

Dieser Band sollte zitiert werden als
This volume should be quoted as
Ce volume doit être cité comme

ERANOS 48-1979

SHMUEL SAMBURSKY

LEITMOTIVE
WISSENSCHAFTLICHER THEORIENBILDUNG

5721
SAMBURSKY, S.
1979

I

Wissenschaftliche Theorien sind Gedankensysteme, deren rationaler Charakter an ihrem logischen Aufbau zu erkennen ist. Besonders klar ersieht man dies aus den physikalischen Theorien, die eine mathematische Darstellung zulassen, welche die logische Struktur des Ganzen deutlich widerspiegelt. Die Theorie geht von gewissen Voraussetzungen oder Behauptungen aus, die häufig als fundamentale Sätze formuliert werden. Aus diesen werden dann eine Reihe von Folgesätzen deduziert, deren Konsequenzen man schließlich mit der Erfahrung vergleichen kann. Nun könnte man sagen, daß auch die Anfänge der Theorie sich aus der Empirie herleiten; denn die grundlegenden Hypothesen des Forschers werden ja durch Erfahrungstatsachen angeregt. Dies ist aber nur bedingt richtig, denn bei näherer Betrachtung wird man fast immer feststellen können, daß die *Auswahl* dieser Tatsachen und die Art und Weise, wie sich diese Auswahl im Kopfe des Theoretikers zu einer Behauptung kristallisiert, mit der die Theorie beginnt, von Motiven entschieden nicht-rationaler Natur diktiert ist, die mit mythischen Vorstellungen verknüpft sind. Die Geschichte der antiken Naturphilosophie ist das klarste Beispiel für den mythischen Charakter der Leitmotive, die zur Bildung einer wissenschaftlichen Theorie führen. Denn im naturwissenschaftlichen Denken der Antike überdeckten sich noch weitgehend die Welt des Mythos und die der Ratio, und der Prozeß der Ablösung des rationalen Denkens von mythologischen Ideen und Begriffen vollzog sich im Laufe von Jahrhunderten und führte nicht zu einer vollständigen Trennung beider Welten. Man

denke an die drei oder vier Jahrhunderte von Thales und seinen milesischen Nachfolgern bis Zenon und Chrysipp, den Begründern der Physik der Stoiker, deren Theorie von den mythischen Ideen vorsokratischer Philosophen beeinflusst wurde.

In der Wissenschaft der Neuzeit, die seit der Renaissance von rationalen Überlegungen weitgehend beherrscht war, liegen die Zusammenhänge von rationalem Denken und irrationalen Vorstellungen zwar nicht so klar zutage wie in der Antike. Die Geschichte der physikalischen Theorienbildung in den dreihundert Jahren von Galilei bis Einstein zeigt jedoch, daß auch in dieser Periode die großen physikalischen Systeme, die auf ein umfassendes, die ganze Realität darstellendes Weltbild hinielten, auf Vorstellungen und leitenden Ideen beruhten, die a priori logisch nicht begründbar und aus der Erfahrung allein nicht beweisbar waren. Die Leitomotive, die zur Aufstellung des jeweiligen wissenschaftlichen Weltbildes führten, waren vielmehr Glaubenssätze und unbeweisbare Überzeugungen, deren Berechtigung erst post factum, nach dem Gelingen des ganzen Wurfes erkannt werden konnte. Manche dieser Glaubenssätze erfüllen die Funktion des Mythos der Antike. Im ersten Teil meines Vortrages will ich meine These an drei Beispielen aus der Zeit der Vorsokratiker erläutern: An den Lehren von Heraklit, Empedokles sowie Pythagoras und seiner Schule, deren Wirken eine Zeitspanne von etwa 150 Jahren umfaßt (550–400 v. Chr.).

Heraklit hat wie kein anderer Philosoph der griechischen Antike den dauernden Wechsel betont, der das gesamte Gefüge des materiellen Universums kennzeichnet. Dieser ewige Wechsel ist das am meisten hervorstechende Phänomen der sichtbaren Welt, dessen Anzeichen man an allen Gegebenheiten und Vorgängen am Himmel und auf der Erde erkennen kann. Einer der bekanntesten Aussprüche Heraklits ist schon von Platon zitiert: „Heraklit sagt irgendwo, daß alles in Bewegung sei und daß nichts stillsteht, und, die existierenden Dinge mit dem Strömen eines Flusses vergleichend, sagt er, daß du niemals zweimal in denselben Fluß tauchen kannst.“¹ Ein anderer Ausspruch: „Der Krieg ist der Vater aller

¹ Platon, *Kratylos* 402 A

Dinge, der König aller Dinge, die einen macht er zu Göttern, die anderen zu Menschen, die einen zu Sklaven, die anderen zu Freien“², läuft auf denselben Gedanken hinaus, denn „Krieg“ ist Heraklits Metapher für die Herrschaft des Wechsels in der Welt.

Dieser ewige Wechsel, dieser dauernde Fluß aller Dinge ist aber nach Heraklit keine chaotische Erscheinung, sondern er weist Merkmale auf, an denen das Wirken eines Weltgesetzes, eines allumfassenden Planes oder einer maßhaltenden Anordnung erkennbar ist. Das Maß, das allein Wechsel innewohnt, verleiht ihm die Stabilität, die von entscheidender Bedeutung für die Summe alles physikalischen Geschehens ist. Dieses Maß, diese Proportioniertheit aller Vorgänge, ist ein universaler Grundzug, der allen Dingen der Welt gemeinsam ist. Heraklit bezeichnet diese mythische, alles einigende und regelnde Gegebenheit mit dem Wort „Logos“. Wenn man diesen Logos begreift, so wird man verstehen, daß durch sein Wirken die Vielfalt der wechselnden Erscheinungen zu einem einzigen, kohärenten Komplex wird. Die Menschen jedoch, betont Heraklit, verstehen weder den Logos noch seine Bedeutung als Schöpfer des Gemeinsamen, dessen Walten auch den Menschen eine sie einigende Vernunft verleiht. Dies ist der Sinn der beiden wichtigsten der uns erhaltenen Fragmente: „Die Menschen haben kein Verständnis für den Logos, wie ich ihn beschreibe, weder ehe sie davon gehört haben, noch nachher. Denn obwohl alle Dinge gemäß diesem Logos geschehen, sind die Menschen, als wären sie ohne Erfahrung.“ Und ferner: „Daher muß man dem Gemeinsamen folgen; aber obwohl der Logos gemeinsam ist, leben die meisten so, als ob sie ein Denken haben, das nur ihnen eignet.“³

Das Walten des mythischen Logos erkennt man nach Heraklit am simultanen Auftreten und inhärenten Zusammenhang entgegengesetzter Tendenzen des kosmischen Geschehens. Die antithetischen Spannungen, die man an vielen Naturvorgängen beobachtet, vergleicht Heraklit in seinem berühmten Bild des gespannten Bogens oder der gespannten Saite einer Leier; ohne die Spannung und die

² Hippolyt., *Refut.* IX, 9, 4

³ Sextus, *adv. math.* VII, 132–133

ihnen innewohnende Harmonie des Entgegengesetzten gäbe es kein Geschehen, keinen Wechsel, der eben in der Auslösung dieser Spannung besteht. Diesen Aspekt der simultanen Gegensätzlichkeit in der Natur habe ich in einem meiner ersten Eranos-Vorträge besprochen. Andere Fragmente von Heraklit illustrieren in verschiedenen Formulierungen die Einheit der Gegensätze, so z. B. „Der Weg aufwärts und abwärts ist ein und derselbe“⁴, oder die entgegengesetzten Wirkungen ein und derselben Dinge, z. B. „Das Meer ist das reinste und das unreinste Wasser, es ist trinkbar und heilsam für Fische und untrinkbar und verderblich für Menschen“.⁵ Und schließlich: „Verbundenes ist ganz und nicht ganz; etwas, was vereint und getrennt ist, was im Gleichklang und im Zweiklang ist; aus allem kommt Einheit, und aus der Einheit alles.“⁶ Mit anderen Worten: Alles Zusammengefaßte besteht wesentlich aus Gegensätzen; ferner kann es sowohl als ein Ganzes als auch als eine Komponente des Ganzen aufgefaßt werden. Miteinander verbundene Dinge können als eine Einheit gesehen werden, während eine Einheit als Summe vieler Komponenten oder Aspekte dargestellt werden kann.

