

1. Einleitung

„Eine Sekunde nach dem Beginn der Zeit vor 10 Milliarden Jahren war alle Materie des heutigen Kosmos bereits geschaffen. In den folgenden 60 Sekunden entstanden die Elemente Wasserstoff und Helium ... Die gesicherten Theorien reichen nicht bis zum Punkt Null zurück, sondern eben nur bis zum Zeitpunkt 1 Sekunde und eine Million Millionen Grad.“ So beginnt ein Wissenschaftsbeitrag in der bürgerlichen „Süddeutschen Zeitung“ vom 28. März 1975, der mit der Schlagzeile „Nachrichten vom Anfang der Zeit und vom Ende des Raumes“ überschrieben ist. Unter dem Anspruch, über aktuelle Forschungen und gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse der Astronomie und Kosmologie zu berichten, wird dem Leser das Bild einer endlichen Welt gezeichnet, die zu einem genau bestimm- baren Zeitpunkt aus dem Nichts entstanden ist und in ihrer Gesamtheit wieder vergehen wird.

Beispiele dieser Art ließen sich viele zitieren. Bürgerliche Massenmedien in der BRD und in anderen imperialistischen Ländern, Sensationsschriftsteller und selbst erfolgreiche Naturwissenschaftler, nicht zuletzt aber bürgerliche Philosophen glauben, in den heutigen Vorstellungen von der Struktur und der Entwicklung des Kosmos Beweise für einen Anfang der Welt, für einen imaginären Schöpfungsakt von Materie, in welcher Gestalt auch immer, gefunden zu haben. Der heute erreichte Erkenntnisstand wird als absolute Wahrheit betrachtet, die alle offenen Fragen der Astronomie und der Kosmologie löst. Im Zeitalter des Niedergangs auch der christlichen Religion wird den nach Antwort suchenden Menschen von den bürgerlichen Massenmedien eine Art Wissenschaftsaberglauben angeboten, der auch in den Bereich der Astronomie und Kosmologie hineinreicht. Fragen nach der Beschaffenheit und dem Werdegang des Weltalls spielten seit jeher eine wesentliche Rolle bei der Herausbildung eines weltanschaulichen, philosophischen Standpunktes.

Auch die klerikale Philosophie versucht, die moderne Natur-[10]wissenschaft in den Dienst ihrer überholten Vorstellungen von der Existenz eines universellen Schöpfers zu stellen. Die „Materie existiert nicht an sich selbst, sie ist hervorgebracht vom Schöpfer, und die Entwicklung, die sich in ihr vollzieht, ist nicht das Spiel blinder Kräfte, sondern eine Folge der schöpferischen Tätigkeit. Mag der Geist auf seinem Gang nach rückwärts noch so große Zeiträume von unvorstellbarer Dauer fordern, er muß an einen Zeitpunkt kommen, wo die gegenwärtige Entwicklung ihren Anfang nahm. Und an diesem Zeitpunkt muß er einen Schöpfer zugeben, der dem Sein, das sich in der Folge entwickeln sollte, das Dasein gab“, so schrieb der Theologe A. Romana 1956 in dem Sammelband „Gott – Mensch – Universum“¹ im Zusammenhang mit Ergebnissen moderner astronomischer Forschung.

Dabei sind sich bürgerlich-klerikale Ideologen durchaus gewisser Schwierigkeiten bewußt, wenn es darum geht, die Ergebnisse der modernen Naturwissenschaft mit einer Gottesvorstellung in Übereinklang zu bringen. „Im Alten Testament“, so heißt es beispielsweise in einem halbseitigen Artikel der großbürgerlichen „Die Zeit“ vom 7. März 1975, „haben Theologen Gott immer neu formuliert. Ihrem jeweils neuen Weltbild entsprach ein immer neues Gottesbild. Deshalb kann ein Theologe heute keines der alttestamentlichen Gottesbilder absolut übernehmen. Er muß angesichts der Naturwissenschaften die Konstante ‚Gott ist‘ neu definieren.“ „Immer tiefere Ausblicke ins Weltall fordern“, so lautet eine der dort aufgestellten Thesen, „Gott neu zur Sprache zu bringen“. Und resümierend wird festgestellt: „Es gilt angesichts von Physik und Chemie so von Gott zu sprechen, daß der Mensch ein Selbstverständnis erlangt, das den physikalischen und chemischen Naturgesetzen entspricht.“

In diese gewissermaßen strategische Konzeption fügen sich jene Versuche bürgerlicher Naturwissenschaftler und Philosophen, an Hand von Teilergebnissen der Astrophysik und Kosmologie einen „naturnotwendigen“ Schöpfungsakt zu postulieren, eine „creatio ex nihilo“ [Schöpfung aus dem Nichts], wie sie sagen, ein Entstehen von Materie aus dem Nichts.

Beweist die Naturwissenschaft wirklich die Schöpfung unseres Universums aus dem Nichts, wie behauptet wird? Die modernen kosmologischen Modelle stützen sich auf die Ergebnisse der 1916 von

¹ A. Romana, in: Gott – Mensch – Universum, Graz 1956.

Albert Einstein veröffentlichten allgemeinen Relativitätstheorie. Diese Theorie drückte in der Sprache der Physik die These der marxistisch-leninistischen Philosophie von der Objektivität von Raum und Zeit als Existenzformen der Materie aus. Sie ermöglichte besser als [11] alle bisherigen physikalischen Theorien, die ungeheure Bewegungsvielfalt und die gesetzmäßige Entwicklung kosmischer Objekte und des Kosmos als Ganzes zu verstehen. Das neue physikalische Weltbild von der Struktur und der Bewegung des Kosmos hat alte Widersprüche überwunden und zugleich neue, noch ungelöste Fragen aufgeworfen. Hier werden gewiß neue, weiter präzisierte Theorien Abhilfe schaffen, um wiederum neue, ungelöste Probleme zu bringen.

Die Geschichte unserer Erkenntnisse über das Wesen des Weltalls zeigt, daß die hier aufgeworfenen Fragen, vor allem nach dem Anfang der Welt oder ihrer ewigen, unerschöpflichen Existenz, nicht allein vom Standpunkt der Einzelwissenschaft beantwortet werden können. Hierzu sind verallgemeinernde theoretische Überlegungen erforderlich, die über das Gebiet der Astronomie, der Physik oder der Mathematik hinausgehen.

Prüft man die Thesen vom Anfang der Welt und vom Anfang der Zeit näher, so gelangt man zu dem Ergebnis, daß hier theoretische, idealisierte mathematisch-physikalische Modelle automatisch mit der Wirklichkeit gleichgesetzt werden. Die Eigenschaften eines mathematischen Modells, das in guter Näherung experimentell beobachtbare Entwicklungstendenzen des mit Meßgeräten erfaßbaren Kosmos beschreibt, werden mit dem Verhalten des realen Kosmos, mit dem Universum gleichgesetzt. Dabei bleiben die dem mathematischen Modell zugrunde gelegten hypothetischen Annahmen über die Struktur des Kosmos außer acht, was notwendig zu Abweichungen des Modells von der Wirklichkeit führen muß.

Eine Analyse der heute diskutierten kosmologischen Weltmodelle aus philosophischer Sicht zeigt einerseits, daß die moderne Kosmologie mit ihren Ergebnissen in Übereinstimmung mit den Thesen des dialektischen Materialismus von der Unendlichkeit unserer Welt und der Ewigkeit der Materie steht. Sie zeigt zugleich, daß die philosophischen Aussagen über Unendlichkeit und Ewigkeit nicht bei den Raumvorstellungen der Kosmologie stehenbleiben dürfen, sondern wesentlich allgemeiner gefaßt werden müssen. Andererseits erzwangen die Ergebnisse der modernen Kosmologie die Präzisierung einiger Standpunkte der marxistisch-leninistischen Philosophie.

[12]

2. Erkenntnisprozeß und die Struktur von Raum und Zeit

2.1. Zum Bündnis von Philosophie und Naturwissenschaft

Die Welt ruht nicht, sie ist in ständiger Bewegung. – Diese Aussage der Astronomie gilt nicht nur für Einzelobjekte, wie die Erde, das Planetensystem, Sterne oder Galaxien, sie läßt sich auch für die Gesamtheit des heute bekannten kosmischen Raumes, die Metagalaxis, überzeugend belegen. Moderne Beobachtungsgeräte – lichtstarke Spiegelteleskope oder große Radioantennen – machen Signale sichtbar, die von Objekten aus einer „Tiefe“ des Weltraumes von vielen Milliarden Lichtjahren stammen. Sie geben Auskunft über den Zustand des Kosmos vor langer Zeit.

Das gegenwärtige Wissen über das Weltall ist Ergebnis eines langwierigen Erkenntnisweges sowohl der Einzelwissenschaften wie auch der Philosophie. Jahrtausendlang geisterte durch die Köpfe der Menschen die Vorstellung von einem ruhenden Element im Kosmos, in der Welt. Und selbst in unserem Jahrhundert wurde im Anschluß an die Veröffentlichung der allgemeinen Relativitätstheorie durch Albert Einstein die Möglichkeit eines im großen Maßstab zeitlich unveränderlichen Weltalls, sogenannte stationäre Weltmodelle, von Physikern und Astronomen diskutiert.

Die Vorstellung einer im ganzen ruhenden Welt findet sich bereits bei Aristoteles. Für ihn war die Welt von endlicher Ausdehnung, zeitlich aber unbegrenzt. Der ruhende Pol im Mittelpunkt dieser Aristotelischen Welt war die Erde, umgeben von den Sphären des Mondes, der Planeten und der Fixsterne. In der Welt unterhalb der Mondosphäre – also auf der Erde und in ihrer Atmosphäre – war – nach Aristoteles – alles veränderlich und unvollkommen, die Welt oberhalb der Mondosphäre war indessen vollkommen und unveränderbar. In dieser Betrachtungsweise spielten gewisse lokale, periodisch sich immer wiederholende, stereotype lokale Bewegungsabläufe keine Rolle.

Im 15. Jahrhundert begann sich mit den Vorstellungen des Nikolaus Cusanus, der einen Mittelpunkt der Welt ablehnte und das [13] Weltall für räumlich unendlich hielt, eine neue Ansicht vom Kosmos herauszubilden. Cusanus argumentierte folgendermaßen: „Die Welt hat ... keine Peripherie; hätte sie Zentrum und Peripherie, so hätte sie ihren Anfang und Ende in sich selbst, die Welt wäre in bezug auf ein anderes begrenzt ... Es kann somit auch die Erde, die das Zentrum nicht sein kann, nicht ohne alle Bewegung sein ... am Himmel sind keine unbeweglichen und fixen Pole ...“² Das von N. Copernicus begründete Weltsystem nahm der Erde ihren Vorzugsplatz als „Weltzentrum“. Für G. Bruno existierten im Kosmos bereits unendlich viele „Weltkugeln“, etwa vergleichbar der Erde und praktisch unabhängig voneinander. Diesen sich allmählich neu herausbildenden Vorstellungen setzte die christliche Religion mit ihren starren Dogmen von der Schöpfung der Welt und deren absolut statischem Zustand, der bis in die Gesellschaft hineinreichen sollte, jahrhundertlang heftigen Widerstand entgegen.

Seit Copernicus, vor allem aber seit J. Kepler und I. Newton, blieben die Erkenntnisse über die Struktur und die Entwicklung des Weltalls nicht mehr vorrangig allgemeinen philosophischen Überlegungen überlassen, sondern sie wurden mehr und mehr durch fundierte astronomische, physikalische oder chemische Untersuchungsmethoden und Forschungsergebnisse abgesichert. Von der experimentellen Seite her waren es vor allem die Entwicklung neuer Beobachtungsgeräte, wie Fernrohre, Spiegelteleskope und noch später Radioantennen, sowie die Technik der von R. Bunsen (1811-1899) und G. R. Kirchhoff (1824-1887) entwickelten Spektralanalyse, welche die unmittelbare Beobachtung immer weiter von der Erde entfernter kosmischer Objekte und die Analyse des empfangenen Lichts ermöglichten. Die Entwicklung anderer Gebiete der Physik – zum Beispiel der Thermodynamik und der Elektrodynamik, später auch der Quantenphysik – schuf ein solides Fundament, die gewonnenen Beobachtungsdaten in ihrer Vielfalt zu deuten und zu theoretischen, einzelwissenschaftlichen Gesamtvorstellungen zu verallgemeinern.

In den letzten Jahren gelang es, eine Reihe weiterer Fenster zum Kosmos aufzustoßen. Heute werden die kosmischen Signale in einem breiten Frequenzbereich empfangen und für die Forschung ausgewertet. Neben der Radioastronomie entstand die Röntgenastronomie, welche die von verschiedenen kosmischen Objekten ausgesandte Röntgenstrahlung registriert und den übrigen astronomischen

² Zit. nach: Von Cusanus bis Marx, Leipzig 1965, S. 13 f.

Beobachtungsdaten hinzufügt. Erdsatelliten und Planetensonden schufen die Möglichkeit, die für spezielle astronomische Beobachtungen störende atmosphärische Hülle der Erde zu umgehen, [14] wenn auch die exakte Lagestabilisierung derartiger Flugkörper im Raum einige technische Schwierigkeiten bereitet und die Auflösungsgenauigkeit der auf diesem Wege möglichen Beobachtungen zur Zeit noch einschränkt. Raumsonden ermöglichten erstmals eine Teilchenastronomie, das heißt, sie ermöglichten, aus der Natur der im kosmischen Raum vorhandenen Teilchenströme Rückschlüsse auf kosmische Entwicklungsprozesse zu ziehen. In den letzten Jahren wurden auch die ersten Überlegungen bekannt, eine Neutrino-Astronomie zu entwickeln.

Das theoretische Fundament des physikalischen Weltbildes der Kosmologie bildete Newtons Theorie der Gravitation, d. h. der Theorie von einer im Kosmos wirkenden universellen Kraft, und die seiner Mechanik implizit zugrunde liegende Möglichkeit der Absolutheit von Raum und Zeit. Auf diesem physikalischen Fundament konnte zum Beispiel die Bewegung der Planeten – bis auf minimale Störungen – erklärt werden. Für eine widerspruchsfreie Theorie über die Entwicklungsprozesse des Kosmos als Ganzes reichte die Newtonsche Mechanik aber nicht aus.

Die von A. Einstein (1879-1955) in seiner allgemeinen Relativitätstheorie 1916 wesentlich präzisierten Auffassungen über das Wesen der Gravitation sowie über den Zusammenhang von geometrischer Struktur und stofflichem Inhalt des Raumes führten zu theoretischen Vorstellungen über die Entwicklung des Kosmos als Ganzes, die in guter Näherung durch experimentelle Ergebnisse der Astronomie und Astrophysik – vor allem in den letzten 15 Jahren – bestätigt wurden.

Kosmologische Weltmodelle wurden entworfen, welche den realen kosmischen Raum mathematisch modellieren und ein Weltall beschreiben, das sich in charakteristischer Weise aus inneren Gesetzmäßigkeiten heraus entwickeln muß, das keinen Stillstand kennen kann – sieht man einmal von Singularitäten im verwendeten mathematischen Formelapparat ab. Die bisherigen astronomischen Beobachtungsergebnisse bezeugen, daß diese kosmischen Entwicklungsprozesse in ihrer Gesetzmäßigkeit dem Menschen auch experimentell erschlossen werden können.

Heute gilt als sicher, daß sich die Metagalaxis, der mit Meßinstrumenten zu erfassende kosmische Raum, ausdehnt. Alle Galaxien bewegen sich als Folge dieser Raumexpansion voneinander weg. Diese „Flucht“ ist von jedem Punkt der Metagalaxis aus gleichermaßen zu beobachten; einen ausgezeichneten Punkt, ein Zentrum dieser Raumexpansion gibt es nicht – eine Folge der besonderen Struktur des Raumes.

[15] Mit den Erfolgen der Naturwissenschaft und ihren Aussagen über das Weltall ging auch ein Fortschritt in den Erkenntnissen und Aussagen der Philosophie über die Beschaffenheit und die Struktur der Welt einher. Insbesondere der im vergangenen Jahrhundert entstandene dialektische Materialismus verallgemeinerte die Erkenntnisse der Einzelwissenschaften und gelangte so zu grundsätzlichen Aussagen über den Charakter der in der Natur ablaufenden objektiven Prozesse. Das weltanschauliche wichtigste Ergebnis dieses Prozesses war die Überwindung des noch immer starren, mechanistischen Denkens, das in den Naturwissenschaften vorherrschte.

Den Entwicklungsgedanken, die Vorstellung eines sich ständig entwickelnden Kosmos, in welchem einzelne Himmelskörper wie Sonnen und Planeten aus einem „Urgas“ hervorgegangen seien, hatte I. Kant (1724-1804) in seinen philosophischen Konsequenzen untersucht. Der Materialismus L. Feuerbachs (1804-1872) und die Dialektik G. W. F. Hegels (1770-1831) bereiteten den Wendepunkt im philosophischen Denken – die Entstehung des dialektischen Materialismus – vor. In aller Deutlichkeit hatten K. Marx (1818-1883) und F. Engels (1820-1895) herausgearbeitet: „Die große Grundfrage aller, speziell neueren Philosophie ist die nach dem Verhältnis von Denken und Sein..., die Frage: Was ist das Ursprüngliche, der Geist oder die Natur? – diese Frage spitzte sich, der Kirche gegenüber, dahin zu: Hat Gott die Welt erschaffen, oder ist die Welt von Ewigkeit da?“ „Diejenigen, die die Ursprünglichkeit des Geistes gegenüber der Natur behaupteten, also in letzter Instanz eine Welterschöpfung irgendeiner Art annahmen ..., bildeten das Lager des Idealismus. Die andern, die die Natur als das Ursprüngliche ansahen, gehören zu den verschiedenen Schulen des Materialismus.“³

³ K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 21, Berlin 1973, S. 274.

Die materialistische Vorstellung, daß sich alles in der Natur nach komplizierten, dialektischen Gesetzen bewegt und daß sich die außerhalb des menschlichen Bewußtseins objektiv existierende Natur in ihren Gesetzmäßigkeiten schrittweise erkennen und im menschlichen Bewußtsein widerspiegeln läßt, war das Ergebnis einer wissenschaftlichen Analyse des erreichten Erkenntnisstandes aller Naturwissenschaften – Biologie, Chemie, Physik, Geologie, Astronomie usw. Diese Analyse zeigte die Gemeinsamkeiten auf, die den Naturprozessen innewohnen, und ermöglichte es dem dialektischen Materialismus, auch seine Aussagen über die Gesetzmäßigkeiten der Naturprozesse überzeugend und sachlich zu begründen.

