRICH
1967

et perspective inversée»; ebendort, Heft XI, 2 (1966), pp. 180ff., über chinesische Malerei und ihren Zusammenhang mit dem «courant plotinien» der europäischen Kunst.

⁵² Daisetz Teitaro Suzuki, *Zen und die Kultur Japans*. Ausgabe Hamburg (Rowohlt) 1958, pp. 12, 26.

⁵³ Cf. das Kapitel «Die Fragmente über Armenien» in dem in Anm. 6 zitierten Buch über Leonardo.

SCHMUEL SAMBURSKY

PHÄNOMEN UND THEORIE

Das physikalische Denken der Antike im Licht der modernen Physik

I. Die Rettung der Phänomene

In einem von Goethes «Aphorismen über Naturwissenschaft» heißt es: «Das Höchste wäre, zu begreifen, daß alles Faktische schon Theorie ist... Man suche nur nichts hinter den Phänomenen; sie selbst sind die Lehre.» Es liegt wohl auf der Hand, daß dieser Ausspruch in seiner zugespitzten Form gegen die analytische Methode der Newtonschen Physik gerichtet ist – ein Verdacht, der durch die Tatsache bestärkt wird, daß der ebenfalls Newton ablehnende Schopenhauer diese Worte Goethes in seiner Schrift «Über das Sehen und die Farben» zitiert. Ungeachtet des Umstandes, daß die Geschichte der Naturwissenschaft klar und eindeutig für Newton und gegen Goethe entschieden hat, können wir getrost den bemerkenswerten Goetheschen Aphorismus zum Ausgangspunkt unseres Themas nehmen. Denn jenseits ihrer polemischen Tendenz, die durch eine ephemere historische Situation bedingt ist, kommt diesen Worten eine universelle, für das gesamte, einen Zeitraum von 2500 Jahren umspannende naturwissenschaftliche Erkennen gültige Bedeutung zu. Der Kern des Goetheschen Gedankens besteht nämlich darin, daß jede echte, zu einer fruchtbaren theoretischen Entfaltung führende Naturerkenntnis damit beginnt, daß eine Erscheinung bewußt gesehen wird, daß also über den schlechthin wahrgenommenen Sinnesindruck hinaus ein äußeres Phänomen mit einem Bewußtseinsinhalt verknüpft und mit einem inneren Bild, einer Idee, zur Deckung gebracht wird. Nur dann wird das Phänomen zur Lehre, wenn es im Beobachter einen psychischen Vorgang hervorruft, der schließlich Ideen inspiriert, die zu einem Verstehen, einem sinnvollen Erfassen des Naturgeschehens hin-

leiten. Dieser Kurzschluß, der den Funken vom Erkannten zum Erkennenden überspringen läßt und das Faktische zur Theorie macht, ist ein schöpferischer, jenseits alles rationalen Vorausberechnens liegender Vorgang, wesensgleich jenem seelischen Prozeß, der die Konzeption eines Kunstwerks oder einer Dichtung entstehen läßt.

Die Berichte großer Forscher über die psychologische und erkenntnistheoretische Situation, die ihren Entdeckungen zugrunde lag, haben zu der plausiblen Annahme geführt, daß das bewußte Entstehen eines inneren Bildes und seine darauf folgende Kristallisierung zu einer begrifflich faßbaren Idee nichts anderes sind als die letzte Stufe eines unbewußten seelischen Vorganges, der im Schlummern latenter Bilder und Archetypen in der Psyche besteht. Kein Geringerer als Platon hat im *Menon* und *Phaidon* dieses Manifestwerden des latenten Bildes und sein Herausheben aus der unbewußten Schicht beschrieben und es zu seiner Doktrin der Anamnesis, des Sich-Erinnerns, entwickelt. 800 Jahre nach ihm kommt Proklos, der große Philosoph und Systematiker des späten Neuplatonismus, zugleich der autoritativste und verständnisvollste Interpret Platons, in seinen Schriften gelegentlich einige Male auf diese Doktrin der Anamnesis zu sprechen. So heißt es zum Beispiel in Proklos' Kommentar zum Euklid: «Jedes sogenannte Lernen ist ein Sich-Erinnern, das nicht von außen her in das Bewußtsein hineingelegt wird, wie es die Bilder sind, die in der Vorstellung durch die Objekte der Sinneswahrnehmung eingeprägt werden, und das auch nicht ohne inneren Zusammenhang ist, wie die auf Vermutungen beruhende Erkenntnis, sondern es ist zunächst durch die Phänomene aufgerührt und dann von innen her durch das Denken selber erzeugt, das sich zu sich selbst hinwendet»¹. Das Registrieren von Perzeptionsdaten, das lediglich Objekte der Sinneswahrnehmung aufnimmt, wird hier von Proklos als eine Tätigkeit niederer Ordnung dem Aufgerührtwerden durch die Phänomene gegenübergestellt, dem Auftritt inspirierter Ideen, bei dem als höhere Stufe der Erkenntnis äußeres und inneres Phänomen im erkennenden Subjekt zu einer Wesensschau verschmelzen. In der Philosophie der Naturwissenschaft hat häufig, vor allem seit dem Hochkommen des Positivismus im 19. Jahrhundert, die Tendenz bestanden, den Gegensatz dieser beiden Arten des Naturerkennens zu verwischen oder gar aufzu-

heben. Dies lag schon deshalb nahe, weil ja beiden Tätigkeiten, die wir als «Beschreiben» und «Erklären» kennzeichnen können, ein bewußtes Ordnen und systematisches Darstellen gemeinsam ist. Man hat zum Beispiel, wie Gustav Kirchhoff in seiner Definition der Mechanik, die Erklärung physikalischer Vorgänge auf ihre einfachste und vollständigste Beschreibung zurückführen wollen. Hierbei ist aber die grundlegende Wesensverschiedenheit von Beschreiben und Erklären völlig außer acht gelassen worden, die eben in den psychologischen Antezedenzen liegt, welche dem Vorgang des Erklärens zugrunde liegen und die zum Ausgangspunkt jenes Gedankensystems werden, das wir als naturwissenschaftliche Theorie bezeichnen.

Die Geschichte der antiken Naturwissenschaft hat uns zwei schlagende, fast gleichzeitige Beispiele geliefert, an denen der Unterschied klar demonstriert wird zwischen einem lediglich beschreibenden Naturerkennen, das zwar wie jede Wissenschaft richtige Voraussagen ermöglicht, aber zu keiner Theorienbildung führt, und einer Naturerklärung, die durch die innere Logik ihrer begrifflichen Voraussetzungen das Reifen und den Ausbau einer sich weitverzweigenden Theorie mit sich bringt. Die erstere ist durch die babylonische Astronomie vertreten, die sich etwa um 600 vor Christus zu einer systematischen Wissenschaft entwickelte; die letztere finden wir in der Astronomie der alten Griechen, welche ungefähr 150 Jahre später in Athen ihren Anfang nahm. Wie jede Naturwissenschaft ist die Astronomie, insbesondere die Theorie der Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten, auf reproduzierbare Vorgänge beschränkt, in diesem Falle auf solche, für deren Reproduzierung die Natur selber sorgt. Bekanntlich ist die periodische Wiederholung der scheinbaren Positionen dieser Himmelskörper das Resultat der Kombination einer Reihe von periodischen Bewegungen – der täglichen Rotation der Erde um ihre Achse, der Umlaufbewegung der Erde und der anderen Planeten um die Sonne und der Umlaufbewegung des Mondes um die Erde. Die kosmische Entwicklung des Sonnensystems hat sozusagen relativ einfache Laboratoriumsbedingungen mit sich gebracht – die Bahnebenen der Erde, des Mondes und der Planeten weichen nur wenig voneinander ab –, welche es den antiken Astronomen ermöglichten, jene Periodizitäten verhältnismäßig früh zu erkennen und

zu registrieren. Die unveränderliche Relativlage der Fixsterne und ihrer Konstellationen bot schon dem antiken Beobachter am nächtlichen Himmel ein bequemes Netz von Bezugspunkten, an dem die jeweiligen Positionen der Wandelsterne – Sonne und Mond miteinbegriffen – mit einer Genauigkeit gemessen werden konnten, die noch in der Antike bis fast zur Grenze der Auflösungskraft des unbewaffneten Auges vorgerieben wurde.

Die große Konstanz der täglichen ost-westlichen Himmelsumdrehung war naturgemäß eines der frühesten und am besten bekannten Phänomene, das sich den antiken Beobachtern dargeboten hatte: es war sozusagen das Urphänomen des Himmels, die gleichförmige Kreisbewegung. Aber gegen Ende des 5. Jahrhunderts vor Christus waren doch schon den Astronomen in ihren Grundzügen die im entgegengesetzten Sinn von Westen nach Osten stattfindenden Eigenbewegungen von Sonne, Mond und den Planeten einigermaßen bekannt. Vor allem erkannte man, daß Sonne und Mond sich zwar annähernd kreisförmig bewegten, aber in Kreisen, die relativ zu dem der täglichen Umdrehung schief gelegen sind und die mit ungleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufen werden. Die fünf Planeten weisen außer den ungleichförmigen Geschwindigkeiten auch noch eine andere wesentliche Abweichung von dem Urphänomen der gleichförmigen Kreisbewegung auf: ihre Bewegungen sind zwar periodisch, aber sie beschreiben keine einfachen Kreise, sondern kompliziertere Bahnen. Ihre West-Ost-Bewegungen werden durch Stillstände unterbrochen, denen eine Ost-West-Bewegung folgt, an die sich nach weiterem Stillstand wiederum die normale Bewegung von Westen nach Osten anschließt. Bei Mars, Jupiter und Saturn ruft dieser Vorgang eine Art von Schleifenbewegung hervor, die das Fortschreiten von Westen nach Osten periodisch ablöst; bei Merkur und Venus besteht das Auffallende dieser Schleifenbewegung darin, daß sie die Sonne zu ihrem Zentrum hat, so daß diese beiden Planeten um die Sonne oszillieren und abwechselnd als Abendstern und Morgenstern am Himmel stehen, unterbrochen durch einen Zeitraum, wo sie wegen der großen Sonnennähe unsichtbar sind. Das periodische Schauspiel des Verschwindens eines Gestirns in den Sonnenstrahlen bot sich den antiken Astronomen am auffallendsten beim Monde dar, wenn jeden Monat

der abnehmende Mond am frühen Morgen in der Morgendämmerung verschwand, um nach wenigen Tagen als zunehmende Sichel aus der Helle der Abenddämmerung aufzutauchen. Die babylonischen Astronomen, denen es aus kultischen, dann aber auch aus praktischen Gründen darauf ankam, die Beziehung des Mondkalenders zum Sonnenkalender zu erforschen, haben in systematischen Beobachtungen, die sich wohl auf Jahrhunderte erstreckten, sowohl die Positionen der Sonne relativ zu den Sternen als auch die des Mondes relativ zur Sonne und den Sternen mit immer zunehmender Genauigkeit bestimmt und in numerischen Tabellen festgelegt. Nicht lange danach begann auch die systematische Beobachtung der fünf Planeten, und ihre Positionen und Bewegungen wurden zum zentralen Gegenstand der Astronomie. Die Beobachtungen und Aufzeichnungen der Planetenbewegungen folgten dem Muster derer der Mond- und Sonnenbewegung. Aus den Positionstabellen, den Ephemeriden all dieser Himmelskörper, die während langer Zeiträume immer mehr vervollständigt und verfeinert wurden, ließen sich durch Interpolation die für jeden Zeitpunkt im voraus zu erwartenden Stellungen berechnen, und so konnten schon im 5. Jahrhundert zum Beispiel Mond- und Sonnenfinsternisse mit wachsender Genauigkeit vorausgesagt werden. Auf diese Weise entstand die rein beschreibende mathematische Astronomie der Babylonier, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch Epping, Kugler und andere Gelehrte und vom zweiten Drittel unseres Jahrhunderts an vor allem durch O. Neugebauer und seine Schule entdeckt und erforscht wurde und noch weiter erforscht wird². So bietet sich uns das Bild einer Wissenschaft, die, soweit uns bekannt ist, ohne jede «Wesensschau» konzipiert und ohne theoretische Vorannahmen und begriffliche Voraussetzungen entwickelt wurde und zu beachtlichen Ergebnissen gelangte, aber keine Möglichkeit zu weiteren Entwicklungen bot.

Wir wissen nicht, in welchem Maße die mathematische Astronomie der Griechen, deren Anfänge auf etwa anderthalb Jahrhunderte später als die der Babylonier zu setzen sind, auf dieser gefußt und von ihr entliehen hat. Die Wahrscheinlichkeit des Bestehens solcher Einflüsse schon während der ersten Stadien der Entwicklung ist nicht gering, aber für unser Thema ist dieser Punkt nicht von Wichtigkeit. Was für uns

den Ausschlag gibt, ist, daß die Entstehungsgeschichte und der weitere Verlauf der griechischen Astronomie, die man im Gegensatz zur babylonischen als eine erklärende Wissenschaft bezeichnen kann, einen von dieser völlig verschiedenen Charakter trugen. Dies zeigt sich schon rein äußerlich in der Art der mathematischen Behandlung: die babylonische war eine arithmetische, die griechische eine geometrische. Zwar begannen beide mit der auf Perzeptionsdaten basierten Feststellung der täglichen Umdrehung der Himmelskugel und den darauf superponierten kreisförmigen Eigenbewegungen von Sonne und Mond. Während es aber bei den Babyloniern bei der Registrierung dieser Tatsache blieb, interpretierten die Griechen ihre Erfahrung, indem sie sie mit gewissen präexistenten intuitiven Vorstellungen assoziierten. Nach allem, was uns die hellenistische und spätere Tradition berichtet, haben schon die Pythagoreer die Kugel als den vollkommensten Körper und den Kreis als die vollkommenste Figur erklärt. Zweifellos stand auch die Vermutung, daß die Erde gleich dem Himmelsgewölbe Kugelgestalt habe, mit dieser Idee in engem Zusammenhang. Vor allem aber war es eben das kinematische Phänomen der gleichförmigen Kreisbewegung des Himmels, das sich ewig wiederholenden, regelmäßig den gleichen Zustand wiederherstellenden und Anfang und Ende verbindenden himmlischen Vorgangs, das in dem gestalthaft denkenden Griechen die innere Schau der Kreisfigur, die strukturelle Bedeutung der archetypischen Form des Kreises zu Bewußtsein brachte. Daß Kreis und Gerade die *einfachsten* Linien sind, ist immer wieder von den alten Griechen betont worden; beiden ist gemeinsam, daß alle ihre Teile kongruent sind, das heißt aufeinander zur Deckung gebracht werden können. Die *Vollkommenheit* hingegen eignet dem Kreise allein, eben weil jeder der Peripheriepunkte zugleich Anfang und Ende ist, weil er, im Endlichen bleibend, doch in seiner Geschlossenheit und der Ungebrochenheit seiner Kontur das Prinzip des Unendlichen darstellt.