Eine andere Metapher Heraklits für das allem Wechsel zugrunde liegende und einheitliche Maß der Dinge, oder anders ausgedrückt, eine konkrete Darstellung des abstrakten Logos, ist das Feuer, das den ewig maßhaltenden Wechsel der Weltordnung symbolisiert. In einem Fragment heißt es: „Diese Weltordnung schuf weder einer der Götter noch einer der Menschen, sondern für immer war, ist und wird sie sein, ein ewig lebendes Feuer, nach Maßen aufflackernd und nach Maßen erlöschend.“⁷ Das Feuer, die dauernde Quelle aller Naturprozesse, dessen Brennen zwar kein konstanter, aber ein regulärer Vorgang ist, verkörpert die Herrschaft des Maßes im Wechsel der kosmischen Erscheinungen, die stabilisierende

4 Hippolyt., *a.a.O.*, IX, 10, 4

5 *A.a.O.*, IX, 10, 5

6 *De mundo*, 396b 20

7 Clemens, *Strom.* V, 104, 1

Macht des Logos. Das Feuer bestimmt die Struktur und das Verhalten der Dinge, durch die sowohl die Gegensätze als auch die Einheit dieser Gegensätze erhalten bleiben. Aus einem anderen Fragment scheint hervorzugehen, daß dieses Feuer, das alles Geschehen steuert, göttlichen Ursprungs ist: „Der Blitz steuert alle Dinge.“⁸ Andere Fragmente deuten auf die Eigenschaft des Feuers als der kontinuierlichen Grundlage aller Wandlungen hin, denen die Materie unterliegt, das Wasser der Meere und die Erde mit eingeschlossen. In diesem Sinne muß man auch das bekannte Fragment verstehen: „Alle Dinge sind ein Austausch für Feuer, und Feuer für alle Dinge, wie Waren für Gold und Gold für Waren.“⁹ Die vielleicht absichtlich schwere Verständlichkeit der heraklitischen Aussprüche zwingt fast immer zu verschiedenen Interpretationen, und das zuletzt zitierte Fragment könnte auch so gedeutet werden, daß Heraklit dem Feuer die Rolle eines Elements zugeschrieben hat, ähnlich wie Thales dem Wasser oder Anaximenes der Luft. Jedenfalls tritt es bei Empedokles als eines der vier Elemente auf, aus denen sich alle Materie zusammensetzt.

Schließlich möchte ich darauf hinweisen, daß nach Heraklit auch die menschliche Seele aus Feuer besteht, und daß dieses Feuer der Seele eng mit dem kosmischen Feuer zusammenhängt. Auf diese Weise wird auch der Mensch mit seinen Eigenschaften und Wandlungen zu einem integralen Teil des Kosmos, und die Anthropologie wird zu einem Kapitel der Kosmologie. Die Weisheit des Menschen besteht im Erfassen des Logos, im Erkennen der gemeinsamen Struktur der kosmischen und menschlichen Vorgänge, und seines materiellen Aspekts, des Feuers.

Heraklits häufig kryptische Äußerungen wurden zur Grundlage einer wissenschaftlichen Betrachtung der Dinge, die sowohl Physik wie Ethik umfaßt. Zweihundert Jahre nach seinem Wirken hat Zenon, der Begründer der stoischen Philosophie, diese poetisch verbränten Ideen zur Basis einer Wissenschaft gemacht, die eine Generation später durch Chrysipp weiter ausgebaut wurde. Der

8 Hippolyt., *a.a.O.*, IX, 10, 6

9 Plutarch, *de E*, 388 D

heraklitische Mythos als Leitmotiv der wissenschaftlichen Theorie der Stoiker ist trotz der nur fragmentarisch erhaltenen Doktrin von Zenon und Chrysipp klar erkennbar. Diese Fragmente zeigen, daß die Begründer der Stoa an den zwei mythischen Begriffen Heraklits festhielten. Einerseits ist der Logos der Gestalter der Welt – von da leitet sich die Physik der Stoiker her, sowie ihre Normen für das menschliche Handeln, von denen die stoische Ethik ausgeht – und andererseits wurde auch die zentrale Stelle des Feuers beibehalten. Die schöpferische Kraft des Feuers, das „auf methodische Weise zum Schaffen schreitet“¹⁰, zeigt sich am gesamten Naturgeschehen. Darüber hinaus wurde aber der Gedanke der Aktivität des Feuers systematisch erweitert. Seine wärmende Eigenschaft war der Ausgangspunkt einer Reihe von thermodynamischen Begriffen, mit denen die ersten Stoiker vor allem die Funktion der Wärme in organischen Prozessen darstellen. Cicero zitiert einige dieser Aussagen: „Es ist ein Naturgesetz, daß alle Dinge, die Nahrung aufnehmen und wachsen, einen Vorrat an Wärme enthalten [...]. Denn alles, was heiß und feurig ist, ist seine eigene Quelle der Bewegung und Aktivität [...]. Daraus muß man schließen, daß dieses Element der Wärme eine vitale Kraft enthält, welche die ganze Welt durchzieht.“¹¹

Zur aktiven Natur des Feuers gesellt sich im stoischen System die der Luft; ihre elastischen Eigenschaften, ihr Zusammenhang mit dem Atem und daher auch mit der Seele machen die Luft neben dem Feuer zum aktiven Element. Eine fundamentale Konzeption der Stoiker war die Hypothese eines alldurchdringenden Substrats, das aus einer Mischung der aktiven Elemente Feuer und Luft besteht – des Pneumas. Das Pneuma mit seiner Spannkraft hat zwei primäre Funktionen. Seine totale, kontinuierliche Durchdringung des gesamten Kosmos macht die Vielfalt der Dinge zu einem einzigen kohärenten Ganzen, und andererseits verleiht es der formlosen Urmaterie ihre verschiedenen Qualitäten, je nach dem kontinuierlich variierbaren Verhältnis der beiden Komponenten Feuer und

¹⁰ Diogenes Laert., VII, 136

¹¹ Cicero, *de nat. deor.* II, 23 ff.

Luft. An diesen beiden Funktionen erkennt man die Herkunft des stoischen Pneumas vom heraklitischen Logos und dessen Konkretisierung als Feuer. Das Pneuma verleiht der Vielfalt der Erscheinungen eine einigende Kohärenz, und es reguliert und proportioniert die Gesamtheit des Wechsels.

Das Pneuma schafft nicht nur die Kontinuität aller kosmischen Gegebenheiten, sondern es ist auch der Ursprung der Kontinuität alles materiellen Geschehens, vermöge seiner Eigenschaft, eine Wechselbeziehung zwischen allen Vorgängen, auch den räumlich voneinander entfernten herzustellen. So erfährt der Logosbegriff Heraklits eine weitere Präzisierung in der stoischen Physik. Die einigende und regulierende Eigenschaft des Logos wird zum alles verbindenden Kausalnex, der Gesamtheit der Relationen von Ursache und Wirkung. Die Welt wird so zu einer Einheit, deren Ursachenreihen miteinander verkettet sind, und zwar ist hier die Funktion des Pneumas als Medium, das die kausalen Beziehungen vermittelt, sowohl infolge seiner Kontinuität als auch der ihm innewohnenden Spannungen klar erkenntlich.

Die Formulierung des Kausalgesetzes und die Betonung und Begründung seiner universellen Geltung sowie die daraus folgende Doktrin des Determinismus war die Krönung der stoischen Kontinuumsphysik. Über den Determinismus der Stoiker und den Begriff des unabwendbaren Schicksals des göttlichen und geordneten Ineinandergreifens der Folge aller Ereignisse habe ich schon früher in diesem Kreise gesprochen. Ich will jetzt nicht näher darauf zurückkommen, denn in diesem Kontext liegt es mir nur daran, kurz zu skizzieren, wie die mythischen Vorstellungen Heraklits zum Leitmotiv der stoischen Naturwissenschaft wurden, der dritten umfassenden wissenschaftlichen Theorie der Antike, nach der des Aristoteles und der auf dem Atomismus beruhenden Theorie der Epikureer.

Etwa fünfzig Jahre jünger als Heraklit war Empedokles, dessen Reifezeit in die Mitte des fünften vorchristlichen Jahrhunderts fällt. Die Besprechung der Lehre dieses sizilianischen Philosophen, in der sich naturwissenschaftliches Denken, mystische Vorstellungen

und dichterische Kraft zu einer großartigen Synthese vereinen, muß notwendigerweise summarisch sein, wenn sie sich auf den Rahmen unseres Themas beschränken soll. Von Empedokles sind uns leider nur Fragmente zweier großer Dichtungen erhalten, des Gedichts „Über die Natur“, das physikalischen Inhalts ist, und des Gedichts „Reinigungen“ (Katharmoi) oder „Entsühnungen“, mythologisch-religiösen Inhalts. Sowohl die Unvollständigkeit wie die poetische Form des uns Erhaltenen hat zu verschiedenen Interpretationen beider Gedichte und der Bedeutung ihres Zusammenhangs geführt. Wenn ich mich an eine dieser Interpretationen halte, so bin ich mir bewußt, daß ich strittiges Gebiet betrete.

Diese Einschränkung vorweggenommen, bieten beide Dichtungen des Empedokles ein ideales Beispiel für irrationale Vorstellungen, die zu Leitmotiven für die Konzeption physikalischer Begriffe wurden. Diese Gedichte handeln von einem Zyklus oder Kreislauf: die „Reinigungen“ beschreiben den Urzustand der Seele, den Zustand ihrer Reinheit und Unschuld, ihren Sündenfall und ihre Rückkehr zur Seligkeit, die durch Askese und andere Entsühnungen ermöglicht wird. Das Gedicht „Über die Natur“ schildert einen kosmologischen Kreislauf. Der Zustand der Liebe hält die materielle Welt in einer alles einigenden Kugel zusammen, die dann durch das Eindringen und Überhandnehmen des Streites gesprengt wird, woraus sich die Vielfalt des physikalischen Geschehens entwickelt. Diese wird dann wiederum infolge der wachsenden Vorherrschaft der Liebe zu einer Einheit.

