

Materie und Idee

Vorstellungen von der Materie in der griechischen Naturphilosophie und in der heutigen Physik

Von G. Münster, Hamburg*)

Im Laufe unserer Ausbildung und unserer Tätigkeit als Physiker erwerben wir eine Reihe von Kenntnissen und Fertigkeiten, die es uns ermöglichen, physikalische Probleme zu lösen, neue physikalische Fragen zu formulieren und Beobachtungen im Rahmen eines Systems von Begriffen zu interpretieren. Wir wissen mit Begriffen wie Raum, Massenpunkt, Metrik und Zustandsvektor umzugehen und sie innerhalb eines Kalküls mit anderen Begriffen zu verknüpfen. Gleichzeitig liegt aber oft die Bedeutung der verwendeten Begriffe im Dunkeln. Häufig tritt ein Verständnis grundlegender physikalischer Größen zugunsten eines handwerklichen Umgangs mit ihnen in den Hintergrund. Nicht nur den begrifflichen, sondern auch den methodischen und historischen Grundlagen der Physik wird oft zu wenig Beachtung geschenkt.

Der Versuch, sich über diese Fragen mehr Klarheit zu verschaffen, wird früher oder später in den Grenzbereich zwischen Physik und Philosophie führen. Als Beispiel sei die in den letzten Jahren wieder intensiver geführte Diskussion um die Interpretation der Quantenmechanik genannt, in der ontologische und erkenntnistheoretische Aspekte eine große Rolle spielen [1, 2].

Es ist nun bekanntlich so, daß Philosophen in der Diskussion an ihre jeweiligen Vorgänger anzuknüpfen pflegen und an der Auseinandersetzung mit deren Lehren ihre eigene Philosophie aufbauen. Dieser Regreß kommt erst zu einem Ende bei den griechischen Philosophen, die keine Vorgänger haben in der abendländischen Philosophie. Hier finden wir den historischen Ursprung zahlreicher Begriffe, denen in den Auseinandersetzungen der Philosophie bis in die Neuzeit hinein eine zentrale Rolle zukommt.

Als Physiker kann und will ich natürlich nichts über strittige Fragen in der Interpretation der überlieferten Texte sagen. Dies muß den Philosophen vorbehalten bleiben. Ich versuche mich daher so weit wie mög-

lich an das zu halten, was allgemein als Bestandteil der jeweiligen Lehre akzeptiert ist. Weiterhin möchte und kann ich keine vollständige Darstellung aller für uns interessanten Aspekte geben. Ich habe deshalb eine Auswahl unter den Vertretern der voraristotelischen Philosophie getroffen, die mir günstig zu sein scheint, um diejenigen Gesichtspunkte darzustellen, die ich für wichtig halte.

1. Vorsokratiker

Der erste griechische Naturphilosoph, von dessen Lehre uns etwas überliefert ist, ist Thales von Milet (um 630–560). Thales ist uns als Mathematiker und Astronom bekannt. Seine philosophische Lehre ist weitgehend von Aristoteles überliefert. Thales vertrat die Meinung, daß es einen Urstoff gebe, aus dem sich alle Substanzen herleiten, und er identifizierte das Wasser mit diesem Urstoff. Durch Verdichtung und Verdünnung oder Umwandlung sollte alle Materie aus dem Wasser hervorgegangen sein. Einzelheiten dieser Lehre sind nicht mehr bekannt und sind wohl auch nicht mehr interessant für uns. Das entscheidende sind die Grundgedanken, die dahinter stehen. Im vielfältigen Wechsel der Erscheinungen der uns umgebenden Welt suchte Thales nach einem Grundprinzip, einer einheitlichen Ursache. Dieses Grundprinzip war bei ihm ein materielles, nämlich ein Grundstoff, eine Ursubstanz als Grundlage aller Vielfalt. Im Versuch, eine rationale Antwort auf die Frage nach der materiellen Ursache der Dinge zu geben, erkennen wir bei Thales den Übergang vom mythischen zum wissenschaftlichen Denken.

Der Widerspruch zwischen der Vielfalt der Erscheinungen und dem dahinterliegenden einheitlichen Prinzip, dem Vielen und dem Einen, spielt bei den Philosophen nach Thales eine zentrale Rolle. Eng damit im Zusammenhang steht das andere Paar von Gegensätzen, das Sein und das Werden. Die Antithese von Sein und Werden, dem Unveränderlichen und dem Wechselhaften, tritt in ihrer stärksten Ausprägung bei Heraklit und Parmenides hervor.