Der Kreis hat wohl schon in früher Zeit die Dreizahl symbolisiert, eine der wichtigsten numerischen Archetypen. Aristoteles berichtet in seiner Schrift «Über den Himmel», daß «die Pythagoreer lehrten, das All und alle Dinge in ihm seien durch die Dreizahl bestimmt: denn Ende, Mitte und Anfang enthalten die Zahl des Ganzen, und diese Zahl ist die

Drei»³. Proklos wiederum setzt in großer Ausführlichkeit auseinander, warum die Dreiheit sich in der Kreisfigur am tiefsten und bedeutsamsten kundgibt. Mit der Definition des Kreises sind nämlich zugleich Mittelpunkt, Radien und Peripherie gegeben, die zusammen die intelligible Ordnung des Kosmos symbolisieren. Das Zentrum gleicht der wirkenden Ursache, die von ihm ausgehenden Radien, unbegrenzt an Zahl und ins Unendliche ausstrahlend, tragen den Stempel des Unbegrenzten, während die Kreislinie, welche die Radien begrenzt, das Symbol des Kosmos ist, der durch Grenze und Unbegrenztes definiert ist. Über diese strukturelle Bedeutung hinaus ist aber für Proklos der Kreis auch das Symbol des Kausalzusammenhangs, der das gesamte Geschehen des Kosmos bestimmt. Denn die höchste Offenbarung des triadischen Prinzips zeigte sich für die späteren Neuplatoniker in der Beziehung von Ursache und Wirkung, in der simultanen Identität und Verschiedenheit von Bewirkendem und Bewirktem, vermöge der das Bewirkte zunächst in der Ursache verbleibt, dann aber aus ihr heraustritt und schließlich sich zu ihr hinwendet und so den Kreislauf des Kausalgeschehens zusammenhält. Ein paar Sätze von Proklos mögen hier zitiert werden: «Von der Definition des Kreises wollen wir nun zur Betrachtung der Paradigmen zurückkehren und an ihnen erkennen, wie der Mittelpunkt das allseitig Einigende, Unteilbare und in sich Ruhende der höchsten Wirklichkeit ist, wie die vom Mittelpunkt ausgehenden Radien die vom Einen in unendlicher Fülle emanierenden Wirkungen sind und wie der Kreisumfang die Rückwendung des Heraustretenden zum Mittelpunkt ist, vermöge der die Fülle der Wirkungen nach ihrer Einheit hin konvergiert, und alles zu ihr strebt und sich durch sie zu vollziehen trachtet. Und so wie im Kreise alles zugleich gegeben ist – Mittelpunkt, Radien und Peripherie –, so existiert auch in den Paradigmen nicht eines zeitlich zuerst und ein anderes danach, sondern alles ist zugleich gegeben – Verbleiben, Hervorgang, Rückwendung.»⁴ Hier wird für Proklos der Kreis zum Symbol des triadischen Prinzips, welches das neuplatonische System der hypostatischen Paradigmen, das heißt der die gesamte Wirklichkeit umfassenden wahren Wesenheiten, beherrscht. Erst auf einer tieferen Ebene, der der Natur und der Welt der Sinneswahrnehmungen, wird das durch gerade Linien begrenzte Dreieck zum Bild der Schöpfung und

Formgebung alles Entstandenen, wie es nach Proklos' Behauptung schon von den Pythagoreern postuliert und in Platons *Timaios* weiterhin ausgeführt wurde. Wie weit zurück in die klassische Zeit diese Gegenüberstellung der höheren, göttlichen oder intelligiblen Verbildlichung des triadischen Prinzips im Kreise und der irdischen, sozusagen handfesteren Symbolik des Dreiecks reichen mag, läßt sich wohl heute kaum entscheiden. Eines steht jedenfalls fest, nämlich daß schon vom 5. Jahrhundert vor Christus an der Archetypus des Kreises als vollkommener Figur so eng im Bewußtsein der Griechen mit der Himmelsregion verbunden war, daß die gleichförmige Kreisbewegung schlechthin als das Urphänomen der Sternbewegung hingenommen wurde. Die Tiefe dieser Assoziation kann man daraus ermessen, daß erst nach der Entdeckung der Ellipsenbahn der Planeten durch Kepler zu Beginn des 17. Jahrhunderts das Axiom der Kreisbewegungen im Himmel erschüttert wurde – durch denselben Kepler, der selber noch die triadische Symbolik des Kreises in ihrer christlichen Abwandlung zu ergründen suchte.

Ich habe in größerer Ausführlichkeit die psychologischen Voraussetzungen besprochen, die zur Aufstellung einer Hypothese führten, um die sich dann eine wissenschaftliche Theorie kristallisierte, der es nicht nur um die Beschreibung, sondern um die Erklärung eines Phänomens zu tun ist. In dieser Hinsicht kann die mathematische Astronomie der Griechen mit ihrer sich über ein halbes Millennium hinziehenden Geschichte als klassisches Beispiel dienen, das für alle nachfolgenden naturwissenschaftlichen Theorien bis auf unsere Zeit prinzipiell gültig ist, wie sehr auch die Komplexität moderner Theorien angewachsen sein möge. Alle diese Theorien beginnen mit einer Konzeption, die wohl einen mehr oder weniger engen Zusammenhang mit der Erfahrung haben, vor allem aber fest in gewissen intuitiven Vorstellungen wurzeln, und deren Ziel es ist, eine Hypothese zu beweisen. Es gibt keine voraussetzungslose Wissenschaft, die ohne solche als evident akzeptierten Prämissen beginnt und dann versucht, die Tatsachen entsprechend zu erklären. Theophrast (372–287 v. Chr.), der große Schüler des Aristoteles und Begründer der wissenschaftlichen Botanik, hat dieser Notwendigkeit, eine Theorie auf allgemeine, keiner ausdrücklichen Beweise be-

dürftigen Prinzipien zu basieren, in einem Ausspruch Ausdruck gegeben, der von Proklos in seinem *Timaios*-Kommentar zitiert wird: «Wenn wir die Ursachen der ersten Dinge erforschen wollen und es unternehmen, die Ursprünge der gegebenen Wesenheiten zu entdecken, so werden wir unversehens ins Uferlose geraten und nie zum Anfang einer Theorie gelangen. Genau so wie jemand, der alles als bewiesen nimmt, den Beweis selber aufhebt, wird auch einer, der die Ursachen von jedem Ding erforscht, alles Gegebene und das ordnungsgemäß aus einem bestimmten Anfang Folgende völlig über den Haufen werfen ... Es ist lächerlich zu fragen, warum das Feuer brennt und der Schnee kalt ist.»⁴

Die Geschichte der griechischen Astronomie ist zu jener bewunderungswerten reichen Entfaltung gekommen, eben weil sie die verallgemeinernde Hypothese zum Prinzip erhob, daß *alle* Himmelskörper sich gleichförmig im Kreise bewegen, und jede beobachtete Abweichung von der gleichförmigen Kreisbewegung als eine scheinbare erklärte, die in Wahrheit aus einer Kombination solcher Bewegungen besteht und auf eine solche zurückgeführt werden kann. Die wesentlichsten dieser Abweichungen, die ich schon aufgezählt habe, wurden in der ersten Hälfte des 4. Jahrhunderts, schon zu Platons Lebzeiten, entdeckt, und für ihre Erklärung wurde der sehr prägnante Ausdruck «Rettung der Phänomene» geprägt, der sich in der Literatur der hellenistischen Zeit und der Spätantike häufig findet, aber höchstwahrscheinlich schon früheren Ursprungs ist. Simplicios, der sehr zuverlässige aristotelische Kommentator des 6. Jahrhunderts, berichtet aus einer Quelle des 2. Jahrhunderts, die wiederum Eudemos, den Historiker der Astronomie und Freund Theophrasts, zitiert, «daß Platon, indem er den Himmelsbewegungen die Kreisförmigkeit, Gleichmäßigkeit und Regularität eindeutig zuschrieb, den Mathematikern das Problem aufgab, durch welche Annahmen gleichmäßiger, kreisförmiger und regulärer Bewegungen die sich auf die Planeten beziehenden Phänomene gerettet werden können»⁵. Einige Seiten vorher findet sich schon bei Simplicios derselbe Bericht mit dem Zusatz, daß auf Platons Aufforderung hin Eudoxos von Knidos (409–356 v. Chr.) der erste war, der sich mit diesem Problem beschäftigte, das heißt, sich seine mathematische Lösung zur Aufgabe machte. Während also Eudoxos der erste in der Reihe der großen Mathematiker

und Astronomen war, die als Schöpfer und Vollender der geometrischen Astronomie zu betrachten sind und unter denen vor allem Kallippos, ein Zeitgenosse des Eudoxos, Apollonios von Perga (ca. 230 v. Chr.), Hipparch (ca. 130 v. Chr.) und Ptolemaios (ca. 150 n. Chr.) genannt werden sollen, haben wir keinen Grund, die zweimal ausdrücklich von Simplicios angeführte Überlieferung anzuzweifeln, und können getrost Platon selber als den geistigen Urheber der griechischen Astronomie bezeichnen.

Nun ist zwar in Platons Schriften, weder im *Timaios* noch irgendwo anders, der Ausdruck «die Phänomene retten» zu finden; wohl aber spricht Platon zweimal im *Timaios*, wenn auch nicht im Zusammenhang mit der Astronomie, sondern im Rahmen seiner Theorie der Materie, von der «Rettung der glaubhaften Geschichte» oder der «Rettung der plausiblen Erzählung». Da nun, worauf ich noch später zurückkommen werde, für Platon jede physikalische Theorie notwendigerweise auf einem Niveau bleiben muß, das tiefer liegt als das der absoluten Wissenschaft, nämlich der Ideenlehre, also nie den Grad unbedingter Gewißheit erreichen kann, sondern immer nur den Charakter einer Lehre des Plausiblen, des Glaubhaften hat, so ist Platons «Rettung der glaubhaften Geschichte» nichts anderes als die «Rettung der Phänomene». Beide Ausdrücke sind zwei Seiten derselben Medaille, denn wenn man die Phänomene rettet, indem man ihre Abweichungen vom Urphänomen erklärt und sie unter die Voraussetzungen der Theorie subsumiert, so rettet man damit auch die Theorie, die glaubhafte Geschichte.

Es ist nicht die Aufgabe dieses Vortrags, die mathematischen Einzelheiten der astronomischen Theorien von Eudoxos und seinen Nachfolgern zu erläutern. Die mathematische Astronomie, diese glänzendste Leistung der griechischen Naturwissenschaft, kann in ihrer Großartigkeit ohne ein ausführlicheres Eingehen in die fachlichen Details nicht dargestellt werden, und dies würde auch den Rahmen dieses Vortrags überschreiten. Ich beschränke mich daher auf einige Andeutungen, die das Prinzip kurz herausheben sollen, das den beiden wesentlichen Versuchen, die Phänomene des Himmels zu retten, zugrunde liegt. In mathematischer Sprache ausgedrückt, bedeutet dies Prinzip eine Art harmonischer Analyse der Planetenbewegungen, analog der harmonischen

Analyse in der Akustik oder Elektrizitätslehre, wo eine beliebige periodische Schwingung als eine Summe reiner Sinusschwingungen dargestellt wird, nur daß in unserem Falle die Aufgabe besteht, eine irreguläre geschlossene Bahn als eine Summe von Kreisbahnen darzustellen und eine ungleichförmige Bewegung als Summe von gleichförmigen Kreisbewegungen. Die Flexibilität des Prinzips zeigt sich in der Verschiedenartigkeit der von ihm abgeleiteten Theorien: Die Lösung von Eudoxos war das Modell der konzentrischen Sphären mit der Erde als gemeinsamem Mittelpunkt, das bald danach von Kallippos verfeinert und von Aristoteles zu einem einheitlichen System ausgebaut wurde. Es bestand in einer Reihe von übereinanderliegenden Kugelflächen, von denen jede mit der Achse der unmittelbar unterhalb ihr liegenden Kugel starr verbunden war. Die Richtungen und Drehgeschwindigkeiten der verschiedenen Achsen waren so gewählt, daß der Planet, der an den Äquator der innersten Kugelfläche fest angeheftet ist, die beobachtete scheinbare Bahn beschreibt, insbesondere die charakteristischen Schleifenbewegungen. Für die Rettung der Phänomene von Sonne und Mond bedurfte Eudoxos je dreier Sphären, für die jeder der fünf Planeten je vierer Sphären, insgesamt bestand also das Eudoxische Modell aus 26 Sphären, das des Kallippos, der für jeden Himmelskörper je eine Sphäre hinzufügte – aus 33 Sphären. Der Realist Aristoteles erhob die geometrischen Modelle zu einer physikalischen Realität, indem er die Sphären zu materiellen, aus dem unzerstörbaren Äther bestehenden Gebilden verdichtete und eine Reihe weiterer Sphären einschaltete, deren einzige Funktion die war, die gesamte, aus der Fixsternsphäre und den Sphären der sieben Himmelskörper bestehende Region in ein zusammenhängendes Ganzes zu transformieren. Durch diese zusätzlichen 22 Sphären schwoll das aristotelische System, dem eine lange Lebensdauer bis in das Mittelalter hinein beschieden war, zu einer Folge von 55 konzentrischen Sphären an.

Schon von Beginn des 3. vorchristlichen Jahrhunderts an hatten die griechischen Astronomen eine zweite Rettung der Phänomene ausgearbeitet, die unter dem Namen des ptolemäischen Systems die Astronomie beherrschte und erst von Kopernikus und dann von Kepler abgelöst wurde. Diese zweite Lösung, die ebenfalls aus einer Kombination

gleichförmiger Kreisbewegungen bestand, stellte sich als notwendig heraus, nachdem genauere Beobachtungen, und vor allem der starke Wechsel der scheinbaren Helligkeit verschiedener Planeten, zeigten, daß die Himmelskörper nicht immer den gleichen Abstand von der Erde einhielten. Das ptolemäische System bestand in einer Reihe zur Erde exzentrisch gelegener Kreise und ferner aus Nebenkreisen, Epizykeln, auf deren Peripherie die Himmelskörper sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegten, während der Mittelpunkt des Epizykel sich auf dem Hauptkreis ebenfalls mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegte. Die Epizykeln konnten je nach Bedarf die scheinbare Ungleichförmigkeit der Bewegungen oder die typischen Schleifenbewegungen der Planeten oder beides zugleich erklären. In ihrer endgültigen, von Ptolemaios 150 nach Christus in seinem berühmten *Almagest* niedergelegten Fassung ergab diese Theorie eine ausgezeichnete Darstellung der sehr komplexen scheinbaren Bewegungen von Sonne, Mond und den fünf Planeten im Rahmen der Hypothese, daß alle wahren Himmelsbewegungen aus gleichförmigen Kreisbewegungen bestehen. So ist die griechische Astronomie mit ihrer langen und fruchtbaren Entwicklungsgeschichte zum Prototyp aller naturwissenschaftlichen Theorien geworden. Jede solche Theorie ist eine Rettung der Phänomene, ähnlich wie Geschichte «Sinngabe des Sinnlosen» ist, wie Theodor Lessing es einmal formuliert hat.