Eine plausible Annahme ist, daß bei diesem offenkundigen Parallelismus beider Zyklen der mythische Kreislauf der Seele die primäre Vorstellung war, aus der Empedokles seinen kosmologischen, durch zwei entgegengesetzte Mächte bestimmten Kreislauf entwickelte – durch die Liebe und den Streit. Diese beiden Mächte sind die Vorbilder zweier physikalischer Begriffe, der Anziehungskraft und der Abstoßungskraft, welche die Physik der Neuzeit weitgehend beherrscht haben und noch heute beherrschen. Auf diese Weise verbinden Empedokles' Dichtungen im Zeitalter des Übergangs von der Mythologie zum wissenschaftlichen Denken

religiös-mystische Vorstellungen mit physikalischen Ideen, wobei die ersteren zu Leitmotiven für die letzteren werden. Die religiöse Mystik fand ihren poetischen Niederschlag wohl schon im 6. Jahrhundert v. Chr. und gelangte unter dem Sammelnamen „orphische Dichtung“ im hellenistischen und neuplatonischen Zeitalter zu großer Bedeutung, vor allem aufgrund ihrer kosmogonischen Mythen.

In unserem Kontext ist der Seelenglaube der Orphik von Wichtigkeit wegen seines Einflusses auf Empedokles. Die Seele ist göttlicher Natur, und ihr ursprüngliches Dasein in vollkommener Reinheit ist das Kennzeichen des oft besungenen Goldenen Zeitalters, das Pindar in einer seiner orphischen Oden mit der Allegorie der Insel der Seligen beschrieben hat.¹² Der Sturz der Seele von ihrer überirdischen Existenz verwandelt den menschlichen Körper, in dem sie eingeschlossen ist, in ein Gefängnis. Platon läßt Sokrates sagen, daß die „Anhänger des Orpheus“ glauben, die Seele tue Buße für ihre Sünden und der menschliche Leib halte sie gefangen, „bis sie geschuldete Strafe abverdient hat“.¹³ Die Sehnsucht nach der Erlösung aus diesem Zustand und der Rückkehr zum göttlichen Dasein hat zur Askese der orphischen Sekte geführt, die vor allem in strenger Enthaltung von jeder Fleischnahrung bestand, die ja mit Blutvergießen verbunden ist. Im orphischen Mythos haben die Titanen diese Ursünde begangen, als sie das Kind Dionysos zerfleischten und verzehrten. Bei Empedokles ist die Ursünde verallgemeinert und wird mit dem Blutvergießen überhaupt und insbesondere mit dem Genuß von Fleisch assoziiert.

Nach diesen Andeutungen des orphischen Ursprungs der „Entsühnungen“ von Empedokles möchte ich einige typische Zitate aus dieser Dichtung bringen. Zunächst die Schilderung des Urzustands der Seele: „Bei ihnen gab es noch keinen Gott des Krieges oder des Schlachtgetümmels, keinen König Zeus oder Kronos oder Poseidon, sondern Liebe war die Königin [...]. Da wurde kein Altar mit reinem Stierblut getränkt, denn dies galt den Menschen als

¹² Pindar, *Olymp. Oden* II, 61 ff.

¹³ Platon, *Kratylos* 400 B–C

Wesentliche möchte ich hier zitieren: „Zweierlei will ich dir künden. Einmal wächst ein einziges Sein aus Mehrerem heran, ein andermal scheidet es sich wieder und wird so aus Einem zu Mehrerem. Zweifach ist also der sterblichen Dinge Entstehung, zweifach auch ihre Abnahme [...]. Und diese ständige Wandlung kommt nimmer zur Ruhe: bald vereinigt sich alles zu Einem durch die Liebe, bald aber trennen sich wieder die einzelnen Stoffe im Haß des Streites. Insoweit [...] aus dem Zerfall des Einen wieder Mehreres entwächst, entstehen sie, und ihr Leben bleibt nicht unverändert; insofern aber ihre ständige Umwandlung nie aufhört, bleiben sie während des Kreislaufs unveränderlich [...] Feuer, Wasser, Erde und der Luft unendliche Höhe; von diesen aber abgesondert der unselige Streit, der überall gleich gewichtige, und inmitten die Liebe, in Länge und Breite die gleiche [...]. Diese alle sind gleich stark und von gleicher Entstammung. Jedes aber von ihnen hat ein anderes Amt und sein besonderes Wesen, eins ums andere gewinnen sie Macht im Umlauf der Zeiten.“¹⁹

Hierzu sei noch einiges bemerkt: Die beiden entgegengesetzten Naturkräfte werden von Empedokles als triebhafte Mächte aufgefaßt, analog den gegensätzlichen Gemütsbewegungen des Menschen, und so wird eine enge Verbindung des Universums, des Makrokosmos, mit dem menschlichen Mikrokosmos hergestellt. Andererseits aber sieht Empedokles die beiden Kräfte als körperlich an, als Gegebenheiten, die eine räumliche Erstreckung haben. Dies sind jedoch Umstände, die nur sekundär sind angesichts der wesentlichen Tatsache, daß hier zum ersten Mal in der Geschichte des physikalischen Denkens zwischen Stoff und Kraft unterschieden wird, zwischen der Materie, die aus unveränderlichen Elementen besteht, und dem bewegenden Prinzip zweier, miteinander in ewigem Kampf liegenden Kräfte. Der Kraftbegriff des Empedokles wurde so zum ersten Glied einer langen Kette von konzeptuellen Entwicklungen, von der ich nur zwei weitere Glieder erwähnen will. Aristoteles Physik unterscheidet zweierlei Bewegungen: Die natürliche Bewegung als Folge des inneren Strebens eines Körpers

¹⁹ Simpl., *Phys.* 118, 1 ff.

nach seinem natürlichen Ort hin, also z. B. das Streben schwerer Körper nach unten, und die erzwungene Bewegung, deren Ursache außerhalb des Körpers liegt. Diese bezeichnet Aristoteles mit dem Namen „Das Bewegende“ oder auch mit dem Terminus *dynamis*, also Kraft. In der Neuzeit hat Newton in der Einleitung zu seinem Hauptwerk den folgenden berühmten Satz formuliert: „Der Kern der Physik besteht offenbar darin, aus den Erscheinungen der Bewegung die Kräfte der Natur zu erforschen und hierauf durch diese Kräfte die übrigen Erscheinungen zu erklären.“²⁰

Auch die Postulierung zweier gegensätzlicher Kräfte hat in der neuzeitlichen Physik eine lange Nachfolge gehabt. In der Mikrophysik sind es die Attraktions- und Repulsionskräfte der elementaren Teilchen, sowohl die der elektrischen Ladungen als die der im Atomkern zusammengehaltenen Partikeln, und in der Makrophysik die Gravitationskraft, die immer anziehend wirkt und die der universellen Fliehbewegung entgegengesetzt ist. Die letztere ist die Folge des explosiven Urknalls, der zur Expansion unserer Welt führte. In der heutigen Kosmologie spekuliert man über eine mögliche Kontraktion des Universums, die seiner Expansion folgen könnte. Das würde also ein Oszillieren kosmischer Mächte bedeuten, einen Weltprozeß, der aus nacheinander folgenden Phasen der Abstoßung und Anziehung besteht. Empedokles nimmt in seiner Kosmogonie diese zyklische Aufeinanderfolge von Liebe und Streit im wesentlichen aus dem Grunde an, weil damit ein vollkommener Parallelismus von kosmischem Kreislauf und dem Zyklus der Seele statuiert wird. Dieser Parallelismus erscheint etwas forciert, denn Empedokles hätte ja auch ein simultanes dynamisches Gleichgewicht von Liebe und Streit postulieren können, durch das der Weltprozeß erhalten wird, ein Gleichgewicht ähnlich dem, das die heutige Mikrophysik annimmt. Wie ich schon vorher erwähnte, spricht dieser forcierte Parallelismus dafür, daß der primäre Gedanke in der Lehre des Empedokles der des seelischen Kreislaufs war; er diene als Vorbild für einen physikalischen Kreislauf, der zum Kern des wissenschaftlichen Begriffs der Kraft wurde.

²⁰ I. Newton, *Die math. Prinzipien der Physik* (1687), Einleitung

Schließlich sei die Lehre des Pythagoras als drittes der Antike entnommenes Beispiel dafür herangezogen, daß ein Mythos zum Leitmotiv für die Bildung einer Theorie wird. In diesem Falle ist das Wort »Theorie« zu eng gefaßt, denn es handelt sich darum, daß eine ganze wissenschaftliche Disziplin, nämlich die Mathematik, mit einem Mythos begann, der eine zentrale Stellung im pythagoreischen Denken und Handeln einnahm. Als Pythagoras etwa in der Mitte des sechsten Jahrhunderts v. Chr. seinen Geburtsort, die Insel Samos, verließ und nach Kroton in Unteritalien ging, war diese Umsiedlung mit der Gründung eines religiösen Bundes oder Ordens verbunden, der, viele Wechselfälle überdauernd, noch zu Platons Zeit fortbestand. Die Entstehung und Anfangsperiode dieses Bundes ist in Dunkel gehüllt, und seine Glaubensartikel und Verhaltensregeln waren nur den Adepten bekannt, denen sie mündlich weitergegeben wurden. Die Annahme, daß dieser Geheimbund nach dem Vorbild orphischer Sekten gebildet war, ist durchaus naheliegend, denn auch bei den Pythagoreern spielt die Reinheit der Seele eine für ihren Lebenswandel richtunggebende Rolle, ein Lebenswandel, der sittlich-religiöse Ziele verfolgte und den übrigens auch Platon im *Staat* erwähnt.