Dieser fundierte philosophische Standpunkt beinhaltet natürlich auch Aussagen über das kosmische Geschehen, die über den seiner-[16]zeit erreichten Erkenntnisstand der Physik und Astronomie hinausgingen. Die Frage nach dem Zusammenhalt der Welt und ihrer objektiven Existenz führte den dialektischen Materialismus schon frühzeitig zu der Erkenntnis, daß Raum und Zeit keine absoluten Größen sind, die nur in den Köpfen der Menschen als Vorstellung existieren, um die Naturprozesse überhaupt erst beschreiben und erkennen zu können. Diese von Kant vertretenen philosophischen Vorstellungen liegen implizit der Newtonschen Mechanik zugrunde. Sie galt zu jener Zeit als die Krönung der Physik und beschrieb die Bewegung von Körpern in einem absoluten Raum von euklidischer Geometrie und unter Zuhilfenahme eines vom Raum und den Massen unabhängigen absoluten Zeitmaßes.

Der dialektische Materialismus bezog Raum und Zeit in die Gesamtheit des außerhalb des menschlichen Bewußtseins Existierenden ein, Raum und Zeit gelten ihm als die einzig möglichen Existenzformen der Materie. Den konkreten strukturellen Zusammenhang zwischen diesen Kategorien des materiellen Seins aufzuklären, blieb jedoch Aufgabe der Einzelwissenschaft; sie wurde durch A. Einsteins allgemeine Relativitätstheorie ganz wesentlich einer Lösung nähergebracht.

Die vom dialektischen Materialismus wissenschaftlich begründete These von der Unerschöpflichkeit der Materie, von der ewigen Existenz des materiellen Seins hängt auf das engste mit den Vorstellungen über die Beschaffenheit und die zeitliche Entwicklung des Kosmos zusammen. Die Unendlichkeit der Welt wurde nicht mehr nur mit der einfachen Grenzenlosigkeit des Raumes und der Möglichkeit eines unbegrenzten Fortschreitens im Raum begründet. Zur räumlichen Grenzenlosigkeit trat der Hinweis auf die unendlichen Bewegungsmannigfaltigkeiten der Materie und auf den unendlichen Progreß mit qualitativ unterschiedlichen Entwicklungslinien, in denen materielle Erscheinungsformen vergehen und neue erzeugt werden. Diese dialektisch-materialistische Betrachtungsweise der Unendlichkeit der materiellen Welt wurde durch die Natur mit zahllosen Details untermauert und um viele Argumente bereichert.

Die These von der Unendlichkeit der Welt führte zur Dialektik von relativer und absoluter Wahrheit, zur Anerkennung eines unendlichen Erkenntnisprozesses, der auch das Wissen über Raum und Zeit einschließt. „Die menschlichen Vorstellungen von Raum und Zeit“, so schrieb W. I. Lenin 1908, „sind relativ, doch setzt sich aus diesen relativen Vorstellungen die absolute Wahrheit zusammen, [17] diese relativen Vorstellungen entwickeln sich in der Richtung der absoluten Wahrheit, nähern sich dieser.“⁴

Die dialektisch-materialistische Philosophie entstand primär nicht aus der Naturbetrachtung, sondern aus dem Aufdecken gesellschaftlicher Gesetzmäßigkeiten. Die Philosophie hängt deshalb ganz wesentlich mit den Auseinandersetzungen in der Gesellschaft, mit dem Klassenkampf zusammen. Dieser Klassenkampf auf ideologischem und weltanschaulichem Gebiet reicht aber notwendigerweise hinein bis in den Bereich der „Naturphilosophie“. Einerseits benutzten und benutzen bürgerliche Philosophen naturwissenschaftliche Aussagen als Argumente für ihre Auseinandersetzung mit der marxistischen Philosophie, andererseits versuchen von der bürgerlichen Philosophie beeinflusste Einzelwissenschaftler, ihre Forschungsergebnisse idealistisch zu interpretieren.

Mitunter glauben Naturwissenschaftler, frei von jeder Philosophie zu sein, ja gerade ohne sie auskommen zu müssen. Sie merken nicht oder wollen es nicht merken, daß sie sich damit objektiv in das

⁴ W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, Berlin 1962, S. 171.

Lager der bürgerlichen Philosophie begeben. Sehr treffend kennzeichnete zum Beispiel im Jahre 1955 der Physiker Korff seinen positivistischen Standpunkt so: „Nichteuklidische Geometrie, Relativitätstheorie, Mikrophysik, Tiefenpsychologie haben uns zu Denkweisen und Denkmethoden gezwungen, von denen sich die Philosophen vorher haben nichts träumen lassen. Ihnen bleibt hinterher nie etwas anderes übrig, als das Ergebnis zur Kenntnis zu nehmen und sich darüber zu wundern, daß sie so gar nichts dazu haben beitragen können. So geht es nun seit drei Jahrhunderten, seitdem wir eine Wissenschaft im heutigen Sinne haben. Und was ist in dieser kurzen Zeit zustande gekommen! Im Vergleich dazu hat die Philosophie in den 2500 Jahren ihrer Geschichte nichts weiter fertiggebracht, als eine fast aussichtslose Begriffsverwirrung. Tatsächlich sind fast allen Einzelwissenschaftlern positive Erfolge erst beschieden gewesen, als sie sich – dem Beispiel Galileis folgend – der philosophischen Bevormundung entzogen und auf sich selbst gestellt hatten.“⁵

Abgesehen davon, daß Korff offensichtlich nicht in der Lage war zu erkennen, daß der Aufschwung von Wissenschaft und Technik in den letzten Jahren in erster Linie Ergebnis einer gesetzmäßigen gesellschaftlichen Entwicklung war, die im übrigen mit den wissenschaftlichen Methoden und Erkenntnissen des Marxismus-Leninismus erkannt und sichtbar beeinflußt werden konnte, ist für den Physiker Korff Philosophie offensichtlich mit bürgerlicher Philosophie bzw. mit Philosophie der jeweils herrschenden Klasse [18] identisch. Daß es außer den verschiedensten bürgerlichen, zumeist politisch reaktionären idealistischen philosophischen Strömungen noch eine politisch progressive, wissenschaftliche Philosophie, nämlich den dialektischen Materialismus, gibt, ist ihm nicht geläufig. Auf ihn trifft zu, was Engels über die „philosophiefreien“ Naturwissenschaftler bereits in seinen Manuskripten zur „Dialektik der Natur“ festgehalten hat: „Die Naturforscher glauben sich von der Philosophie zu befreien, indem sie sie ignorieren oder über sie schimpfen. Da sie aber ohne Denken nicht vorankommen und zum Denken Denkbestimmungen nötig haben, diese Kategorien aber unbesehn aus dem von den Resten längst vergangener Philosophien beherrschten gemeinen Bewußtsein der sog. Gebildeten oder aus dem bißchen auf der Universität zwangsmäßig gehörter Philosophie ... oder aus unkritischer und unsystematischer Lektüre philosophischer Schriften aller Art nehmen, so stehn sie nicht minder in der Knechtschaft der Philosophie, meist aber leider der schlechtesten, und die, die am meisten auf die Philosophie schimpfen, sind Sklaven gerade der schlechtesten vulgarisierten Reste der schlechtesten Philosophien.“⁶

Naturwissenschaft und Philosophie hängen, so oder so, auf das engste zusammen. G. Klaus begründete diesen Zusammenhang unter anderem damit, daß keine Einzelwissenschaft in der Lage sei, „die allgemeinen Kategorien, die allen Wissenschaften zugrunde liegen, zu erarbeiten. Es können beispielsweise die Kategorie der Materie, der Kausalität, des Gesetzes nicht von einer einzelnen Wissenschaft erarbeitet werden, sie sind vielmehr Produkte der philosophischen Abstraktion, die von der Gesamtheit aller Wissenschaften ausgeht.“⁷ Den wechselseitigen Zusammenhang von Philosophie und Einzelwissenschaft faßte Klaus einprägsam so zusammen: „Man muß deshalb in Abwandlung eines Wortes von Kant sagen, daß die Philosophie ohne Einzelwissenschaft zwar leer ist, daß aber umgekehrt die Einzelwissenschaft ohne Philosophie blind ist.“⁸

Die wesentlichste Seite der Gemeinsamkeit von Philosophie und Naturwissenschaft ist ohne Zweifel die, daß die Philosophie in der Verallgemeinerung der Erkenntnisse einzelwissenschaftlicher Disziplinen neue Denkweisen begründen muß, die einen weiteren Fortschritt der Naturwissenschaft ermöglichen helfen. Der dialektische Materialismus löst diese Aufgabe immer wieder aufs neue in überzeugender Weise.

Die von F. Engels in seinen Vorarbeiten zur „Dialektik der Natur“ [19] herausgearbeitete Erkenntnis, daß eine mechanistische Denkweise für die Erforschung komplexer Naturprozesse völlig ungeeignet sei, ist unterdessen nicht nur durch die weitere Entwicklung der Physik bestätigt worden. Engels hatte sich unter anderem die Aufgabe gestellt, sich „auch im einzelnen zu überzeugen – woran im allgemeinen kein Zweifel für mich war –, daß in der Natur dieselben dialektischen Bewegungsgesetze im

⁵ Physikalische Blätter, 8/1955, S. 345.

⁶ K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, Berlin 1975, S. 480.

⁷ G. Klaus, Philosophie und Einzelwissenschaft, Berlin 1958, S. 23.

⁸ Ebenda, S. 26.

Gewirr der zahllosen Veränderungen sich durchsetzen, die auch in der Geschichte die scheinbare Zufälligkeit der Ereignisse beherrschen, dieselben Gesetze, die, ebenfalls in der Entwicklungsgeschichte des menschlichen Denkens den durchlaufenden Faden bildend, allmählich den denkenden Menschen zum Bewußtsein kommen ...“.⁹ Dabei konnte es sich nach Engels’ Worten „nicht darum handeln, die dialektischen Gesetze in die Natur hineinzukonstruieren, sondern sie in ihr aufzufinden und aus ihr zu entwickeln“.¹⁰

Die Entwicklung der Produktivkräfte und die Herausbildung der kapitalistischen Produktionsweise im 19. Jahrhundert hatten zu einer stürmischen Entwicklung von Technik und Wissenschaft geführt. Doch die immer noch allgemein vorherrschende metaphysische Denkweise in der Naturwissenschaft und die starren Schranken zwischen einzelnen Wissenschaftsgebieten erwiesen sich mehr und mehr als ein Hemmnis beim Ordnen und Verallgemeinern der Fülle des angefallenen empirischen Materials. Um hier weiterzukommen, war es notwendig, die dialektisch-materialistische Naturauffassung zu entwickeln. Nur das Wissen von der materiellen Einheit der Welt und die Kenntnis der „Wissenschaft von den allgemeinen Bewegungs- und Entwicklungsgesetzen der Natur, der Menschengesellschaft und des Denkens“ – der Dialektik –¹¹ konnten hier zum Erfolg führen, wie Engels und später Lenin vor allem in seiner Arbeit „Materialismus und Empirio-kritizismus“ nachwiesen.

Das naturwissenschaftliche Rohmaterial, das Engels für seine Arbeiten zur Verfügung stand und das die Ergebnisse der Newtonschen Mechanik und der beobachtenden Astronomie einschloß, spielte für die Herausarbeitung der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten nur eine sekundäre Rolle. Engels war sich bewußt, daß man als „theoretischer Naturforscher“, als Philosoph, die aktuelle Entwicklung der Naturwissenschaft stets verfolgen müsse.

Sein tiefes Verständnis für die objektiven Entwicklungsgesetze in Natur und Gesellschaft ermöglichte es Engels, die Richtung des Umwälzungsprozesses auf dem Gebiet der Naturwissenschaften, dessen Zeuge er war, richtig einzuschätzen. „Vielleicht aber“, so [20] schrieb er, „macht der Fortschritt der theoretischen Naturwissenschaft meine Arbeit größtenteils oder ganz überflüssig. Denn die Revolution, die der theoretischen Naturwissenschaft aufgezwungen wird durch die bloße Notwendigkeit, die sich massenhaft häufenden, rein empirischen Entdeckungen zu ordnen, ist der Art, daß sie den dialektischen Charakter der Naturvorgänge mehr und mehr auch dem widerstrebendsten Empiriker zum Bewußtsein bringen muß.“¹²

Die Naturwissenschaften haben seither das Stadium bloßer Empirie längst überwunden. Die in diesem Jahrhundert geschaffene Relativitäts- und Quantentheorie der Physik oder die Synthese des DNS-Moleküls in der Biochemie und vor allem die damit zusammenhängenden Erkenntnisse über Lebensprozesse haben die Richtigkeit der dialektisch-materialistischen Naturauffassung bestätigt. Die moderne Wissenschaft ist aber auch nur auf diesem philosophischen Fundament in ihrem Wesen wirklich zu verstehen. Der dialektische Materialismus ist somit zur Grundlage für das Bündnis von progressiver Naturforschung und Philosophie geworden.

Bis zur Entdeckung des Atomkerns zu Anfang dieses Jahrhunderts konnte man zum Beispiel alle bekannten physikalischen Phänomene als Folge von nur zwei bekannten physikalischen Kräftearten verstehen: Gravitation und elektromagnetische Wechselwirkung. Die in Sonnen ablaufenden energetischen Prozesse blieben den Astronomen vorerst ein Rätsel. Doch wie das Vortasten in die Gesetzmäßigkeiten der nuklearen und subnuklearen Welt bald zeigte, existieren darüber hinaus noch mindestens zwei weitere elementare Kräftearten, die starke und die schwache Wechselwirkung, mit der sich zum Beispiel die in Sonnen ablaufenden Kernfusionsprozesse erklären lassen. Die Wirkung dieser beiden Kräftearten kann jedoch nicht mit dem theoretischen Fundament und der Denkmethodik des vorigen Jahrhunderts verstanden und erforscht werden. So führte die Atomphysik schließlich zur Entwicklung der Quantenmechanik.

⁹ K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 11.

¹⁰ Ebenda, S. 12.

¹¹ Ebenda, S. 131.

¹² Ebenda, S. 13.

Die Quantentheorie und die Relativitätstheorie haben die Physik und das physikalische Denken revolutioniert. Ein Grundsatz bisheriger metaphysischer Naturbetrachtung – daß die Natur keine Sprünge mache – war widerlegt. Der scheinbare Widerspruch in der Natur des Lichtes, sowohl Welle als auch Korpuskel zu sein, erwies sich als „naturgemäß“. Zum Verständnis dieser Theorie gehörte freilich, daß der Physiker und Chemiker bewußt oder unbewußt den Sprung zu einer dialektischen Denkweise schaffte. Sie ermöglichte es, die dem Korpuskel-Welle-Dualismus zugrunde liegende Dialektik von Kontinuierlichem und Diskontinuierlichem zu [21] verstehen. Die im wesentlichen statistische Formulierung quantenphysikalischer Gesetze hat darüber hinaus auch sehr dazu beigetragen, die philosophische Diskussion über das Verhältnis von Notwendigkeit und Zufall zu bereichern.

Der von Marx, Engels und Lenin herausgearbeitete dialektische Standpunkt über die materielle Einheit der Welt und ihre unendlichen Erscheinungsformen, die Erkenntnis über die Objektivität von Raum und Zeit schließlich wurden durch die naturwissenschaftliche Ausarbeitung und experimentelle Fundierung der Relativitätstheorie auf überzeugende Weise bestätigt. Und auch der heutige stürmische Erkenntniszuwachs, der die traditionellen Schranken zwischen den einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen immer mehr aufhebt, bestätigt die These des dialektischen Materialismus, daß sich die Entwicklung in der Natur durch innere Triebkräfte, aus inneren Gesetzmäßigkeiten heraus vollzieht und daß dieser Prozeß prinzipiell erkennbar ist.

Die Tatsache, daß sich gesicherte Erkenntnisse der Naturwissenschaften eindrucksvoll in die allgemeineren Aussagen der marxistisch-leninistischen Philosophie einbetten lassen, bedeutet jedoch nicht, daß diese Übereinstimmung automatisch vor sich ginge. Aber während Verfechter der bürgerlichen Philosophie moderne naturwissenschaftliche Erkenntnisse dazu mißbrauchen, mit deren Hilfe die zentralen Aussagen ihres jeweiligen philosophischen Standpunktes zu „beweisen“, sind für den marxistischen Philosophen neue Erkenntnisse der Naturwissenschaft häufig Anregung, konkrete philosophische Probleme in neuer Weise zu durchdenken. Naturwissenschaftler benötigen ihrerseits über ihre Einzelwissenschaft hinausweisende philosophische Aussagen, um neue, in ihrer Komplexität noch nicht voll erfaßbare Forschungsergebnisse interpretieren zu können. Es verwundert daher nicht, wenn von der bürgerlichen Philosophie beeinflusste Naturwissenschaftler Ergebnisse ihrer Forschung idealistisch zu interpretieren versuchen.

Fragen nach der Entstehung des Lebens, nach den Entwicklungsgesetzen des Kosmos und viele andere philosophisch-naturwissenschaftliche Probleme stehen daher nach wie vor im Brennpunkt der weltanschaulichen Auseinandersetzung zwischen dem Marxismus-Leninismus und den verschiedenen Strömungen bürgerlicher Philosophie. Diese Auseinandersetzung wird heute vor dem Hintergrund gewaltig anwachsenden Wissens und auf dem gesellschaftlichen Boden einer wissenschaftlich-technischen Revolution geführt. Die Arbeiten und die Arbeitsweisen von Marx, Engels und Lenin zeigen [22] uns, wie die marxistisch-leninistische Philosophie in dieser Auseinandersetzung ihre ideologischen, weltanschaulichen und heuristischen Funktionen gegenüber der Naturwissenschaft erfüllen kann.

Die neueren Erkenntnisse zum Beispiel der Physik haben die von Marx, Engels und Lenin bereits formulierten grundlegenden Aussagen über die Materialität und die Dialektik in der Natur nicht aufgehoben. Viele philosophische Fragen stellen und stellen sich aber, bedingt durch weitere Erkenntnisse und Gesichtspunkte, immer wieder neu und machen es notwendig, die entsprechenden philosophischen Aussagen weiter zu präzisieren.