II. Mathematik – die Sprache der Naturwissenschaft

Ungefähr um die Zeit, als Eudoxos sich an die von Platon gestellte Aufgabe machte, die Phänomene der Planetenbewegungen zu retten, also etwa um 360 vor Christus, war Platon mit der Ausarbeitung seines *Timaios*, seines Dialogs über die Kosmologie, beschäftigt. Im *Timaios* entwickelt Platon auch seine Philosophie der Naturwissenschaft, die ich schon vorher kurz erwähnt habe und auf die ich jetzt nochmals mit einigen Worten zurückkommen möchte. Wir kennen Platons grundlegende Auffassung, daß die materielle Welt, die Welt der Sinneswahrnehmung, also das Objekt jeder physikalischen Forschung, nur ein Abbild der transzendenten Welt der Ideen, der reinen Formen ist. Diese

intelligible Welt, die letzte Realität, ist permanent, statisch und unwandelbar, während die physikalische Welt eine Welt der Vergänglichkeit und des Wandels ist, deren von uns wahrgenommene Gegenstände nur die flüchtigen Bilder der reinen Formen sind, Erscheinungen (*phainomena*), wie Platon sie im *Staate* nennt, bloße Spiegelungen der statischen Realitäten der Ideenwelt. Platon spricht also den Naturwissenschaften, die lediglich von diesen Spiegelungen handeln, den Rang einer absoluten Wissenschaft ab, einer Wissenschaft, deren Erkenntnisse unwiderlegbar sind; diese absolute Sicherheit ist der Ideenlehre vorbehalten. Platon erklärt uns jedoch im *Timaios*, daß Naturwissenschaft dennoch möglich ist, wenn auch auf einer tieferen Stufe als die Doktrin der Ideen. Er sagt dies im Zusammenhang mit seinem Mythos von der Welterschöpfung durch den Demiurg, in der er durch das Medium einer Allegorie vom Wesen und den Grenzen der wissenschaftlichen Erklärung des Kosmos spricht. Dabei fällt auch das schon erwähnte Wort von der «glaubhaften Geschichte». «Wenn wir», so sagt Platon, «nicht instand sind, eine in allen Punkten völlig konsistente und exakte Rechenschaft abzulegen, so muß das euch nicht überraschen. Wir müssen uns damit zufriedengeben, daß eine solche Erklärung gegeben werden kann, die nicht weniger glaubhaft ist als andere, und uns dessen bewußt sein, daß ich, der zu euch spreche, und ihr, meine Kritiker, nur Menschen sind. Daher ist es durchaus in der Ordnung, daß wir in diesen Dingen die glaubhafte Geschichte akzeptieren und nicht mehr erwarten.»⁷

Wenn also Naturwissenschaft auch nur eine «glaubhafte Geschichte» ist, wenn sie auch nicht in *allen* Punkten Konsistenz und Exaktheit aufweisen kann, wenn sie uns auch nicht – um einen Leibnizschen Ausdruck zu gebrauchen – den zureichenden Grund der Dinge liefern kann, so kann sie doch bis zu einem gewissen Grade konsistent und exakt sein, wie Platon weiterhin im *Timaios* zeigt. Allerdings ist dies nur möglich, wenn die Naturwissenschaft sich einer ihr angemessenen Sprache bedient, nämlich der Mathematik. Für Platon nehmen die Gegenstände der Mathematik in der Rangordnung der Realitäten einen Bereich ein, der in der Mitte zwischen der Welt der Ideen und der Welt der Sinneswahrnehmung gelegen ist. Einerseits eignet ihnen eine Permanenz, die sich von ihrem Kontakt mit der Ewigkeit der intelligiblen Welt her-

leitet, und andererseits, infolge ihrer Nachbarschaft zur Sinneswelt, die mit der Materie unlöslich verbunden ist, partizipieren sie an den materiellen, geprägten Formen. Daher sind mathematische Symbole, mathematische Algorithmen und mathematische Logik die der Rationalisierung der physikalischen Welt angemessenen Werkzeuge, und die Konsistenz der glaubhaften Geschichte ist insofern gesichert, als es die Konsistenz der mathematischen Prozedur ist.

Diese Überlegungen Platons, die die Mathematisierung der Naturwissenschaften metaphysisch begründen und als den einzig gangbaren Weg programmatisch voraussehen, sind uns sowohl aus der Darstellung seines Schülers Aristoteles bekannt – der Platons Auffassung ablehnte – als auch aus den Schriften der Neuplatoniker, vor allem des Proklos, der die gesamte Frage ausführlich behandelt und beleuchtet hat. Platon selber hat auf den Seiten 53–61 des *Timaios* einen Entwurf der mathematischen Theorie eines physikalischen Phänomens skizziert, der wohl nur als ein Versuch anzusehen ist, den Mathematikern die Möglichkeit einer mathematisch-physikalischen Theorie vorzuführen, also, wie er sagt, «einer Darstellung, die Glaubhaftigkeit mit Notwendigkeit verbindet». Denn während ja jede solche Darstellung nur eine glaubhafte bleiben muß, weil die Dinge der physikalischen Welt nur Abbilder sind und daher ihre Identifizierung mit mathematischen Dingen lediglich auf Plausibilitätsüberlegungen gegründet sein kann, eignet ihrer Durchführung der Charakter des Notwendigen und Zwangsläufigen, weil die mathematische Methode von absolut rigoroser und zwingender Natur ist. Das physikalische Problem, an dem sich Platon, wenn auch in fragmentarischer Form, versuchte, ist das Problem der vier Elemente, deren Existenz erst etwa hundert Jahre vor ihm von Empedokles als die Grundlage jedes materiellen Geschehens angenommen wurde. Es handelt sich also um eine Theorie der Materie und ihrer Umwandlungen, die von den Zeiten der milesischen Monisten im 6. Jahrhundert vor Christus bis zu den Quantentheoretikern des 20. Jahrhunderts das zentrale Problem der Physik geblieben ist. Eine Generation vor Platon, und vielleicht noch in seiner Jugendzeit, haben Leukipp und Demokrit ihre Atomlehre aufgestellt, die letzte in der Reihe der vorsokratischen Theorien der Materie die uns ausführlicher im zweiten Teil des Vortrags beschäftigen wird.

Der Begriff eines Elements, eines Urstoffs oder Urprinzips, oder einiger Elemente oder Urstoffe, deren Abwandlungen oder Mischungen die unübersehbare Vielfalt aller materiellen Erscheinungen zugrunde liegt, mögen diese organischer oder anorganischer Natur sein, war von Thales an der Eckpfeiler jeder Lehre von der Materie. Der Gegensatz zwischen der vom ordnenden und reduzierenden Verstand postulierten Existenz eines Bleibenden, Unveränderlichen, und dem wahrgenommenen dauernden Wechsel erzeugte jene fruchtbare Spannung, die von jeher der besondere Reiz aller Theorien der Materie gewesen ist. Analog zum Kreis, den wir das Urphänomen der griechischen Astronomie nannten, könnte man das Element als das Urphänomen jeder Materielehre bezeichnen, allerdings in einem viel intrikateren und hypothetischeren Maße. Es ist jedoch ein Phänomen in dem eingangs charakterisierten Sinne, weil die äußere Schau eines Wechsels, der offenkundigen Gesetzmäßigkeiten unterliegt, zur inneren Schau des Beständigen führt, das hinter dem Wechsel sich verbirgt. Nun erfahren wir von Aristoteles, der es einige Male in seiner Schrift *Über Entstehen und Vergehen* erwähnt, daß Empedokles die vier Elemente Feuer, Luft, Wasser und Erde als unveränderlich annahm, das heißt postulierte, daß kein Element in ein anderes übergehen kann, eine Annahme, die zunächst einmal für den Begriff eines Elements, eines nicht weiter zerlegbaren Stoffes, die natürlich gegebene ist. Dies stand aber in krassem Widerspruch zu der lange bekannten Tatsache, daß zum Beispiel Wasser, wenn es erhitzt wird, verdampft, also – was den Griechen dasselbe bedeutet – in Luft übergeht, und umgekehrt, durch Abkühlung Luft sich zu Wasser verdichtet. Hier kann also offenbar ein Element in ein anderes transformiert werden, und zwar unter Zutun eines dritten, nämlich des Feuers. Hiermit ist also wieder die Aufgabe gestellt, die Phänomene zu retten, und dies ist der Kern der platonischen Theorie der Elemente, die wir auch als eine geometrische Theorie der Materie bezeichnen können. Denn Platons entscheidender Schritt war die für jede mathematische Darstellung physikalischer Vorgänge typische Zuordnung von mathematischen Symbolen oder Gebilden zu physikalischen Begriffen oder Erscheinungen. Für die Wahl einer solchen Zuordnung gibt es keine Regeln und Gesetze; sie hängt lediglich von der Intuition des Theoretikers ab, und über ihr

Schicksal entscheidet letzten Endes der Erfolg der auf ihr errichteten Theorie.

Platon begann damit, daß er jedem der vier Elemente ein symmetrisches geometrisches Gebilde zuordnete, einen der sogenannten «vollkommenen Körper». Schon zu Platons Zeiten wußten die Mathematiker, daß es fünf solcher vollkommener Körper gibt, die von gleichseitigen Vielecken begrenzt sind. Tetraeder, Oktaeder, Ikosaeder sind von respektive vier, acht und zwanzig gleichseitigen Dreiecken begrenzt, der Würfel von sechs Quadraten und das Dodekaeder von zwölf regelmäßigen Fünfecken. Platon ließ sich bei seiner Wahl, der das gleiche Maß von Willkür eignete wie der Prozedur moderner Theoretiker, von gewissen intuitiven Vorstellungen und «vorwissenschaftlichen» Assoziationen leiten. Er schied das Dodekaeder aus, für das er keine Verwendung hatte, und identifizierte das scharfkantige Tetraeder mit Feuer und den stabilen Würfel mit Erde, das heißt dem festen Element, während er Oktaeder und Ikosaeder der Luft und dem Wasser zuordnete. Jedem der vier physikalischen oder chemischen Elemente, die sich durch ganz charakteristische Eigenschaften auszeichnen, entsprach demnach ein ganz bestimmter, durch seine geometrischen Eigenschaften wohldefinierter Körper, und damit war zunächst einmal jedes Element durch ein geometrisches Bild symbolisch dargestellt. Es liegt hier eine für die gesamte griechische Antike typische Auffassung vor, zufolge der die physikalische Realität als Struktur gefaßt wurde. Der physikalischen Wirklichkeit müssen gewisse Strukturen zugrunde liegen, denen eine symmetrische oder harmonische Anordnung eignet, wie es ja schon vor Platon die Pythagoreer erkannt hatten, als sie die ersten Gesetze der musikalischen Harmonie entdeckten. Die Quantenphysik des 20. Jahrhunderts, die heutige Theorie der Materie, ist wieder, allerdings mit einem viel höheren Grad von Sophistikation, zu strukturellen Betrachtungen als Grundlage ihrer Wissenschaft zurückgekehrt, nachdem die Entwicklung der ersten drei Jahrhunderte der modernen Physik von der Dynamik Galileis und Newtons beherrscht war.

Wie schon gesagt, war es Platon vor allem darum zu tun, das Zusammenwirken und die Transformierung der drei Elemente Feuer, Wasser und Luft zu erklären, das heißt, durch seine mathematische Erklärung

in erster Reihe auf numerische Beziehungen zurückzuführen. Dies erzielte er dadurch, daß er die Dreiecke, welche die Oberflächen der drei entsprechenden geometrischen Körper begrenzen, als die eigentlichen Elemente ansah, aus denen sich diese Körper aufbauen. Wenn 20 Elementardreiecke sich zu einem Körper zusammensetzen, so wird immer wieder ein Ikosaeder entstehen, nachdem der Körper in seine elementaren Flächen zerlegt worden ist, und ähnliches gilt für Oktaeder und Tetraeder. Diese *restitutio in integrum* muß ja eben das Kennzeichen eines stabilen Gebildes sein, eines Elements, dessen Struktur von der Natur vorbestimmt ist. Da nun die Elementarkörper aus Flächenelementen konstruiert sind, so sind bei Umwandlungsprozessen feste zahlenmäßige Relationen denkbar, wenn alle beteiligten Körper aus den gleichen Flächenelementen bestehen. Aus den 20 Elementen eines Ikosaeders können sich zum Beispiel zwei Oktaeder (begrenzt von $2 \times 8 = 16$ Dreiecken) und ein Tetraeder (begrenzt von 4 Dreiecken) konstituieren. So erklärt in der Tat Platon symbolisch die Erhitzung von Wasser durch Feuer und seine Transformation in Luft mit der Zertrümmerung eines Ikosaeders durch das scharfkantige Tetraeder und die nachfolgende Bildung von zwei Oktaedern, das heißt zwei Teilen Luft, und einem Tetraeder, also einem Teil Feuer. Platon betont, daß er seinen theoretischen Ansatz nicht als den einzig möglichen ansieht. «Von der unbegrenzten Fülle der Formen müssen wir das Beste wählen, wenn wir ordnungsgemäß vorgehen wollen. Wenn uns nun jemand von einer besseren Wahl berichten kann, die er für die Konstruktion dieser Körper getroffen hat, so wird er den Sieg davontragen, nicht als Feind, sondern als Freund.»¹⁰ Diese Worte reflektieren die Grundeinstellung Platons, daß jede physikalische Theorie die «Rettung der glaubhaften Geschichte» darstellt.

Ich muß mich mit dieser einen Andeutung des Platonischen Entwurfs einer Theorie der Elemente begnügen, an den sich in der Spätantike eine große Kontroverse anschloß, deren Höhepunkt die Streitschrift von Proklos gegen die von Aristoteles erhobenen Einwände ist, die auch die ideengeschichtlich hochinteressanten näheren Begründungen der Theorie Platons enthält. Die späten Neuplatoniker, vor allem Janblich im 4. Jahrhundert, Proklos im 5. Jahrhundert und Simplicios im 6. Jahr-

hundert, waren von den großen Erfolgen der mathematischen Astronomie, dieser ersten Rettung der Phänomene, tief beeindruckt. Sie konnten auf ihre glänzende Entwicklung aus einer Perspektive von Jahrhunderten zurückblicken, und die rein qualitativen Theorien der Materie, wie zum Beispiel die des Aristoteles, erschienen ihnen im Kontrast dazu als unzulänglich und nur an der Oberfläche der Dinge bleibend. Sie hegten die Hoffnung, daß die ersten Ansätze Platons doch noch einmal zu einer mathematischen Theorie der Materie führen würden, oder, um Simplicios zu zitieren, daß die Phänomene der Materie in der gleichen Weise gerettet werden können, wie es mit den Phänomenen der Himmelsbewegungen geschehen war. Heute wissen wir, daß erst im 20. Jahrhundert zum mindesten ein Anfang damit gemacht worden ist und daß es der Quantenphysik gelungen ist, in eine Schicht der physikalischen Realität einzudringen, deren Aufdeckung selbst die kühnsten neuplatonischen Utopisten nicht zu ahnen vermochten.