Die Seele kann nur rein sein, wenn sie einem Prozeß der Reinigung unterworfen wird. Über diese Reinigung spricht Platon verschiedentlich in seinen Dialogen. Im *Sophist* heißt es, daß es zwei Arten von Reinigung gibt, die eine bezieht sich auf die Seele, die andere auf den Leib²¹; und im *Kratylos* wird von den vier Wirkungsarten Apollons gesprochen, der Musik, der Mantik, der Medizin und der Kunst des Bogenschützen, die zusammen eine Harmonie bilden. In der Medizin und der Mantik gebe es verschiedene Reinigungsmethoden, welche dieselbe Aufgabe haben – den Menschen an Leib und Seele rein zu machen.²² Ein Fragment des Musiktheoretikers Aristoxenos, eines Aristotelesschülers, sagt ausdrücklich:

²¹ Platon, *Sophist* 117 C

²² Ders., *Kratylos* 405 A

„Die Pythagoreer praktizierten die Reinigung des Körpers mittels der Medizin und die der Seele mittels der Musik.“²³

Der Hauptzweck dieser Reinigung der Seele war der, sie für die Betrachtung des Kosmos, also der harmonischen Anordnung des Universums, instand zu setzen. Die Bezeichnung »Kosmos« für die Welt als ein geordnetes Ganzes soll zum ersten Mal von Pythagoras selbst eingeführt worden sein.²⁴ Dieser Begriff der Ordnung, die der Welt innewohnt, ist der zentrale Mythos der Pythagoreer, von dem ich vorher sprach. Da der Mensch ein integraler Teil dieser Weltordnung ist, kann er sich nur dann ihrer Betrachtung in vollem Maße hingeben, wenn auch seine Seele sich im Zustand der Ordnung befindet, in jenem ungetrübten Zustand, in den sie durch die angemessenen Reinigungszeremonien versetzt wird. Jetzt kann man auch verstehen, warum die Musik das geeignete Mittel ist, die Seele zu reinigen, denn die musikalischen Harmonien sind der Teil der universellen Harmonie, welcher der Sinneswahrnehmung des Menschen unmittelbar zugänglich ist. Das Anhören von Musik stimmt die menschliche Seele auf die gesamte Harmonie der kosmischen Ordnung ab.

Der Begriff der Ordnung ist nicht mit einer Qualität assoziiert, z. B. der eines materiellen Elements, sondern mit der Quantität, also, allgemein gesprochen, mit der Zahl. Die Zahl, und nicht die Materie, wurde so für die Pythagoreer zum Urgrund aller Dinge, und zwar nicht nur die ganzen Zahlen und alle anderen Objekte der Arithmetik, sondern auch die Proportionen, die sehr anschaulich durch geometrische Gegebenheiten, wie Verhältnisse von Strecken, dargestellt werden können. Das Studium arithmetischer und geometrischer Beziehungen wurde so, neben dem der Musik, zu einer der Formen der Kontemplation, die nach Pythagoras und seiner Schule dem Menschen die wahre Weltordnung erschließt. In seinem Kommentar zu Euklid sagt Proklos: „So machte Pythagoras die Wissenschaft der Geometrie zu einer Form der Erziehung zur Freiheit, indem er ihre Prinzipien in einer höheren Realität er-

²³ Aristoxenos, fr. 26 (Wehrli)

²⁴ Actus II, 1, 1

forschte.“²⁵ Ergänzend muß man hinzufügen, daß ja die Geometrie als die angewandte Wissenschaft einer niederen Realität begann, nämlich der Landvermessung.

Da ich schon häufig im Eranos über die Pythagoreer gesprochen habe, will ich mich jetzt mit einem Zitat von Aristoteles begnügen: „Die sogenannten Pythagoreer beschäftigten sich mit Mathematik und waren die ersten, die diese Wissenschaft entwickelten. Durch ihr Studium kamen sie zum Glauben, daß die Prinzipien der Mathematik diejenigen aller Dinge seien. Und da die Zahlen von Natur aus die ersten dieser Prinzipien sind und sie glaubten, in ihnen viele Ähnlichkeiten mit Dingen, die sind und werden, entdecken zu können [...], so nahmen sie an, daß die Elemente der Zahlen diejenigen von allem seien und daß das ganze Universum eine Harmonie oder Zahl sei.“²⁶

Zahlentheorie und Geometrie wurden von den Pythagoreern als wissenschaftliche Disziplinen entwickelt, aus denen schließlich in Antike und Neuzeit die Mathematik als eine der fundamentalen Wissenschaften hervorging, als Produkt der wahren Kontemplation, die den Mythos der Weltordnung zum Gegenstand hatte. Im Griechischen heißt Kontemplation „theoria“ und ist gleichbedeutend mit Sehen, Schauen, was auch geistige Schau mit einbegreift. So wird der Ausspruch von Pythagoras verständlich, der das Leben mit den olympischen Festspielen vergleicht, die von drei Kategorien von Menschen besucht werden: „Einige gehen dorthin, um in den Wettkämpfen Erfolg einzuheimsen, andere, um Handel zu treiben, die Besten aber kommen als Zuschauer; so sind im Leben die sklavischen Menschen Jäger nach Ruhm und Gewinn, aber die Philosophen erstreben die Betrachtung der Wahrheit.“²⁷

²⁵ Proklos, *In Eucl.*, p. 65 (Friedlein)

²⁶ Aristoteles, *Metaph.* 985 b 23 ff.

²⁷ Diog. Laert., VIII, 8

II

Zwei grundlegende und umfassende Ideen, die der Einheit und die der Einfachheit, haben großen Naturwissenschaftlern der Neuzeit ihren Weg zu neuen Erkenntnissen und zur Aufstellung von neuen Theorien gewiesen. Diese beiden Ideen waren a priori nicht logisch zu begründen, und a posteriori konnten sie erst durch ihren Erfolg gerechtfertigt werden. Man kann mit einer gewissen Zuspitzung Einheit und Einfachheit in ihrer Anwendung auf die Naturforschung als Mythen bezeichnen, aber Mythen von großer heuristischer Bedeutung für den Weg rationalen Erkennens. Ich beginne mit Galilei, der mit seiner Entdeckung der Fallgesetze die moderne Mechanik eingeleitet hat. Der Gedanke der Einheit spielt bei ihm in zwei Zusammenhängen eine wichtige Rolle, einmal in seinem Kampf um die Unabhängigkeit der Naturwissenschaft und ihrer Etablierung als einem autonomen Bezirk menschlichen Denkens und dann in seiner Polemik gegen die aristotelische Physik, die zugleich auch die Physik der Scholastik war.

Nach der Aufstellung des heliozentrischen Systems drehte sich ein Teil der Auseinandersetzungen der Anhänger des Kopernikus mit den Vertretern der Kirche um die Frage, wie verschiedene Bibelstellen mit der Hypothese von der Ruhe der Sonne und der Bewegung der Erde vereinbart werden können. Galilei, ein frommer Katholik, hat sich zu diesem Thema mehrfach geäußert, z. B. in seinem Brief an Christina, die Großherzogin von Toscana. Der Kern seiner Ausführungen ist der: Es gibt nur *eine* Wahrheit, die uns jedoch in zwei Aspekten erscheint, in den Worten der Heiligen Schrift und in den Naturvorgängen; beide Aspekte haben ein und denselben Ursprung, nämlich das göttliche Wort. Galilei fährt nun fort: „Da es die Art der Schrift ist, daß sie – um mit dem allgemeinen Verständnis übereinzustimmen – viele Dinge sagt, die offenbar von der absoluten Wahrheit abweichen, insofern man die Schrift wörtlich versteht, da aber andererseits die Natur unerbittlich und unwandelbar ist, die Grenzen der ihr auferlegten Gesetze niemals über-

schreitet und sich nicht darum kümmert, ob ihre verborgenen Gründe und Wirkungsarten dem Verständnis der Menschen zugänglich sind oder nicht: darum scheint es, daß keine der Naturerscheinungen [...] in irgendeinen Zweifel gezogen oder bestritten werden kann, weil einige Stellen in der Heiligen Schrift – wörtlich genommen – damit nicht übereinstimmen. Nicht alles, was in der Schrift gesagt ist, scheint der gleichen Genauigkeit verpflichtet zu sein, wie jede Naturerscheinung es ist; Gott aber offenbart sich in nicht geringerem Maße in den Naturerscheinungen als in den heiligen Worten der Schrift. Dies möglicherweise meinte Tertullian, als er sagte: Wir behaupten, daß Gott zunächst aus der Natur zu erkennen, dann aus der Lehre wiederzuerkennen sei – aus der Natur durch seine Taten, aus der Lehre durch seine Aussagen.²⁸

In dieser bemerkenswerten Argumentation hat sich Galilei zum Vertechter einer Auffassung gemacht, deren historische Konsequenzen bekannt sind. Nach dieser Auffassung gibt es selbstverständlich nur *eine* Wahrheit, aber in der Bibel wird sie in menschlicher Sprache ausgedrückt, die verschiedene Auslegungen zuläßt, während die Sprache der Natur eindeutig ist. Daß auch die Sinneswahrnehmungen Interpretationen unterliegen, daß auch die Schrift der Natur richtig gelesen werden muß – davon ist bei Galilei allerdings nicht die Rede. Jedenfalls war die von ihm nicht beabsichtigte Folge die, daß es für die Naturwissenschaft völlig irrelevant wurde, was in der Bibel geschrieben steht, und daß sie schließlich zu einem autonomen, von der Vormundschaft der institutionellen Religion unabhängigen Gebiet menschlichen Denkens wurde.