Vor diesem Hintergrund müssen auch die weltanschaulichen Diskussionen gesehen werden, die um aktuelle Forschungsergebnisse der Kosmologie entbrannt sind. Die bereits erwähnten kosmologischen Weltmodelle ermöglichen einerseits, den heute erkennbaren Entwicklungsstand der Metagalaxis recht gut zu verstehen – wenn auch eine Vielzahl von Fragen noch offenbleibt. Sowohl theoretisches Fundament als auch astronomische und physikalische Beobachtungsergebnisse stimmen mit der philosophischen Aussage des dialektischen Materialismus überein, daß das objektive, materielle Sein einem unendlichen Entwicklungsprozeß unterliegt, der sich in Raum und Zeit verwirklicht, unendliche Mannigfaltigkeiten hervorbringt und selbst ein dialektischer Widerspruch von Endlichem und Unendlichem ist. Andererseits glauben aber einige Naturwissenschaftler und bürgerliche

Philosophen, aus diesen kosmologischen Weltmodellen Schlußfolgerungen ziehen zu müssen, die diesem marxistischen Standpunkt zuwiderlaufen. Diese Naturwissenschaftler und Philosophen sprechen von einem endlichen Alter des Universums, von einem echten Anfang der Zeit, von einer ursachelosen Materieschöpfung und von der räumlichen Endlichkeit unserer Welt und behaupten, auch diese Thesen seien widerspruchsfreie Schlußfolgerungen aus den Naturgesetzen.

Die extremste These dieser Art ist: Die heute in der Metagalaxis zu beobachtende gewaltige Struktur- und Bewegungsvielfalt des materiellen Seins – aus dem nicht zuletzt auch das Bewußtsein hervorging – hat sich aus dem Extremfall des Gestalt- und Strukturlosen, einem mathematischen Punkt von Radius Null, heraus entwickelt, und dieses Ereignis fand vor etwa 15 Milliarden Jahren statt. Wen wundert es, wenn Kleriker hierin den naturwissenschaftlichen Beweis für die kirchliche Legende von der göttlichen Welterschöpfung erblicken?

Aufgabe der marxistisch-leninistischen Philosophie in dieser Situa-[23]tion ist es nun einerseits, auf der Grundlage der Erkenntnisse sowohl der modernen Kosmologie als auch der experimentellen Astrophysik und Astronomie nachzuweisen, daß es sich bei diesen Interpretationen nicht um zwingende, notwendige Schlußfolgerungen aus naturwissenschaftlichen Forschungsergebnissen handelt, sondern um unwissenschaftliche Verallgemeinerungen mathematischer Modelle.

Die in ein mathematisches Modell übernommenen vereinfachenden Hypothesen über die wirkliche Welt erhalten bereits philosophische, erkenntnistheoretische Ansichten. Werden aus diesen Hypothesen extreme Schlußfolgerungen gezogen, so sagen die Schlußfolgerungen lediglich etwas über die Qualität dieser Hypothesen, nichts aber über die Beschaffenheit der Welt aus. Zum anderen muß die marxistisch-leninistische Philosophie den jeweils erreichten einzelwissenschaftlichen Erkenntnisstand sorgfältig analysieren, um ihrerseits neue philosophische Fragen aufgreifen und untersuchen zu können und um ihren prinzipiellen Standpunkt zu Detailfragen, etwa zur Aussage darüber, worin sich die materielle Einheit der Welt ausdrückt, weiter zu präzisieren.

Gegenwärtig gibt es in der Kosmologie eine Vielzahl verschiedener Theorien über den gesetzmäßigen Zusammenhang von Raum-Zeit und deren physikalische Eigenschaften. In den letzten Jahren hat sich aber immer mehr gezeigt, daß die von A. Einstein begründete Gravitationstheorie und die von A. A. Friedman (1888-1925) auf diesem Fundament begründeten mathematischen, kosmologischen Weltmodelle am besten mit den vielen experimentellen Beobachtungsergebnissen der letzten Jahre übereinstimmen, wenn auch auf diesem theoretischen Fundament heute noch längst nicht alle Fragen zu lösen sind. Im Mittelpunkt dieser Arbeit werden daher die aus den Einstein-Friedman-Modellen folgenden Konsequenzen für das moderne Bild vom Kosmos stehen.

2.2. Raum, Zeit, Gravitation

Die menschlichen Ansichten über die Struktur des kosmischen Raumes hängen auf das engste mit der Entwicklung der Mathematik – der Geometrie und Topologie – zusammen. Die historische Entwicklung der Raumvorstellungen ist von vielen Autoren bereits eingehend untersucht worden.

Der menschliche Erfahrungsraum ist euklidisch, jeder Punkt des Raumes läßt sich durch die Angabe seiner drei Koordinaten, das heißt durch die Entfernungsangaben Länge, Breite und Höhe von einem [24] festgelegten Bezugspunkt aus eindeutig bestimmen. Mathematisch läßt sich dieser Sachverhalt auch so fassen, daß jeder nur mögliche Punkt dieses Raumes eindeutig durch die Angabe dreier Zahlen, eines Zahlentripels, bestimmt ist.

Denkgewohnheiten verführen dazu, Raum und Zeit als etwas Getrenntes und Absolutes anzusehen. Eines der Wesensmerkmale der Naturphilosophie Kants bestand beispielsweise darin, Raum und Zeit als reine Anschauungsformen, als Schöpfungen des menschlichen Geistes zu verstehen, die unabhängig von der materiellen Wirklichkeit existieren und erst erdacht werden müssen, um die Wirklichkeit überhaupt erkennen und beschreiben zu können.

In seiner „Kritik der reinen Vernunft“ heißt es: „Raum und Zeit sind zwar Vorstellungen a priori, welche uns als Formen unserer sinnlichen Anschauung beiwohnen, ehe noch ein wirklicher Gegenstand unseren Sinn durch Empfindung bestimmt hat, um ihn unter jenen sinnlichen Verhältnissen

vorzustellen.“¹³ Für Kant sind Raum und Zeit reine Formen der Anschauung, deren Grundlage einerseits die euklidische Geometrie und andererseits ein absoluter, linearer Zeitfluß sind. Und auch der dreidimensionale Raum der klassischen Newtonschen Mechanik besitzt keinerlei physikalische, sondern nur geometrische Eigenschaften, und zwar die der euklidischen Geometrie.

Einen ersten Stoß von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Seite erhielten diese Auffassungen, als im 19. Jahrhundert nichteuklidische Geometrien geschaffen wurden, die auf der Grundlage weniger weitgehender Axiome als die der Geometrie Euklids ebenfalls widerspruchsfreie, ab geschlossene Theoriengebäude darstellten. Erste, zunächst nur vereinzelte Resultate über die Theorie gekrümmter Kurven wurden bereits im 18. Jahrhundert gewonnen. Besonders der Mathematiker L. Euler (1707-1783) hat sich hierbei verdient gemacht. Aus diesen Ansätzen entwickelte sich die Theorie gekrümmter Flächen, die von G. F. Gauß (1777-1855) in ihre heutige systematische Gestalt gebracht wurde. Die weitere Verallgemeinerung unter Hinzuziehung weiterer Raumdimensionen führte schließlich zu den heutigen, verschiedenen Raumvorstellungen der Mathematik, die formal jeweils eine beliebige Menge von Elementen betrachten, denen bestimmte Eigenschaften zukommen müssen. Große Verdienste, wie im Rahmen dieser Arbeit noch eingehend gezeigt wird, erwarb sich hier insbesondere B. Riemann (1826-1866), der im Jahre 1854 die Gaußsche Flächentheorie für den Fall von beliebig vielen Raumdimensionen verallgemeinerte. Um die Ausarbeitung der nichteukli-[25]dischen Geometrie haben sich ferner etwa zur gleichen Zeit und unabhängig voneinander die Mathematiker N. I. Lobatschewski und J. Bolyai verdient gemacht.

Die Existenz mehrerer voneinander unabhängiger, widerspruchsfreier Geometrien warf aber zwangsläufig die sowohl philosophische wie auch physikalische Frage auf, ob die Raumgeometrie überhaupt eine Denkvoraussetzung sein könne oder ob ihr ein objektiver Charakter zukäme. Es stellte sich damit die Frage, welche der möglichen Geometrien die reale Struktur des Kosmos beschreibt. „Die Frage“, schreibt zum Beispiel W. I. Lenin, „auf welche bestimmte Art und Weise der Raum von dem Menschen mit Hilfe der verschiedenen Sinnesorgane wahrgenommen wird und wie auf dem Wege einer langen geschichtlichen Entwicklung aus diesen Wahrnehmungen die abstrakten Raumbegriffe herausgearbeitet werden, ist etwas ganz anderes als die Frage, ob diesen Wahrnehmungen und diesen Begriffen der Menschheit eine von den Menschen unabhängige objektive Realität entspricht.“¹⁴ Und an anderer Stelle heißt es: „Da der Materialismus die von unserem Bewußtsein unabhängige Existenz der objektiven Realität, d. h. der sich bewegenden Materie, anerkennt, so muß er unvermeidlich auch die objektive Realität von Zeit und Raum anerkennen, zum Unterschied vor allem vom Kantianismus, der in dieser Frage auf der Seite des Idealismus steht und Zeit und Raum nicht für eine objektive Realität, sondern für Formen der menschlichen Anschauung hält.“¹⁵

Dieser spontane materialistische Ansatz, die Frage nach der Quelle unseres Wissens, führte die Physik schließlich zu einer detaillierten Erkenntnis der Zusammenhänge zwischen Objektivität des Raumes und seiner realen geometrischen Struktur, deren Grundlagen Einstein 1916 in seiner allgemeinen Relativitätstheorie formulierte.

„Begriffe und Begriffssysteme“, so bemerkte Einstein, „erhalten ihre Berechtigung nur dadurch, daß sie zum Überschauen von Erlebniskomplexen dienen; eine andere Legitimation gibt es für sie nicht. Es ist deshalb nach meiner Überzeugung eine der verderblichsten Taten der Philosophen, daß sie gewisse begriffliche Grundlagen der Naturwissenschaft aus dem der Kontrolle zugänglichen Gebiet des Empirisch-Zweckmäßigen in die unangreifbare Höhe des Denknötwendigen (Apriorischen) versetzt haben. Denn wenn es auch ausgemacht ist, daß diese Begriffe nicht aus den Erlebnissen durch Logik (oder sonstwie) abgeleitet werden können, sondern in gewissem Sinne freie Schöpfungen des menschlichen Geistes sind, so sind sie [26] doch ebenso wenig unabhängig von der Art der Erlebnisse, wie etwa die Kleider von der Gestalt der menschlichen Leiber. Dies gilt im Besonderen auch von unseren Begriffen über Raum und Zeit, welche die Physiker – von Tatsachen gezwungen – aus dem

¹³ I. Kant, Kritik der reinen Vernunft, Leipzig 1956, S. 457 a/458 a.

¹⁴ W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 183.

¹⁵ Ebenda, S. 171.

Olymp des ‚Apriori‘ herunterholen mußten, um sie zu reparieren und wieder in einen brauchbaren Zustand setzen zu können.“¹⁶

Einstein erging es hier offensichtlich ebenso wie dem bereits eingangs zitierten Physiker Korff: Er kannte nur die bürgerliche Philosophie. Denn der „Olymp des Apriori“ war längst bezwungen durch die weitere Entwicklung der Philosophie selbst. So schrieb zum Beispiel Engels einige Jahrzehnte zuvor über Raum und Zeit: „Die beiden Existenzformen der Materie sind natürlich ohne die Materie nichts, leere Vorstellungen, Abstraktionen, die nur in unserm Kopf existieren.“¹⁷ Einstein vollzog als Naturwissenschaftler diese Erkenntnis nach und verknüpfte in seiner Theorie Raum, Zeit und Materie zu einem strukturellen Zusammenhang.

Doch nicht nur seitens der Mathematik waren wesentliche Argumente gegen eine denkbare Geometrie im vorigen Jahrhundert vorgetragen worden. Schon vor Einstein hatten Physiker darauf hingewiesen, daß Newtons Mechanik und die euklidische Geometrie zu unlösbaren Widersprüchen führen, wenn man auf ihrer Grundlage Probleme der Kosmologie behandelt.

Nachdem G. Galilei (1564-1642) die Gesetze des freien Falls erkannt hatte und Kepler 1609 bzw. 1619 seine Planetengesetze veröffentlichte, entwickelte I. Newton (1643-1727) seine Mechanik, die zum erstenmal Antwort auf die Frage nach dem Wesen der im Kosmos wirkenden universellen Kraft zu geben vermochte. Newtons Gravitationsgesetz, wonach sich zwei Massen gegenseitig anziehen und die dabei wirkende Kraft dem Quadrat des Abstandes umgekehrt proportional ist, war der erste entscheidende Schritt von der Physik der Erde zur Physik des Weltalls.

Die auf diesem Fundament geschaffene Himmelsmechanik, die mit der Vorstellung eines absoluten euklidischen Raumes und einer absoluten Zeit völlig auskam, konnte in überzeugender Weise die Bewegung der Planeten um die Sonne beschreiben. Für die sonnennahen Planeten, vor allem den Merkur, blieben indessen kleine Bahnstörungen trotz intensivster Bemühungen und unter Zuhilfenahme vieler hypothetischer Annahmen nicht erklärbar. Hier schuf erst Einsteins Gravitationstheorie Abhilfe, worauf im folgenden noch eingegangen werden wird.

Der Versuch, mit Hilfe der Newtonschen Mechanik und der ihr [27] zugrunde liegenden Raumvorstellungen Probleme der kosmischen Entwicklung zu untersuchen, führte aber zu unerklärlichen Widersprüchen. In den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts formulierte W. Olbers (1758-1840) das sogenannte photometrische Paradoxon, das sich unter der Voraussetzung einer endlichen Dichte der Sterne im gesamten Raum und der Unendlichkeit dieses Raumes ergab. Da der Beleuchtungsgrad einer beliebigen Fläche umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung dieser Lichtquelle zur beleuchteten Fläche ist, die Anzahl der lichtaussendenden Sterne bei einem im Prinzip überall gleich beschaffenen Kosmos jedoch bei größer werdendem Raumvolumen mit der dritten Potenz des Abstandes anwächst, so müßte der nächtliche Himmel unendlich hell sein. Das aber ist nicht der Fall.

Ein zweites, das sogenannte Gravitationsparadoxon, wurde ebenfalls im vergangenen Jahrhundert von C. Neumann (1832-1925) und H. v. Seeliger (1849-1924) formuliert. Es besagt, daß die Gravitationskraft, die von allen Körpern des Weltalls ausgeht, in jedem Raumpunkt des Weltalls einen unendlichen Wert haben müßte, wenn die Masse aller Körper im Weltall unendlich und die mittlere Massendichte von Null verschieden ist. Diese Annahme ergibt sich, da die Masse der Sterne, die ja nach Newtons Gravitationsgesetz die Kraftquellen sind, proportional zum Raumvolumen (das heißt zur dritten Potenz der Entfernung) zunimmt, die von jedem Stern ausgehende Gravitationskraft hingegen nur proportional zum Quadrat der Entfernung abnimmt. In Wirklichkeit hat die Gravitationskraft in jedem Punkt des Raumes aber immer einen bestimmten, endlichen Wert.

Die verschiedenen Versuche, diese Paradoxien im Rahmen der Newtonschen Theorie zu lösen oder zu umgehen, schlugen fehl. Das Gravitationsparadoxon entfiel erst später durch die Aussage der Einsteinschen Theorie, nach der sich die Gravitationswirkung ebenso wie das Licht nur mit endlicher Geschwindigkeit fortpflanzen kann. Das Gravitationsfeld eines unendlich weit entfernten Körpers kann somit erst

¹⁶ A. Einstein, Grundzüge der Relativitätstheorie, Berlin/Oxford/Braunschweig 1969, S. 6.

¹⁷ K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 503.

nach unendlich langer Zeit wahrgenommen werden. Zum anderen ist die Gravitationswirkung nach der Einsteinschen Theorie nicht gleich der Summe der entsprechenden Wirkungen der das System bildenden Einzelkörper. Das photometrische Paradoxon löste sich auf, nachdem im Rahmen der Einsteinschen Gravitationstheorie gezeigt wurde, daß es einen zeitlich veränderlichen Kosmos gibt.

Widersprüche zur Denknötwendigkeit eines absoluten Raumes brachte aber auch die irdische Physik, insbesondere die Physik der [28] Lichtausbreitung. Die Wellentheorie des Lichtes stützte sich zunächst auf die Raumvorstellung der Newtonschen Mechanik. Um die Ausbreitung des Lichtes zu erklären, mußte die Existenz eines nicht nachweisbaren Äthers angenommen werden, einer Substanz unendlicher Ausdehnung, die das ganze Weltall erfüllt und alle festen Körper durchdringt. Die später von J. C. Maxwell (1831-1879) entwickelte und von H. A. Lorentz (1853-1928) weiter ausgebaut Feldtheorie, welche die elektrischen und magnetischen Erscheinungen einheitlich beschrieb, brauchte diesen Ätherbegriff im Grunde genommen nicht mehr, übernahm ihn aber als historischen Ballast, gewissermaßen als Synonym für den absoluten, euklidischen Raum im Weltbild der klassischen Physik. Die Maxwellsche Feldtheorie, das sei hier nur am Rande vermerkt, bedeutete zugleich ein völlig neues Herangehen an die Lösung physikalischer Probleme: Während in der Newtonschen Mechanik alle Kraftwirkungen auf in gewisser Entfernung vorhandene Körper zurückzuführen waren, wirkten in jedem Punkt des Raumes nach der Maxwellschen Feldtheorie gerade für diesen Raumpunkt typische elektrische und magnetische Kräfte. Dem Prinzip der Fernwirkung war das Prinzip der Nahwirkung gegenübergestellt worden. Die Gesamtheit dieser im Raume wirkenden Kräfte bildete das Wellenfeld und ließ sich mathematisch in Form von Differentialgleichungen beschreiben. Der Feldbegriff und dessen Objektivität waren ein erster Schritt zu einem neuen physikalischen Weltbild.