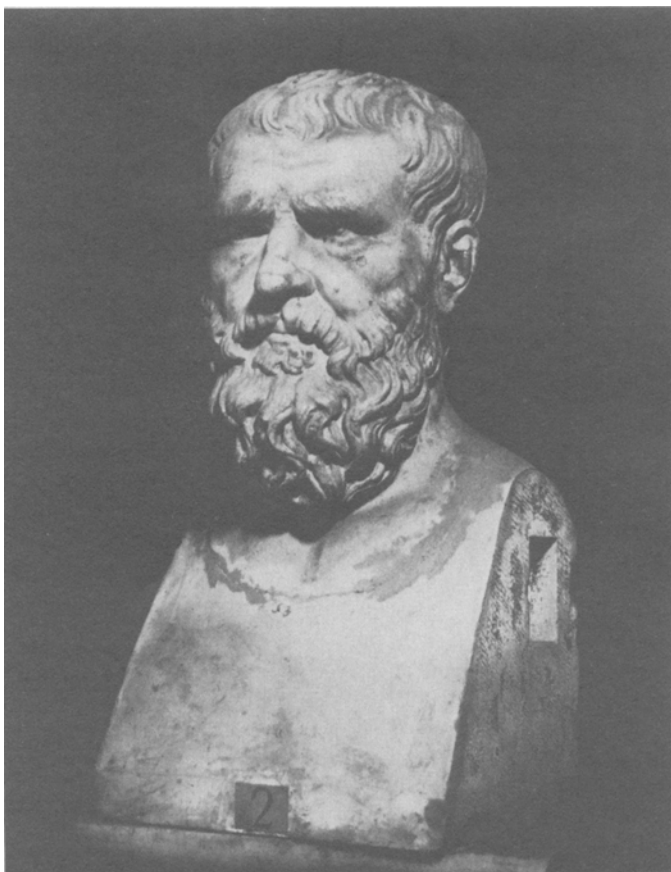
Heraklit aus Ephesos (um 540–480) stammte aus einer reichen, vornehmen Familie und war eine prominente Person in seiner Heimatstadt. Seine Philosophie ist uns in Fragmenten einer Prosaschrift überliefert, die er im Heiligtum der Artemis zu Ephesos niedergelegt haben soll. Heraklit richtet sein Augenmerk auf die Vielfältigkeit und den Wandel in der Welt und sieht im Kampf von Gegensätzen die Ursache von Bewegung und Veränderung. Sein Ausspruch „Krieg ist aller Vater, aller König; . . .“ (Fr. 53)* ist in diesem Sinne und nicht unbedingt militärisch zu verstehen. Alles entsteht aus dem Krieg gegensätzlicher Bestrebungen, dahinter aber sieht Heraklit eine verborgene Harmonie, wie etwa in der Leier entgegengesetzte Spannungen deren Gestalt bestimmen.

Als Grundstoff der Welt betrachtete Heraklit das Feuer. „Diese Weltordnung, dieselbe für alle, machte weder einer der Götter noch der Menschen, sondern sie war immer und ist und wird sein ewig lebendes Feuer, erglühend nach Maßen und erlöschend nach Maßen.“ (Fr. 30). Das Feuer ist der Anfang allen Wandels und aller Veränderung. Dieses Feuer bei Heraklit ist wohl nicht unbedingt identisch mit dem Feuer des Alltagslebens, hat aber viele Eigenschaften mit ihm gemeinsam. So wie in der Flamme ständig ein Fluß von Stoffen stattfindet bei gleichbleibender Form, liegt bei Heraklit allen Dingen ein ständiger Wechsel zugrunde. „Wechselweiser Umsatz: aller Dinge gegen das Feuer und des Feuers gegen alle Dinge, wie der Waren gegen Gold und des Goldes gegen Waren.“ (Fr. 90). Der Satz „panta rhei“, alles fließt, der ihm zugeschrieben wird, findet sich nicht bei den überlieferten Texten, charakterisiert aber doch gut seine Vorstellung vom fortwährenden Wandel.

Während Heraklit in seiner Philosophie das Werden betont, steht bei Parmenides das Sein im Mittelpunkt. Parmenides (ca. 540–480) stammt aus Elea in Italien, wo er auch als Staatsmann wirkte. Seine Lehre hat er in einem hexametrischen Gedicht mit dem Titel „Über die Natur“ dargestellt. Die Frage nach der Einheit, dem Einen, ist der Ausgangspunkt seiner Phi-

* Fr. = Fragment (nach [9])

*Dr. Gernot Münster, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Notkestr. 85, 2000 Hamburg 52 [Diplom 1978 bei H. Lehmann (Hamburg), Promotion 1980 bei G. Mack (Hamburg)], seit August 1983 beim DESY, Gruppe Theorie, Arbeitsgebiet: Quantenfeldtheorie]. Grundlage dieses Artikels ist ein Vortrag, den der Autor am 6. Juli 1983 in Bern gehalten hat.