Von nicht geringerer Tragweite war Galileis Negierung mehrerer Grundsätze der aristotelisch-scholastischen Physik, darunter der Behauptung von der Dichotomie von Himmel und Erde. Er bestritt energisch die These von der Unveränderlichkeit der Himmelsregion als hervorstechendem Merkmal ihrer Vollkommenheit, im Gegensatz zur Veränderlichkeit der unvollkommenen sublunaren Region. Die Unveränderlichkeit der Himmelskörper wurde von Aristoteles damit begründet, daß sie aus dem fünften Element, dem

²⁸ Siehe: *Der Weg der Physik* (Hrsg. S. Sambursky, Zürich 1975), S. 184

unzerstörbaren Äther bestehen, im Gegensatz zu den irdischen Körpern, die aus den vier wandelbaren Elementen Feuer, Wasser, Erde und Luft zusammengesetzt sind. Ferner seien die Bewegungen der Sterne kreisförmig, hätten also weder Anfang noch Ende und sind mit der ewigen Ruhe vergleichbar, während die Bewegungen irdischer Körper unregelmäßig sind, einen Anfang haben und ein Ende nehmen.

Galilei argumentiert gegen diese Auffassung von zwei Ausgangspunkten her, einem empirischen und einem prinzipiellen. Mit seinem Ende 1609 konstruierten Teleskop hatte er zu Beginn des folgenden Jahres mehrere bedeutende astronomische Entdeckungen gemacht, darunter auch die Existenz der Sonnenflecken. Diese wurden kurz danach von mehreren Astronomen unabhängig voneinander beobachtet und verschiedentlich gedeutet, darunter auch von dem jesuitischen Theologen und Astronomen Christoph Scheiner aus Ingolstadt, der behauptete, die Sonnenflecken seien Planeten, die in dem Raum zwischen Erde und Sonne um die Sonne kreisen. Galilei hingegen wies überzeugend nach, daß die Flecken sich dauernd verändern, entstehen, ihre Größe und Form ändern und sich dann auflösen. Die Flecken, so schloß Galilei, befinden sich auf der Sonnenoberfläche, und ihre Bewegung rührt von der Rotation der Sonne um ihre Achse her. In seinen Briefen an Scheiner konnte er diesen richtigen Schluß mit den beobachteten Tatbeständen ausführlich begründen. Zwanzig Jahre später, im Jahre 1632, publizierte er den ganzen Sachverhalt in seinem *Dialog über die zwei hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische*.²⁹ Die Entdeckung und richtige Deutung der Sonnenflecken machte somit dem Glauben an die ewige Unveränderlichkeit der Himmelsregion ein Ende und wurde zu einem der Meilensteine auf dem Wege zur Erkenntnis der Einheit von Himmel und Erde, welche die aristotelische Zweiteilung dieser Regionen endgültig demolierte.

In demselben Werk faßte Galilei das gleiche Thema von einer

²⁹ A.a.O., S. 285–287

prinzipiellen Sicht aus an.³⁰ In seinem brillanten Stil argumentiert er zugunsten der Überlegenheit der Veränderung gegenüber der Unveränderlichkeit in der Kosmologie. Er läßt einen der Teilnehmer am Dialog mit folgenden Sätzen beginnen: „Ich kann nur mit größter Verwunderung, ja mit größtem innerem Widerstreben anhören, daß die Eigenschaften des Unbeeinflußbaren, Unveränderlichen, Unwandelbaren usw. den Naturkörpern, welche das Weltall zusammensetzen, als etwas Vornehmes und Vollkommenes zugeschrieben werden, und im Gegensatz dazu die Wandelbarkeit, Erzeugbarkeit, Veränderlichkeit usw. als etwas sehr Unvollkommenes gelten sollen. Ich für mein Teil halte die Erde für höchst vornehm und bewundernswert gerade wegen der vielen verschiedenartigen Wandlungen, Veränderungen, Erzeugungen usw., die ohne Unterlaß auf ihr sich abspielen. Wäre sie im Gegenteil keiner Änderung unterworfen [...], so würde ich sie für ein auf der Welt unnützes Ding, für müßig und, um es gerade herauszusagen, für überflüssig erachten, so gut als wäre sie in der Natur gar nicht vorhanden; sie würde mir wie ein totes Wesen verglichen mit einem lebenden erscheinen [...]. Welche größere Torheit kann man sich vorstellen, als wenn man Edelsteine, Silber und Gold für Kostbarkeiten erklärt, die Erde und den Schlamm aber für völlig wertlose Dinge? Kommt es denn solchen Leuten gar nicht in den Sinn, daß, wäre die Erde so selten wie die höchst geschätzten Kleinodien und Metalle, es keinen Fürsten gäbe, der nicht gerne eine Menge von Diamanten hingäbe, um nur so viel Erde zu erkaufen, als man braucht, um einen Jasminstrauch in ein kleines Gefäß zu pflanzen oder einen Pomeranzenstrauch zu säen, um zu beobachten, wie er keimt, wächst, so schönes Laub hervorbringt, so duftende Blüten und so liebliche Früchte!“

Galileis Kampf um die Einheit von Himmel und Erde, die beide veränderliche Erscheinungen einschließen, beschleunigte die Entwicklung, durch die sich im 17. Jahrhundert das neue physikalische Weltbild zu kristallisieren begann. Schon im sechsten Jahrhundert wurde Galilei durch Johannes Philoponos, den christlichen Neu-

30 A.a.O., S. 287–288

platoniker in Alexandria, antizipiert, der seinen Glauben an die Einheit beider von Gott erschaffenen Regionen physikalisch zu fundieren suchte. Die Sterne, so argumentierte er, sind feurige Körper, und die Verschiedenheit ihrer Farben beruht auf der Verschiedenheit des Brennstoffs, genau wie bei den irdischen Feuerquellen. Die These von der Einheit von Himmel und Erde wurde im 6. Jahrhundert durch die Glaubenssätze der monotheistischen Religion motiviert, im 17. Jahrhundert durch ein neues, vom Rationalismus getragenes Weltgefühl. Von Newton an wurde diese These zu einer wissenschaftlichen Gewißheit.

Ein anderes Beispiel für die Einheit als Leitmotiv wissenschaftlicher Theorienbildung ist die Überzeugung, daß sowohl die organische wie die anorganische Natur von denselben Vorgängen beherrscht werden, die mit den Begriffen und Gesetzen der Physik und Chemie erklärbar sind. Im 19. Jahrhundert nahm diese Überzeugung feste Formen an, nachdem durch die Arbeiten von Joule, Robert Mayer und Helmholtz das Gesetz von der Erhaltung der Energie als einer der Grundsätze der Naturwissenschaft aufgestellt wurde. Helmholtz hat seine klassische Abhandlung „Über die Erhaltung der Kraft“ im Jahre 1847 publiziert (in welcher ‚Kraft‘ im heutigen Sinne von ‚Energie‘ benutzt wird). Zu Beginn spricht er davon, daß einer der möglichen Ausgangspunkte seiner theoretischen Überlegungen der Satz ist, „daß es nicht möglich sein könne, durch die Wirkungen irgendeiner Kombination von Naturkörpern aufeinander in das Unbegrenzte Arbeitskraft zu gewinnen“.³¹

Helmholtz hat in den nachfolgenden Jahren den Satz von der Erhaltung der Energie immer wieder in wissenschaftlichen und populären Abhandlungen und Vorträgen ausführlich erläutert und begründet. Gleich groß als Physiker und Physiologe, hat er auch autoritativ die Gültigkeit des Energiesatzes in der organischen Natur behauptet, z.B. in einem Vortrag, den er 1861 in London hielt.³² Er betonte, daß die durch einen chemischen Prozeß umgewandelte Energie unabhängig davon ist, auf welchem Wege dieser

31 A.a.O., S. 516

32 A.a.O., S. 518–522

Prozeß verläuft, und daß auch lebende Körper unter demselben Gesichtspunkt betrachtet werden müssen.³³ Nachdem er dies näher ausgeführt hat, sagt er zusammenfassend: „Bis jetzt können wir noch nicht beweisen, daß die durch lebende Körper geleistete Arbeit genau den chemischen Kräften äquivalent ist, die in Bewegung gesetzt worden sind [...]; wir dürfen aber hoffen, daß es in nicht zu ferner Zukunft einmal möglich wird, dies mit größerer Genauigkeit zu ermitteln [...]. Jetzt schon dürfen wir, glaube ich, mit großer Zuversicht vermuten, daß das Gesetz der Erhaltung der Kraft auch für lebende Körper gilt.“ Sieht man diese Tatsache als gesichert an, so muß man nach Helmholtz die von vielen Physiologen der vorigen Generation vertretene Hypothese des Vitalismus ablehnen. „Sie vermuteten, daß die physikalischen Kräfte im lebenden Körper zu jeder Zeit durch den Einfluß des ‚vitalen Prinzips‘ unterbunden oder ausgelöst werden könnten und daß dieses Agens auf diese Weise Änderungen im Inneren des Körpers herbeiführe.“ Dies ist aber, wie Helmholtz ausführt, mit dem Gesetz der Erhaltung der Energie unvereinbar, denn es würde die Postulierung eines Perpetuum mobile im lebenden Körper implizieren. „Die gegenwärtige Generation hingegen [...] ist nicht der Ansicht, daß irgendwelche anderen Unterschiede zwischen den chemischen und den mechanischen Wirkungen innerhalb und außerhalb des lebenden Körpers bestehen als solche, die durch die komplizierteren Umstände und Zustände erklärt werden können, unter welchen diese Wirkungen stattfinden.“³⁴