Die von Maxwell und Lorentz entwickelten Vorstellungen zur Ausbreitung des Lichtes ermöglichten, die Existenz eines ruhenden Äthers experimentell zu überprüfen. Dieses Experiment ist erstmals von A. A. Michelson 1881 vorgenommen worden und endete bekanntlich negativ. Vorausgegangen war der Versuch von A. H. Fizeau (1819-1896), der nachwies, daß Licht von einer strömenden Flüssigkeit mitgenommen wird, das heißt, daß die Lichtgeschwindigkeit im Medium von der Strömungsrichtung abhängt. Da die Erde sich bezüglich des hypothetischen Äthers bewegt, hätte auch hier ein entsprechender Mitführungseffekt im Michelson-Versuch nachweisbar sein müssen, der aber trotz immer weiter gesteigerter Meßgenauigkeit nicht nachweisbar war. Um den negativen Ausgang dieses berühmten Experiments zu deuten, das die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Bewegungsrichtung der Lichtquelle zum „Lichtäther“ bewies, wurden die verschiedensten Hypothesen vorgeschlagen, die aber letztlich alle unbefriedigend blieben.

Den interessantesten Erklärungsversuch bildete die von G. F. [29] Fitzgerald (1851-1901) und Lorentz unabhängig voneinander entwickelte Kontraktionshypothese. Sie besagt, daß bei einem mit der Geschwindigkeit v bewegten Körper bezüglich eines ruhenden Beobachters alle in der Bewegungsrichtung liegenden Abmessungen sich um einen bestimmten Faktor verkürzen, während die Querabmessungen unverändert bleiben. Lorentz ermittelte präzise die Umrechnungsbeziehungen zwischen den jeweiligen Raumkoordinaten unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Zeit, mit denen das experimentelle Ergebnis des Michelson-Versuchs mit den theoretischen Vorstellungen in Übereinstimmung zu bringen war. Die von ihm so gefundene Transformationsvorschrift für die Koordinaten zweier gleichförmig zueinander bewegter Koordinaten- oder Bezugssysteme, die sogenannte Lorentz-Gruppe, ermöglichte tatsächlich, den Ausgang des Michelson-Versuchs vorherzusagen. Lorentz hielt das für die Bestätigung der Existenz des Lichtäthers. Daß er in Wirklichkeit die Vorstellung von der Absolutheit der Zeit widerlegt hatte, erkannte er nicht.

Diesen Nachweis führte Einstein 1905 im Rahmen seiner speziellen Relativitätstheorie. Einstein knüpfte unmittelbar an den negativ ausgefallenen Michelson-Versuch an und sprach die Vermutung aus, es sei grundsätzlich unmöglich zu entscheiden, welches von zwei mit konstanter Geschwindigkeit gegeneinander bewegten Systemen sich in Ruhe und welches sich in Bewegung befindet. Unter dieser Voraussetzung und unter der ebenfalls vom Ausgang des Michelson-Versuches nahegelegten Annahme, daß sich das Licht im Vakuum nach allen Richtungen nur mit konstanter Geschwindigkeit auszubreiten vermag, mußten aber die bisherigen Vorstellungen von der Zeit revidiert werden.

Um überhaupt feststellen zu können, wann in zwei zueinander bewegten Systemen Ereignisse gleichzeitig auftreten, mußte der Begriff der Gleichzeitigkeit näher bestimmt werden. Einstein ging dabei davon aus, daß eine Aussage über Ort und Zeit eines Ereignisses erst dann einen Sinn hat, wenn die Maßzahlen für Raum und Zeit als Ergebnis genau definierter und prinzipiell stets durchführbarer Messungen zu erhalten sind. Als Instrumente hierfür eignen sich nur Maßstäbe und Uhren. Die Definition der Gleichzeitigkeit, bei der ein in einem Raumpunkt befindlicher Beobachter seine zuvor geeichte Uhr bei Erhalt eines Lichtsignals aus einem anderen Raumpunkt genau um die Zeit vorzustellen hat, die das Licht benötigte, um zu ihm zu gelangen, bildet den Kernpunkt der speziellen Relativitätstheorie.

[30] Die von Einstein in weiteren Überlegungen hieraus gezogenen Konsequenzen führten zu den gleichen Kontraktions- bzw. Dilatationsfaktoren für die Raum- und Zeitkoordinaten, wie sie bereits Lorentz durch Probieren gefunden hatte. Um ein physikalisches Ereignis eindeutig zu bestimmen, waren jetzt vier Größen notwendig, drei Raum- und eine Zeitkoordinate. Und es zeigte sich ferner, daß der in einem Bezugssystem gemessene Zeitfluß aus der Sicht eines anderen Bezugssystems nicht der gleiche war. Auf die mathematisch-physikalischen Zusammenhänge zwischen dem speziellen Relativitätsprinzip, der Lorentz-Gruppe und den daraus folgenden Kriterien für die Formulierung physikalisch inhaltsvoller Naturgesetze sei hier nicht eingegangen.¹⁸

Der negative Ausgang des Michelson-Versuchs bewies zwar die Nichtexistenz des Lichtäthers, erzwang aber aus physikalischen Erwägungen nicht die Aufgabe der Vorstellung eines absoluten Raumes mit notwendigerweise euklidischer Geometrie. Die im Anschluß an dieses Experiment entwickelte spezielle Relativitätstheorie deckte aber die Unhaltbarkeit der Vorstellung einer absoluten Zeit auf. Die neue Theorie zeigte, daß Zeit eine relative und an reale physikalische Prozesse gebundene Größe ist. Die Erkenntnis, daß zur physikalischen Beschreibung eines Ereignisses nicht nur Angaben über den Ort des Ereignisses, sondern auch über den Zeitpunkt erforderlich sind, führte zu der Einsicht, daß Raum und Zeit zu einem neuen physikalischen Feldbegriff, dem raumzeitlichen Kontinuum oder der „Raum-Zeit“ zusammengefaßt werden müssen. Schauplatz des physikalischen Geschehens, in der Sprache der Physik ausgedrückt, ist der vierdimensionale Minkowski-Raum, der durch die drei cartesischen Ortskoordinaten und die Zeitkoordinate aufgespannt wird.

Noch bevor die Festung der absoluten Zeit in der Physik gefallen war, hatten neben Mathematikern auch Physiker erste Zweifel an der geometrischen euklidischen Struktur des physikalischen Raumes der Newtonschen Mechanik angemeldet. Daß die im kosmischen Raum manifeste Geometrie tatsächlich Erfahrungscharakter tragen muß, macht heute eine einfache Überlegung deutlich: Wesentlich für die Geometrie Euklids ist unter anderem das Parallelenaxiom, aus dem die Winkelsumme des Dreiecks von 180 Grad folgt. In irdischen Laboratorien läßt sich jederzeit der Winkelsummensatz überprüfen – er ist offensichtlich wahr. Stillschweigend wird davon Gebrauch gemacht, daß die Natur ein Mittel liefert, mit dem sich der euklidische Begriff der Geraden bzw. Parallelen realisieren läßt. [31] Ein solches Mittel ist das Licht. Heute aber ist bekannt, daß Photonen auch über träge Masse verfügen und somit von Massen angezogen werden. Licht, das in der Metagalaxis Entfernungen von Milliarden Lichtjahren zurücklegt, durchläuft die Schwerefelder unzähliger Galaxien und wird entsprechend abgelenkt. Den vom Licht zurückgelegten Weg als Gerade im euklidischen Sinne anzusehen, verbietet sich daher von selbst.

Die sehr vereinfachende Plausibilitätsbetrachtung macht deutlich, daß allein das Vorhandensein von Masse mit den damit verbundenen Gravitationsfeldern den Apriorismus der Geometrie widerlegt. Geometrische Sätze erlangen Erfahrungscharakter, wenn ihnen reale Manipulationen, Meßoperationen mit „starren“, festen Maßstäben (z. B. auf der Erde) oder mit Licht (z. B. in der Astronomie) zugrunde liegen. Der reale Raum ist somit Träger von Geometrie. Sie näher zu bestimmen, ist Aufgabe der Einzelwissenschaft.

Physikalische Konsequenzen aus der Existenz nichteuklidischer Geometrien wurden erstmals von H. v. Helmholtz (1821-894) gezogen. Helmholtz stellte sich die Frage, wie die Geometrie des Raumes

¹⁸ Vgl. R. Becker/F. Sauter, Theorie der Elektrizität, Bd. 1, Stuttgart 1964, S. 219 f.

beschaffen sein müsse, damit in diesem Raum eine Mechanik starrer Körper realisiert ist und Impulssatz und Drehimpulssatz als Integrale der Bewegungsgleichungen erhalten werden können. Dabei gelangte er zu der Erkenntnis, daß die uneingeschränkte Verlagerbarkeit und Drehbarkeit starrer Körper nur im Raum mit konstanter Krümmung möglich ist, deren Größe imaginär, reell oder gleich Null (euklidische Geometrie) sein kann. Damit war aber auch vom Standpunkt der Newtonschen Mechanik der Apriorismus der euklidischen Geometrie für die Erforschung der in der Natur ablaufenden objektiven physikalischen Prozesse in Frage gestellt. Denn vom Standpunkt der Mechanik, so wies Helmholtz nach, wären gleich drei mögliche Raumtypen denkbar, der hyperbolische, der sphärische (bzw. elliptische) und der nichtgekrümmte euklidische Raum. (Auf einige Eigenschaften und Merkmale dieser Raumtypen wird im Abschnitt über die Unendlichkeit noch ausführlich eingegangen.)

Für Helmholtz bildete die geometrische Struktur des Raumes den Rahmen für die physikalischen Gesetze. Die offen gebliebene Frage war die, ob in der Physik tatsächlich ideale starre Körper einführbar sind, woraus die konstante Raumkrümmung folgt. Helmholtz hielt das für möglich. Diese Frage wurde später von Einstein verneint, und er kam im Rahmen seiner allgemeineren Überlegung zu einer Raum-Zeit-Geometrie mit allgemeiner Riemannscher Krümmung.¹⁹

[32] Das Ergebnis dieser Überlegungen hat Einstein im Jahre 1916 als allgemeine Relativitätstheorie veröffentlicht, aus der auch eine über Newton weit hinausgehende neue Gravitationstheorie folgt.

Zunächst gab Einstein eine physikalische Antwort auf das Wesen des aus der Newtonschen Mechanik übernommenen Kraft- bzw. Massebegriffs. Newton hatte die Masse auf zwei verschiedenen, voneinander unabhängigen Wegen eingeführt. Zum einen als Proportionalitätsfaktor in der Äquivalenz von Kraft und Beschleunigung, sozusagen als Trägheitswiderstand, den ein Körper einer angreifenden Kraft entgegensetzt. Zum anderen tauchte die Größe „Masse“ in Newtons Gravitationsgesetz auf als Kraftquelle, die eine Schwerkraft erzeugt. Die offensichtliche Gleichheit dieser Massen wurde als Zufälligkeit hingenommen.

Einstein erhob die Äquivalenz von träger und schwerer Masse zum Grundprinzip der Physik. Weiterhin wurde die Frage gestellt, wie die physikalischen Gesetze beschaffen sein müssen, damit alle Bezugssysteme auch in Gravitationsfeldern oder alle zueinander beschleunigte Bezugssysteme gleichwertig sind, das heißt die Natur der physikalischen Prozesse von der Wahl des Bezugssystems unabhängig ist. Diese Frage war nur mit Hilfe detaillierter Aussagen über den strukturellen Zusammenhang von Raum-Zeit und stofflichem Inhalt zu beantworten. Einstein formulierte das erzielte Ergebnis: „Alle Gaußschen Koordinatensysteme sind für die Formulierung der Naturgesetze prinzipiell gleichwertig.“²⁰

Einstein gelangte im Ergebnis seiner Überlegungen zu der begründeten hypothetischen Schlußfolgerung, daß die Geometrie des vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuums durch die gravitationserzeugenden Eigenschaften der stofflichen Materie bestimmt wird und eng mit den anderen physikalischen Größen, wie Energie und Impulsdichte, zusammenhängt. Diesen qualitativen Zusammenhang formulierte er in der Tensorgleichung

$$R_{ik} - g_{ik} R/2 = -xT_{ik} \text{ (mit } i, k = 1, 2, 3, 4)$$

Die Größe R_{ik} ist der sogenannte Krümmungstensor von Riemann-Ricci, g_{ik} der metrische Tensor, der die Vorschrift enthält, wie der Abstand zweier Punkte dieses Raumes zu bestimmen ist. T_{ik} ist der Energie-Impuls-Tensor, der alle physikalischen Eigenschaften außer den gravitationserzeugenden zusammenfaßt. Die skalare Größe R ist ein Maß für die „Ausdehnung“ dieses vierdimensionalen, gekrümmten Raumes, während der Faktor x als relativistische Gravitationskonstante bezeichnet wird und durch $x = 8 \pi G/c^2$ mit der [33] Newtonschen Gravitationskonstanten G gegeben ist. Für die Interpretation der mathematischen Zusammenhänge sei auf entsprechende Fachliteratur verwiesen.²¹

¹⁹ Vgl. H.-J. Treder, Philosophische Probleme des physikalischen Raumes, Berlin 1974, S. 303.

²⁰ A. Einstein, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, Berlin/Oxford/Braunschweig 1969, S. 77.

²¹ Vgl. P. K. Raschewski, Riemannsche. Geometrie und Tensoranalysis, Berlin 1959, S. 553 f.; H. Melcher, Relativitätstheorie, Berlin 1969, S. 146 ff.

Die allgemeine physikalische Bedeutung dieser Tensorgleichung besteht darin, daß die Geometrie des Raumes mit der Verteilung und Verschiebung von Energie und Impuls eng zusammenhängt, oder, in umgekehrter Betrachtungsweise, daß sich die Verteilung und Bewegung von Massen im physikalischen Raum in ganz bestimmter Weise in der Riemannschen Geometrie der Raum-Zeit-Union widerspiegeln. Die Größen R_{ik} und R bestimmen dabei die Geometrie dieses Raumes.

Die Kraftwirkung der Massen, die Gravitation, ist mit diesen geometrischen Eigenschaften des Raumes bereits vollständig beschrieben, sie spielt für den Energie-Impuls-Tensor auf der rechten Seite der Gleichung keine Rolle mehr. Das vorhin angeführte Beispiel eines den kosmischen Raum durcheilenden Lichtquants muß demzufolge präzisiert werden: Das Quant wird von den gravitationserzeugenden Massen des Raumes nicht abgelenkt, sondern fliegt auf einer Geodäten des Raumes, deren Gestalt durch die existierende Massenverteilung vorgegeben ist.

Die Einsteinsche Gravitationsgleichung trifft keine quantitative Aussage über die tatsächliche Krümmung des Raumes. Diese kann sowohl positiv, negativ oder Null sein. Die tatsächliche Krümmung des Raumes muß für ein jeweiliges physikalisches Problem unter Zuhilfenahme physikalischer Randbedingungen aus diesem allgemeinen Ansatz bestimmt werden. Die Einsteinsche Tensorgleichung liefert aber den Zusammenhang zwischen der momentanen Krümmung des Raumes und den momentanen Werten anderer, nichtgravitativer Größen.

Mit Einsteins Gravitationstheorie fand die historische Entwicklung der mathematisch-physikalischen Vorstellungen von Raum und Zeit ihren vorerst krönenden Abschluß. Sie bestätigte die Aussage des dialektischen Materialismus über die materielle Einheit der Welt und belegte die These, daß Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind. Das Einsteinsche Gravitationsgesetz hat dieser philosophischen Aussage eine konkrete, einzelwissenschaftliche Gestalt gegeben. Die Aussagen der allgemeinen Relativitätstheorie sind mit der Existenz eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit unvereinbar. Raum und Zeit wurden meßbare Erscheinungsformen des objektiven, realen Seins. Die Physik hatte für ihr Gebiet die vom dialektischen Materialismus formulierten Erkenntnisse über die Objektivität des Seins nachvollzogen.

[34] Die entsprechenden philosophischen Ergebnisse waren von Engels im Anti-Dühring und in anderen Arbeiten über die der Natur innewohnende Dialektik formuliert worden. „Denn die Grundformen alles Seins“, so entgegnete zum Beispiel Engels Dühring, „sind Raum und Zeit, und ein Sein außer der Zeit ist ein ebenso großer Unsinn, wie ein Sein außerhalb des Raums.“²² Die Ansicht, daß Raum und Zeit keine bloßen Erscheinungsformen, sondern Wesensbedingungen des Seins sind, findet sich bereits bei Feuerbach. Dieser Gedanke wird von Lenin in seiner Auseinandersetzung mit dem Empirio-kritizismus weiter präzisiert: „Da Feuerbach die sinnliche Welt, die wir über die Empfindungen erkennen, als objektive Realität anerkennt, verwirft er natürlicherweise auch die phänomenalistische (wie Mach von sich sagen würde) oder agnostische (wie Engels sich ausdrückt) Auffassung von Raum und Zeit: so wie die Dinge oder Körper nicht einfache Erscheinungen, nicht Empfindungskomplexe, sondern objektive Realitäten sind, die auf unsere Sinne einwirken, so sind auch Raum und Zeit keine einfachen Erscheinungsformen, sondern die objektiv-realen Formen des Seins. In der Welt existiert nichts als die sich bewegende Materie, und die sich bewegende Materie kann sich nicht anders bewegen als im Raum und in der Zeit.“²³

Welche strukturellen Gesetze dabei für die Raum-Zeit und die bewegte Materie gelten – das herauszufinden ist Forschungsgegenstand der Naturwissenschaftler. Die menschlichen Begriffe von Zeit und Raum haben sich in den Jahrhunderten gewandelt und können sich im Sinne weiterer Präzisierung des jetzt erreichten Wissensstandes weiter wandeln. Für die philosophische Diskussion ist in dieser Entwicklung von Interesse, ob diese Vorstellungen die objektive Realität von Raum und Zeit zur Grundlage haben oder nicht.

In Entgegnung einer empirio-kritizistischen These, wonach viele Einzelansichten von Engels bereits veraltet seien und damit die Gesamtaussage der Engelsschen Philosophie fraglich sei, schreibt zum

²² K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 48.

²³ W. I. Lenin, Werke, Bd. 14, S. 171.