Platons Idee, daß die Mathematik die natürliche Sprache der Naturwissenschaften ist, kann wohl als eine der großartigsten Konzeptionen der Wissenschaftsgeschichte bezeichnet werden. Als Programm bedeutet sie, daß zunächst der Schöpfungsakt einer Theorie, die Konzipierung einer naturwissenschaftlichen Hypothese, im Sinne der Lehre von der Anamnesis im Entdecken innerer mathematischer Bilder besteht, die gewissen äußeren Bildern zugeordnet werden, daß aber auch ferner der Gestaltungsmöglichkeit einer solchen Theorie ganz neue, ja vielleicht unerschöpfliche Dimensionen eröffnet werden, da ja immer wieder neu entdeckte Zweige der Mathematik in den Dienst des physikalischen Erkennens gestellt werden können. Platons Gedanken setzten sich nur langsam durch und fanden anfangs nur im Kreis der Akademie Anklang. Theophrast zum Beispiel, im ersten Kapitel seiner *Metaphysik*¹¹, hegte seine Zweifel, ob «ein Zusammenhang und eine Art von gegenseitiger Beziehung zwischen dem Bereich des Verstandes und dem der Naturvorgänge besteht». Er neigte wohl dazu, diese Frage zu bejahen, weil er an eine innere Kohärenz des Universums glaubte. Aber er fährt fort: «Wenn der Bereich des Verstandes einzig und allein mit dem der Mathematik zusammenfällt, wie manche behaupten, so ist der Zusammenhang mit dem Bereich der Sinne nicht sehr klar und scheint auch nicht im-

stande zu sein, etwas zu bewirken. Denn die Mathematik ist doch offenbar von uns konstruiert, indem wir Figuren, Formen und Beziehungen festlegen, die an und für sich nichts mit der Natur zu tun haben. Sie können daher auch nicht mit den Objekten der Natur zusammenhängen und in ihnen Leben oder Bewegung erzeugen.» In diesen Sätzen klingt die von den Platonikern abweichende Einstellung der Peripatetiker an, daß die Gegenstände der Mathematik von uns nicht entdeckt, sondern erfunden werden, während gerade der zentrale Gedanke Platons – daß die mathematischen Dinge, genau wie die Objekte der Sinneswahrnehmung, von uns *entdeckt* werden – auf das engste mit seiner von Theophrast bezweifelte Anschauung zusammenhängt, daß die mathematischen Entdeckungen, wenn sie nur mit den physikalischen richtig koordiniert werden, die Natur für uns zum Sprechen bringen können.

Dies hat vor allem Jamblich in seiner Schrift *Über die allgemeine mathematische Wissenschaft* (Beginn des 4. Jahrhunderts) klar erkannt. Die mathematisch-naturwissenschaftliche Methode, so sagt er, geht unter anderem in der Weise vor, «daß sie mathematische Konzepte in physikalische Objekte hineinträgt», oder spezifischer, «indem sie Symmetrien innerhalb des materiellen Geschehens mit mathematischen Formen vergleicht». Wir müssen, so fährt Jamblich fort, «der schwachen Spur des Mathematischen gewahr werden, die im Bereich des Wahrnehmbaren Gestalt annimmt». Die mathematische Methode, so schließt er prophetisch, die Entwicklung der mathematischen Physik von Newton an vorausschauend, ist eine kausale Betrachtungsweise, in der wir «die mathematischen Objekte als Ursachen hinstellen und vergleichend betrachten, wie aus ihnen die wahrnehmbaren Objekte entstehen»¹². Das Kapitel aus Jamblichs Schrift, aus dem diese Sätze zitiert wurden, ist in seiner programmatischen Formulierung, die sich durch Gedankenschärfe und beinahe hellseherisches Ahnungsvermögen in gleicher Weise auszeichnet, ein ungewöhnliches Dokument des philosophisch-naturwissenschaftlichen Schrifttums aller Zeiten.

Mit noch größerer Autorität äußert sich zu diesem Thema über hundert Jahre danach Proklos, dessen Ausführungen viel mehr ins Gewicht fallen, weil er ein geschulter Mathematiker war. Seine Einleitung zum Kommentar zu Buch I von Euklid ist eine Apotheose der Mathematik.

ein Ausdruck des grenzenlosen Vertrauens zu ihrer Allmacht, das die späten Neuplatoniker auszeichnet. Alles, was Platon über die Mathematik gesagt hat, über ihren erzieherischen Wert und ihre Bedeutung als Sprache der Naturwissenschaft – all das wird im 4. und 5. Jahrhundert nochmals formuliert, aber diesmal gestützt und bekräftigt durch die gewaltigen Errungenschaften der Mathematik während der dazwischenliegenden 600 Jahre. In einer Welt, die immer unsicherer geworden war, leuchtete die innere Konsistenz und Sicherheit der mathematischen Methode in immer hellerem Licht in das wachsende Dunkel der politischen und sozialen Auflösung. Proklos' Programm für die Anwendungsmöglichkeiten der Mathematik läuft praktisch auf eine völlige Mathematisierung aller Zweige des menschlichen Denkens hinaus. Er wendet sich sowohl gegen eine Herabsetzung des ästhetischen und ethischen Wertes der mathematischen Wissenschaften als auch gegen eine zu pragmatische Auffassung der angewandten Mathematik, die sie nur als praktisches Hilfsmittel für rein technische Zwecke, wie zum Beispiel die Navigationstechnik, betrachtet. Demgegenüber führt er aus, wie die Einführung der Mathematik verschiedenen Disziplinen neue Horizonte eröffnen kann. In der Theologie können mathematische Sätze die göttliche Wahrheit, deren Ergründung uns Schwierigkeiten bereitet, als unumstößlich und unwiderlegbar erweisen. In der Physik erklärt die Mathematik die Gesetze des Kosmos, enthüllt die Wechselwirkung ferner Objekte und gestattet die Berechnung der Planetenbahnen. In den Staatswissenschaften kann man den richtigen Augenblick für politische Aktionen berechnen und die Ursachen entdecken, die einen günstigen oder ungünstigen Einfluß auf politische Ereignisse haben. In der Ethik kann die Mathematik uns klare Einsicht in die Gesetze vermitteln, die den verschiedenen Tugenden zugrunde liegen, und kann dadurch unsere Gebräuche und Lebensgewohnheiten in Schick und Ordnung bringen. Ferner erinnert uns Proklos an den Nutzen der Mathematik für die Rhetorik, wo sie Ordnung und Harmonie in die Darstellung von Gedanken bringen kann, und die Poetik, in der die Gesetze der Metrik durch gewisse Proportionen gegeben sind.

Proklos' Ideen bilden eine interessante Parallele zu der ambitiösen Zielsetzung der Kybernetiker des 20. Jahrhunderts, die genau wie er

davon überzeugt sind, daß die Hauptprobleme eines jeden Gebietes der Natur- und Geisteswissenschaften mit mathematisch-logistischen Methoden gelöst werden können. Im Prinzip ist es dieselbe Einstellung, wenn auch natürlich im 5. Jahrhundert noch nicht von Rechenautomaten oder «Elektronengehirnen» die Rede sein konnte. Anstelle dieser mechanischen Orientierung tritt aber bei Proklos klar und deutlich ein religiöses Gefühl in den Vordergrund, von dem sein kybernetisches Glaubensbekenntnis getragen wird. Es ist der Glaube, daß das Studium der Mathematik einen heilsamen und veredelnden Einfluß auf den Menschen ausübt, etwa in der Weise, wie es für die Meditationen der Buddhisten oder Kabbalisten gilt. Einige Sätze mögen hier zitiert werden, die für sich sprechen: «Die Mathematik reinigt das Denken und enthüllt die reinen Bilder, die unser wahres Wesen ausmachen ... Sie befreit uns von den Fesseln des Irrationalen, mit der Hilfe des Gottes, der der wahre Hüter dieser Wissenschaft ist, der die Gaben des Geistes ans Licht bringt, alles mit göttlichen Formen erfüllt, die Seele zum Intellekt hin bewegt und sie aus der Betäubung eines tiefen Schlummers erweckt ..., und indem er sie zum reinen Geist führt, verhilft er ihr zu einem Leben der Glückseligkeit.»¹³ Marinus, der vom Berge Gerizim bei Nablus stammende Schüler und Biograph des Proklos, der sein Nachfolger als Vorsteher der Akademie in Athen wurde, hat der kybernetischen Utopie seines Lehrers in einem klassischen Ausruf Ausdruck gegeben: «O daß doch alles Mathematik wäre!»¹⁴ 1300 Jahre später hat sich Kant mit ähnlicher Prägnanz speziell über die naturwissenschaftlichen Disziplinen geäußert: «Ich behaupte, daß in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist.»¹⁵

Als Kant diese Worte schrieb, waren hundert Jahre seit der Veröffentlichung von Newtons *Principia* verflossen, und die Newtonsche Epoche der theoretischen Physik schritt ihrem Höhepunkt entgegen, den sie im 19. Jahrhundert erreichte. Die Mathematisierung der Naturwissenschaften, die platonische Utopie, hatte damit den Anfang ihrer Verwirklichung genommen, dann folgten weitere Zweige der Wissenschaft. Es ist vielleicht das einzige Mal in der Ideengeschichte, daß eine utopische Konzeption in so reichem Maße und, was noch wichtiger ist, so unver-

zerzt in Erfüllung gegangen ist. Die wesentliche Bedeutung dieses Prozesses der Mathematisierung der Phänomene ist aber, daß dadurch die naturwissenschaftliche Theorie als Gestaltung der physikalischen Realität einen unmittelbaren Charakter angenommen hat, als es in ihren Anfängen der Fall war. Noch in der Mitte des 19. Jahrhunderts glaubte man, daß das Ziel einer physikalischen Theorie die Auffindung eines mechanischen Modells sei, an dem sich die Übereinstimmung von Theorie und Erfahrung bestätigt und das so ein konkretes Zeugnis unseres richtigen Erfassens der Außenwelt darstellt. Schon Newton in seiner Gravitationslehre hatte seine Zweifel an dem Realitätswert solcher Modelle, obwohl er sich immer wieder um ihre Konstruktion bemühte. Aber Maxwell, der große schottische Physiker und Begründer der Theorie des Elektromagnetismus, hat vor hundert Jahren mit dieser Zielsetzung aufgeräumt, nachdem er sich lange mit der Ausarbeitung eines mechanischen Modells des elektromagnetischen Feldes beschäftigt hatte. In der endgültigen Version seiner Theorie, die er 1864 veröffentlichte, ließ er jede modellmäßige Beschreibung fallen und betrachtete seine Feldgleichungen, die berühmten Maxwellschen Gleichungen, die in ihrer Symmetrie und fruchtbaren Anwendungsmöglichkeit eine der Höchstleistungen des menschlichen Geistes sind, als die unmittelbare Darstellung und Abbildung der Wirklichkeit.

Seitdem haben wir zwar keineswegs auf Modelle verzichtet, aber wir betrachten sie heute nur als Hilfskonstruktionen, als unvermeidliche und nur temporäre Eselsbrücken, die die Veranschaulichung einer neuen, noch ungewohnten Theorie erleichtern. Denn die Physik des 20. Jahrhunderts hat uns gelehrt, daß die physikalische Wirklichkeit abstrakt ist und immer abstrakter wird, je tiefer wir in sie eindringen, und daß daher ein unmittelbares Herangehen an diese Wirklichkeit immer abstraktere mathematische Mittel und symbolische Darstellungen involviert, wenn Phänomen und Theorie zu einer möglichst vollständigen Deckung gebracht werden sollen. Und wenn die physikalische Wirklichkeit sich in Mathematik auflöst, so bewahrheitet sich an ihr Goethes Wort, daß alles Faktische schon Theorie ist und daß die Phänomene selber die Lehre sind.

III. Atome versus Kontinuum

Zu Beginn meines Vortrags sprach ich davon, wie ein Phänomen durch Bewußtmachen eines archetypischen Bildes zu einer wissenschaftlichen Theorie hinleiten kann. Die Theorie kann die Form einer Rettung der Phänomene annehmen, wenn die Perzeptionsdaten, also die äußeren Erscheinungen, von den präexistenten Bildern abweichen und entsprechend interpretiert werden müssen. Ich möchte jetzt zur Besprechung zweier physikalischer Betrachtungsweisen der Außenwelt übergehen, die, obwohl sie ebenfalls als Theorien bezeichnet werden, dennoch viel allgemeineren Charakters sind und zwei konträren, tief in der Psyche wurzelnden Bewußtseinsinhalten entspringen, die zwei Einstellungen des betrachtenden Individuums zu der ihn umgebenden Welt entsprechen. Die eine ist die *Abgrenzung* des Individuums gegen seine Umgebung, das In-Kontrast-Setzen seiner selbst zu dieser Umgebung, die wiederum als eine Summe von Individuen perzipiert wird, deren jedes, einschließlich des Betrachters, lokalisiert und in seiner Isolierung gesehen wird. Die andere ist die *Identifizierung* des Individuums mit seiner Umgebung, seine Verschmelzung mit ihr, die, einem stetigen Gefühl des Zusammenhanges entspringend, zu einer Betrachtung der umgebenden Welt als einem kontinuierlichen Ganzen führt. Diesen beiden konträren Subjekt-Objekt-Beziehungen entsprechen zwei physikalische Phänomene, das der Partikel und das des Feldes oder Kontinuums, die sowohl in der Antike wie in der Neuzeit zu Kristallisationspunkten zweier physikalischer Theorien wurden, der Atomlehre und der Lehre vom Kontinuum oder der Feldtheorie. Im Altertum war die Atomlehre mit den Namen Leukipp, Demokrit, Epikur und, in ihrer poetischen Darstellung, Lukrez verbunden, während die Kontinuumslehre ein integraler Bestandteil der stoischen Philosophie war und von Chrysipp im 3. Jahrhundert vor Christus ausgearbeitet wurde.

Im Gegensatz zur Quantentheorie und den modernen Feldtheorien waren die antike Atomistik und Kontinuumslehre nichtmathematisch und, obwohl sie sich an die Erfahrung anlehnten, vorwiegend spekulativ und durch kein systematisches Experimentieren gestützt. Diese vom Standpunkt der heutigen Naturwissenschaft offenkundigen Mängel ha-

ben gerade für das Herausarbeiten des bildlichen Bewußtseinsinhalts beider Theorien ihre großen Vorteile. Beginnen wir mit der antiken Atomlehre, in deren Zentrum das Partikelbild steht. Die Scheidung der Wirklichkeit in zwei klar voneinander gesonderte Gegebenheiten, die nicht wahrnehmbaren Atome und den leeren Raum – beide aus theoretischen Erwägungen heraus postuliert –, bot den großen Vorzug der Zurückführung aller Qualitäten auf Quantität. In der letzten Fassung der antiken Atomistik durch Epikur ist die Zahl der unveränderlichen Atome unendlich, jedoch die Zahl der Atomformen zwar sehr groß, aber endlich. Da die Form ein rein geometrisches Attribut eines Körpers ist und jedes Atom für alle Zeiten seine Form behält, so ergibt sich unmittelbar, daß alle wahrnehmbaren Qualitäten auf das geometrische Prinzip der Gestalt und das gruppentheoretische oder kombinatorische Prinzip der Position im Raum oder der relativen Anordnung der unsichtbaren Partikeln reduziert werden. Durch die Annahme, daß die Atome sich in ewiger Bewegung befinden, wird ferner jede Veränderung der Qualität, und jedes makroskopische Geschehen überhaupt, als Folge der Ortsveränderung der Atome erklärt. Es sei nebenbei betont, daß auch die heutige Atomtheorie im Prinzip auf den Voraussetzungen der antiken Atomisten beruht. Letzten Endes resultiert auch für uns aus der räumlichen Anordnung und Gruppierung der Elementarteilchen von Atom und Atomkern die qualitative Differenzierung der makroskopischen Materie, und durch die gleiche Dialektik wird Quantität zur Qualität.