Heraklit (um 544–483 vor Chr.), Ephesos. Marmorbüste. (Photo: Archiv für Kunst und Geschichte, Berlin)

losophie. Nicht die Sinne, sondern der Logos, den wir als logisches Denken interpretieren dürfen, ist ihm das wesentliche Kriterium. Er sagt „Dasselbe ist Denken und Sein“, d. h. Denken bedeutet ihm Seiendes denken. Was ist aber das Sein? Und gibt es Nicht-Seiendes? Parmenides sagt: „Der eine Weg, daß Sein ist und daß Nicht-Sein nicht ist, das ist die Bahn der Überzeugung, die der Wahrheit folgt. Der andere aber, daß Nicht-Sein ist und daß Nicht-Sein erforderlich ist, dieser Pfad ist, so künde ich dir, gänzlich unerkundbar; denn weder erkennen könntest du das Nicht-Seiende, das ist ja unausführbar, noch aussprechen.“ (Fr. 2). Da wir also nur Seiendes denken können, müssen wir das Nicht-Seiende leugnen. Parmenides verfolgt diesen Ansatz konsequent weiter und gelangt zur Ablehnung der Veränderung: „Wie könnte Seiendes zugrunde gehen, wie könnte es werden? Denn ward es, so ist es nicht, und ebenso wenig, wenn es erst in Zukunft einmal sein soll. So ist ‚Entstehen‘ verlöscht und verschollen ‚Vergehen‘.“ (Fr. 7, 8). Dieses umfassende Sein, welches also unveränderlich ist, muß zugleich unteilbar und gleichförmig sein, führt Parmenides weiter aus, denn als einziges Seiendes kann es nicht als Vielheit gedacht werden. So gelangt er schließlich zum Bild eines kugelförmigen, homogenen, unveränderlichen und ewigen Kosmos. Die unbeirrba-

re Leugnung des Nicht-Seienden hat ihn also zu einer Vorstellung geführt, die im krassen Widerspruch zum Augenschein steht. Diesen Widerspruch zwischen dem Denken und der Erfahrung, die uns die Sinne vermitteln, deutet Parmenides dadurch, daß er die Erscheinungswelt als Schein bezeichnet. Nur scheinbar gibt es für ihn die Vielheit und den Wechsel der Dinge, das wahre Seiende ist unveränderlich.

Die paradoxe Lehre des Parmenides kommt uns unverständlich vor, und sie ist schon von Aristoteles kritisiert worden. Sie ist aber für das historische Verständnis der nachfolgenden Philosophien sehr wichtig. Das Sein bei Parmenides hat zweifellos die Merkmale der Körperlichkeit. So wird ihm auch die Eigenschaft des Raumerfüllens zugeschrieben. Auf diese Weise bedingt die Undenkbarkeit des Nicht-Seienden die Leugnung des leeren Raumes, die wir auch bei Aristoteles und späteren Philosophen wiederfinden. Parmenides' Philosophie ist eine zu Ende gedachte monistische Weltauffassung, die alles auf eine Ursache zurückführen möchte.

Wir haben gesehen, daß der Gegensatz zwischen dem Einen und dem Vielen, dem Sein und dem Werden eine Grundfrage der griechischen Naturphilosophie ist. Während Heraklit das Werden und die Gegensätze betont, leugnet Parmeni-

des jegliche Differenz. Nachfolgende Philosophen versuchen, diese scheinbar unüberbrückbar getrennten Standpunkte zusammenzubringen und Kompromisse zu finden. Einen solchen finden wir in der Atomlehre Leukipps und Demokrits.

Leukipp von Milet (5. Jhdt.) gilt als eigentlicher Begründer der Atomlehre, die durch seinen Schüler Demokrit aus Abdera (ca. 460–380) bekannt geworden ist. Um den Paradoxien des Parmenides zu entgehen, wird die Ablehnung des Nicht-Seins in folgender Weise aufgehoben. Anstelle des Gegensatzes zwischen Sein und Nicht-Sein tritt das Begriffspaar des Vollen und des Leeren, d. h. des materieverfüllten und des leeren Raumes. Den materieverfüllten Raum hat man sich in Form von kleinen Einheiten, den Atomen, vorzustellen, die sich im leeren Raum befinden. Den Atomen werden von Demokrit nun diejenigen Attribute zugesprochen, die das Seiende bei Parmenides besaß. Sie sind „ungeworden“, unveränderlich und unvergänglich, folglich auch unteilbar, wie ihr Name besagt. Sie unterscheiden sich durch ihre Form, ihre Anordnung zueinander und ihre Lage im Raum und besitzen keine weiteren Eigenschaften. „Nur der gebräuchlichen Rede-weise nach gibt es Farbe, Süßes, Bitteres; in Wirklichkeit aber nur Atome und Leeres.“ Durch die Bewegung der Atome im leeren Raum kommt der Wechsel der Dinge zustande. Sie können zusammentreten und sich wieder trennen. Alles ist aus Atomen zusammengesetzt, diese aber sind als das eigentliche Seiende letzte Einheiten. Nach Demokrit gibt es unzählbar viele verschiedene Formen und Größen von Atomen. Ihre Bewegung ist nicht zufällig, sondern unterliegt einem Kausalprinzip. Leukipp sagt: „Nichts entsteht planlos, sondern alles aus Grund und unter Notwendigkeit.“ (Fr. 2).