Beispiel Lenin: „Basarow ist, wie alle Machisten, dadurch auf Irrwege geraten, daß er die Veränderlichkeit der menschlichen Begriffe von Zeit und Raum, ihren ausschließlich relativen Charakter verwechselte mit der Unveränderlichkeit der Tatsache, daß der Mensch und die Natur nur in Zeit und Raum existieren ... Die Lehre der Wissenschaft von der Struktur der Materie, von der chemischen Beschaffenheit der Nahrung, vom Atom oder Elektron kann veralten und veraltet mit jedem Tag, doch nicht veralten kann die Wahrheit, daß der Mensch von Gedanken nicht satt wird und [35] daß er mit platonischer Liebe allein keine Kinder zeugen kann. Eine Philosophie aber, die die objektive Realität von Zeit und Raum leugnet, ist ebenso unsinnig, innerlich faul und falsch wie die Leugnung dieser letzten Wahrheiten.“²⁴

2.3. Was heißt: Raum und Zeit sind Existenzformen der Materie?

Die allgemeine Relativitäts- bzw. Gravitationstheorie Einsteins hat dazu beigetragen, die Physik aus der Ende des vergangenen Jahrhunderts erreichten Sackgasse herauszuführen und in das Weltbild des dialektischen Materialismus überzeugend einzubetten. Die weitere Entwicklung der Gravitationstheorie durch Einstein selbst und andere Forscher hat zu weiteren Überlegungen über den Zusammenhang zwischen der Geometrie des Raumes und dem physikalischen Geschehen geführt. Daraus ergab sich die von einigen Philosophen und Einzelwissenschaftlern gestellte Frage, ob die philosophische Aussage, Raum und Zeit seien die Existenzformen der Materie, nicht weiter präzisiert und näher bestimmt werden müsse. Es geht – anders ausgedrückt – um das Wesen des Zusammenhanges zwischen Raum, Zeit und Materie.

Das von Einstein formulierte Gravitationsgesetz „trennt“ auf eigentümliche Weise die physikalischen Eigenschaften des Raumes. Die Wirkungen der gravitationserzeugenden Massen werden mit der Geometrie des Raumes vollständig beschrieben. Die rechte Seite der Gleichung indessen faßt explizit die anderen physikalischen Eigenschaften des Raumes zusammen. Einstein selbst bezeichnete die rechte Seite seiner Gleichung als eine „formale Zusammenfassung aller Dinge, deren Erfassung im Sinne einer Feldtheorie noch problematisch ist“²⁵. Der von Einstein und anderen Physikern weitergeführte Gedanke besteht darin, auch die rechte Seite direkt mit der geometrischen Struktur des Raumes vollständig zu erfassen. Es geht um die Suche nach einer raum-zeitlichen Struktur, die in einer sogenannten einheitlichen Feldtheorie das physikalische Gesamtfeld darstellt. Alle bisherigen Ansätze in dieser Richtung blieben aber bisher ohne Erfolg.

Die von der Physik gestellte Frage wurde von J. A. Wheeler und C. W. Misner zugespitzt so formuliert: „Es stehen zwei Auffassungen über die Physik in scharfem Gegensatz zueinander: 1. Das Raum-Zeit-Kontinuum dient nur als Arena für den Kampf von Feldern [36] und Teilchen. Diese Wesenheiten sind der Geometrie fremd. Sie müssen zur Geometrie hinzugefügt werden, um Physik zu ermöglichen. 2. Es gibt nichts in der Welt außer dem leeren, gekrümmten Raum. Materie, Ladung, Elektromagnetismus und andere Felder sind nur Manifestationen der Krümmung des Raumes. Physik ist Geometrie.“²⁶

Für die philosophische Diskussion stellt sich die Frage nach den hieraus folgenden Konsequenzen, nach dem Inhalt der These, daß Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind. Diese Frage wird zum Beispiel von J. A. Chasanow aufgeworfen, ohne allerdings entschieden zu werden.²⁷ Sieht man den Inhalt dieser These formal in einer Form-Inhalt-Dialektik, bei der vielleicht der Inhalt dominiert, so führt das bei der Physik-Konzeption von Wheeler zu Schwierigkeiten. Diese Auffassung vertritt zum Beispiel K. H. Kannegießer in einer Arbeit aus dem Jahre 1964. Er sieht das wesentliche Moment in einer Wechselwirkung von Materie, Raum und Zeit. Raum und Zeit seien als „einheitliche, absolute Existenzformen“ mit der sich bewegenden Materie verschmolzen.²⁸ Diese Interpretation, auf das Konzept der einheitlichen Feldtheorie angewandt, führt zumindest zu einem semantischen Widerspruch, daß die inhaltslose Form bereits die sich bewegende Materie beschreibt, mit ihr identisch ist.

²⁴ Ebenda, S. 182.

²⁵ A. Einstein, Autobiographisches, in: Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher, Stuttgart 1949 u. 1951, S. 28.

²⁶ C. W. Misner/J. A. Wheeler, Classical Physics as Geometry, in: Annals of Physics, 1957, S. 526.

²⁷ J. A. Chasanow, Zwei Konzeptionen über Raum und Zeit, in: Fragen der Philosophie, 2/1966 (russ.)

²⁸ K. H. Kannegießer, Raum-Zeit-Unendlichkeit, Berlin 1964, S. 48.

A. Griese wendete sich in einer Arbeit aus dem Jahre 1966 gegen diese starre Deutung der marxistischen These von Raum und Zeit als Existenzformen der Materie. Sie schreibt: „Wir möchten hier die These vertreten, daß die Inhalt-Form-Dialektik im üblichen Sinne auf das Verhältnis von Materie, Raum und Zeit – so wie es sich in der allgemeinen Relativitätstheorie darstellt – nicht anwendbar ist. Der Satz, daß Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind, ist die allgemeinste philosophische Aussage über Raum und Zeit. Wir bestimmen Raum und Zeit in dieser These unter dem Gesichtspunkt der materiellen Einheit der Welt. Eine ausreichende Bestimmung dessen, was Raum und Zeit sind, welche Seiten der einheitlichen materiellen Welt sie darstellen, ist damit noch nicht gegeben ...“²⁹ Die Autorin resümiert: „Raum und Zeit sind Existenzformen der Materie, heißt demnach, Raum und Zeit sind bestimmte Strukturen im komplexen Beziehungsgefüge der einheitlichen und materiellen Welt.“³⁰

Die Diskussion dieser Frage ermöglicht ein tieferes Verständnis dieser grundsätzlichen These des Marxismus-Leninismus über die materielle Einheit der Welt. Offensichtlich setzt sowohl das von Einstein, Wheeler und anderen vorgeschlagene Konzept einer weit-[37]teren Verallgemeinerung der Gravitationstheorie als auch die ursprüngliche Fassung Einsteins die objektive Realität von Raum und Zeit voraus. Es geht der Physik hier darum, die Raumstrukturen in neuer Weise und unter weitergehenden Gesichtspunkten als bisher bestimmen zu wollen – eine Aufgabe der Einzelwissenschaft, die bis heute jedenfalls noch nicht gelöst ist. Die von der Physik in Angriff genommene Aufgabe mag – angesichts gewisser Analogien zum methodischen Herangehen an die Ausarbeitung der allgemeinen Relativitätstheorie – reizvoll sein. Daß sie notwendig auch zum Erfolg führen muß, folgt daraus nicht. Die Frage nach möglichen philosophischen Konsequenzen eines Erfolges in dieser Richtung ist indessen berechtigt.

Die Fassung des Gravitationsgesetzes von 1916, die recht gut mit zahlreichen experimentellen Beobachtungen übereinstimmt, bietet mitunter Anlaß zu weltanschaulichen Fehlinterpretationen: Die in der Größe T_{ik} zusammengefaßte „Materie“ ist keineswegs mit dem philosophischen Begriffsinhalt gleichzusetzen. Sie faßt, wie bereits mehrfach betont, nur eine bestimmte Qualität physikalischer Bewegung zusammen. Im Sinne der philosophischen Begriffsabstraktion Materie, die die Gesamtheit des außerhalb und unabhängig vom Bewußtsein existierenden Seins umfaßt, zählt natürlich auch die erfahrbare Raumstruktur und die ihr zugrunde liegende Gravitation zur Materie, also auch die von den Größen der linken Seite der Gravitationsgleichung erfaßten Qualitäten. So gesehen faßt das Einsteinsche Gravitationsgesetz verschiedene qualitative Seiten des objektiven materiellen Seins zusammen und gibt an, wie diese qualitativen Seiten miteinander zusammenhängen, wie sie sich gegenseitig bedingen. Dieser grundsätzliche Sachverhalt wird auch von einem erfolgreich gelösten Wheelerschen Konzept nicht beseitigt, in ihm wird der wechselseitige Zusammenhang der verschiedenen qualitativen Seiten des objektiven materiellen Seins nur anders bestimmt.

Die These, daß Raum und Zeit Existenzformen der Materie sind, unterstreicht ebenfalls nur die Existenz dieses unabdingbaren Zusammenhangs; sie besagt, daß alle außerhalb des Bewußtseins ablaufenden objektiven materiellen Prozesse durch Bewegung realisiert sind, deren Bestimmungsmerkmale räumliche und zeitliche Veränderungen sind. Welche konkreten Raum-Zeit-Strukturen dabei vorherrschen, ist für diese allgemeingültige, grundsätzliche Aussage zunächst völlig gleichgültig, ebenso wie die Frage nach dem Wirkungsmechanismus der hierfür ursächlichen Kräfte. Wollte man die [38] philosophische Aussage, Raum und Zeit sind Existenzformen der Materie, aus semantischen Gründen schematisieren, so würde man damit den gedanklichen Reichtum dieser Aussage ganz unberechtigt einschränken. Gerade diese allgemeine philosophische Formulierung ist eine konstruktive Plattform sowohl für die Auseinandersetzung mit der bürgerlichen Philosophie als auch für die Zusammenarbeit mit der Einzelwissenschaft. „Allein die These von Raum und Zeit als Existenzformen der Materie“, so schreibt zum Beispiel H. Hörz, „verlangt die genaue Untersuchung der Raum-Zeit-Struktur in Abhängigkeit von der Bewegung materieller Objekte und drückt den materialistischen Grundstandpunkt aus, daß unsere Raum-Zeit-Theorien Widerspiegelung der objektiven Raum-Zeit-

²⁹ A. Griese, Philosophische Raum-Zeit-Problematik und moderne Geometrodynamik, in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Sonderheft, 1966, S. 75.

³⁰ Ebenda.

Beziehungen sind. Dieser Nachweis der Vereinbarkeit ist die Voraussetzung für die weitere philosophische Analyse der Raum-Zeit-Beziehungen, die zu Auffassungen über das Verhältnis von Materie, Bewegung, Raum und Zeit führen und etwa den Raum immer mehr als objektiv reale Struktur erkennen lassen.³¹

Hörz weist zudem auf einen wichtigen anderen Aspekt der Problematik hin, indem er schreibt: „Ein weiterer wesentlicher Aspekt der These von der materiellen Einheit der Welt ist die Anerkennung der Unendlichkeit der Materie mit ihren Momenten der Unerschöpflichkeit, der Bewegung als Daseinsweise der Materie und der Existenz unerschöpflich vieler potentieller Raum-Zeit-Strukturen.“³² Auf diese Fragen gehen wir noch ausführlich ein.

Die Einsteinsche Gravitationstheorie ist in der Tat nicht der einzige Ansatz, die im Kosmos verwirklichten Raum-Zeit-Strukturen zu erfassen. Es wurde in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl neuer theoretischer Ansätze bzw. Erweiterungen der Einsteinschen Theorie vorgeschlagen. Ein wichtiger Unterschied zwischen der Einsteinschen Gravitationstheorie und deren verschiedenen Modifikationen besteht in einer physikalisch wesentlich anderen Auffassung darüber, wie das Gravitationsfeld (die Geometrie) an das Materiefeld (im alten physikalischen Sinne) gekoppelt ist. Im besonderen wird diese Kopplung nicht mehr nur durch die relativistische Gravitationskonstante κ erfaßt, wie das in der Einsteinschen Theorie der Fall ist. Hier treten in den verschiedenen Theorien zusätzliche Skalarfelder hinzu, deren Bau durch gewisse hypothetische Annahmen nahegelegt wird. Eine detaillierte Gegenüberstellung und Diskussion entsprechender Theorien ist bei Treder³³ gegeben.

Für den Fall schwacher Gravitationsfelder sind alle Theorien in ihren Konsequenzen recht ähnlich; gravierende Unterschiede gibt [39] es für den Fall starker Gravitationsfelder. Im Zusammenhang mit der Diskussion von Konsequenzen einiger dieser Modifikationen sei hier vorbereitend auf die Theorien von P. Jordan und R. H. Dicke sowie von Hoyle und Narlikar eingegangen.

Die – nahezu äquivalenten – Theorien von Jordan und Dicke koppeln das tensorielle Materiefeld über ein zusätzliches Skalarfeld an das Gravitationsfeld an. Jordan knüpfte als Motiv für seine Theorie an eine Idee des Physikers P. A. M. Dirac an, der zufolge die Gravitationskonstante der Newtonschen und Einsteinschen Theorie keine wirkliche Konstante sei, sondern eine Funktion der Zeit, in Größenordnungen von Milliarden Jahren gemessen. Diesen Schluß zog Dirac aus einer eigenartigen „Magie der großen Zahlen“.

Betrachtet man zum Beispiel einerseits die Coulombsche Anziehungskraft, so ergibt sich für das Verhältnis dieser Kräfte die unvorstellbar hohe, dimensionslose Zahl 1038. In der Atomphysik gebräuchliche physikalische Konstanten lassen sich in der Weise kombinieren, daß sie die Größe einer Elementarlänge oder einer Elementarzeit definieren, die im Sinne einer Quantelung zu verstehen sind. Immer dann, wenn diese Größen mit entsprechenden Größen der Kosmologie in Beziehung gesetzt werden, erhält man eine ähnlich hohe, dimensionslose Zahl, zum Beispiel, wenn die Elementarzeit mit dem aus der Galaxienflucht extrapolierten „Weltalter“ in Beziehung gesetzt wird.

Diracs Hypothese besagt nun, daß die Gleichheit dieser Zahlen nicht zufällig ist, sondern daß in ihr ein tiefer Zusammenhang zwischen Atomtheorie und Kosmologie zum Ausdruck komme. Er nahm an, daß es sich hierbei um Größen handle, die stets und zu jeder Zeit mit dem „Weltalter“ vergleichbar seien. Daraus folge, daß dann einige Naturkonstanten eine Funktion der Zeit sein müssen. So legt diese erstmals 1937 und in den Folgejahren mit detaillierteren Argumenten vertretene Hypothese nahe, die Gravitationskonstante werde mit zunehmendem „Alter“ des Universums kleiner, oder die Gesamtmasse aller im All existierenden Protonen und Neutronen vermehre sich ständig aus dem Nichts heraus. Diesen Standpunkt hat Dirac 1973 auf der 23. Nobelpreisträgertagung in Lindau erneut bekräftigt.³⁴

³¹ [H. Hörz, Marxistische Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin 1974](#), S. 121.

³² Ebenda, S. 214.

³³ H.-J. Treder, Gravitationstheorie und Äquivalenzprinzip, Berlin 1971.

³⁴ P. A. M. Dirac, New Ideas of Space and Time, in: Die Naturwissenschaften, 12/1973.

Jordan griff diesen Gedanken auf und gelangte zu dem Schluß, daß die Einsteinsche Gravitationskonstante als Raum-Zeit-Funktion mit dem g_{ik} der Raummetrik durch ein System von Differentialgleichungen zu verknüpfen sei.

Die Überlegungen von R. H. Dicke und C. Brans hatten einen [40] anderen, teils experimentellen, teils theoretischen Ausgangspunkt. Sie führten aber schließlich auch zu den bereits von Jordan gefundenen Feldgleichungen. Einige Konsequenzen dieser Theorie werden im Rahmen dieser Arbeit noch kritisch analysiert.

Ein – anders gebautes – Skalarfeld benötigt auch die von Hoyle zu Beginn der 60er Jahre ausgearbeitete Theorie, deren Ansätze bis in das Jahr 1948 zurückreichen. Sie fordert, wird sie für Betrachtungen des Weltalls als Ganzes angewandt, daß die Welt im Großen ruht. Dadurch wird zwar die Eigenschaft anderer kosmologischer Weltmodelle umgangen, einen Anfang der Welt in der Zeit zu fordern, dies wird aber durch das ebenso unhaltbare Postulat einer ständigen Materieschöpfung aus dem Skalarfeld erkaufte. Auch auf diesen Sachverhalt kommen wir noch ausführlich zurück.

Die Existenz weiterer miteinander konkurrierender Theorien macht deutlich, daß aus der Sicht der Einzelwissenschaft noch längst nicht völlige Klarheit über die Interpretationsbreite der in der allgemeinen Relativitätstheorie enthaltenen grundsätzlichen Aussagen herrscht und daß andererseits keine Theorie so vollkommen ist, daß sie nicht in dieser oder jener Frage mit irdischen experimentellen oder astronomischen Beobachtungsergebnissen im Widerspruch stünde. Schließlich enthält jede dieser Theorien gewisse hypothetische Annahmen über den realen Kosmos.

Diese Annahmen sind natürlich nicht willkürlich erfunden, sie fassen vielmehr den erreichten Wissensstand der Physik, Mathematik und der Philosophie zusammen. Seine Interpretation hat aber breiten Spielraum für den subjektiven Faktor in der Wissenschaft – denn die intuitiv gesetzten Annahmen philosophischer Prägung hängen sehr von vornherein vertretenen philosophischen Standpunkt ab.

Ein Beweis für die Richtigkeit dieser oder jener Theorie kann stets nur über das Experiment, über den Vergleich der theoretischen Vorhersagen mit dem tatsächlichen, realen physikalischen Geschehen im Raum gewonnen werden. Je mehr Erfahrungen mit den theoretischen Vorhersagen übereinstimmen, desto größer wird die Berechtigung, die Theorie auch für die Lösung experimentell noch nicht überprüfbarer Fragen heranzuziehen.