Soweit Helmholtz, der seine Behauptung vom einheitlichen Charakter der Naturvorgänge in der gesamten Natur, der belebten sowie der anorganischen, mit einem Angriff auf den Vitalismus verband, der Hypothese von einer besonderen Wesenheit, welche die Kraft hat, organische Form zu erzeugen und zu erhalten, die auch die Existenz eines zielgerichteten Strebens in lebenden Organismen mit einbegreift. Der Vitalismus hat eine lange Geschichte, von Aristoteles bis Oken im 19. Jahrhundert, und wurde auch von

33 A.a.O., S. 519ff.

34 A.a.O., S. 524–525

Hans Driesch zu Beginn unseres Jahrhunderts unter Berücksichtigung des Satzes von der Erhaltung der Energie vertreten. Helmholtzens Ausführungen trugen mit dazu bei, daß auch heute die meisten Biologen die vitalistische Lehre ablehnen und an dem Prinzip der Einheit der Natur festhalten. Obwohl die biologische Forschung bis heute ausschließlich auf der Theorie und Anwendung von Physik und Chemie beruht, hat sie in den hundert Jahren nach Helmholtz enorme Fortschritte gemacht. Wie ich aber schon bei einer früheren Gelegenheit bemerkte, ist die völlige Elimination aller Finalität in der Biologie unbefriedigend angesichts der unleugbaren Tatsache, daß zumindest das Denken und Handeln des Menschen von zielgerichteten Bestrebungen bestimmt ist. Es bleibt noch eine offene Frage, ob vielleicht eine zukünftige Biologie zu Vorstellungen führen wird, die den Rahmen der physikalisch-chemischen Begriffswelt sprengen werden.

Nach diesen Beispielen von der Rolle, die der Begriff der Einheit als Leitmotiv der Forschung gespielt hat, möchte ich zum Leitmotiv der Einfachheit und dem damit verbundenen der Symmetrie übergehen. Auch über dieses Thema habe ich schon vor einigen Jahren vor diesem Forum gesprochen, und ich will mich daher im wesentlichen auf die Leitgedanken zweier großer Physiker beschränken, deren wir dieses Jahr gedenken. 1979 sind es hundert Jahre her, daß Albert Einstein geboren wurde und James Clerk Maxwell starb. Meines Wissens gibt es in der Geschichte der Physik nur noch ein anderes Jahr eines solchen Zusammenfallens miteinander assoziierter Daten; 1642 war das Todesjahr Galileis und das Geburtsjahr Newtons. So wie Newton von sich sagen konnte, daß er ein wenig weiter sah als andere, weil er auf den Schultern von Riesen stand, wobei er wohl auch an Galilei gedacht hatte, kann man sagen, daß Einstein in seiner allgemeinen Relativitätstheorie weiter sah als andere, weil er auf den Schultern von Maxwell stand.

Maxwell stellte in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts seine mathematische Theorie des Elektromagnetismus auf, deren endgültige Form durch Symmetrierewägungen bestimmt wurde. Nachdem Faraday 1831 die elektromagnetische Induktion entdeckt

hatte, entwickelte Maxwell die Hypothese des elektromagnetischen Feldes, das er als einen Spannungs- und Bewegungszustand des Äthers ansah, der den ganzen Raum kontinuierlich erfüllt. Die Einführung der Idee des physikalischen Feldes als einer kontinuierlichen Gegebenheit anstelle der Newtonschen Vorstellung, daß die physikalische Realität durch materielle Punkte und die sie bewegendenden Kräfte erklärt werden kann, bedeutete einen Wendepunkt in der Geschichte der Naturwissenschaft, an Bedeutung ähnlich dem zweihundert Jahre früheren von Newtons Lehre. Zunächst versuchte Maxwell, die beobachteten Phänomene des Magnetismus und der Elektrizität sowie ihres Ineinandergreifens mechanisch zu erklären, indem er das Wirken des elektromagnetischen Feldes mittels mechanischer Modelle darstellte.³⁵ In der letzten Fassung seiner Theorie, die 1865 publiziert wurde, ließ er aber jede Bezugnahme auf mechanische Bilder fallen und begnügte sich mit der Aufstellung und Interpretation seiner berühmten beiden Folgen mathematischer Gleichungen. Die eine Folge erklärt die kontinuierliche Natur elektromagnetischer Felder, die andere die Art und Weise, wie Änderungen des magnetischen Feldes Änderungen des elektrischen hervorrufen und umgekehrt.

Dies war in der Tat eine historische Wendung im physikalischen Denken. Maxwell war zur Überzeugung gelangt, daß das elektromagnetische Feld eine grundlegende physikalische Gegebenheit ist, die mechanisch zwar veranschaulicht, aber nicht erklärt werden kann. Die wahre Erklärung liefern die von ihm aufgestellten mathematischen Gleichungen, deren symmetrische Form alle Grundtatsachen des Elektromagnetismus widerspiegelt und die man als Ausgangspunkt für alle Berechnungen nehmen muß, aus denen sich die bekannten Erscheinungen ableiten lassen. Die mathematische Symmetrie wurde so zu einem Leitmotiv, das Maxwells physikalische Intuition und seinen mathematischen Genius zur Aufdeckung der wesentlichen Gesetze führte, welche die elektrischen und magnetischen Phänomene und ihre Zusammenhänge beherrschen. Wie ich weiterhin ausführen werde, wurde die Kontinuumsauffassung der

³⁵ Siehe z. B. *a.a.O.*, S. 553–560

Maxwellschen Feldtheorie das Vorbild für Einsteins allgemeine Relativitätstheorie und einheitliche Feldtheorie, die ich am Schluß meines Vortrags kurz besprechen will.

Die Symmetrie kann als ein Spezialfall der Einfachheit angesehen werden, zu der ich folgendes bemerken möchte. Auf die Natur angewandt ist dieser Begriff ein ausgesprochen dialektischer, wie ich in einem früheren Eranos-Vortrag kurz erwähnte. Die Fortschritte der Wissenschaft decken neue Beziehungen zwischen anscheinend nicht verknüpften Dingen auf und bestätigen so die Idee der Einfachheit; andererseits aber zeigt eine immer mehr verfeinerte Experimentiertechnik, daß anscheinend einfache Erscheinungen in mehrere Komponenten zerlegt werden können, also komplizierter sind, als man vorher angenommen hatte. Eine nähere Betrachtung des Naturgeschehens legt die Vermutung nahe, daß die Natur, weit entfernt davon einfach zu sein, vielmehr äußerst komplex ist. Man kann daher von einem Mythos der Einfachheit sprechen; dieser Mythos aber war das Leitmotiv der Forschungen Albert Einsteins, das ihm den Weg zu seinen epochemachenden Theorien wies, der Theorie der Lichtquanten und der Relativitätstheorie.

Gestatten Sie mir, das soeben Gesagte genauer zu präzisieren. Zu dem Zwecke werde ich einige Passagen von dem zitieren, was Einstein in den fünfzehn Jahren nach dem Höhepunkt seiner Forschungen über seine Philosophie der Physik geäußert hat. Diese Philosophie kristallisierte sich als gedankliches Nebenprodukt seiner theoretisch-physikalischen Arbeiten heraus, vom Jahre 1905 an (Lichtquantentheorie und spezielle Relativitätstheorie) bis zum Jahre 1916, in dem seine allgemeine Relativitätstheorie publiziert wurde.