In der Formulierung der atomistischen Lehre erkennen wir einen monistischen Materialismus, d. h. alles wird auf ein materialistisches Prinzip, nämlich die Bewegung der Atome zurückgeführt. Auch die Seele erklärt Demokrit durch Atome. Wir lesen bei Theophrast (Schüler des Aristoteles): „Demokrit schreibt jedem Geschmack eine bestimmte Form der Atome zu: Der süße Geschmack wird durch runde und mittelgroße Atome veranlaßt; der zusammenziehende durch große, rauhe, vieleckige, nicht runde; den scharfen verursachen entsprechend seinem Namen scharfkantige, eckige, gekrümmte, feine; . . . Die Seele ist durch den Körper verteilt und besteht aus leichten, glatten und runden Feueratomen; alles Leben und jegliche Seelentätigkeit beruht auf der Atombewegung.“

Die Bezeichnung der Demokritischen Atomlehre als Materialismus wird von

einigen Autoren kritisiert mit dem Hinweis darauf, daß es bei den Vorsokratikern, also auch bei Demokrit, noch keine scharfe Trennung der Wirklichkeit in einen materiellen und einen geistigen Bereich gibt, wie sie zum Beispiel später im Dualismus Descartes' zum Ausdruck kommt. Bei ihnen trage das anscheinend rein Materielle immer auch geistige Züge, und umgekehrt (Diemer in [3]). Diese Kritik trifft aber wohl nicht zu. Es ist doch gerade eines der Kennzeichen materialistischer Philosophien, auch das Geistige als einen besonderen Aspekt der Materie zu betrachten.

Im antiken Atomismus liegt uns die Konstruktion eines genialen, geschlossenen Weltbildes vor. Dessen suggestive Kraft können wir daran ermessen, daß die atomistischen Vorstellungen noch im vorigen Jahrhundert sich kaum von denen Demokrits unterscheiden.

Wir wollen jetzt einen Sprung von der Antike in die Neuzeit tun und die griechische Naturphilosophie vom Standpunkt des heutigen Physikers betrachten.

2. Materie

Bekanntlich hat die neuzeitliche Wissenschaft den Nachweis erbracht, daß die Materie eine atomistische Struktur aufweist. Die Objekte, die wir heute Atome nennen, sind zwar nicht unteilbar, sondern können in weitere Konstituenten zerlegt werden; setzen wir aber die Elementarteilchen an die Stelle der Demokritischen Atome, so scheinen sich wesentliche Bestandteile des antiken Atomismus bewahrt zu haben. Es gibt keinen Zweifel daran, daß alle Materie aus Elementarteilchen besteht. Wir können uns die Fülle der verschiedenen Stoffe, ihre Umwandlungen *ineinander*, chemische und sogar biologische Vorgänge als durch die Bewegung und Wechselwirkung der kleinsten Bestandteile der Materie zustande gekommen vorstellen. Auf den ersten Blick also bestätigt die heutige Physik die atomistische Lehre Demokrits.

Wir wollen uns nun etwas näher mit dem Substanz-Begriff befassen. Die charakteristische Eigenschaft der Atome Demokrits ist es, keine Teile zu haben. Dieser Begriff ist nicht ganz unproblematisch. Die Schwierigkeit damit ist vielleicht am deutlichsten von Kant in einer der Antinomien des Denkens formuliert worden. Wenn die Atome ausgedehnt sind, so fühlen sie ein endliches Volumen des Raumes aus. Wir können uns Teile dieses Raumes denken. Also können wir auch Teile eines Atoms denken. Hat es jedoch keine Teile, so füllt es auch kein Volumen aus und kann nicht als materielles Ding gedacht werden.

Wir können uns zwar ausgedehnte Kor-

puskeln vorstellen, deren geometrische Teile sich nicht physikalisch trennen lassen; sie besäßen aber eben doch Teile, und man müßte sich nach dem physikalischen Grund der Untrennbarkeit fragen.

Die Elementarteilchenphysik liefert eine überraschende Lösung dieses Dilemmas. Materie läßt sich in ihre Bestandteile zerlegen, indem man sie mit einer gewissen Geschwindigkeit aufeinander schießt. Bringt man z. B. Atomkerne mit hoher Geschwindigkeit zur Kollision, so werden dabei Protonen und Neutronen frei. Führt man dasselbe nun mit Elementarteilchen durch, etwa indem man Protonen kollidieren läßt, geht daraus eine ganze Reihe von Teilchen hervor, unter denen man aber wiederum Protonen finden wird. Der Begriff der Teilbarkeit findet hier keine Anwendung mehr; die entstandenen Partikel sind nicht mehr als Bestandteile der zusammengestoßenen zu betrachten.