Es gibt heute bereits eine Reihe von Erfahrungen, die es ermöglichen, über die Zuverlässigkeit dieser oder jener Theorie zu urteilen. In den letzten beiden Jahrzehnten hat es der Fortschritt von Wissenschaft und Technik ermöglicht, eine Reihe von Experimenten zur Überprüfung der allgemeinen Relativitätstheorie durchzuführen, sowohl im Rahmen der irdischen als auch der kosmischen Physik. [41] Dabei zeigte sich, daß die Folgerungen aus der ursprünglichen, von Einstein formulierten Gravitationstheorie am besten mit den experimentellen Ergebnissen übereinstimmen.

Unter diesem Gesichtspunkt scheint es angemessen, gerade die Konsequenzen der Einsteinschen Gravitationsgleichungen ins Zentrum einer philosophischen Untersuchung zu rücken. Von besonderem Interesse sind hierbei die verschiedenen kosmologischen Weltmodelle. Vor einer Erörterung philosophisch relevanter Probleme, die sich aus diesen Weltmodellen ergeben, sei zunächst auf die bis heute zur Überprüfung der Relativitätstheorie vorgenommenen Experimente und deren Ergebnisse eingegangen. Die Kenntnis der heute realisierbaren allgemein-relativistischen Experimente und ihres Ausgangs ermöglicht es, die Aussagen dieser oder jener Theorie am Kriterium der Wirklichkeit zu messen. Die Kenntnis der experimentellen Ergebnisse deckt zudem die Schwächen einzelner Theorien und die ihr zugrunde liegenden prinzipiellen oder methodischen Mängel auf. Die vom Experiment gelieferten Argumente bieten ein solides Fundament sowohl für die sachliche Diskussion zwischen Philosoph und Einzelwissenschaftler als auch für eine überzeugende propagandistische Arbeit auf weltanschaulichem Gebiet.

[42]

3. Überblick über Ergebnisse experimenteller Forschung

3.1. Solar-relativistische Effekte

Die grundsätzliche Schwierigkeit, die Gravitationstheorie mit ihren Aussagen im Experiment zu überprüfen, besteht darin, daß die Gravitation die weitaus schwächste der vier bekannten Kräftearten der Natur ist. Gravitation, schwache, elektromagnetische und starke Wechselwirkung stehen im Verhältnis $10^{-29} : 10^{-12} : 10^{-2} : 1$ zueinander, das heißt, die im Atomkern zwischen zwei Teilchen wirkenden Kernkräfte sind bis zu 10^{29} mal stärker als die gleichzeitig wirkende gegenseitige Massenanziehung. Das macht deutlich, daß in der irdischen Physik Gravitationseffekte durch andere physikalische Effekte wesentlich überlagert werden. Eine weitere prinzipielle Schwierigkeit besteht darin, daß unsere Erde und auch die Sonne nur sehr schwache Gravitationsfelder erzeugen, für schwache Felder die Relativitätstheorie aber nur eine wenig von Null verschiedene Raumkrümmung voraussagt. Alle physikalischen Vorgänge sind daher in guter Näherung mit der bewährten Newtonschen Mechanik erklärbar. Starke Gravitationsfelder hingegen werden zwar von weit entfernten kosmischen Objekten erzeugt, hier kommen dafür aber Beobachtungsschwierigkeiten und die geringe Kenntnis über den Zustand der Materie unter den in diesen Objekten herrschenden Bedingungen ins Spiel.

Erst die dank großer Fortschritte aller wissenschaftlich-technischen zweige heute erreichbaren Meßgenauigkeiten haben es ermöglicht, auch die geringen Abweichungen der tatsächlichen, relativistischen Raum-Zeit-Struktur in Sonnennähe von der euklidischen nachzuweisen. Eine Vielzahl von Befunden bestätigt heute die Richtigkeit der Grundaussagen der Einsteinschen Gravitationstheorie. Die entsprechenden Ergebnisse lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

1. Ergebnisse, welche die Krümmungseffekte der Raum-Zeit innerhalb des Planetensystems beweisen
2. Ergebnisse der Astronomie, welche die Vorhersage der Gravitationstheorie zur Raum-Zeit-Struktur des Kosmos als Ganzen (kosmologische Weltmodelle) begründen.

[43] Die ersten experimentellen Hinweise auf die Richtigkeit des von Einstein eingeschlagenen Weges lagen bereits wenige Jahre nach Veröffentlichung der Theorie vor. In Frage kamen drei solar-relativistische Effekte, das heißt Effekte, die ihren Ursprung durch die gravitationsbedingte Raumkrümmung in der Nähe der Sonne haben:

- a) die Ablenkung des Sternenlichtes im Gravitationsfeld der Sonne
- b) die mit Hilfe der Störungstheorie nicht erklärbaren Bahnstörungen einiger Planeten
- c) die Rotverschiebung der Spektrallinien der von der Sonne bzw. von sehr kleinen, weißglühenden Sternen („weißen Zwergen“) ausgesandten Strahlung als Folge des dort vorhandenen Gravitationsfeldes.

Die von der Theorie vorhergesagte Ablenkung des Fixsternlichtes in Sonnennähe hatten englische Physiker bereits am 29. Mai 1919 bei der Sonnenfinsternis in Sokral (Brasilien) und auf der Insel Principe (Westafrika) mit guter Näherung bestätigt. Während einer Sonnenfinsternis sind auch Sterne sichtbar, die scheinbar unmittelbar neben der Sonne plaziert sind, deren Licht aber gewöhnlich von der Intensität des Sonnenlichtes überdeckt wird. Das von diesen Sternen ausgehende Licht wird im Gravitationsfeld der Sonne abgelenkt, das heißt, der Lichtstrahl verändert seine Richtung. Der Beobachter auf der Erde sieht deshalb den Stern an einer etwas veränderten Position als bei Aufnahmen am nächtlichen Himmel. Diese Ablenkung sollte nach der theoretischen Vorhersage genau 1,74 Sekunden betragen für einen Lichtstrahl, der im Abstand von einem Sonnenradius an der Sonne vorbeigeht. Diese Standortverschiebung wurde 1919 von den Astronomen an sieben beobachteten Sternen tatsächlich registriert, in guter numerischer Übereinstimmung mit den theoretisch vorhergesagten Werten.

Ähnliche Beobachtungen an Sonnenfinsternissen wurden in den Jahren 1922, 1929, 1947 und 1952 wiederholt. Die Ergebnisse faßt umstehende Tabelle zusammen.³⁵

³⁵ Nach H. Dehnen, in: Physikalische Blätter, 25/1969, S. 400.

Im Jahre 1967 gelang es erstmals der Forschergruppe um I. Shapiro, mit Hilfe der Radioastronomie die Ablenkung der elektromagnetischen Strahlung der Quasare 3C279 und 3C273B im Schwerfeld der Sonne zu messen. Sie ermittelte, in späteren Messungen wiederholt, eine Ablenkung von 1,73 Bogensekunden mit einer Meßgenauigkeit von $\pm 0,05$ Bogensekunden.³⁶

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten Astrophysiker mit Hilfe des Radiointerferometers des National Radio Astronomy Observatory in Green Bank/West-Virginia (USA). Mit ihm wurde die Mikro-[44]

<i>Sonnenfinsternis</i>	<i>Ort</i>	<i>Beobachter</i>	<i>Ergebnis</i>
1919	Südamerika	Crommelin Cottingham	1,98 Sek. 1,61 "
1922	Nord-Australien	Chant Campbell	1,74 " 1,72 "
1929	Sumatra	Freundlich Trümpler	2,24 " 1,75 "
1947	Brasilien	v. Biesbroek	2,01 "
1952	Sudan	v. Biesbroek	1,70 "

wellenstrahlung dreier Quasare untersucht, die in der Nähe der Sonnenscheibe vorbeiging. Um die Beugung beim Durchgang durch die Sonnenkorona zu eliminieren, beobachteten die Physiker zwei Frequenzen, um entsprechende Störfaktoren ausschalten zu können. Auch diese Meßergebnisse sprachen mit hoher Präzision eindeutig für die Einsteinsche Theorie. Die Forscher unter Leitung von E. Fomalont, deren Ergebnisse 1975 veröffentlicht wurden, ermittelten einen Ablenkungswert von 1,77 Bogensekunden mit einer Meßgenauigkeit von $\pm 0,02$ Bogensekunden. Der theoretische Wert, der sich aus der Theorie von Jordan, Brans, Dicke ergibt, liegt mit 1,65 Bogensekunden bereits weit außerhalb der Fehlergrenzen. Auch diese Wissenschaftlergruppe hatte ihre Untersuchungen am Quasar 3C279 vorgenommen, der Anfang Oktober jeden Jahres von der Sonne bedeckt wird.

Diese und weitere experimentelle Befunde zur Frage der Lichtablenkung im Schwerfeld führte die angesehene naturwissenschaftliche Zeitschrift „Nature“ zu dem Schluß, daß der Hypothese von R. H. Dicke „der Todesstoß“ versetzt worden sei.

Die Aufklärung der Störung im Vorrücken des Merkur-Perihels zählt ebenfalls zu den von Einstein selbst angeführten Hinweisen auf die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges. Bekanntlich bewegt sich der Merkur auf einer elliptischen Bahn um die Sonne. Diese Bahnellipse liegt aber nicht fest im Raum, sondern dreht sich selbst allmählich um die Sonne – das heißt, präziser ausgedrückt, der Merkur bewegt sich nicht auf einer geschlossenen Ellipsenbahn, sondern auf einer rosettenähnlichen Flugbahn. Die Rotationsbewegung dieser Ellipse, das Vorrücken des Merkurperihels, erreicht pro Jahrhundert einen Wert von 43 Bogensekunden. Die Newtonsche Mechanik vermag nur einen Teil dieses Wertes mit Hilfe eigens zu [45] diesem Zweck ersonnener, wenig wahrscheinlicher Hypothesen zu erklären.

Die Einsteinsche Gravitationstheorie indessen sagte aus, daß in einem Schwerfeld wie dem der Sonne die Planetenbahnen notwendigerweise rotieren müssen. Bei allen Planeten, bis auf den Merkur, ist dieser Effekt so klein, daß er sich den Beobachtungen im Rahmen der erreichbaren Meßgenauigkeit ganz oder teilweise entzieht. Für den Merkur, so ergab Einsteins Theorie, müßte diese Rotationsbewegung gerade 43,03 Bogensekunden pro Jahrhundert ausmachen. Der im Jahre 1943 von Clemence erhaltene experimentelle Wert beträgt 42,9 Bogensekunden. Inzwischen wurden diese Messungen auch für Venus und Erde möglich. Einen Überblick gibt die folgende Tabelle.³⁷

³⁶ E. Schmutzer, Vortrag auf dem Kühlungsborner Kolloquium der Sektion Marxistisch-leninistische Philosophie der Humboldt-Universität zu Berlin, April 1974.

³⁷ Nach H. Dehnen, in: Physikalische Blätter, 25/1969.

<i>Planet</i>	<i>theoret. Wert/Jahrhundert</i>	<i>exp. Wert</i>	<i>Beobachter/Jahr</i>
Merkur	43,03 Sek.	42,9 ± 0,2 Sek.	Leverrier/1859 Clemence/1943
Venus	8,6 "	8,4 ± 4,8 "	Duncombe/1956
Erde	3,8 "	5,0 ± 1,2 "	Duncombe/1956
Mars	1,4 "	–	–

Die Übereinstimmung der Merkur-Werte schien wieder in Frage gestellt, nachdem R. H. Dicke und H. M. Goldenberg 1966 Ergebnisse der photometrischen Ausmessung der Abplattung der Sonne vorlegten, die zeigen sollten, daß die Massenverteilung in der Sonne nicht kugelsymmetrisch sei, wie für die theoretische Berechnung der Planetenbahnen zugrunde gelegt worden war. Dicke und Goldenberg wollten eine wesentlich größere Abplattung ermittelt haben, als auf Grund der Rotationsdauer der Sonne von 25 Tagen zu erwarten war. Die auf der Basis dieser vermuteten Massenverteilung vorgenommenen erneuten Berechnungen zeigten, daß rund 10 Prozent des Störungswertes der Merkurbahn lediglich eine Folge einer nichtsymmetrischen Massenverteilung in der Sonne seien und kein relativistischer Effekt. Die Übereinstimmung von tatsächlicher Periheldrehung und relativistischem Wert wäre somit zufällig. Die den Experimenten von Dicke zugrunde liegenden Überlegungen und erste experimentelle Ergebnisse hatten zu der bereits erwähnten modifizierten Theorie geführt. Die photometrischen Untersuchungen Dickes sind sehr schwierig und bergen zahlreiche methodische [46] Fehlerquellen. Sie wurden und werden daher von vielen Wissenschaftlergruppen angefochten. Hinzu kommen die wenig befriedigenden Konsequenzen aus der darauf aufbauenden Theorie, auf die später noch eingegangen wird.

Eine gewisse Entscheidung in dieser Frage brachten jetzt Ergebnisse einer amerikanischen Forschergruppe unter Leitung von H. A. Hill. Sie stellte fest, daß die von Dicke behauptete Sonnenabplattung eine Täuschung ist, hervorgerufen durch geringfügige Helligkeitsunterschiede zwischen dem Sonnenäquator und den Polen. Dieser Befund konnte durch G. S. Chapman bestätigt werden, der nachwies, daß Fackelausbrüche in der Photosphäre der Sonne zu völlig falschen Resultaten über die Abplattung führen.³⁸ Die Dickesche Theorie vermag auch nicht die Ergebnisse der Quasarmessungen von Shapiro zu deuten, die übrigens von E. Fomalont vom Observatorium Green Bank/Virginia (USA) mit $1,77 \pm 0,02$ Bogensekunden nahezu bestätigt wurden. Nach der Theorie von Dicke wäre die Ablenkung eben nur 1,65 Bogensekunden.

Experimentell um vieles komplizierter ist ein zufriedenstellender Beweis für die von der allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagte Rotverschiebung im Lichtspektrum der Sonne und weißer Zwerge. Einstein hatte gezeigt, daß in einem – gegen ein Galileisches Bezugssystem – rotierenden System zwei gleichbeschaffene Uhren in verschiedenem Abstand vom Rotationszentrum verschieden rasch laufen. Dieses Ergebnis gilt auch vom Standpunkt eines mit der Scheibe rotierenden Beobachters, es gilt für Gravitationsfelder überhaupt. Und da ein Spektrallinien emittierendes Atom als Uhr anzusehen ist, folgt nach Einstein daraus die Notwendigkeit, daß die Frequenz, die ein Atom emittiert bzw. absorbiert, vom Potential des Gravitationsfeldes abhängt, in dem es sich gerade befindet.

Das von den Atomen an der Oberfläche eines Sternes ausgesandte Licht müßte als Folge des dort vorherrschenden relativ hohen Gravitationsfeldes sein Spektrum zu hohen Wellenlängen, zum roten Spektralbereich hin verschieben, verglichen mit Lichtspektren gleicher Atome, die im „freien“ Welt- raum oder auf der Erde mit ihrem überaus schwachen Feld Strahlung emittieren. Bei der Sonne sollte diese Frequenzdifferenz etwa den zweimillionsten Teil der „Grundfrequenz“ ausmachen.

Die experimentelle Schwierigkeit für den Nachweis dieser Rotverschiebung besteht nicht nur in der Kleinheit des Effektes, sondern auch in den großen Turbulenzen an der Sonnenoberfläche, die ebenfalls geringe Frequenzverschiebungen verursachen. Die zuerst [47] durchgeführten Untersuchungen der Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum waren daher sehr unsicher. Bei weißen Zwergen – Sternen mit sehr großer Dichte, aber relativ kleinen Durchmessern – mit einem hohen Gravitationsfeld ist

³⁸ Physical Reviews Letters, Bd. 33, S. 1497, und Bd. 34, S. 755.

hingegen ein Nachweis dieses Effektes wegen der unzureichenden Kenntnis des Radius und der genauen Sternmasse von vornherein unsicher.

Die Rotverschiebung des von einem weißen Zwerg ausgehenden Lichtes wurde erstmals 1925 am Sirius B gemessen, und zwar an der Wasserstofflinie H-Beta. Im Jahre 1954 konnte die Verschiebung der H-Beta- und der H-Gamma-Linie im Spektrum eines anderen weißen Zwerges nachgewiesen werden. Mit einer Genauigkeit von fünf Prozent konnte schließlich R. H. Dicke im Jahre 1964 bei Messungen über die ganze Sonnenscheibe hinweg die Verschiebung der Natrium-D₁-Linie im Sonnenspektrum nachweisen.

Der Mößbauer-Effekt – eine Entdeckung aus dem Bereich der Atomphysik – ermöglichte es erstmals 1960, die Rotverschiebung der von Strahlungsquellen ausgesandten Lichtquanten auch in dem sehr schwachen Schwerfeld der Erde nachzuweisen. Eine in einer gewissen Höhe über der Erdoberfläche befindliche Quelle sendet Strahlung aus, die von einem Beobachter auf der Erdoberfläche frequenzverschoben wahrgenommen wird. Die Größe des Effektes hängt dabei von der Höhe der Strahlungsquelle und von der Differenz des Gravitationspotentials an beiden Punkten ab. Diese Frequenzverschiebung ist von Pound und Rebka 1960 an den Gammaquanten des radioaktiven Eisenisotops Fe-57 bei einer Basishöhe von 22 Metern gemessen worden. Die Differenz zwischen gemessenem Wert und Erwartungswert betrug 10 Prozent. 1965 gelang es Pound und Snider durch eine verfeinerte Experimentiertechnik, eine Übereinstimmung von einem Prozent nachzuweisen. Einen Überblick über den erreichten Stand gibt umstehende Tabelle.³⁹

Die Messungen von Pound, Rebka und Snider, darauf ist von verschiedenen Seiten wiederholt hingewiesen worden, sind im Grunde genommen jedoch kein Beweis für die Richtigkeit der Relativitätstheorie, sondern bestätigen lediglich das dieser Theorie zugrunde gelegte Äquivalenzprinzip von träger und schwerer Masse. Von den Feldgleichungen der Gravitation wird für die Deutung dieses Versuchs kein Gebrauch gemacht.