Demokrits Annahme, daß den Atomen und dem leeren Raum der gleiche Wirklichkeitsgehalt eignet, erklärt sich vor allem aus den kinematischen Voraussetzungen der antiken Atomistik. Die grundlegende Eigenschaft der Materie, das Ausfüllen des Raumes, sozusagen ihr brutales Dasein, äußert sich nämlich im Widerstand, den ein bewegtes Atom einem andern bietet und der im Zusammenprall zweier Atome als Schlag oder Stoß erscheint. Der leere Raum hingegen ist die reine Widerstandslosigkeit, das reine Nachgeben, das die Bewegungen und Zusammenstöße der Atome möglich macht.

Die Atomlehre unternimmt es, den komplexen makroskopischen Phänomenen dadurch einen Sinn zu geben, daß sie aus ihnen auf die elementare Gesetzmäßigkeit einer unsichtbaren Realität Rückschlüsse

zieht. Ich möchte hier nicht auf die Einzelheiten dieser großartigen Theorie eingehen und nicht näher ausführen – was schon häufig geschehen ist –, wie die antiken Atomisten die «sekundären» Qualitäten der Körper, wie Farbe, Geruch, Geschmack usw., durch die «primären» Qualitäten der Atome, das heißt durch ihre Undurchdringlichkeit und geometrischen Eigenschaften, zu erklären versuchten. Ich begnüge mich vielmehr damit, an zwei Bilder zu erinnern, an denen schon die antiken Atomisten die beiden Aspekte der unsichtbaren Realität, den kombinatorischen und den kinematischen, zu verdeutlichen suchten. Das eine Bild stammt von Leukipp und Demokrit und benutzt den atomistischen Charakter der Buchstaben als Symbol der Struktur der physikalischen Wirklichkeit. Die Buchstaben, jeder spezifischen Bedeutung bar und ausschließlich durch ihre Formen voneinander unterschieden, kombinieren miteinander zu Worten und Sätzen, welche Funktion von Lage und Anordnung dieser Buchstaben sind. Aus der Gruppierung der sinnlosen Buchstaben erwächst die sinnvolle Einheit der Worte und Wortverbindungen, so wie aus den Kombinationen der Atome höhere Einheiten entstehen, die spezifische Qualitäten aufweisen. Jeder Platzwechsel der konstituierenden Elemente ändert die Qualität oder den Sinn des Ganzen: «Entsteht doch aus denselben Buchstaben die Tragödie sowohl wie die Komödie.»¹⁶ Aristoteles, der so sparsam mit dem Lobe seiner Vorgänger ist, zitiert diese Worte in seiner Schrift *Über Entstehen und Vergehen*, nachdem er sich bewundernd über die Gedankentiefe Demokrits ausgesprochen hat.

Das andere Bild, das den kinematischen Aspekt der atomaren Realität erläutert, wird in Lukrez' *Über die Natur der Dinge* ausgeführt, aber es rührt zweifellos von Epikur her, dessen Doktrin ja Lukrez zu beschreiben unternommen hat. Er erklärt am Beispiel einer grasenden Schafherde, wie ein makroskopisches Ganzes ruhend erscheinen kann, obwohl die Individuen, aus denen es besteht, sich in Bewegung befinden: «Obwohl alle Atome in Bewegung sind, so scheint doch ihre Summe in völliger Ruhe zu verharren ..., denn das Wesen der Atome liegt weit unterhalb des Bereichs unserer Sinne. Da sie nämlich unsichtbar sind, entziehen sich auch ihre Bewegungen unserer Beobachtung. Ja sogar Dinge, die wir sehen können, verbergen uns häufig ihre Bewegungen,

wenn sie weit entfernt sind.» Dann bringt Lukrez das Bild der Schafherde, deren Lämmer umherspielen, und schließt: «All dies erscheint uns von der Ferne wie verwischt und wie ein weißer Fleck, der auf dem grünen Hügel ruht.»¹⁷ In diesen Zeilen begegnen wir dem einzigen Beispiel einer statistischen Betrachtungsweise, das aus der Antike bekannt ist. Es ist der zweidimensionale Vorläufer der uns aus der Neuzeit – seit Bernoulli im 18. Jahrhundert – geläufigen Vorstellung von der idealen Unordnung der Atome oder Moleküle eines Gases, das in einem Behälter eingeschlossen als Ganzes ruht, während seine Teilchen Bewegungen ausführen, die nach Größe und Richtung sich gegenseitig aufheben. Es liegt natürlich nahe, daß gerade in der Atomlehre zumindest dieser eine Sonderfall des Gesetzes der großen Zahlen ausgesprochen wurde, aber es ist um so bemerkenswerter, daß eine statistische Gegebenheit in einem Zeitalter erwähnt wird, das im übrigen, trotz der weiten Verbreitung des Würfelspiels in der Antike, nicht einmal die Elemente der Wahrscheinlichkeitsrechnung entdeckt hat.

Die Atomlehre Epikurs enthält noch einen Gedanken, in dem der Begriff des Zufälligen in einem viel fundamentaleren Sinne auftritt als in der statistischen Mechanik des Newtonschen Zeitalters. Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen waren nämlich von der klassischen Physik, vor allem von den Physikern des 19. Jahrhunderts, als Aushilfe in all den Fällen eingeführt worden, wo eine streng kausale Durchrechnung sich als zu langwierig, ja praktisch wegen der ungeheuren Zahl der Teilchen eines Systems als unmöglich erwies. Die statistische Methode wurde als eine sekundäre, auf der primär deterministischen basierende Betrachtungsweise angesehen, die ihre Existenzberechtigung als praktisch bequemes Aushilfsmittel nur daraus herleitet, daß sie im Prinzip die strenge Determiniertheit des Einzelfalles postuliert. Eddington hat einmal diese Situation durch einen geistreichen Vergleich illustriert; die deterministischen Gesetze, so sagte er, waren das Gold, das in den Kellern der Staatsbanken lagert und das zur Deckung des im Umlauf befindlichen Papiergeldes der Wahrscheinlichkeitsgesetze dient und ihren Wert garantiert. Infolge der Entwicklung der Atomphysik im 20. Jahrhundert hat es sich aber herausgestellt, daß es jene Golddeckung überhaupt nicht gibt und daß also die Papierwährung die primäre ist, das heißt, daß die

Wahrscheinlichkeitsrechnung die wahre Basis der Naturwissenschaft und der Einzelfall prinzipiell undeterminiert ist.

Diese revolutionäre Wendung im ersten Drittel unseres Jahrhunderts trat jedoch erst im Gefolge neuer experimenteller Resultate ein und einer tiefeschürfenden erkenntnistheoretischen Analyse der physikalischen Methodik, die zu einer völligen Revision der mathematisch-physikalischen Prozedur der Newtonschen Ära führte. In der spekulativen Atomlehre Epikurs hingegen trat die Idee des undeterminierten, akausalen Einzelfalles als *deus ex machina* zunächst in Epikurs Kosmogonie und dann im Zusammenhang mit seiner Philosophie auf, wo er die Willensfreiheit im Rahmen seiner mechanistischen Naturlehre retten mußte. Dies sei nur mit wenigen Worten angedeutet. Epikur, der den Atomen auch Schwere zuschrieb, dachte sich den Urzustand des Kosmos so, daß alle Atome wie Regentropfen zur Weltmitte hin mit gleichen und parallelen Fallgeschwindigkeiten fielen. Aus diesen gleichförmigen Bewegungen, die also jeden Zusammenstoß ausschließen, konnten die Atome sich nur dann zu makroskopischen Gebilden und Weltkörpern zusammenballen, wenn sie, wie Epikur es postulierte, in völlig indeterminierter Weise von ihren geraden Bahnen abwichen und sozusagen völlig akausale Seitensprünge machten, die zum erwünschten Resultat der Bildung geformter Materie führten. War der fundamentale Indeterminismus einmal für die Welterschöpfung eingeführt, so lag es nahe, ihn zu verallgemeinern und als Axiom in die Atomlehre einzubauen. Die menschliche Willensfreiheit zum Beispiel beruht nach Epikur auf diesem undeterminierten Abweichen der Seelenatome von ihren durch die Gesetze der Kinematik vorgeschriebenen Bahnen. Es ist charakteristisch für die griechische Atomlehre, in der sich das Geschehen in raumzeitlich definierten Zusammenstößen von Partikeln vollzieht, daß sie den Indeterminismus in die Abschnitte zwischen solchen Zusammenstößen legt, während in der modernen Quantenphysik der Indeterminismus gerade infolge der Wechselwirkung zwischen dem beobachtenden Subjekt und dem beobachteten Objekt auftritt.

Noch einen grundlegenden Unterschied zwischen antiker und moderner Atomtheorie möchte ich erwähnen, und damit leite ich zur Besprechung der stoischen Kontinuumstheorie über. Die antiken Atomi-

sten haben den Begriff der Kraft im Sinne einer kontinuierlichen Gegebenheit, die auch über den augenblicklichen Zusammenstoß der Atome hinaus einen Zusammenhang der Partikeln untereinander regelt, völlig, und zwar ganz bewußt, ausgeschaltet. Hingegen nehmen die neuzeitlichen Physiker an, daß zwischen den Atomen, Molekülen und Kernen Kräfte teils elektrischer, teils anderer Natur walten, und schon seit Newton hatte die Physik ganz allgemein mit dem Kraftbegriff operiert. Demokrit und nach ihm Epikur sahen jedoch in den Kräften, die kontinuierlich in Raum und Zeit wirken, Anklänge an die Vorstellung von einem nichtkörperlichen oder zumindest nichtmechanischen Eingreifen von Gottheiten oder Dämonen, die jenseits der Naturordnung oder gar über ihr herrschen. Eine solche Assoziation könnte nur die Seelenruhe erschüttern, die der epikureischen Philosophie als ein so erstrebenswertes Ziel vorschwebte, dessen Erreichung eben durch die Erfassung der Natur als eines durch mechanische Gesetze regulierten Ganzen gefördert wird. Daher blieb die antike Atomistik auf die raumzeitliche Konzentrierung der Kraft in der Gestalt des Stoßes von Partikeln beschränkt – ein Umstand, der ganz wesentlich zu ihrem schließlichen Versagen beitrug.

In schroffem Gegensatz zur ängstlichen Vermeidung des Kraftbegriffs in der antiken Atomlehre steht seine zentrale Bedeutung für die stoische Kontinuumstheorie, deren Grundeinstellung, wie schon gesagt, nicht die Abgrenzung des Individuums gegen seine Umgebung, sondern im Gegenteil seinen Zusammenhang mit ihr betont. Der extrem einseitigen Auffassung der Atomisten stand die in ihrem Extremismus ebenso einseitige Auffassung der Stoiker gegenüber, die den leeren Raum innerhalb des Kosmos radikal negierte und nur kontinuierliche Gegebenheiten gelten ließ. Auch hier unterscheidet sich die antike Physik von der neuzeitlichen, denn die modernen Theoretiker des physikalischen Feldes leugnen ja nicht die Existenz von Partikeln, die als Singularitäten im Felde gedacht werden. Sie sehen nur das Feld als eine kontinuierliche Emanation der Partikel an, die wiederum auf andere Partikeln oder auf das sie umgebende Feld wirkt. Selbst ein extremer Kontinuums-theoretiker wie Einstein verneinte nicht das Vorhandensein von Elementarpartikeln, sondern er versuchte, das Feld als primäre Gegebenheit darzustellen und daraus die Partikel als sekundäre Gegebenheit abzuleiten.

Von dieser Koexistenz der Felder und den in ihnen sozusagen schwimmenden Singularitäten ist in der stoischen Kontinuumslehre nicht die Rede. Während die beiden fundamentalen Realitäten der Atomisten die einander ausschließenden Atome und der leere Raum sind und daraus die Differenzierung der Körper durch ein Anordnungsprinzip abgeleitet wird, sind die beiden fundamentalen Realitäten der stoischen Physik die ungeformte Materie und das Pneuma, beide kontinuierlich und in totaler Mischung miteinander gedacht. Das Pneuma, also wörtlich der Hauch oder Atem, ist ein feiner Stoff, der selber aus einer Mischung der beiden aktiven Elemente Feuer und Luft besteht und den ganzen Kosmos, sowohl die Körper als auch den Raum zwischen den Körpern, kontinuierlich durchzieht. Seine wesentliche Eigenschaft, aus der sich alle seine Funktionen herleiten, ist die Spannung, also ein alles erfüllender Kraftzustand. Da den verschiedenen Mischungsverhältnissen des Pneumas eine kontinuierliche Mannigfaltigkeit verschiedener Pneumaspannungen entspricht, ist die Differenzierung der Materie hinsichtlich ihrer sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften, wie zum Beispiel Härte oder Farbe, durch ein Superpositionsprinzip gegeben: jede physikalische Eigenschaft ist das Resultat einer bestimmten Pneumaspannung, die den Körper durchdringt, und die Überlagerung all dieser Spannungen ergibt den jeweiligen physikalischen Gesamtzustand des betreffenden Körpers. Das Superpositionsprinzip statuiert demnach eine kontinuierliche Wechselwirkung von Pneuma und Materie und stellt eine Verallgemeinerung der Wechselwirkung von Seele und Körper im Menschen auf die anorganische und organische Gesamtnatur dar. Da die Stoiker ganz konsequent jede physikalische Wirkung als materiell ansahen, so betrachteten sie einerseits die Seele als ein materielles Agens und übertrugen andererseits die Funktion der Seele als eines Mediums, das den lebenden Körper zusammenhält, auf das Pneuma, das nach ihrer Theorie in ganz analoger Weise die Struktur der anorganischen Welt organisiert und kohärent macht.