Zunächst sei betont, daß Einstein sich der Komplexität der Gesamterscheinungen der Natur durchaus bewußt war. In einer Rede, die er 1918 zum 60. Geburtstag von Max Planck hielt, sprach er vom Weltbild des theoretischen Physikers: „Es stellt die höchsten Anforderungen an die Straffheit und Exaktheit der Darstellung der Zusammenhänge, wie sie nur die Benutzung der mathemati-

schen Sprache verleiht. Aber dafür muß sich der Physiker stofflich um so mehr bescheiden, indem er sich damit begnügen muß, die allereinfachsten Vorgänge abzubilden [...], während alle komplexeren Vorgänge nicht mit jener subtilen Genauigkeit und Konsequenz, wie sie der theoretische Physiker fordert, durch den menschlichen Geist nachkonstruiert werden können. Höchste Reinheit, Klarheit und Sicherheit auf Kosten der Vollständigkeit.³⁶ Einstein fragt nun: Wenn man nur einen so kleinen Ausschnitt der Natur genau erfassen kann, verdient das Ergebnis noch den Namen ‚Weltbild‘? Seine positive Antwort auf diese Frage berührt einen wesentlichen Punkt seines wissenschaftlichen Credo: „Der stolze Name ist wohlverdient, denn die allgemeinen Gesetze, auf die das Gedankengebäude der theoretischen Physik gegründet ist, erheben den Anspruch, für jedes Naturgeschehen gültig zu sein. Auf ihnen sollte sich auf dem Wege reiner gedanklicher Deduktion [...] die Theorie eines jeden Naturprozesses einschließlich der Lebensvorgänge finden lassen [...]. Der Verzicht des physikalischen Weltbildes auf Vollständigkeit ist also kein prinzipieller.“³⁷

Diese Sätze zeigen klar den radikalen Intellektualismus Einsteins, auf den sich seine Philosophie gründet. Im Prinzip, so behauptet er, kann der Theoretiker die Gesetzmäßigkeit der gesamten physikalischen Realität gedanklich deduzieren, wenn es ihm nur gelingt, die richtigen mathematischen Ansätze zu finden. „Höchste Aufgabe der Physiker“, so fährt Einstein fort, „ist das Aufsuchen jener allgemeinsten elementaren Gesetze, aus denen durch reine Deduktion das Weltbild zu gewinnen ist. Zu diesen elementaren Gesetzen führt kein logischer Weg, sondern nur die auf Einfühlung in die Erfahrung sich stützende Intuition.“ Hier grenzt sich Einstein implizite gegen Newtons Auffassung von der theoretischen Physik ab, die er in einem anderen Essay ausdrücklich der seinen gegenüberstellt³⁸, die den rein fiktiven Charakter der Grundlagen einer

³⁶ Albert Einstein, *Mein Weltbild* (Berlin 1977), S. 108

³⁷ A.A.O., S. 109

³⁸ A.A.O., S. 113–119

physikalischen Theorie betont. „Newton, der erste Schöpfer eines umfassenden, leistungsfähigen Systems der theoretischen Physik, glaubte noch daran, daß die Grundbegriffe und Grundgesetze seines Systems aus der Erfahrung abzuleiten seien. Sein Wort ‚hypotheses non fingo‘ ist wohl in diesem Sinne zu interpretieren [...]. Die Begriffe Masse, Trägheit, Kraft und ihr gesetzlicher Zusammenhang schienen der Erfahrung unmittelbar entlehnt zu sein.“ In einem späteren Artikel³⁹, betitelt „Physik und Realität“, betonte Einstein noch ausdrücklicher die Unabhängigkeit von theoretischen Begriffen und Sinneswahrnehmungen. Die physikalischen Begriffe und Gesetze werden nicht aus der Erfahrung abgeleitet, sie sind keine Abstraktions- oder Extraktionsprodukte der Sinneserlebnisse. Es handelt sich hier nicht, wie Einsteins sehr handfester Vergleich lautet, „um eine Beziehung wie die der Suppe zum Rindfleisch, sondern eher wie die der Garderobenummer zum Mantel“.⁴⁰ Mit anderen Worten: Es liegen hier zwei voneinander getrennte Komplexe von Gegebenheiten vor, die man einander eindeutig zuordnen muß. Dem richtigen mathematischen Spürsinn muß und wird es gelingen, diese voneinander unabhängigen Bereiche des reinen Denkens und der Naturgesetzlichkeit zu vollständiger Deckung zu bringen.

Der hier skizzierte Standpunkt Einsteins ist im Grunde genommen derselbe, den der Begründer der symbolischen Logik George Boole in der Mitte des vorigen Jahrhunderts vertreten hat und den man etwa so wiedergeben kann⁴¹: Würden wir die Gesetze des richtigen Denkens strikt befolgen und sie in die angemessene mathematische Sprache übersetzen, so werden sich die Operationen des Intellekts und die der Natur vollständig decken. Dann wird sich uns die Herrschaft der Notwendigkeit in der Welt des Verstandes und der Empirie zugleich in ihrer Vollkommenheit offenbaren. Während uns aber die Beobachtung der Außenwelt in steigendem Maße

³⁹ Albert Einstein, *Aus meinen späten Jahren* (Stuttgart 1979), S. 63 ff.

⁴⁰ A.A.O., S. 68

⁴¹ George Boole, *An Investigation of the Laws of Thought* (Cambridge 1854), ch. 22

zeigt, daß in allen Bezirken der Natur eine ausgesprochene Gesetzlichkeit herrscht, sind uns die mathematischen Gesetze des *richtigen* Denkens noch nicht bekannt.

Einstein bezeichnete zuerst die Grundbegriffe und Grundgesetze der theoretischen Physik als „freie Erfindungen des menschlichen Geistes“, ähnlich den Axiomen der Geometrie. Diese Bezeichnung schränkte er später wieder ein, indem er sie wie folgt charakterisierte: „Mit dieser Freiheit ist es nicht weit her; sie ist nicht ähnlich der Freiheit eines Novellen-Dichters, sondern vielmehr der Freiheit eines Menschen, dem ein gut gestelltes Worträtsel aufgegeben ist. Er kann zwar jedes Wort als Lösung vorschlagen, aber es gibt wohl nur *eines*, welches das Rätsel in *allen* Teilen wirklich auflöst.“⁴² Die bisherigen Erfolge der Wissenschaft, so schließt Einstein, berechtigen uns zum Glauben, daß die Natur diesen Charakter eines solchen gut gestellten Rätsels habe.

Nachdem Einstein mehrfach betont hatte, daß die axiomatische Grundlage der Physik nicht aus der Erfahrung erschlossen werden kann, stellt er die Frage, ob wir dann überhaupt hoffen dürfen, den richtigen Weg zu finden, und beantwortet sie positiv: „Nach unserer bisherigen Erfahrung sind wir nämlich zum Vertrauen berechtigt, daß die Natur die Realisierung des mathematisch Einfachsten ist. Durch rein mathematische Konstruktion vermögen wir nach meiner Überzeugung diejenigen Begriffe und diejenige gesetzliche Verknüpfung zwischen ihnen zu finden, die den Schlüssel für das Verstehen der Naturerscheinungen liefern [...]. Das eigentlich schöpferische Prinzip liegt [...] in der Mathematik. In einem gewissen Sinne halte ich es also für wahr, daß dem reinen Denken das Erfassen der Wirklichkeit möglich sei, wie es die Alten geträumt haben.“⁴³

„Die Natur als Realisierung des mathematisch Einfachsten“ – dieses Dogma Einsteins, das zum Leitstern seines wissenschaftlichen Lebenswerks wurde, stellt ihn in die lange Reihe großer Denker, die ihm vorangingen, von Pythagoras bis Kepler und Maxwell.

⁴² Albert Einstein, *Aus meinen späten Jahren*, S. 69

All diese gingen von der metaphysischen Annahme aus, daß im Universum eine mathematische Harmonie herrsche, die durch Vollkommenheit und Einfachheit gekennzeichnet ist und z. B. im symmetrischen Bau physikalischer Gesetze und mathematischer Gleichungen ihren Ausdruck findet. Es ist durchaus verständlich, daß Einsteins Worte zum dreihundertsten Todestag Keplers (1930) nicht nur sein Gefühl der Verehrung, sondern auch das der Liebe zu diesem Forscher durchblicken lassen. „Gerade in so sorgenschwerer und bewegter Zeit wie der unsrigen“, so heißt es da, „[...] ist es besonders tröstlich, eines so überragenden stillen Menschen wie Keplers zu gedenken [...]. Ein Einsamer, von niemand Gestützter und wenig Verstandener! [...] Zur Bewunderung für diesen herrlichen Mann gesellt sich noch ein anderes Gefühl der Bewunderung und Ehrfurcht, das aber keinem Menschen gilt, sondern der rätselhaften Harmonie der Natur, in die wir hineingeboren sind [...]. Aus Keplers wunderbarem Lebenswerk erkennen wir besonders schön, daß aus bloßer Empirie allein die Erkenntnis nicht erblühen kann, sondern nur aus dem Vergleich von Erdachtem mit dem Beobachteten.“⁴³

Die Lektüre von Einsteins wichtigsten Arbeiten zeigt uns, wie getreu er seine erkenntnistheoretischen Maximen befolgt hat. Die Ausgangspunkte seiner Überlegungen waren nicht rein empirischer, sondern theoretischer, prinzipieller Natur, und Analogiebetrachtungen und Symmetrieargumente spielen in ihnen eine große Rolle. Man kann sagen, daß die Grundlage dieser Überlegungen die Idee der Einfachheit ist. In den einleitenden Sätzen seiner Abhandlung über die Quantentheorie des Lichts weist Einstein darauf hin, daß man bei wägbaren Körpern, z. B. bei der Erklärung der Gasgesetze, heute von der Annahme ausgehe, daß ein Gas aus Atomen und Molekülen besteht, während man vorher Gase als kontinuierliche Körper ansah. Demgegenüber werde bei der Erklärung von Lichterscheinungen ausschließlich die Kontinuumshypothese des elektromagnetischen Feldes zugrunde gelegt. Analog zur Korpus-

⁴³ Albert Einstein, *Mein Weltbild*, S. 147–151

kulartheorie wägbarer Körper müßten aber auch die Erscheinungen des Lichts von der Hypothese seiner quantenhaften Struktur abgeleitet werden. Dabei betont Einstein, daß bei der Erklärung mancher Erscheinungen die Vorstellung von der wellenförmigen Natur des Lichts zu großen Schwierigkeiten führt, während die Lichtquantenhypothese eine einfache Deutung der Phänomene ermöglicht. So kann man z.B. alle Einzelheiten des photoelektrischen Effekts befriedigend erklären, wenn man annimmt, daß bei der Bestrahlung einer Metallfläche mit Licht eine Wechselwirkung der auffallenden Lichtquanten und der Elektronen im Metall stattfindet. Die überzeugenden Ergebnisse von Einsteins Arbeit vom Jahre 1905 verhalfen der Quantentheorie zu einem Durchbruch, in dessen Gefolge sich die Quantenmechanik entwickelte. Diesen Durchbruch hätte die Hypothese ad hoc wohl kaum erzielen können, die Planck fünf Jahre vorher (1900) aufgestellt hatte, um die Gesetze der Wärmestrahlung den beobachteten Tatsachen anzupassen.