Das erste Experiment, die Gleichheit von träger und schwerer Masse zu beweisen, wurde zum Anfang dieses Jahrhunderts von dem ungarischen Physiker L. Eötvös unternommen. Auf die Versuchsanordnung sei hier nicht näher eingegangen.⁴⁰ Eötvös konnte keinen [48]

<i>Beobachtungsobjekt</i>	<i>theor. Wert der Rotverschiebung</i>	<i>beob. Wert bzw. Differenz zwischen Theorie u. Exper.</i>	<i>Meßmittel</i>	<i>Beobachter/Jahr</i>
Sirius B	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	H-Beta-Linie	Adams 1925
40 Eridiani B	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	H-Beta-Linie H-Gamma-L.	Popper 1954
Erdfeld – h=22 m	$2,5 \cdot 10^{-15}$	$\pm 10\%$	14,4 keV γ -Strahlung v. Eisen-57	Pound/Rebka 1960
Sonne	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$\pm 5\%$	Na-D ₁ -Linie	Dicke 1964
Erdfeld – h=22 m (Mößbauereffekt)	$2,5 \cdot 10^{-15}$	$\pm 1\%$	14,4 keV γ -Strahlung Fe-57	Pound/Snider

Unterschied zwischen beiden Massen feststellen. Seine Meßgenauigkeit gestattete noch ein Abweichen des Quotienten aus träger und schwerer Masse um die Größe 10^{-8} zu ermitteln. Bei strenger Gültigkeit des Äquivalenzprinzips muß dieser Faktor stets eins sein. Eötvös bewies, daß er keinesfalls größer als 0,99999999 sein kann. In den Jahren 1961 bis 1964 wurden von P. Diky, I. Krotkov und P. Roll weitere Experimente zur Überprüfung der Äquivalenz von träger und schwerer Masse durchgeführt und deren Gleichheit mit einer Genauigkeit von $3 \cdot 10^{-11}$ bestätigt. V. B. Braginski und V. I. Panov erhöhten mit ihren Experimenten Ende der 60er Jahre die Genauigkeit auf $0,9 \cdot 10^{-12}$. Um eine

³⁹ Nach H. Dehnen, in: Physikalische Blätter, 25/1969

⁴⁰ Vgl. V. B. Braginskij/V. I. Panov, Überprüfung des Äquivalenzprinzips, in: Priroda, 11/1971 (russ.).

Vorstellung von der Meßpräzision zu bekommen: der Faktor 10^{-12} würde bedeuten, das Gewicht eines 100000-Tonnen-Tankers auf ein Zehntel Gramm genau zu bestimmen. Da sich die vier in der Natur bekannten Kräftearten – starke, elektromagnetische, schwache und Gravitationswechselwirkung – wie $1 : 10^{-2} : 10^{-12} : 10^{-29}$ verhalten, bedeutet die erreichte Meßgenauigkeit, daß das Äquivalenzprinzip für den Bereich der starken und elektromagnetischen Wechselwirkung nachgewiesen ist.⁴¹

Eine noch so geringe Abweichung von träger und schwerer Masse hätte erhebliche Konsequenzen für die Gravitationstheorie, weniger für die irdische Physik als vielmehr für die Kosmologie. Denn alle minimalen Abweichungen von den Grundvoraussetzungen der Theorie werden wegen der in der Kosmologie betrachteten Raum-Zeit-Dimensionen zu folgenschweren Ereignissen.

Die experimentellen Messungen der Rotverschiebung im Spektrum des Lichtes der Sonne oder weißer Zwerge, darauf wurde bereits [49] verwiesen, bereiten prinzipielle Schwierigkeiten. Erfolge in der Radar- und Satellitentechnik haben aber die experimentellen Möglichkeiten für den Nachweis der spektralen Verschiebung des im Gravitationsfeld ausgesandten Lichtes qualitativ erweitert.

Die Lichtablenkung im Gravitationsfeld der Sonne läßt sich mit Hilfe zweier Betrachtungsweisen erklären, die in der vollständigen Einstein-Theorie zusammenfallen. Zum einen rührt der Ablenkungswert von der Krümmung des Raumes her, das heißt von der Tatsache, daß die Flugbahnen der Lichtquanten im Raum die (krummlinigen) Geodäten sind. Zum anderen ließe sich die Ablenkung dadurch erklären, daß die Geschwindigkeit der Lichtquanten in der Nähe der Sonne langsamer wird, das heißt, sie hängt vom jeweiligen Abstand Lichtquant – Sonne ab. Die vom Ort abhängige Lichtgeschwindigkeit der Lichtquanten äußert sich – nach den Gesetzen der Wellenoptik – als Laufzeitverzögerung dieses Signals, gleichbedeutend mit einem geringen Umschwenken der Wellenfront, also einer Strahlablenkung. Ein in Sonnennähe vorbeigehender Lichtstrahl oder eine elektromagnetische Welle anderer Frequenz erleiden somit zugleich eine Richtungsablenkung als auch eine Laufzeitverzögerung. Es ist nur eine Frage der experimentellen Möglichkeiten, welchen der beiden Effekte man am genauesten messen kann.

In den letzten Jahren wurden nun Laufzeitmessungen von an Erdsatelliten reflektierten Radarsignalen vorgenommen. In einem Bericht aus dem Jahre 1970 gab I. Shapiro seine Ergebnisse der Radar-Echo-Messungen an den Satelliten Mariner 6 und Mariner 7 bekannt, deren Werte von den Aussagen der Einsteinschen Theorie nur um zwei bis höchstens vier Prozent abwichen. Diese Ergebnisse wurden auch von Laufzeitmessungen an Radarsignalen bestätigt, die von den Planeten Merkur und Venus in verschiedenen Positionen reflektiert wurden.⁴² Auf diesem Wege sollte sich nach Angaben der Wissenschaftler die Genauigkeit so weit steigern lassen, um noch Aussagedifferenzen von einem Prozent erfassen zu können. Eine entsprechend genauere Bestätigung für die von Albert Einstein ausgearbeitete Gravitationstheorie haben 1976 erneute Radar-Experimente mit den amerikanischen Marssonden Viking 1 und Viking 2 ergeben, die ebenfalls unter Leitung von I. Shapiro am Institut für Technologie in Massachusetts (USA) vorgenommen wurden.

Die um den Mars kreisenden Flugkörper boten ideale Bedingungen, die tatsächliche Größe dieser Auslenkung im Experiment zu bestimmen, als am 25. November 1976 der Mars hinter der Sonne vorbeizog. [50] Dabei erlosch völlig der Radar- und Funkkontakt zu den Sonden. Unmittelbar vor und nach dem „Wellenschwund“ wurden gleichzeitig vom kalifornischen Goldstone und von Canberra (Australien) aus Lichtfunksignale zu den Viking-Sonden und ihren Landeteilen gesendet und von diesen wieder zur Erde reflektiert. Eine komplizierte Auswertungselektronik sowie präzise Atomuhren maßen dabei die Laufzeit der Signale. Die Auslenkung der Radarsignale in Sonnennähe ist gleichbedeutend mit einer Laufzeitverzögerung, die auf diese Weise exakt registriert wurde. Die durch das Schwerefeld der Sonne bewirkte Verzögerung der Funksignale beträgt etwa 200-millionstel Sekunden.

Über die Meßergebnisse wurde Anfang 1977 in Massachusetts, von wo aus der Flug der Viking-Sonden überwacht wird, der Öffentlichkeit berichtet. Die Meßdaten widerlegten erneut gegen das

⁴¹ Ebenda.

⁴² I. Shapiro/M. E. Ash/R. P. Ingalls/W. B. Smith, in: Physical Reviews Letters, Bd. 26, S. 1132 (1971)

Einsteinsche Konzept vorgebrachte Theorien. Die abgeschlossenen Experimente haben im Vergleich zu den früheren Messungen eine weitere Steigerung der Meßgenauigkeit gebracht.

Gerade diese Laufzeitmessungen sprechen eindeutig zugunsten der Einsteinschen Theorie. Die theoretischen Erwartungswerte nach den Theorien von Jordan, Brans und Dicke differieren hier mitunter erheblich mit den experimentellen Werten. Nach der Vorhersage von Dicke für diese Experimente sollten die Werte zwischen sieben und zehn Prozent von den nach der Einstein-Theorie zu erwartenden Resultaten abweichen – ein recht großer Widerspruch zu den Experimenten.

Gegen die auf Dirac zurückgehende Hypothese einer zeitlichen Veränderung der Newtonschen Gravitationskonstanten ist eine Reihe von Argumenten auch aus anderen Wissenschaftszweigen vorgebracht worden.⁴³ Einwände gegen diese Hypothese erhob bereits 1948 E. Teller: Wenn sich diese Konstante wirklich mit der Zeit in der von Dirac zunächst angegebenen Weise verändert, so hätte vor 500 bis 600 Millionen Jahren die Gravitation spürbar stärker als heute gewesen sein müssen. Da die Leuchtkraft der Sonne sehr stark von der Größe der Gravitationskonstanten abhängt, und zwar in siebter Potenz, wäre der Zentralkörper unseres Planetensystems zu jener Zeit, im Kambrium, sehr viel heller als heute gewesen. Die Temperatur auf der Erde hätte ungefähr 100 Grad höher liegen müssen als heute. Paläontologische Fakten sprechen aber eindeutig dagegen. Wenn überhaupt, müßte die Zeitabhängigkeit der Gravitationskonstanten also wesentlich schwächer sein als von Dirac ursprünglich behauptet.⁴⁴

[51] Seither gab es verschiedenste Versuche, die Diracsche Hypothese widerspruchsfrei zu erhalten. So sollte sich nach einer Annahme von G. Gamow mit dem „Altern“ des Universums langsam die Ladung des Elektrons vergrößern. Eine Konsequenz hieraus wäre, daß sich die Feinstruktur im Lichtspektrum fernerer, das heißt älterer kosmischer Objekte von derjenigen relativ naher Körper typisch unterscheidet. I. Bakal und M. Schmidt stellten aber 1967 an fünf Galaxien in etwa zwei Milliarden Lichtjahren Entfernung fest, daß diese typischen Unterschiede im Vergleich zu irdischen Lichtspektren nicht vorhanden sind.

Die von P. Jordan 1955 verallgemeinerte Gravitationstheorie Einsteins hatte ebenfalls zu der von Dirac geforderten Zeitabhängigkeit der Gravitationskonstanten geführt. Jordan zeigte im Rahmen seiner Theorie, daß diese Zeitabhängigkeit auch erhebliche geologische Konsequenzen haben müsse. Er wies nach, daß die Erde als kompakter Körper als Folge der mit der Zeit schwächer werdenden Gravitation selbst expandieren müsse.⁴⁵ Zu ähnlichen Konsequenzen gelangte auch R. H. Dicke. Er berechnete, daß sich der Erdäquator seit Bestehen des Planeten um 700 km vergrößert haben müsse. Folge dieser Expansion wären die riesigen Risse zwischen den Kontinentalschollen der Erde und die Kontinentaldrift. Für diese in der Tat vorhandenen Erscheinungen finden andererseits Geophysiker recht befriedigende Erklärungen (zum Beispiel die Kontinentaldrifttheorie von A. Wegener), ohne eine veränderliche Naturkonstante bemühen zu müssen. Detaillierte Untersuchungen an sehr alten, versteinerten Sanddünen zeigten, daß ihr natürlicher Abhang vor Millionen von Jahren steiler war, als es unter heutigen natürlichen Bedingungen möglich wäre. Daraus folgt aber, daß eher eine Zunahme als eine Abnahme der Gravitationskonstanten im Laufe der Zeit geschlußfolgert werden müßte.⁴⁶

Ein weiterer schwerwiegender Einwand gegen die Annahme einer zeitabhängigen Gravitationskonstanten stammt von J. Barnothy. Es wäre schwer einzusehen, warum es am Himmel größenordnungsmäßig nicht ebenso viele quasistellare Objekte, das heißt sehr alte Objekte, wie Galaxien geben sollte. Tatsächlich ist die Anzahl der bisher beobachteten quasistellaren Radioquellen, den weitesten von der Erde entfernten bekannten kosmischen Objekten, um Größenordnungen kleiner als die Anzahl der Galaxien. Aber da die Leuchtkraft der Sterne mit der siebten Potenz der Gravitationskonstanten zunimmt, müßten die Galaxien früherer Zeiten, als die Gravitationskonstante größer war als heute,

⁴³ Vgl. I. M. Kramarovskij/V. P. Četčov, Sind die physikalischen Konstanten eigentlich konstant?, in: Priroda, 5/1972, S. 46-51 (russ.).

⁴⁴ E. Teller, in: Physical Reviews, 73/1948, S. 801.

⁴⁵ P. Jordan, Die Expansion der Erde, Braunschweig 1966.

⁴⁶ Vgl. I. M. Kramarovskij/V. P. Četčov, Sind die physikalischen Konstanten eigentlich konstant?, in: Priroda, 5/1972 (russ.).

auch sehr viel größere Leuchtdichten [52] besessen haben. Quasare besitzen als die ältesten bekannten Objekte tatsächlich diese hohe Leuchtkraft. Sie sind aus der Sicht dieser Theorie dann ganz gewöhnliche Galaxien, deren Licht uns wegen der großen Entfernung eben mit diesem großen Zeitverzug erreicht. Der Widerspruch besteht nur darin, daß es dann auch eben genauso viele Quasare wie Galaxien geben müßte. Die quantitative Diskrepanz indessen ist derart groß, daß sie nach Ansicht vieler Wissenschaftler auch nicht mit dem Hinweis hinwegklärt werden kann, daß die quasistellaren Radioquellen heute noch schwer auffindbar seien, wegen der noch ungenügenden Beobachtungstechnik.

Es zeigt sich also, daß eine Vielzahl völlig unterschiedlicher Argumente gegen die Diracsche Hypothese und die auf ihr begründeten Theorien sprechen. Eine weitere Verfeinerung der Experimente wird in dieser Frage sicherlich endgültige Klarheit bringen.

Schließlich sei noch ein Experiment aus dem Jahre 1972 angeführt, mit dem erstmals die von der Relativitätstheorie vorhergesagten Zeiteffekte im direkten Uhrenvergleich experimentell bestätigt worden. Die beiden amerikanischen Wissenschaftler J. Hafele und R. Keating umflogen mit vier Atomuhren an Bord eines Düsenflugzeugs zweimal die Erde, einmal in westlicher, das andere Mal ~ östlicher Richtung. Für die auf der Erde verbliebenen Vergleichsuhren gleichen Typs und gleicher Ganggenauigkeit wirkte die Schwerkraft und die Zentrifugalbeschleunigung als Folge der Erdrotation. Auf die Uhren im Flugzeug wirkte wegen der größeren Höhe ein anderes Schwerepotential als auf der Erde. Bei der Bewegung in östlicher bzw. westlicher Richtung ergeben sich zusätzliche unterschiedliche Bedingungen, da sich beim Flug nach Osten die Eigengeschwindigkeit des Flugzeugs zur Rotationsgeschwindigkeit der Erde addiert. Folglich ist die Zentrifugalbeschleunigung größer als bei einem Flug nach Westen. Wegen der Äquivalenz von träger und schwerer Masse wirken alle Faktoren gleichermaßen auf den Uhren ein. Für eine Flughöhe von zehn Kilometern und eine Fluggeschwindigkeit von 300 Metern pro Sekunde ergab eine Abschätzung – unter Berücksichtigung erforderlicher Zwischenlandungen und anderer Faktoren –, daß beim Flug nach Osten die Uhren im Flugzeug um 130 Nanosekunden nachgehen, beim Flug nach Westen dagegen um 290 Nanosekunden vorgehen müssen. Würde die Erde nicht rotieren, müßte die Differenz zu den Uhren am Boden in beiden Fällen denselben Betrag von 75 Nanosekunden haben.

Die Uhren im Flugzeug und auf der Erde gingen nach Beendigung des Fluges tatsächlich unterschiedlich, ein sehr populärer und über-[53]zeugender Beweis gegen die These einer absoluten Zeit. Auf dem Flug nach Osten gingen die Atomuhren an Bord der Maschine um 50 Nanosekunden nach, bei Beendigung der Erdumkreisung in Richtung Westen gingen die Uhren 160 Nanosekunden voraus. – Womit zumindest die Einsteinsche Theorie qualitativ bewiesen ist.⁴⁷

Interessanterweise wurde dieses Experiment von einigen Wissenschaftlern nicht als Bestätigung einer Vorhersage der allgemeinen Relativitätstheorie, sondern als Bestätigung des mit der speziellen Relativitätstheorie formulierten Zwillingsparadoxons interpretiert.⁴⁸ Doch die Aussagen der speziellen Theorie haben nur Gültigkeit für Bezugssysteme mit geradliniger, gleichförmiger Geschwindigkeit zueinander. Für einen Uhrenvergleich muß das Transportgerät aber entweder seine Flugrichtung umkehren oder auf einer Kreisbahn zum Ausgangspunkt zurückkehren. In jedem Falle wirken Beschleunigungskräfte, vom Gravitationsfeld der Erde und den Zentrifugalkräften der Erdrotation einmal abgesehen. Da das Transportgerät im Sinne der speziellen Relativitätstheorie seine Eigenschaft als Inertialsystem verliert, sind somit auch alle Aussagen über den Zeitablauf, einschließlich des Uhrenparadoxons, ungültig.

Prinzipiell bestehen noch weitere Möglichkeiten, Aussagen der Einsteinschen Gravitationstheorie mit Hilfe solar-relativistischer Effekte zu überprüfen (Thirring-Lense-Effekt, Fokker-Präzision). Gegenwärtig lassen sich diese Experimente meßtechnisch und gerätemäßig noch nicht durchführen, obgleich entsprechende Projekte in Vorbereitung sind. Auf den Versuch, die aus der allgemeinen Relativitätstheorie zu erwartenden Gravitationswellen nachzuweisen, wird an späterer Stelle eingegangen.

⁴⁷ Nature, Bd. 227, S. 270 (1972).

⁴⁸ Vgl. Wissenschaft und Fortschritt, 23/1973, S. 137, und Naturwissenschaftliche Rundschau, 7/1972, S. 270 f.

3.2. Kosmologische Effekte

Die zur Diskussion gestellten Gravitationstheorien enthalten bekanntlich nur allgemeine, qualitative Aussagen über die Art des strukturellen Zusammenhangs von Raum-Zeit und den physikalischen Ereignissen. Um aus diesen allgemein formulierten Gesetzen Schlußfolgerungen für konkrete, physikalische Sachverhalte zu ziehen – etwa für die Lichtablenkung im zentralsymmetrischen Schwerfeld der Sonne – müssen diesen Gleichungen die dem Problem entsprechenden physikalischen Randbedingungen hinzugefügt werden.