Stattdessen zeigt sich hier ein neuer Aspekt: Elementarteilchen lassen sich ineinander umwandeln, sie können erzeugt werden, und sie können zerfallen, ganz im Gegensatz zu den Atomen Demokrits.

Wie verhält es sich mit der Räumlichkeit der Teilchen, mit ihrer räumlichen Ausdehnung? In der Quantentheorie können wir den Zustand von Teilchen durch Wellenfelder beschreiben, die sich im Raume ausbreiten. Die Räumlichkeit ist jedoch keine primäre Eigenschaft mehr, die dem Teilchen an sich zukommt, wie bei Demokrit. So zeigt ein Elektron sowohl den Aspekt der Ausgedehtheit als auch der Punktförmigkeit; Punktförmigkeit in dem Sinne, daß ein Elektron bis zu den kleinsten meßbaren Distanzen hin keine Struktur aufweist. Dies findet in der Quantenfeldtheorie seinen Ausdruck in der Lokalität der Felder und der Wechselwirkungen. Als ausgedehnt kann ein Elektron insofern betrachtet werden, als seine Wellenfunktion in einem ganzen Raumgebiet nicht verschwindet und zur Selbst-Interferenz fähig ist.

Eine weitere Konsequenz der Quantentheorie ist die Tatsache, daß wir den Teilchen im allgemeinen keine Individualität zuerkennen können. Stellen wir uns zwei Elektronen vor, die gemeinsam mit einem Helium-Kern ein Atom Helium formieren. Zwar können wir nach einiger Zeit durch Ionisation wieder eines der Elektronen abtrennen; es gibt aber keine Möglichkeit, zu sagen, um welches der beiden ursprünglichen es sich handelt. Diese Unfähigkeit liegt nicht an unserer mangelnden Kunstfertigkeit, sondern ist in der Quantentheorie prinzipieller Natur. Das Nichtvorhandensein der Individualität äußert sich manifest in der Austauschwechselwirkung und allgemeiner in der Bose- bzw. Fermi-Statistik gleichartiger Teilchen.

Ein ebenfalls neuartiger Gesichtspunkt sind die Schwingungserscheinungen. Die Felder, die den Teilchen zugeordnet sind, fluktuieren in physikalisch meßbarer Weise. Wir können uns dies im Teilchenbild veranschaulichen durch die Feynman-Diagramme, welche die Propagation eines Elementarteilchens beschreiben. Der ständige Wechsel, die virtuelle Erzeugung und Vernichtung von Partikeln, erinnert sehr an Heraklit. Diese Fluktuationen finden auch im Vakuum statt, das nur noch wenig gemeinsam hat mit dem, was man sich unter leerem Raum vorstellt.

Wir sehen, daß sich die heutige Vorstellung von der Beschaffenheit der Materie sehr weit von dem Substanzbegriff entfernt hat, den Leukipp und Demokrit geschaffen haben und der bis in die Neuzeit Bestandteil materialistischer Philosophien gewesen ist. Vielmehr erinnern die Wandelbarkeit der Teilchen, der Verlust des Individualitätsbegriffes und die ständige Erzeugung und Vernichtung virtueller Teilchen sehr an die Auffassungen Heraklits vom ewigen Wandel und Fluß der Dinge. An Stelle seines Grundstoffes Feuer, aus dem sich die Substanzen formen, tritt heute der Begriff der Energie, die sich in Masse wandeln kann und umgekehrt.

Historisch gesehen ist der Substanzbegriff, wie er vorhin geschildert wurde, meistens Bestandteil materialistischer Weltbilder gewesen. Er bildet aber doch nicht deren eigentlichen Kern und ließe sich sicher im Lichte der heutigen Kenntnisse modifizieren [4]. Jedoch selbst die Grundpfeiler des Materialismus, das Kausalitätsgesetz und die objektive, vom menschlichen Subjekt unabhängige Existenz der Materie sind ins Wanken geraten. In der Quantentheorie sind der Anwendbarkeit des klassischen Kausalgesetzes prinzipielle Schranken gesetzt, die der Möglichkeit des Indeterminismus, der Unvorherbestimmbarkeit des Geschehens, Platz schaffen. Und sogar der Begriff des „Seins“ selbst bedarf einer neuen Bestimmung. Der Zustandsvektor in der Quantentheorie beschreibt ja nicht mehr etwas Objektives, an sich Seiendes, sondern eine Mannigfaltigkeit von Möglichem, Potentiellem, das sich erst im Akt der experimentellen Beobachtung zum Faktum wandelt.