Weitere Beispiele für die prinzipiellen Erwägungen Einsteins, die er zu Ausgangspunkten seiner Theorien machte, bieten sowohl seine spezielle als seine allgemeine Relativitätstheorie. Seine Feststellung, daß ein Naturgesetz unabhängig vom Bewegungszustand eines Beobachters sein muß, hatte schon die Newtonsche Physik implizite für mechanische Vorgänge und für Beobachter postuliert, die sich relativ zueinander in gleichförmig-geradliniger Bewegung befinden, die physikalisch äquivalent dem Ruhezustand ist. In der speziellen Relativitätstheorie (1905) erweiterte Einstein dies Postulat auch auf die elektromagnetischen Erscheinungen. Die Erklärung der elektromagnetischen Induktion, so argumentierte er, muß ein und dieselbe sein, gleichviel ob relativ zum Beobachter der Magnet ruht und der elektrische Leiter sich bewegt oder umgekehrt. Man hat aber bisher diese beiden Fälle, die ein und dieselbe Erscheinung hervorrufen, verschieden erklärt, was erkenntnistheoretisch unbefriedigend ist. Es können nur Relativbewegungen existieren, und die elektromagnetischen Gesetze, genau wie die mechanischen, müssen also unabhängig vom Bewegungszustand des Beobachters sein. Damit brach die Idee vom absoluten Raum und der absoluten

Zeit zusammen, den beiden Grundpfeilern der Newtonschen Physik.

Ferner postulierte Einstein die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als Naturgesetz – ihre Größe muß unabhängig vom Bewegungszustand des Beobachters sein, was mit dem negativen Resultat der Versuche übereinstimmte, einen Einfluß der Bewegung einer Lichtquelle auf die Geschwindigkeit des Lichts nachzuweisen. Diese beiden Postulate der speziellen Relativitätstheorie führten zu einer Vereinheitlichung mechanischer und elektromagnetischer Gesetze, also zu einer größeren Einfachheit des physikalischen Weltbildes, und zu so revolutionären, von der Erfahrung bestätigten Konsequenzen wie dem Satz von der Äquivalenz von Masse und Energie.

An die Spitze der allgemeinen Relativitätstheorie (1916) stellt Einstein das verallgemeinerte Postulat, daß Naturgesetze unabhängig von jedem beliebigen Bewegungszustand eines Beobachters sein müssen, auch wenn er sich in einer beschleunigten Bewegung befindet. Ein wesentlicher Spezialfall einer beschleunigten Bewegung ist die Fallgeschwindigkeit eines Körpers im Gravitationsfeld, und daher wird die allgemeine Relativitätstheorie zu einer Theorie der Gravitation. Zunächst gibt Einstein zum ersten Mal eine physikalische Deutung der altbekannten Tatsache, daß alle Körper im Gravitationsfeld gleich schnell fallen, unabhängig von ihrer Masse. Die träge Masse eines Körpers, der in einem gravitationsfreien Gebiet ruht, ist gleich seiner schweren Masse, die unter dem Einfluß der Gravitation beschleunigt fällt. Dann macht Einstein ein ingenieures Gedankenexperiment: Ein im Gravitationsfeld frei fallender Beobachter wird feststellen, daß alle Körper in seiner Umgebung, wenn sie ebenfalls frei fallen, sich relativ zu ihm im Ruhezustand befinden. Er könnte also nicht entscheiden, ob sowohl er als auch diese Körper sich im gravitationsfreien Raum befinden und dem Trägheitsgesetz gehorchen, oder ob sich alle im Gravitationsfeld beschleunigt bewegen. Als Gegenstück hierzu kann man sich mit Einstein einen Beobachter denken, der sich im gravitationsfreien Raum befindet, und zwar in einem Kasten, der durch ein am Dach

befestigtes Seil nach oben hin beschleunigt gezogen wird. Diesem Beobachter wird es so erscheinen, als ob alle im Kasten schwebenden Gegenstände ein und dieselbe nach unten hin beschleunigte Fallbewegung ausführen, und daß er selbst auf dem Fußboden, auf dem er steht, einen Druck verspürt. Er wird also den Schluß ziehen, daß er und der Kasten in einem Gravitationsfeld ruhen. Es handelt sich um zwei äquivalente Vorgänge, und aufgrund dieses Gedankenexperiments stellte Einstein sein Äquivalenzprinzip auf: Eine beschleunigte Bewegung im gravitationsfreien Raum ist einer Trägheitsbewegung (die auch die Ruhe einschließt) im Gravitationsfeld äquivalent.

Durch eine kühne Verallgemeinerung zog Einstein die Schlußfolgerung, daß jede Bewegung eine Trägheitsbewegung sei, auch die unter dem Einfluß der Gravitation stattfindende. Konzeptuell führt dieser Schluß zu einer größeren Einfachheit des Weltbildes, weil damit die Zweiteilung Trägheit–Gravitation aufgehoben wird. Im gravitationsfreien Raum, fern von allen Himmelskörpern, ist die Trägheitsbewegung eine gleichförmig-geradlinige, denn dort ist die Metrik des Raumes eine Ebene, d. h. seine Maßverhältnisse können mit der euklidischen Geometrie beschrieben werden. In der Nähe großer Massen, wie z. B. der Sonne, ist aber die Metrik eine nicht-euklidische. Die Bahnen der um die Sonne kreisenden Planeten sind daher gekrümmt, und ihre Bewegung ist ungleichförmig; denn die Trägheitsbewegung erfolgt da auf geodätischen Linien, d. h. auf den geradesten Bahnen, welche die dort herrschende Metrik zuläßt.

Einstein schaffte somit die Gravitationskraft ab, indem er sie geometrisierte und als bedingt durch die Weltmetrik erklärte, die von der Verteilung der Massen im Raum bestimmt ist. Für die mathematische Darstellung der ganzen relativistischen Mechanik, inklusive der Gravitationserscheinungen, benutzte Einstein den Tensorkalkül, mit dem er seine Ideen klar entwickeln konnte. Diese Geometrisierung der Gravitation führte zu Ergebnissen, die vollständiger und genauer sind als die der Newtonschen Gravitationstheorie; unter den Tatsachen, die sie voraussagte, sind auch die Lichtablenkung und die Verlangsamung des Zeitablaufs im Gravitationsfeld.

Darüber hinaus aber wurde die Einsteinsche Gravitationstheorie zum natürlichen Ausgangspunkt einer Kosmologie, deren Entwicklung in den letzten sechzig Jahren die moderne Astrophysik und unsere Vorstellung vom Bau des Universums revolutioniert hat.

Trotz dieser großen Erfolge der allgemeinen Relativitätstheorie sah Einstein, der radikale Verfechter einer Kontinuumsauffassung des Weltalls, seine Aufgabe noch nicht als beendet an. Es galt, analog zu den mechanischen Kräften, die elektrische und die magnetische Kraft zu geometrisieren, wobei auch die Existenz elektrisch geladener Teilchen aus der Kontinuumstheorie heraus erklärt werden mußte. Dies versuchte Einstein mit seiner einheitlichen Feldtheorie zu erreichen, der mathematischen Beschreibung einer erweiterten raum-zeitlichen Metrik, die sowohl die Erscheinungen der Gravitation als die des Elektromagnetismus in ein einheitliches System zusammenfassen sollte, in ein Weltbild, das die Idee der Einheit mit der Realisierung des mathematisch Einfachsten verbindet. An dieser Theorie arbeitete Einstein unablässig von 1929 bis zu seinem Tode im April 1955, unbekümmert um die ganze Entwicklung der Quantenmechanik und der Physik der Elementarteilchen; er konnte jedoch mit dieser grandiosen Konzeption zu keinem greifbaren Ergebnis kommen.

Es liegt ein tragischer, aber auch erhebender Zug in diesem Streben eines genialen Denkers nach äußerster Konsequenz, dem kein endgültiger Erfolg beschieden wurde. Andererseits dürfen wir aber nicht vergessen, daß auch die entgegengesetzte Konzeption der Quantenmechanik, welche die physikalische Realität durch Elementarteilchen und verschiedene Typen von Kräften erklären will, bis heute noch keine befriedigenden Resultate gezeitigt hat. Einstein hat Großes gewollt und erfaßt, und es war dieser Wille und diese Intuition, die seinen Genius in der begrenzten Spanne eines Menschenlebens so viel Unverhofftes hat erreichen lassen. Sein wissenschaftliches Werk kann man, um einen Ausspruch Heraklits (Fr. 18) zu paraphrasieren, mit den Worten kennzeichnen: Nur wer das Unverhoffte erhofft, wird es finden.