Bei all seiner Geistreichheit und Gedankentiefe fehlt dem stoischen Superpositionsprinzip die frappante Anschaulichkeit des atomistischen Anordnungsprinzips. Das Bild der Veränderung eines Wortsinnes durch Verstellung einiger Buchstaben ist schlagender als das der Änderung im

Geschmack oder der Farbe einer Mischung von Wein und Wasser durch das Hinzufügen einiger Tropfen der einen oder andern Komponente. Erst in der modernen mathematischen Behandlung der Kontinua und vor allem in der Theorie der Schwingungen und Wellen hat das Superpositionsprinzip seine großen Triumphe gefeiert; man denke nur an die Fouriersche Theorie periodischer Erscheinungen. Aber die stoische Konzeption der Ausbreitung eines Zustandes im Raume, in der Form einer Fortpflanzung von Pneumaspannungen, bleibt eine der großen Leistungen des menschlichen Abstraktionsvermögens. Diese Form der Übertragung einer Wirkung von Körper zu Körper, die den Stoikern vorschwebte, antizipiert in wunderbarer Weise die Ideen der Physiker des 17. und 18. Jahrhunderts von der Funktion des raumerfüllenden Äthers und die Feldtheorie Maxwells im 19. Jahrhundert, welche die Fernwirkung aus der Physik verbannte und sie durch das Nahewirkungsprinzip ersetzte. Auf die Stoiker geht auch die so klare Verbildlichung der Nahewirkung zurück, in der ein ursprünglich von Heraklit benutzter Vergleich sinngemäß abgewandelt wurde. Es ist das Bild der Spinne, die in der Mitte ihres Netzes sitzt, an der Stelle, wo alle Fäden zusammenlaufen, und so durch Nahewirkung wahrnimmt, sobald ein Insekt gegen das Netz stößt, und an welcher Stelle. Wenn man die beiden Hauptmodelle der antiken Atom- und Kontinuumstheoretiker vergleichend nebeneinanderstellt – das Modell des Alphabets und das der Schafherde bei den Atomisten, und das Modell der Mischung und der Spinne im Netz bei den Stoikern –, so kann man sich von den Grundzügen beider Systeme ein besseres Bild machen, als ich es in meiner nur sehr summarischen Darstellung zeichnen konnte.

Es bleibt mir noch übrig, die andere Hauptleistung der stoischen Kontinuumsphysik kurz zu skizzieren, die im deterministischen Weltbild gipfelte, das durch Laplace am Ende des 18. Jahrhunderts auf einen neuen Höhepunkt gebracht wurde. Daß die strikte Kausalauffassung der Stoiker mit ihrer Kontinuumstheorie aufs engste zusammenhängt, liegt auf der Hand. In einer Welt, die von der Dynamik der Pneumaspannungen beherrscht ist, durch die alles Geschehen auf eine Kette von Nahewirkungen reduziert wird, sind primär indeterminierte, akausale Vorgänge ausgeschlossen, weil sie gleichbedeutend wären mit dem Aus-

fallen eines Gliedes in der unzerreißbaren Verkettung des Geschehens. Daher haben die Stoiker klar ausgesprochen, «daß, wenn dieselben Umstände in bezug auf Dinge vorliegen, die verursachen und verursacht werden, es unmöglich sei, daß das Resultat einmal so ist und einmal anders, sonst gäbe es eine akausale Bewegung»¹⁸. Mit anderen Worten, in der Terminologie der Newtonschen Physik: jedesmal, wenn ein Zustand *A* auftritt, der durch eine bestimmte Konstellation von Körpern und Kräften gegeben ist, muß er zu demselben Zustand *B* führen. Damit war also schon in hellenistischer Zeit der Zusammenhang zwischen dem Kausalpostulat und der Wiederholbarkeit von Ereignisreihen erkannt und die Möglichkeit von Voraussagen im Rahmen der deterministischen Physik formuliert. Ein zufälliges Ereignis existiert für die Stoiker nur im subjektiven Sinn, nämlich lediglich relativ zum Stande der Kenntnis oder Unkenntnis des Beobachters.

In der antiken Polemik gegen den starren Determinismus der Stoiker, an der vor allem die mit den Atomisten in mancher Hinsicht eine Front machenden Peripatetiker beteiligt waren, spielte naturgemäß das Problem der Willensfreiheit und ihrer Unvereinbarkeit mit einer konsequenten deterministischen Anschauung eine große Rolle. Aus der umfangreichen klassischen Literatur über dieses alte und ewige Thema, die bis in die Spätantike hineinreicht, sei nur die Diskussion eines Vergleichs kurz berührt, dessen sich Chrysipp bediente, um damit die Willensfreiheit, wenn auch nicht zu retten, so doch wenigstens durch Abschwächung des Gegensatzes zum Determinismus mit diesem zu versöhnen. Dieser Vergleich ist im Rahmen unserer komparativen Studie des physikalischen Weltbildes der Antike und der Neuzeit von Interesse. Chrysipp illustriert das Schicksal eines Menschen an dem eines Steines, den man herunterrollt, oder eines Kreisels, der zum Drehen gebracht wird. Wenn man einen zylindrischen oder runden Stein, sagt Chrysipp, auf einem Abhang zum Rollen bringt, so gibt man damit den Anstoß zu seiner beschleunigten Abwärtsbewegung; aber diese Bewegung selber wird nicht durch den äußeren Eingriff geregelt, sondern sie ist durch die Natur des Steines und seine besondere Form bestimmt, und ähnliches gilt von der Kreiselbewegung.

Chrysipps Gedankengang wird uns verständlicher werden, wenn wir

seine Analogie in die Sprache der mathematisch-physikalischen Dynamik des Newtonschen Zeitalters übertragen. Die Bewegung eines Körpers ist durch eine Gleichung determiniert, in die unter anderem auch die für diesen Körper charakteristischen physikalischen Konstanten eingehen. Soll das dynamische Problem nicht nur prinzipiell, sondern für einen konkreten, gegebenen Einzelfall gelöst werden, so müssen noch die sogenannten Anfangsbedingungen bekannt sein, das heißt Lage und Geschwindigkeit des Körpers in einem bestimmten Moment, der als Anfangsmoment angesehen wird. Diese Anfangsbedingungen sind, sozusagen vom Standpunkt des Körpers aus gesehen, ein Teil des willkürlichen Schicksals, in das er hineingestellt ist und auf das er keinen Einfluß hat. Nun ist zwar auch die Bahn des Körpers völlig determiniert, und auch sie ist ein Teil des allumfassenden Schicksals. Aber der Umstand, daß die physikalischen Konstanten des Körpers, mit denen Chrysipp die persönliche Charakteristik des Menschen vergleicht, an der determinierten Kette der Ereignisse teilhaben, und zwar unabhängig von den äußeren, willkürlichen Anfangsbedingungen, mildert nach der stoischen Ansicht die Willkür des Schicksals. Chrysipp schließt mit den folgenden Worten: «Durch das Gesetz und die Notwendigkeit des Schicksals werden die Ursachenketten in Bewegung gesetzt, jedoch der Antrieb unseres Denkens und unserer Handlungen sind durch den Willen des Menschen und das Besondere seines Wesens bestimmt.»¹⁹ Viele Gegner des stoischen Determinismus sahen nicht nur Chrysipps Darstellung als eine Scheinlösung an, sondern nahmen auch Anstoß an der Parallele von physikalischen Konstanten lebloser Körper und den Charaktereigenschaften eines Menschen. «Brennt das Feuer aus freiem Willen, weil es seine Natur ist, zu brennen?» rief Bischof Nemesios aus, während es für Deterministen wie Chrysipp klar war, daß gerade das Teilhaben der persönlichen Parameter am Schicksal dem menschlichen Bewußtsein als Willensfreiheit erscheine. Mit den Worten Spinozas: wenn ein Stein Bewußtsein hätte, so wäre er davon überzeugt, daß er aus freiem Willen falle.

Ich erwähnte soeben die Differentialgleichungen der Newtonschen Dynamik, welche die Eckpfeiler waren, auf denen das Gebäude des wissenschaftlichen Determinismus, im 18. und 19. Jahrhundert errichtet

wurde. Gerade aus dem Grunde, weil die dynamische Kontinuums- theorie der Stoiker diese deterministische Physik so weitgehend qualitativ vorweggenommen hat, scheiterte sie am Mangel jener vorgeschrittenen mathematischen Hilfsmittel, ohne die eine Theorie dynamischer Vorgänge in Allgemeinheiten steckenbleiben mußte. Dies Versagen kann auch außerdem auf die schon erwähnte extreme Einseitigkeit der stoischen Kontinuumsphysik zurückgeführt werden. Dieser einseitige Standpunkt der Stoiker ließ selbst jede rein qualitative Behandlung einer Kinematik von Partikeln verkümmern, die als Vorstufe einer quantitativen Erforschung der Bewegung materieller Teilchen hätte dienen können. Wie wir aus der Geschichte der modernen Physik wissen, konnte eine mathematische Dynamik der Kontinua sich erst entwickeln, nachdem die analytischen Grundlagen der Dynamik von materiellen Punkten gelegt worden waren.

IV. Grenzen des Naturerkennens

Der Kampf zwischen den Vertretern der reinen Partikelauffassung und denen des reinen Kontinuumsstandpunkts zog sich bis in die Spätantike hinein; weder hüben noch drüben, im Lager der Peripatetiker, die die Nachfolge der Epikureer übernommen hatten, noch im Lager der Stoiker, war man zu einem Kompromiß bereit. Der scharfsinnige Neuplatoniker Jamblichos sprach es zu Beginn des 4. Jahrhunderts klar aus, daß beide Anschauungen in ihrer Starrheit irrig seien. Seine höchst bemerkenswerten Darlegungen, die von Simplicios zitiert werden, beruhen auf der neuplatonischen Ontologie, nach der die Welt der physikalischen Phänomene die unterste Stufe einer Hierarchie von Wesenheitsstufen bildet, deren höchste das transzendente Eine ist, aus dem der Bereich des *Nus*, die intelligible und intellektuelle Welt mit ihren Formen, hervorgeht.

Jamblichos' große Entdeckung bestand in seiner die Hegelsche Logik antizipierenden Erkenntnis, daß der Prozeß dieses Hervorgehens der Vielheit der Dinge aus dem Einen ein doppelter ist. Die Vielen, um mit Hegel zu sprechen, sind einerseits das Setzen vieler Eins, die das eine sind, was das andere ist, jedes ist Eins der Vielen; sie sind daher ein und

dasselbe, und dadurch ist die kontinuierliche Größe gegeben. Andererseits aber ist jede Quantität in der in ihr enthaltenen Bestimmung des Eins eine diskrete Größe. Das Kontinuierliche kann aber auch, wie Hegel ferner betont, ebensowohl als diskret aufgefaßt werden, denn es ist nur Kontinuität des *Vielen*, während das Diskrete ebensowohl kontinuierlich ist, weil es das Eins als *Einheit*, als *dasselbe* der vielen Eins ist. «Die kontinuierliche und diskrete Größe unterscheiden sich also nur dadurch, daß dasselbe Ganze das einmal unter der einen, das andere mal unter der anderen seiner Bestimmungen gesetzt ist.»²⁰ In Jamblichos' Ontologie führt ein ähnlicher Gedankengang zu einer Postulierung der Koexistenz beider Realitäten, des Diskreten und des Kontinuierlichen, zunächst auf der Seinsstufe des Intelligiblen und dann durch Ausstrahlung auch auf der Stufe der materiellen Erscheinungen. 1600 Jahre später wurde diese Koexistenz in der Gestalt des Dualismus von Partikelbild und Wellenbild, auf dem Umweg über die Methodologie der Quantenphysik, erkenntnistheoretisch formuliert.

Das Jamblichos-Zitat möge um seiner Bedeutung willen in seiner Ganzheit wiedergegeben werden: «Da die Macht des Einen, aus dem jede Quantität entspringt, allumfassend ist, bestimmt es alles, indem es aus sich hervorgeht. Einerseits begründet es das Kontinuierliche, indem es in totaler Durchdringung und ungeteilt den Hervorgang als Einheit erzeugt, ungeteilt und stetig. Andererseits führt es das Diskrete ein, indem es bei jeder Form haltmacht und jede für sich abgrenzt und zu einem Einen macht. So bringt es beide Quantitäten hervor, durch die höchste Ursache, die diese beiden Aktualitäten gleichzeitig umfaßt. Einerseits erzeugt es in allen Dingen und in jedem der Teile das Kontinuierliche, entsprechend der überall als ein Ganzes existierenden Identität; andererseits erzeugt es das Diskrete, entsprechend der in jedem Ding für sich als Ganzem existierenden Identität. Infolge der Einheit der intelligiblen Größen, die ihnen allen gemeinsam ist, erzeugt es das Kontinuierliche, jedoch infolge der Einheit, die jedem gesondert eignet – das Diskrete. Es erschafft das Diskrete aus seiner ruhenden Aktualität und das Kontinuierliche aus seiner hervorgehenden Aktualität. Da es gleichzeitig ruht und hervorgeht, erschafft es beides. Denn die Macht der intelligiblen Maße umfaßt gleichzeitig die ruhenden

und hervorgehenden Aktualitäten in ein und derselben Umstreckung. Hieraus folgt, daß wenn jemand den intelligiblen und göttlichen Maßen nur eine der beiden Arten der Quantität zuschreibt, er den peripatetischen Trugschlüssen zum Opfer fällt, falls er nur die ruhenden in Betracht zieht; den stoischen hingegen, wenn er nur die hervorgehenden in Betracht zieht.»²¹

Jamblichos hat in einem anderen Zusammenhang auf den dualistischen Charakter einer physikalischen Gegebenheit hingewiesen, deren grundlegende Bedeutung auf der Hand liegt; es handelt sich um das Problem der Zeit, das durch die späten Neuplatoniker eine ganz neue Beleuchtung erfahren hat. Jamblichos betont, daß die Zeit zugleich kontinuierlich und diskret ist. In ihrem stetigen Dahinfließen, in dem die erlebte Gegenwart einem ununterbrochenen Wechsel unterliegt, wobei vergangene Ereignisse in eine immer fernere Vergangenheit rücken und neue Ereignisse aus der Zukunft in die Gegenwart treten, erscheint die Zeit als ein Kontinuum, als ein einheitliches Ganzes, dessen Einheit sich nicht in eine Summe von Momenten auflösen läßt. In dem Fixieren des Jetztpunktes hingegen als real erlebter Gegenwart, im Gegensatz zur unwirklich gewordenen Vergangenheit und der noch nicht verwirklichten Zukunft, erscheint die Zeit als eine diskrete Mannigfaltigkeit, als eine Summe von trennenden und getrennten Augenblicken, in denen jeweiliger Zeitstrom unterbrochen wird. Das Beispiel der Zeit ist deshalb so lehrreich, weil sich an ihm rein ontisch die Komplementarität eines Phänomens in seiner Abhängigkeit vom Standpunkt des Erlebenden oder des Beobachters zeigt. Das Jetzt mit seinem jeweils verschiedenen realen Erlebnisinhalt erzeugt immer wieder einen neuen Schnitt, eine neue Trennung, zwischen Vergangenheit und Zukunft, während dasselbe Jetzt, gesehen als Übergang von der Vergangenheit zur Zukunft, sich als ein Verbindendes gibt, in dem Erinnerung und Erwartung kontinuierlich verschmelzen.