Vor diesem Hintergrund müssen wir die Bemühungen heutiger Anhänger materialistischer Philosophie sehen, die Quantentheorie zu modifizieren, etwa durch Einführung verborgener Parameter, oder sie zumindestens anders zu interpretieren [5]. Ob solche Hoffnungen Aussicht auf Erfolg haben können, erscheint allerdings fraglich angesichts der jüngsten Ergebnisse im Zusammenhang mit den Bellschen Ungleichungen, die die

Unmöglichkeit lokaler realistischer Theorien behaupten [1, 2].

Ich habe mich nun schon ein Stück vom eigentlichen Thema entfernt. Wir kehren noch einmal zurück ins Altertum, um die Betrachtungen fortzusetzen bei Platon (427–347), dem Gründer der berühmten Akademie in Athen.

3. Platon

Es ist unmöglich, über die Naturphilosophie Platons zu sprechen, ohne diese vor dem Hintergrund der Ideenlehre zu sehen. Die Lehre von den Ideen steht im Zentrum der platonischen Philosophie und wird in mehreren der bekannten Dialoge behandelt. Sie ist sehr komplex und bleibt an vielen Stellen dunkel, so daß ihre Interpretation noch heute Anlaß zu Auseinandersetzungen gibt. Ein bekanntes Beispiel, um den Begriff der Idee zu vermitteln, ist das folgende. Wenn jemand einen Kreis an die Tafel zeichnen möchte, wird ihm dies mehr oder weniger gut gelingen. Mit Sicherheit wird das Gezeichnete nie genau rund sein. Darüberhinaus hat der Kreidestrich ja eine endliche Dicke. Also liegt eigentlich gar kein richtiger Kreis vor. Was aber ist dann ein Kreis überhaupt? Nach Platon ist der

Kreis nicht etwas, das wir in der Welt der Erscheinungen antreffen, sondern ein Gegenstand des Denkens, eine Idee. Der ideale Kreis existiert als „reine Form“ nicht in der Welt der Dinge, sondern in der Welt der Ideen. Platon unterscheidet verschiedene Arten von Ideen. Der Kreis gehört zu den mathematischen Ideen. Der eigentliche Ausgangspunkt Platons, nämlich ethische und politische Fragen, führt zu den höchsten Ideen: das Schöne, das Gerechte, das Gute.

Während das Problem des Einen und des Vielen von Demokrit materialistisch gelöst wurde, hat Platon eine idealistische Synthese gefunden. Das Viele, das ist die Welt der Erfahrungen, die Erscheinungswelt, während das Eine in die Welt der Ideen gehört. Denn jede Idee ist eines: es gibt viele unvollkommene Kreise in der Erscheinungswelt, aber nur den einen Kreis als Idee.

Die Beziehung der beiden Welten zueinander wird beschrieben durch den Begriff der Methexis, der Teilhabe. Die vielen realen Kreise werden von uns als solche erkannt und bezeichnet, weil sie teilhaben an der Idee des Kreises.

Ich möchte nun zur platonischen Naturphilosophie kommen, die im Spätwerk Timaios' dargelegt ist. In einem langen Mo-

nolog stellt Timaios den Mythos von der Erschaffung der Welt und der Beschaffenheit der Dinge dar. Das Problem der Materie ist kein eigentlich platonisches. Von Empedokles übernimmt Platon die Lehre von den vier Elementen Feuer, Luft, Wasser und Erde, aus denen sich alle Stoffe herleiten. Diese Elemente bestehen aus kleinsten Einheiten, ähnlich wie in der Atomlehre. Das interessante aber ist die Gestalt dieser Einheiten. Platon ordnet die vier Elemente vier regulären Körpern zu, das Feuer dem Tetraeder, die Luft dem Oktaeder, das Wasser dem Ikosaeder und die Erde dem Würfel. Wahrscheinlich ist er hier angeregt worden durch die Pythagoräer, denen die regulären Körper bekannt gewesen sind. Platon erblickt in den regulären Körpern mathematische Gestalten von besonderer Schönheit. Es heißt: „...“, denn das werden wir niemandem einräumen, daß es, wenn jeder von diesen Körpern als eine eigene Gattung besteht, schönere sichtbare gebe als sie. Dahin also müssen wir streben, die durch ihre Schönheit ausgezeichneten vier Gattungen der Körper zuzusammensetzen, dann können wir behaupten, daß wir ihre Natur zur Genüge erfaßten.“ (Timaios, 53e). Im folgenden wird erläutert, wie die Körper aus zwei verschiedenen Sorten von Dreiecken zusammengesetzt zu denken sind, und wie sich die Elemente durch Umlagerung der Dreiecke ineinander umwandeln können.