Den Begriff der Komplementarität hat Niels Bohr 1928 in seiner erkenntnistheoretischen Analyse der Grundlagen der Quantenphysik eingeführt, durch die der jahrhundertelange Streit der Vertreter von Partikelvorstellung und Wellenvorstellung des Lichts zu einem befriedigenden Abschluß geführt wurde, nachdem L. de Broglie den Dualismus

Partikel-Welle auch für die Materie statuiert hatte. Während Jamblichos seine Ablehnung der Ausschließlichkeit von Kontinuität und Diskontinuität ontologisch begründete und beide Bilder als gleichberechtigt erkannte, gab Bohr eine methodologisch fundierte Interpretation dieses Dualismus. Er zeigte, daß beide Bilder, einander ergänzend, dasselbe Phänomen beschreiben, das dem Beobachter je nach der instrumental-anordnung als ein Strom von Teilchen oder als eine sich kontinuierlich fortpflanzende Welle erscheint. Die methodologische Umwälzung der Quantentheorie war schon durch die Ergebnisse der Relativitätstheorie vorbereitet, die gezeigt hatte, daß gewisse raumzeitliche Vorstellungen vom Bewegungszustand des Beobachters abhängen und nicht «objektive» Phänomene darstellen. Die Quantenphysik revolutionierte die Vorstellungen von der Subjekt-Objekt-Beziehung in der Physik in noch viel radikalerer Weise.

Es stellte sich heraus, daß, im Gegensatz zu den Anschauungen der klassischen Physik seit Galilei und Newton, es ein von der experimentellen Anordnung losgelöstes physikalisches Phänomen überhaupt nicht gibt. Bei jedem solchen Phänomen handelt es sich um Wechselwirkungen, die zwischen Beobachter und Objekt stattfinden oder, wenn wir die direkte Teilnahme des experimentierenden Menschen ausschalten wollen, um Wechselwirkungen zwischen dem Apparat und dem Objekt oder auch nur zwischen Objekten, die einerseits als Sonde, andererseits als sondierte Erscheinung aufzufassen sind. Die Teilnahme des sondierenden Subjekts, sein Einbezogenensein in das Phänomen, bedeutet nichts anderes als einen Eingriff in die Vorgänge. Der erkenntnistheoretische Aspekt dieses dauernden Eingreifens in die Phänomene, bei dem die sogenannten Anfangsbedingungen eines Vorgangs je und je in unvorhersehbarer Weise gestört und verändert werden, ist die Aufhebung des Determinismus im klassischen Sinne, der einen ungestörten Vollzug der Phänomene voraussetzte. Die methodologische Konsequenz dieser prinzipiell neuen Situation ist die, daß das reine Partikelbild und das reine Wellenbild der materiellen Phänomene nur extreme Fälle eines allgemeinen Vorgangs sind, bei dem raumzeitliche Daten auf Kosten kausaler Daten gewonnen werden und umgekehrt.

Die Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen und das Bohrsche

Komplementaritätsprinzip bedeuteten das Ende der naiv-realistischen Auffassung der Phänomene, die das Newtonsche Zeitalter beherrscht hatte. Das Phänomen stellt sich als ein viel komplexerer Vorgang dar, in dem Umwelt und Beobachter, das Außen und Innen des Menschen, unzertrennlich miteinander verquickt sind. Angesichts des immer tieferen Eindringens in die Realität, an dem heute die physikalische und biologische Forschung in gleichem Maße beteiligt sind, erscheint es im höchsten Grade unwahrscheinlich, daß diese erkenntnistheoretische Situation sich wieder im Sinne der klassischen Physik ändern wird. Im Gegenteil, alle Anzeichen sprechen dafür, daß die Naturwissenschaft in der philosophischen Interpretation ihrer Grundlagen und ihrer Methodik sich immer mehr von dem Standpunkt wird entfernen müssen, der noch den Forschern zu Beginn dieses Jahrhunderts als das ideale und erstrebenswerte Endziel der Wissenschaft erschienen war, nämlich die Ausschaltung aller subjektiven Elemente aus dem naturwissenschaftlichen Weltbild. Manche Forscher, welche die Objektivierung der Wissenschaft gleichsetzen mit der klaren Scheidung von Erkennendem und Erkanntem, haben sich im Verlauf einer Auseinandersetzung, die noch nicht abgeschlossen ist, dahin ausgesprochen, daß die durch die Quantenmechanik hervorgerufene Situation eine Begrenzung des Ideals einer objektiven Naturforschung bedeutet.

Damit sind wir bei dem Fragenkomplex angelangt, den man kurz als das Problem der Grenzen der Naturwissenschaft bezeichnen kann, möge es sich um Grenzen handeln, die fälschlich von uns als solche gehalten werden, oder um reale Grenzen, deren Existenz von keinem in Zweifel gezogen werden kann. Schon das Aufwerfen der Frage, ob der Naturwissenschaft Grenzen gesteckt seien, die sie nicht erreichen, geschweige denn überschreiten kann, war von jeher dazu angetan, Empfindlichkeiten aufzurühren; eine solche Frage wird heutzutage geradezu als Sakrileg empfunden, nachdem der Glaube an die Allmacht der Wissenschaft zum Mythos unserer Zeit geworden ist. Vor fast hundert Jahren, im Jahre 1872, hat der große Physiologe E. Du Bois-Reymond in einem berühmt gewordenen Vortrag²², der in seinem *ignoramus, ignorabimus* gipfelte, von den Grenzen des Naturerkennens gesprochen und zwei Probleme behandelt, deren Lösung seiner Meinung nach uns für immer ver-

wehrt sein wird: das Problem der Materie und die Frage des Bewußtseins. Heute, nach sechzig Jahren Quantentheorie, können wir seine Behauptung, daß wir nie verstehen werden, was Materie ist, als irrig erkennen. Denn vor der Entdeckung der Elementarpartikeln und der Atomstruktur konnte man einwenden, daß mit einer Reduzierung makroskopischer Phänomene der Materie auf unsichtbare Phänomene, die denselben Gesetzen unterliegen, nichts für das Verständnis des Problems gewonnen ist. Damit wäre ja nur dasselbe Rätsel aus größeren Dimensionen in kleinere verschoben worden, indem man sozusagen eine Billardkugel damit erklärt, daß man atomare Billardkugeln postuliert. Die Quantentheorie hingegen hat gezeigt, daß die makroskopischen Phänomene der Materie auf von ihnen wesensverschiedene zurückgeführt werden können, die von qualitativ andersartigen, strukturell einfacheren Prinzipien beherrscht werden. Wenn also überhaupt Erklärung sinnvoll ist, so sind wir in der Tat auf dem Wege zu einem Verständnis der Materie, wenn wir auch wohl erst einen sehr kleinen Teil des Weges zurückgelegt haben.

Prinzipiell anders liegen die Dinge bei dem Problem des Bewußtseins und seiner Erklärung durch die Naturwissenschaft, wo das Ignorabimus Du Bois-Reymonds meines Erachtens nach zu Recht besteht. Die Naturwissenschaft ist nämlich, wie schon anfangs gesagt wurde, auf reproduzierbare Phänomene beschränkt, da ihr eigentliches Ziel die Erforschung der Naturgesetze ist und die Methodik dieser Erforschung in der Beobachtung natürlich oder künstlich wiederholbarer Erscheinungen besteht. Das Bewußtsein in dem Sinne, wie Du Bois-Reymond es auffaßte, also das innere Erleben des Einzelfalles als solchen, dessen Qualität der Einmaligkeit auch dann immer wieder neu ist, wenn das Typische an ihm sich je und je wiederholt, kann daher nie Gegenstand einer wissenschaftlichen Analyse sein und entzieht sich der Behandlung durch die Methodik der Wissenschaft. Im Gegensatz zur Naturforschung, die das Spezifische des Einzelfalles ausschaltet, ist es aber die Kunst, die diesen einmaligen Fall zum Objekt ihrer Darstellung macht, sei es nun in der Malerei, in der Musik oder in der Dichtung, auch wenn das Typische an ihm eine immer wieder auftauchende Erscheinung sein mag. Ein Kunstwerk erschließt uns somit Realitäten, die ihrem Wesen nach der

Behandlung durch eine wissenschaftliche Theorie überhaupt nicht zugänglich sind, und diese Tatsache der Beschränkung der Naturwissenschaft auf das Unspezifische des wiederholbaren Ereignisses macht allein schon den Glauben an die Allmacht der Wissenschaft zu einem Irrglauben.

Nur mit einem Wort sei noch eine ganze Gruppe von Erscheinungen erwähnt, die zumindest heute noch aus dem Rahmen der Vorgänge fällt, die im Sinne der Naturwissenschaften reproduzierbar sind oder eine streng determinierte oder statistisch interpretierbare Gesetzmäßigkeit aufweisen. Es handelt sich hier um alles, was mit dem Schlagwort «extrasensorische Wahrnehmung» zusammengefaßt werden kann, vor allem das Hellsehen und die Telepathie. Es ist durchaus denkbar, daß derartige Phänomene für immer der Erklärung durch die Methodik der Naturwissenschaft trotzen werden.

Trotz dem tiefgreifenden Wesensunterschied von künstlerischem und wissenschaftlichem Schaffen geht die Konzeption einer wissenschaftlichen Theorie genau so wie die eines Kunstwerks auf Inspiration zurück, wie schon eingangs bemerkt wurde, und in ihren höchsten Hervorbringungen hängt die Wissenschaft und ihr Fortschritt nicht weniger von dem unvorausberechenbaren Auftreten des Genies ab als die Kunst oder die Dichtung. Es ist daher auch nicht verwunderlich, daß die wenigen ganz großen Theorien, die in den 350 Jahren von Galilei bis zu unserer Generation als Folge solch eines intuitiven Erfassens von Phänomenen konzipiert wurden, offensichtlich aus dem Rahmen des bis dahin Konventionellen fielen. Selbst wenn Elektronengehirne in Zukunft in den Dienst der Konstruktion aller nur denkbarer Theorien gestellt würden, die zur Erklärung neuer Phänomene benutzt werden könnten, wäre man auf das Intuitionsvermögen des menschlichen Gehirns angewiesen, das sich tentativ für jene Theorie entscheiden müßte, welche die besten Aussichten auf Gelingen bietet.

Die überwältigenden Erfolge der Wissenschaft auf allen technologischen Gebieten hat in vielen Leuten – Wissenschaftlern nicht weniger als Laien – den irrigen, den Mythos von der Allmacht der Wissenschaft bestärkenden Glauben erweckt, daß unser gesamtes Wissen von Natur und Mensch Schritt für Schritt sozusagen automatisch und mechanisch

durch Rechenmaschinen akkumuliert und aufgebaut werden kann. Diesem Glauben verleiht noch die Praxis der logistischen Wissenschaftsphilosophen Rückhalt, die wie rückwärts gewandte Propheten es unterfangen, durch Analyse physikalischer Theorien bereits konzipierte Gedankensysteme auf eine dürre Kette logischer Schlußfolgerungen zu reduzieren. Doch gerade die besten dieser Logistiker geben offen zu, daß diese Praxis nicht auf den nicht vorauszu sehenden Akt ausgedehnt werden kann, der aus der Schau eines Phänomens eine Theorie entstehen läßt.

Wenn wir von den Grenzen des Naturerkennens sprechen und damit den Glauben an die Allmacht der Wissenschaft in Zweifel stellen, so ist ganz allgemein die Frage am Platz, ob nicht der Rationalisierung der Natur durch das Vorhandensein irreduzibler irrationaler Elemente im Menschen oder in der Natur selber prinzipielle Schranken gesetzt seien. Schon die alten Griechen, deren unsterbliches Verdienst es war, als erste diese Rationalisierung unternommen zu haben, hatten ihre Zweifel an der völligen Auflösbarkeit des Irrationalen durch die Wissenschaft. In einer berühmten Stelle des *Timaios* stellt Platon das Ringen des rationalisierenden Verstandes, des *Nus*, mit der *Ananke*, dem blinden Widerstand des Rohmaterials der physikalischen Realität, allegorisch als den Versuch des Demiurgen dar, den *Kosmos* zu ordnen: «Denn diese Welt ist ja durch eine Mischung von *Nus* und *Ananke* entstanden. Dabei gewinnt der *Nus* die Oberhand über die *Ananke*, indem er sie überredet, das meiste von dem, was entsteht, zum Besten zu führen. So und nach diesem Prinzip entstand im Anfang dieses Weltall, indem *Ananke* der Überredung des *Nus* unterlag.»²³ Erkenntnistheoretisch gewendet zeigt diese Allegorie, daß Platon an die Möglichkeit einer stetig fortschreitenden Naturerkenntnis glaubte, die allerdings nicht forciert werden kann, sondern nur «durch Überredung», also durch die richtige Wahl jener Sprache, zum Ziele führen kann, die das Instrument dieser Erkenntnis ist, also, im Sinne Platons, der Mathematik.

Die mathematische Behandlung der physikalischen Wissenschaften, die Platon prophetisch als den wahren Weg der Naturerkenntnis vorausgesagt hat, ist in den letzten 300 Jahren von Erfolg zu Erfolg gegangen und hat damit gezeigt, daß der Anteil des Irrationalen am Gesamtbild

des *Kosmos* graduell reduziert werden kann. Damit ist aber die Behauptung Platons, daß das Universum stets eine Verquickung von Rationalem und Irrationalem darstellt, noch nicht widerlegt, und es ist durchaus nicht von der Hand zu weisen, daß sich die irrationale Komponente jener inhärenten Mischung von *Nus* und *Ananke* nie ganz eliminieren läßt. Die theoretische Physik steht trotz ihrer Erfolge immer noch in den Anfängen, oder doch jedenfalls nicht im Endstadium ihrer Entwicklung. Große und in sich zusammenhängende Teilgebiete der Physik haben sich rational darstellen lassen, aber es sind eben doch immer noch Teilgebiete, und Versuche, gewisse Erscheinungen, die verschiedenen Teilgebieten angehören, in einer einheitlichen Theorie zu vereinigen, sind bisher noch nicht gelungen. Ich erwähne nur die jahrzehntelangen vergeblichen Bemühungen Einsteins, eine «einheitliche Feldtheorie» aufzustellen, die Gravitation und Elektromagnetismus aus einer Wurzel herleiten sollte.

Ein noch größeres Fragezeichen muß hinter die Versuche gesetzt werden, die biologischen Phänomene restlos zu physikalisieren, um so eine einheitliche Rationalisierung des naturwissenschaftlichen Weltbildes zu erzielen. Und sollte, was durchaus im Bereich des Möglichen ist, eine befriedigende Theorie der Erscheinungen des Lebens nur mit Hilfe eines konzeptuellen Systems aufgestellt werden können, das nicht ausschließlich der physikalischen Begriffswelt entlehnt ist, so entsteht die neue Frage, ob es einmal gelingen wird, diese beiden autonomen Rationalisierungen der physikalischen und biologischen Phänomene auf einen gemeinsamen rationalen Nenner zu bringen. All dies ist möglich, ja sogar wahrscheinlich, aber es steht nicht a priori fest, daß die partiellen Rationalisierungen sich schließlich in eine universelle rationale Theorie werden integrieren lassen. Mit anderen Worten: die Möglichkeit eines inhärenten irrationalen Restes in der Welt der Phänomene bleibt bestehen.