Diese Lehre mag seltsam erscheinen, und ist auch in bezug auf verschiedene Details von Aristoteles kritisiert worden. Für uns ist jedoch das folgende wichtig. Die kleinsten Teile der Materie, welche bei Platon Dreiecke sind, sind selber nicht mehr materiell, sondern mathematische Formen und gehören damit in den Bereich der Ideen. Nicht Stoffliches, sondern Ideen bilden bei Platon den Urgrund der Welt. Die kleinsten räumlichen Gebilde, die platonischen Körper, sind ihrerseits mathematische Gestalten von besonderer Art. Sie weisen eine besonders hohe Symmetrie auf, in der sich nach Platon die Idee des Schönen widerspiegelt.

In der Lehre von den kleinsten Teilen wird ein neuer Aspekt sichtbar, der Platon von den früheren Naturphilosophen unterscheidet, nämlich die Überzeugung, daß die Grundprinzipien der Natur letztlich mathematisch sind. Platon vertritt die Ansicht, daß das Wesen der Natur in der Mathematik zum Ausdruck kommt. Nicht die Teilchen, wie bei Demokrit, sind das Unveränderliche, Letzte, sondern das mathematische Gesetz, die Symmetrie.

4. Physik und Mathematik

Wir wollen jetzt wieder den Blick auf die heutige Physik werfen. Die neuzeitli-



Platon (428/27–348/7 vor Chr.), Athen. Überlebensgroße Marmorbüste aus schweizerischem Privatbesitz. (Photo: Ullstein Bilderdienst)

che Entwicklung hat uns ein großes Stück Weges in Richtung auf das Ziel gebracht, welches Antrieb für die Bemühungen der griechischen Naturphilosophen gewesen ist, nämlich die Einheit der Natur. Es ist nicht übertrieben, zu behaupten, daß die naturwissenschaftlichen Einzeldisziplinen sich weitgehend auf Physik zurückführen lassen. Wir können die Chemie als Physik der Atomhüllen, die Meteorologie als Physik der Erdatmosphäre, die Astronomie als Physik großer Objekte usw. auffassen. Die Physik wiederum hat sich in den letzten Jahrzehnten in einer solchen Weise entwickelt, daß ihre Einheit schon in Ansätzen erkennbar wird.

Wir wollen uns der Frage zuwenden, welcher Art diese Einheit ist. Die Behauptung ist, die Vereinheitlichung der Physik wird in mathematischen Strukturen sichtbar. Was heißt das? Die Antwort hierauf ist zweierlei; sie hat einen mehr offensichtlichen, an der Oberfläche liegenden Aspekt und einen tieferen. Wir haben gelernt, daß Physik nur dann erfolgreich betrieben werden kann, wenn wir uns der Sprache der Mathematik bedienen. Die Mathematik liefert uns die Mittel, die nötig sind, um die Beziehungen zwischen Quantitäten in präziser und eindeutiger Weise zu formulieren. Daher ist es selbstverständlich, daß auch die Grundstrukturen der Physik mathematisch beschrieben werden. Dies ist der eine Aspekt. Bei dem anderen werde ich etwas länger verweilen.

Wenn wir von der Vereinheitlichung der Physik sprechen, dann meinen wir zunächst die Tatsache, daß die Physik, wenigstens prinzipiell, auf Elementarteilchenphysik zurückführbar ist. Wodurch sind nun Elementarteilchen gekennzeichnet? In der Sprache der Quantenfeldtheorie würden wir sagen, Elementarteilchen sind Anregungen der fundamentalen wechselwirkenden Felder; und zwar Anregungen, die durch ihr Transformationsverhalten unter gewissen Symmetriegruppen beschrieben werden. Sie entsprechen den irreduziblen Darstellungen der Poincaré-Gruppe, d. h. der raum-zeitlichen Symmetriegruppe, sowie denen weiterer innerer Symmetriegruppen. Diese Symmetrieeigenschaften sind charakteristisch für Elementarteilchen. In diesem Sinne sind Elementarteilchen mathematische Formen. Wie bei Platon sind also die Grundbestandteile der Dinge symmetrische Gestalten. Diese Wiederkehr von Elementen platonischer Philosophie in der heutigen Physik ist besonders von Heisenberg betont worden [6].

Noch deutlicher kommt der platonische Gedanke zum Ausdruck, wenn wir die Quarks betrachten. Als symmetrische Gestalten lassen sich die Teilchen, die zur Klasse der Hadronen gehören, auf noch

einfachere mathematische Formen zurückführen: die Quarks. Diese aber sind, nach allem, was wir wissen, selber keine Elementarteilchen im eigentlichen Sinne mehr, denn sie treten nicht einzeln, sondern nur als Konstituenten der Hadronen auf. Sie spielen daher die Rolle der einfachsten Formen bei Platon, der Dreiecke, die ebenfalls nur als Bestandteile der elementaren Körper existieren.

Nicht nur in bezug auf die Teilchen, sondern auch in ihren Wechselwirkungen untereinander hat sich in den letzten Jahren die besondere Rolle von Symmetrien bestätigt. Das leitende Prinzip bei der teilweise erreichten und weiter angestrebten Vereinigung aller bekannten Wechselwirkungen ist ein Symmetrieprinzip, nämlich die lokale Eichsymmetrie. Hier handelt es sich um eine außerordentlich hohe Symmetrie, die zu einer unendlich-dimensionalen Symmetriegruppe führt. Das Wechselwirkungsgesetz ist bestimmt durch diese Symmetriegruppe. Dieser Gedanke wurde zum ersten Mal von Hermann Weyl für den Fall der Elektrodynamik formuliert.

Die heutigen Erkenntnisse zeigen also mehr und mehr, daß die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten in der Physik von einfacher mathematischer Natur sind. Wigner hat diesen Sachverhalt mit dem Ausdruck „the unreasonable effectiveness of mathematics“ gekennzeichnet [7], denn wir haben keine Erklärung dafür, daß die mathematische Beschreibung der fundamentalen Naturgesetze von einfacher Gestalt ist. Mit Sicherheit handelt es sich nicht nur um ein Ergebnis der Denkökonomie, sondern muß darüber hinaus gehen. Dies ist der zweite Aspekt, von dem ich sprach. Und ich glaube, in ihm erkennen wir wieder, was Platon mit der Rolle der Mathematik in der Natur meinte.

5. Schluß

Alle diese Bemerkungen über griechische Naturphilosophie und heutige Physik haben natürlich nicht zum Inhalt, daß die antiken Denker alle wesentlichen Dinge eigentlich schon gewußt haben. Die riesige Kluft zwischen dem damaligen und dem heutigen Wissen über die Welt, hervorgerufen durch zweitausendjährigen Fortschritt, soll nicht vernebelt werden. Insbesondere steht die spekulative Naturlehre der Griechen methodisch absolut im Gegensatz zur neuzeitlichen Naturwissenschaft, für die das Experiment letztes Kriterium ist.

Ich hoffe aber doch zum Ausdruck gebracht zu haben, welche Bedeutung die antike Naturphilosophie für uns haben kann. Die dargestellten Naturlehren sind ja nicht mühsam zusammengesucht, um

Analogien zur heutigen Physik zu konstruieren. Vielmehr stehen die Fragen nach dem Wesen der Materie und der Natur der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten im Mittelpunkt griechischer Naturphilosophie und haben Anlaß gegeben zur Bildung von Begriffen, die auch heute noch tief im Denken verwurzelt sind. Auf diese Weise kann das Interesse für die griechische Naturphilosophie dazu beitragen, daß wir uns der Grundlagen des heutigen Weltbildes mehr bewußt werden.

Literatur (speziell)

- [1] *B. d'Espagnat*: Auf der Suche nach dem Wirklichen. Berlin 1983.
- [2] *W. Mückenheim*, Phys. Bl. **39**, 331 (1983); *F. Rohrlich*, Science **221**, 1251 (1983).
- [3] Fischer-Lexikon Philosophie. Frankfurt 1967 (S. 156 ff).
- [4] *K. Zweiling*: Dialektischer Materialismus und theoretische Physik. Berlin 1950.
- [5] *A. A. Sokolow, J. M. Loskutow, I. M. Ternow*: Quantenmechanik. Berlin 1964 (S. 139).
- [6] *W. Heisenberg*: Physik und Philosophie. Frankfurt 1970.
- [7] *E. P. Wigner*: Symmetries and Reflections. Bloomington 1967.

allgemeine Literatur zum Thema

- [8] *J. Barnes*: The Presocratic Philosophers. London 1979.
- [9] *H. Diels u. W. Kranz*: Die Fragmente der Vorsokratiker. Berlin 1956.
- [10] *W. Kranz*: Die griechische Philosophie. Basel 1955.
- [11] *F. Eckstein*: Abriß der griechischen Philosophie. Frankfurt 1974.
- [12] *Ch. H. Kahn*: The Art and Thought of Heraclitus. Cambridge 1979.
- [13] *K. Bormann*: Parmenides. Hamburg 1971.
- [14] *Parmenides*: Über das Sein. Stuttgart 1981.
- [15] *Platon*: Timaios. Reinbek 1964 (Übers.: H. Müller).
- [16] *E. Hoffmann*: Platon. Zürich 1950.
- [17] *A. Stückelberger*: Antike Atomphysik. München 1979.
- [18] *A. G. M. van Melsen*: Atom, Gestern und Heute. München 1957.
- [19] *B. Russell*: Denker des Abendlandes. Stuttgart 1970.
- [20] *C. F. v. Weizsäcker*: Platonische Naturwissenschaft im Laufe der Geschichte. Göttingen 1971.