Bei all diesen hypothetischen Überlegungen muß man ferner bedenken, daß in unserem Zeitalter des systematischen Experimentierens und der gewaltigen technischen Vervollkommenung der experimentellen Hilfsmittel das ersehnte Ziel einer vollständigen Erklärung der Natur zwar potentiell nähergerückt ist, daß aber andererseits gerade der Fortschritt

der Experimentiertechnik unser Weltbild im Vergleich zu dem der Antike unendlich viel komplizierter gestaltet hat. Das Beispiel der Physik, des einfachsten und daher am weitesten fortgeschrittenen Zweiges der Naturforschung, zeigt nämlich, daß zugleich mit der Rettung der schon bekannten Phänomene nicht nur bisher unbekannte Phänomene auftreten, sondern daß der experimentierende Mensch selber neue Phänomene künstlich erzeugt, um durch ihre Beobachtung neue Theorien zu bestätigen oder alte zu widerlegen. Die Rettung der Phänomene ist also ein Unterfangen, dessen Ende nicht abzusehen ist. Sie deckt sich nicht, wie Platon glaubte, mit der Rettung der glaubhaften Geschichte, sondern sie führt dazu, daß die glaubhafte Geschichte von gestern zu einer unglaublichen von heute wird, und um diese wiederum glaubhaft zu machen, müssen nicht nur weitere Theorien aufgestellt, sondern auch neue Phänomene erzeugt werden. Dieser Wettlauf, der vielleicht nie enden wird und so die Wissenschaft vor eine nie endende Aufgabe stellt, kann sehr wohl eine endgültige Entscheidung hinsichtlich des inhärenten irrationalen Restes im Kosmos unmöglich machen.

Während Platon, aus einer Haltung heraus, die man als gemäßigten Optimismus bezeichnen kann, an ein Schrumpfen der Ananke relativ zum immer mehr zur Geltung kommenden Nus glaubte, war 800 Jahre nach ihm die Einstellung des Neuplatonikers Proklos zu dem im *Timaios* berührten Thema eine entschieden pessimistische²⁴. Proklos' pessimistische Naturauffassung beruht auf seiner Überzeugung, daß den gesamten Kosmos, Natur und Mensch zugleich, ein nicht reduzierbarer Widerspruch, eine inhärente Gegensätzlichkeit durchzieht, die es dem Forscher verwehrt, das Knäuel der Erscheinungen zu entwirren und in eine geordnete Textur aufzulösen. Der innere Widerspruch der menschlichen Natur, so sagt er in seinem Kommentar zum *Timaios*²⁵, ist ja schon allegorisch in Platons Deutung des Krieges zwischen Athen und Atlantis dargestellt, wo die Athener die aufbauende, ordnende Tendenz des Menschen verkörpern, während die Bewohner von Atlantis seine destruktiven Tendenzen repräsentieren. Aber Proklos ist sich mit seinen Vorgängern Jamblich und Syrianos darin einig, daß diesem unauf lösba- ren Widerspruch (*enantiosis*) eine universelle Bedeutung zukommt und daß er sich auf den gesamten Kosmos erstreckt. Den letzten Grund hier-

für erblickt er, ganz im Sinne Platons, im Abfall des Einen von sich selbst, in seiner Entfremdung, indem sich seine Ganzheit in eine Vielheit von Dingen gespalten hat, deren Natur eine antithetische ist, so daß alle Elemente der Realität eine solche Antithese in sich bergen, die sich der vollständigen Rationalisierung widersetzt.

Für Proklos symbolisieren die Planetenbewegungen in prägnanter Weise den unaufgelösten Widerspruch der Natur. In seinem *Timaios*-Kommentar²⁶ führt er aus, daß die Verquickung von Ordnung und Regellosigkeit, von Gesetz und Willkür, die durchweg den Charakterzug der Natur bildet, ihr getreues Abbild in jenen Bewegungen findet, die eine Mittelstellung zwischen der rein periodischen Kreisbewegung der Fixsterne und der irregulären Bewegung irdischer Körper einnehmen. Die Planeten beschreiben Bahnen, die einerseits periodisch sind und somit Ordnung aufweisen, deren Regelmäßigkeit aber durch Schleifenbewegungen unterbrochen wird, womit also die Ordnung mit Irregularität verquickt ist. Proklos, der selber einen Abriß der ptolemäischen Astronomie verfaßt hat, die in so großartiger Weise die Phänomene der Planetenbewegungen rettet, indem sie sie in eine Kombination von Kreisbewegungen auflöst, hält im tiefsten seines Herzens diese Lösung für einen technischen Kunstgriff, der zwar den Berechnungen der Astronomen gute Dienste leistet, aber nicht den wahren Tatbestand abbildet, der sich eben mit jenen scheinbaren Bewegungen deckt, die für ihn der sichtbare Ausdruck für den unaufgelösten Widerspruch der Natur sind.

Nach allem, was wir von Proklos' überschwenglichem Optimismus erfahren haben, der in seiner kybernetischen Vision der universellen Anwendungsmöglichkeit der Mathematik zum Ausdruck kommt, überrascht uns sein Pessimismus hinsichtlich der Grenzen des Naturerkennens, deren Ursprung er in der Natur selber zu finden glaubt. Es sieht beinahe so aus, als ob Proklos' wissenschaftliche Persönlichkeit denselben inneren Widerspruch aufweist, den er der Natur zuschreibt. Das Überraschende an Proklos' Einstellung ist vor allem, daß sie ja nicht, wie die der christlichen Kirche in den ersten Jahrhunderten, durch eine prinzipielle Ablehnung der Naturforschung als einen der Aspekte der heidnischen Kultur der Antike bedingt war. Im Gegenteil: Proklos, der einzige Neuplatoniker von Rang, der in Mathematik, Astronomie und

den anderen Naturwissenschaften bewandert war und dessen Kommentar zum Euklid und Lehrbuch der Astronomie sein produktives Interesse an diesen Gebieten bezeugen – Proklos bejahte den Weg der Naturforschung und sah in ihr einen organischen Teil der intellektuellen Aktivität des griechischen Menschen. Seine Verzweiflung hatte vielmehr eine existentialistische Färbung, indem er einerseits die Aufgabe des Wissenschaftlers klar erkannte, die physikalische Welt, in die er hineingestellt ist, zu erklären, jedoch andererseits davon überzeugt war, daß er dabei von vornherein zum Scheitern verurteilt sei; Naturwissenschaft zu treiben ist eine Forderung an den Forscher, aber eine Forderung, die zu erfüllen ihm im Prinzip versagt ist. Diese existentialistische Einstellung steht in seltsamem Kontrast zu Proklos' kybernetischer Überzeugung von der universellen Gültigkeit der mathematischen Methode.

Eine moderne Parallele zu Proklos' naturphilosophischem Skeptizismus ist die Naturphilosophie Hegels, die sich stark an Proklos anlehnt, wenn auch sein Name in ihr nicht ausdrücklich genannt wird. In seiner *Encyclopädie der philosophischen Wissenschaften*²⁷ spricht Hegel vom Begriff der Natur, die er als «die Idee in der Form des Andersseins», als «den Abfall der Idee von sich selbst» charakterisiert. «Die Natur», so sagt er, «zeigt in ihrem Dasein keine Freiheit, sondern Notwendigkeit und Zufälligkeit ... Sie ist der unaufgelöste Widerspruch.» Er führt dies dann noch näher aus, indem er unter anderem erklärt: «Der Widerspruch der Idee, indem sie als Natur sich selbst äußerlich ist, ist näher der Widerspruch der einerseits durch den Begriff gezeugten Notwendigkeit ihrer Gebilde und deren in der organischen Totalität vernünftigen Bestimmung und andererseits deren gleichgültigen Zufälligkeit und unbestimmbaren Regellosigkeit.»

Hegels Worte vom «unaufgelösten Widerspruch von Notwendigkeit und Zufälligkeit» sind deshalb von besonderem Interesse, weil sie offensichtlich im Hinblick auf die Methodologie der analytischen Dynamik des 17. und 18. Jahrhunderts ausgesprochen wurden. Als Beispiel möge an die Prozedur der mathematischen Physiker bei der Berechnung der Bahn eines Planeten erinnert sein. Die entsprechende Differentialgleichung kann aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz abgeleitet und gelöst werden, wobei sich eine Ellipse ergibt. Insofern ist also das *allge-*

meine Resultat ein Ausdruck der in der Natur herrschenden Notwendigkeit. Im konkreten Fall eines *bestimmten* Planeten sind aber die Daten der Ellipsenbahn durch die Anfangsbedingungen festgelegt, das heißt durch Position und Geschwindigkeit des betreffenden Planeten zu einem gegebenen Moment, von dem aus dann seine Bahnelemente für alle Zeiten berechnet werden können. Diese Anfangsbedingungen sind rein empirische Gegebenheiten, deren numerische Größe ein rein zufälliges Sosein ist, dem nichts von der Notwendigkeit eines Gesetzes anhaftet. Kant hat (1755) in seiner Kosmologie²⁸ versucht, die Zufälligkeit dieser Anfangsbedingungen auf eine Notwendigkeit zurückzuführen. Er wollte evolutionsgeschichtlich erklären, daß die Planeten in ihren aktuellen Bahnen Zusammenballungen darstellen, die sich nach den naturnotwendigen Gesetzen der Gravitation und der Mechanik aus der Materie entwickelt hatten, die ursprünglich den ganzen Raum um die Sonne herum kontinuierlich erfüllte. Durch diese Theorie wäre im Prinzip eine Gruppe von Zufälligkeiten in die höhere Klasse der Notwendigkeit aufgerückt, aber es ist klar, daß die Theorie, die dies bewirkt, neue Anfangsbedingungen enthalten wird, so daß die Verteilung von Notwendigkeit und Zufälligkeit lediglich verschoben, aber der Anteil des Zufälligen nicht aufgehoben ist.

Dieses eine, aus der klassischen Physik herausgegriffene Beispiel kann uns in der Annahme bestärken, daß Proklos' Zweifel an einer vollständigen Rationalisierung der Natur nicht so unbegründet sind, wie es manchem von uns erscheinen mag. So bleibt denn die Beziehung von Phänomen und Theorie ein nach der Zukunft hin offenes Problem, offen nach außen hin, weil die stets wachsende Fülle der Phänomene eine Konvergenz der Naturforschung auf ein abgerundetes Weltbild hin in Frage stellt; und offen nach innen hin, weil viele Anzeichen dafür sprechen, daß dieses Bild stets ein nicht auflösbares Residuum in sich schließen wird. Der Naturforscher sieht sich damit vor eine Aufgabe gestellt, die in zweifacher Hinsicht niemals zu einem Abschluß kommen kann, wie es in zwei treffenden Gleichnissen formuliert worden ist. Das eine, ein geometrisches, stammt von Pascal²⁹. «Die menschliche Wissenschaft», so sagt er, «gleicht einer Kugel, die ununterbrochen wächst; in dem Maß, wie ihr Umfang zunimmt, wächst auch die Zahl ihrer Berührungspunkte

mit dem Unbekannten.» Goethe wiederum spricht im *Wilhelm Meister*³⁰ in einem arithmetischen Gleichnis von der Weisheit der Einsicht, «daß die Summe unserer Existenz, durch Vernunft dividiert, niemals rein aufgeht, sondern daß immer ein wunderlicher Bruch übrigbleibt».

ANMERKUNGEN

- ¹ Proclus, *In Euclid*, ed. G. Friedlein, Leipzig 1873, p. 45, 6 ff.
- ² O. Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*, 2. Aufl. Providence 1957.
- ³ Aristoteles, *De caelo* I, 1: 268a 11 f.
- ⁴ Proclus, a. a. O., p. 153, 10 ff.
- ⁵ Proclus, *In Timaeum*, ed. E. Diehl, Leipzig 1903–1906, I, p. 120, 10 ff.
- ⁶ Simplicius, *In de caelo*, ed. J. L. Heiberg, Berlin 1894, p. 492, 31 ff.
- ⁷ Plato, *Timaeus* 29 C.
- ⁸ Plato, *Timaeus* 53 D.
- ⁹ Aristoteles, *De gener. et corr.* II 6: 333a 16, und andere Stellen.
- ¹⁰ Plato, *Timaeus* 54 A.
- ¹¹ Theophrastus, *Metaphysica*, 1.
- ¹² Jamblichus, *De comm. math. scientia*, ed. N. Festa, Leipzig 1891, Kap. 32.
- ¹³ Proclus, *In Euclid*, p. 46, 21 ff.
- ¹⁴ Elias, *In Porphy. Isagogen*, ed. A. Busse, Berlin 1900, p. 28, 29.
- ¹⁵ J. Kant, Vorrede zu den *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft* (1786).
- ¹⁶ Aristoteles, *De gener. et corr.* I 2: 315b 14.
- ¹⁷ T. Lucretius Carus, *De rerum natura* II, 308–322.
- ¹⁸ Alexander Aphrodisiensis, *Scripta minora*, ed. J. Bruns, Berlin 1887, p. 192, 21.
- ¹⁹ Aulus Gellius, *Noctes Atticae*, ed. J. C. Rolfe, London 1946, VII, 2, 11.
- ²⁰ G. W. F. Hegel, *Encyclopädie der philosophischen Wissenschaften* (1817), § 100.
- ²¹ Simplicius, *In categor.* ed. C. Kalbfleisch, Berlin 1907, p. 135, 10 ff.
- ²² E. Du Bois-Reymond, *Über die Grenzen des Naturerkennens*, 1. Aufl. Leipzig 1881.
- ²³ Plato, *Timaeus*, 48 A.
- ²⁴ Vgl. z. B. Proclus, *In Tim.* I, 77, 24 ff.
- ²⁵ Plato, *Timaeus*, 25 A–D.
- ²⁶ Proclus, *In Tim.* III, 96, 21 ff.
- ²⁷ G. W. F. Hegel, a. a. O., § 248 und § 250.
- ²⁸ J. Kant, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (1755).
- ²⁹ B. Pascal, zitiert in A. Moszkowski, *Ewige Worte*, Berlin 1922.
- ³⁰ W. v. Goethe, *Wilhelm Meisters Lehrjahre* IV, 18.

JAMES HILLMAN

ON PSYCHOLOGICAL CREATIVITY

'Call the world if you please "The vale of Soul-making".
Then you will find out the use of the world ...'¹

JOHN KEATS

Part One

Our field of depth psychology or the psychology of the unconscious, which is as old as the soul itself, does not know its own father. Our psychology² belongs to the tutelage of no God, has no Patron Saint, is enthralled to no Muse. Because modern psychology was born in the consulting-rooms of two Viennese physicians and in the locked wards of a Zurich psychiatric asylum, it has been assumed to be an off-spring of medicine, and therefore those who work in psychology are considered to belong to the family of the healing arts within the configuration of Asklepios, and our work as psychotherapists is considered to be limited to the care and service of the ill psyche. That the psyche at the turn of the century was so ill that it appeared in medical surroundings is no reason for it to remain there³. This was a problem of the nineteenth century; perhaps today, seventy years later, the problem of the psyche and our study of it have radically changed. Perhaps illness is no longer the immediate issue. Perhaps it is not good therapy, even in the medical sense, to go on regarding the psyche as a patient and ourselves as its therapists. Perhaps we shall miss the need of the psyche and our calling to it altogether should we persist with the myths and models and metaphors of the past.

As the care and service of the psyche has individualized itself within each therapist, conflicting currents have begun to show themselves which make yet more uncertain the claim for a unified descent from Asklepios. The literature is preoccupied with technique, that is, how to enact therapy, and with transference, that is, the felt experience of the relation-