Formuliert man die entsprechenden Randbedingungen, so ermöglichen diese Gravitationstheorien auch qualitative und quantitative [54] Aussagen über den Kosmos als Ganzes. Dabei wird ein unbegrenzter Raum betrachtet, über dessen durchschnittliche Massenverteilung und physikalische Eigenschaften einige Hypothesen aufgestellt werden müssen, um das System der Feldgleichungen überhaupt lösen zu können. Diese Annahmen beruhen auf den historisch überkommenen Raum- und Zeitvorstellungen. Die aristotelische Welt war zwar isotrop – das heißt, es gab in ihr bezüglich physikalischer Gesetzmäßigkeiten keine ausgezeichneten Richtungen – , aber inhomogen und begrenzt. Copernicus nahm der Erde die Mittelpunktstellung und bezog die Planetenbewegung auf die Erde als einen sich im Raum bewegenden Körper. Später ließen Bruno und Galilei auch die Vorstellung einer unbeweglichen Sonne im Mittelpunkt der Welt fallen. Sie erklärten das Weltall für unendlich im Sinne einer Grenzenlosigkeit. Damit war die Vorstellung eines homogenen Raumes verbunden. Die Homogenität des Raumes wurde die zentrale und grundlegende physikalische Idee des 17. Jahrhunderts, deren Entwicklung sich in den Arbeiten von Copernicus, Bruno, Galilei, Descartes und schließlich Newton konsequent verfolgen läßt.

Homogenität und Isotropie des Raumes sind gegenwärtig die fundamentalen hypothetischen Vorstellungen vom Kosmos. Sie lassen sich im sogenannten kosmologischen Prinzip zusammenfassen: Die Erde oder ein beliebig anderer Punkt im All nimmt keine wie immer privilegierte Stellung im Universum ein, das Weltall bietet von jedem Punkt aus den gleichen Anblick, wenn man von lokalen Unregelmäßigkeiten absieht. Diese hypothetischen Vorstellungen, die im Rahmen der Meßgenauigkeit bisher experimentell nicht widerlegt sind, gehen als Randbedingungen in dieser oder jener Form in die relativistischen Gravitationsgesetze ein. Es sei aber bereits an dieser Stelle vermerkt, daß gerade in den letzten Jahren vermehrt Meßergebnisse vorgelegt wurden, die mehr eine Anisotropie der realen Welt belegen sollen.

Die so formulierten kosmologischen Weltmodelle treffen theoretische Aussagen über die konkrete Raum-Zeit-Struktur des Kosmos und über mögliche zeitliche Entwicklungen des Weltalls. Die in den letzten Jahren stark verbesserten Möglichkeiten astronomischer Forschung ermöglichen, zumindest für den heute bereits einzusehenden Teil des Weltalls, die Konsequenzen dieses oder jenes Weltmodells in der Natur zu überprüfen. Die astronomische Forschung trifft somit auch Aussagen über die Richtigkeit dieser oder jener Gravitationstheorie. Kosmologische Weltmodelle und [55] experimentelle Ergebnisse der Astronomie bilden gemeinsam das Fundament für das heutige Bild vom Kosmos.

Kosmologische Weltmodelle und astronomische Beobachtungsergebnisse haben nicht nur die physikalischen Vorstellungen vom Weltall durchgreifend revidiert, sondern auch zu tiefgehenden philosophischen Auseinandersetzungen geführt. So wurden kosmologische Weltmodelle vorgelegt, welche die räumliche Endlichkeit der Welt fordern, eine ständige Materieschöpfung postulieren oder gar überhaupt einen Anfang der Welt in der Zeit fordern. Vertreter einer klerikalen Philosophie glaubten und glauben, hierin eine Übereinstimmung zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und dem Postulat eines Schöpfungsaktes erblicken zu können. Von besonderer Wichtigkeit für eine Betrachtung aus philosophischer Sicht ist daher, die Aussagen der verschiedenen Weltmodelle zur realen Raum-Zeit-Struktur vom Standpunkt der Unerschöpflichkeit der Materie, der Einheit und Unendlichkeit der materiellen Welt aus zu analysieren, die Ursachen möglicher Fehlinterpretationen und weltanschauliche und methodische Inkonsistenzen einiger Einzelwissenschaftler aufzudecken.

Versuche, das Einsteinsche Gravitationsgesetz auch auf den Kosmos als Ganzes anzuwenden, hat es sehr frühzeitig gegeben. Der erste stammt von Einstein selbst. Seinen gedanklichen Ausgangspunkt

skizzierte Einstein so: „Wir sind auf Grund der Beobachtungen am Fixsternhimmel hinreichend davon überzeugt, daß das System der Fixsterne nicht im wesentlichen einer Insel gleicht, die in einem unendlichen leeren Raum schwebt, daß es also nicht so etwas gibt wie einen Schwerpunkt der ganzen in der Welt befindlichen Masse materieller Substanz. Wir fühlen uns vielmehr zu der Überzeugung gedrängt, daß es, abgesehen von den lokalen Verdichtungen in Einzelsternen und Sternsystemen, eine mittlere Dichte der Materie im Raum gibt, die überall größer als Null ist. Es entsteht also die Frage: Läßt sich diese von der Erfahrung nahegelegte Hypothese mit den Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie in Einklang bringen?“⁴⁹ Um diese Aufgabe zu lösen, mußten gewisse Annahmen über den Zustand des Universums gemacht werden, die als Randbedingungen erst die Lösung der Differentialgleichungen ermöglichten.

„Die einfachste und radikalste Spezialisierung“, so schreibt Einstein, „wäre der Ansatz: die (natürlich gemessene) Dichte der Materie ist überall im (vierdimensionalen) Raume dieselbe, die Metrik ist bei passender Koordinatenwahl unabhängig von x_4 und bezüglich [56] x_1, x_2, x_3 homogen und isotrop. Dieser Fall ist es, den ich zunächst als die natürlichste idealisierte Darstellung für den physikalischen Raum im Großen ansah... Das Bedenkliche an dieser Lösung liegt darin, daß man einen negativen Druck einführen muß, für welchen es keine physikalische Rechtfertigung gibt. Ursprünglich habe ich zur Ermöglichung jener Lösung statt des genannten Druckes ein neues Glied in die Gleichungen eingeführt, welches vom Standpunkt des Relativitätsprinzips erlaubt ist. Die so erweiterten Gravitationsgleichungen lauten

$$(R_{ik} - g_{ik} R/2) + \lambda g_{ik} + xT_{ik} = 0$$

wobei λ eine universelle Konstante („kosmologische Konstante“) bedeutet. Die Einfügung dieses zweiten Gliedes ist eine Komplizierung der Theorie, welche deren logische Einfachheit bedenklich vermindert. Seine Einführung kann nur durch die Notlage entschuldigt werden, welche die kaum vermeidbare Einführung einer endlichen durchschnittlichen Dichte der Materie mit sich bringt. Beiläufig sei bemerkt, daß in Newtons Theorie dieselbe Schwierigkeit besteht. Aus diesem Dilemma hat der Mathematiker Friedman einen Ausweg gefunden.“⁵⁰

Die von Einstein in die allgemeine Theorie gesteckten hypothetischen Annahmen gingen davon aus, daß das Universum, abgesehen von Relativbewegungen der Sterne und Sternsysteme zueinander, keine gesetzmäßigen, zeitlichen Entwicklungseffekte im Gesamtmaßstab aufweist. Einsteins ursprüngliches kosmologisches Weltmodell enthält Materie (im alten physikalischen Sinn) ohne Bewegung.

Noch im gleichen Jahr stellte der Holländer W. de Sitter (1872-1934) ein anderes Weltmodell zur Diskussion, das ebenfalls auf der Einsteinschen Relativitätstheorie fußte. De Sitter ging von einem anderen strukturellen Zusammenhang der Raum-Zeit aus. Während Einstein von vornherein die Zeitkoordinate von den Raumkoordinaten separierte, bezog de Sitter die Zeit in die Krümmung ein. Dieses Modell brachte erstmals eine völlig neue Vorstellung über den Kosmos: Es zeigte, daß der Raum insgesamt nicht ruht, sondern in gesetzmäßiger Bewegung begriffen ist. An Hand des de-Sitter-Modells konnte H. Weyl im Jahre 1923 theoretisch vorhersagen, daß diese zeitliche Entwicklung des Kosmos sich in einem Auseinanderstreben aller Galaxien äußern müßte, deren Fluchtbewegung als Doppler-Effekt in einer spektralen Linienverschiebung des von den Galaxien empfangenen Lichtes zum Ausdruck kommen müßte. Die Schwäche des de-Sitter-Modells war, daß die mittlere Massendichte Null war. Daß dennoch eine Raumkrümmung – trotz fehlender Masse und Gravitationsfelder – vorhanden war, ergab sich aus dem willkürlich eingeführten γ -Glied. Während das Einstein-Modell Materie ohne Bewegung enthielt, beschrieb das de-Sitter-Modell einen Kosmos mit Bewegung, der aber leer war.

Im Jahre 1922 veröffentlichte der sowjetische Mathematiker A. A. Friedman (1888-1925) in der Berliner „Zeitschrift für Physik“ eine Lösung der Einsteinschen Gravitationsgesetze ohne das kosmologische Glied. Bis auf die Annahme eines stationären Universums hatte Friedman alle vereinfachenden Annahmen der ursprünglichen Einsteinschen Lösungen übernommen. Im Unterschied zu Einstein

⁴⁹ A. Einstein, Grundzüge der Relativitätstheorie, Berlin/Oxford/Braunschweig 1969, S. 109.

⁵⁰ Ebenda.

gelang es ihm, auch ohne das kosmologische Glied nichttriviale Lösungen der Feldgleichungen zu finden. Das Friedman-Modell beschrieb eine geschlossene Welt mit positiver, zu jedem Zeitpunkt konstanter Krümmung mit einer endlichen mittleren Massendichte. Im Unterschied zum Einstein-Modell änderten sich aber Krümmungsradius und Massendichte im Laufe der Zeit. Dieses Modell eines Entwicklungskosmos sagte ebenfalls eine Raumexpansion, eine Galaxienflucht voraus.

In einem weiteren Artikel aus dem Jahre 1924 hat Friedman weiter gezeigt, daß unter den genannten hypothetischen Annahmen der Kosmos auch ein Raum konstanter negativer Krümmung sein könne. Die Vervollständigung des Friedman-Modells ergab drei Möglichkeiten: Entweder ist der Raum positiv konstant gekrümmt und geschlossen (das heißt endlich, aber unbegrenzt), oder er ist negativ konstant gekrümmt und offen (das heißt unendlich und unbegrenzt), oder die Krümmung ist gleich Null und der Raum ebenfalls offen. Im ersten Falle folgt aus den mathematischen Gleichungen der Friedman-Lösung für den „Radius“ des Raumes, daß die Expansion zum Zeitpunkt $t = 0$ begann, einen Maximalwert der Raumausdehnung erreicht und anschließend die Entwicklung in eine Kontraktion umschlägt. Der Kosmos zieht sich wieder auf den Punkt $R = 0$ mit dem Volumen Null und unendlich hoher Massendichte zusammen. Die beiden anderen Modelltypen beginnen ebenfalls zum Zeitpunkt $t = 0$ zu expandieren, die Expansion hält aber unbegrenzt an, nur im Expansionstempo unterscheiden sich das hyperbolische und quasieuklidische Weltmodell. Kriterium dafür, welches der drei möglichen Modelle im realen Kosmos verwirklicht ist, ist die mittlere Massendichte. Sie konnte bis heute noch nicht zweifelsfrei mit der hinreichenden Genauigkeit bestimmt werden, um diese Entscheidung zu treffen.

[58] Neben dem Friedman-Modell kennt auch die de-Sitter-Welt einen zeitlichen Anfang der Bewegung. Und schließlich legte im Jahre 1927 G. Lemaitre (1894-1966) unabhängig von Friedman ein Weltmodell vor, das in seinen Konsequenzen weitgehend dem Friedman-Modell positiver konstanter Krümmung entsprach. Dieses Modell mit kosmologischem Glied vereinte die Vorteile des materieverfüllten, aber statischen Einstein-Modells mit denen des expandierenden, aber leeren de-Sitter-Modells.

Auf einem völlig anderen Weg, im Ergebnis gruppentheoretischer Untersuchungen, gelangten im Jahre 1935 H. P. Robertson und A. G. Walker fast gleichzeitig und unabhängig voneinander zu dem Schluß, daß das kosmologische Prinzip implizit die Riemannsche Krümmung des Raum-Zeit-Kontinuums und die Fortpflanzung des Lichtes entlang geodätischer Nulllinien enthält. Auf Grund der Einsteinschen Gravitationstheorie ergibt sich durch simultane Lösung der Feldgleichungen und der relativistischen Bewegungsgleichungen die Metrik des Raumes. Sie gibt als das sogenannte Robertson-Walker-Linienelement ds

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2(t) \left[\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 (d\Theta^2 + \sin^2\Theta d\Phi^2) \right]$$

die Beziehungen zwischen der Zeit t , der Lichtgeschwindigkeit c , dem Radius R ($R = \sqrt{\sum g_{ik}R_{ik}}$), den Polarkoordinaten und einem Parameter k an. Dabei kann k die Werte $+1$, -1 oder Null annehmen. Je nach Wahl des Parameters erhält man so das Linienelement eines Raumes positiver konstanter Krümmung, negativer konstanter Krümmung bzw. verschwindender Krümmung. Es handelt sich um die drei Raumtypen, die bereits von Friedman entwickelt worden waren.

Anders als bei den solar-relativistischen Effekten bestand zunächst keine Möglichkeit, die Richtigkeit der völlig neuen Vorstellung eines Entwicklungskosmos experimentell zu überprüfen. Diese Situation änderte sich erst 1929, als nach Vorarbeiten durch V. M. Slipher (1875-1969) die beiden amerikanischen Astronomen M. L. Humason (1891-1972) und E. P. Hubble (1889-1953) ihre spektralen Messungen an 46 extragalaktischen Nebeln veröffentlichten, die tatsächlich eine Verschiebung der Linien zum roten Ende hin ergaben. Die Rotverschiebung, so wiesen sie nach, ist um so größer, je weiter die Nebel von der Erde entfernt sind, das heißt, mit zunehmender Entfernung erhöht sich die Fluchtgeschwindigkeit.⁵¹ Diese Entdeckung bestätigte die bis dahin spekulative Hypothese der

⁵¹ E. P. Hubble, A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae, in: Proc. Nat. Acad. Sci., Bd. 19/1929, S. 168 f.

Friedman-Modelle, daß ein mit Masse erfüllter Kosmos notwendig expandiert. [59] Hubble zeigte, daß die Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien der Entfernung proportional ist und stellte die Beziehung

$$v = H \cdot r$$

her. H ist ein Proportionalitätsfaktor mit der Dimension einer reziproken Zeit und wird durch die Maßeinheit Kilometer durch (Sekunde mal Megaparsec) angegeben. Ein Megaparsec (Mpc) ist eine Entfernung von $3,086 \cdot 10^{19}$ km. Die Konstante H wurde später als Hubble-Konstante benannt.

Die sofort auftauchende Frage bestand darin, wie lange die Expansion des Universums denn schon andauere, wenn die Rotverschiebung tatsächlich als Doppler-Effekt zu deuten sei. Dafür war wichtig, die Hubble-Konstante zu bestimmen, da sie der Zeit entspricht, in der die Expansion ausgehend vom Nullvolumen bereits andauert. Im Jahre 1936 bestimmte Hubble diese Größe zu 540 km/s. Mpc. Das entsprach einer Expansionszeit und damit einem „Weltalter“ von nur 1,8 Milliarden Jahren. Diese Zahl stand natürlich in krassem Gegensatz zum geologisch bestimmten Erdalter von etwa 4,5 Milliarden Jahren.

Es gab daher die verschiedensten Versuche, die Rotverschiebung anders als einen Doppler-Effekt zu deuten, die aber sämtlich fehlschlügen. So wurde die Hypothese vorgeschlagen, daß das Licht auf seinem langen Weg von einer fernen Galaxis zur Erde „altert“, das heißt einen Teil seiner Quantenenergie verliert. Das würde sich in einem nach rot verschobenen Lichtspektrum manifestieren. Da die Photonen jedoch diese Energie nur an ein wie auch immer beschaffenes Medium abgeben können, um den Energieerhaltungssatz nicht in Frage zu stellen, müßte ihre Bahn eine Krümmung erfahren. Das Bild ferner Galaxien müßte als Folge davon unscharf werden, was aber nicht zutrifft. Auch andere Versuche scheiterten.

Erst in jüngster Zeit war um die Frage, ob die Rotverschiebung ein eindeutiges Indiz für die Entfernung der entsprechenden Strahlungsquellen sei, eine lebhafte Diskussion entbrannt, ausgelöst vor allem durch die Beobachtungen des amerikanischen Astronomen H. Arp. Er hatte auf Teleskopaufnahmen benachbarte Galaxien gefunden, die offenbar durch eine Materiebrücke verbunden waren, entsprechend ihrer Rotverschiebung aber extrem weit auseinanderliegen müßten. Englische Astronomen haben diese Galaxiengruppen jetzt erneut untersucht, diesmal mit Hilfe einer hochempfindlichen Bildverstärkerkamera. In allen Fällen konnten sie – trotz der größeren Nachweisempfindlichkeit – keinerlei Verbindung zwischen den [60] Galaxien feststellen. Es handelte sich offensichtlich nur um eine scheinbare Verbindung räumlich hintereinander angeordneter Galaxien.

Der Widerspruch zwischen zu geringem Hubble-Alter und Erdalter löste sich auf, als vor etwa anderthalb Jahrzehnten gezeigt werden konnte, daß den Hubbleschen Entfernungsbestimmungen ein systematischer Fehler zugrunde liegt. Nach erfolgter Korrektur ergab sich ein erheblich höheres „Weltalter“. Der heute aktuelle Wert der Hubble-Konstanten beträgt

$$H=57 \text{ km/s. Mpc}$$

und entspricht einem „Weltalter“ von etwa 18 Milliarden Jahren. Der Wert kann nach oben oder unten korrigiert werden, da die Möglichkeit besteht, daß die Expansionsgeschwindigkeit mit der Zeit zu- bzw. abnimmt, die vorgenommene Umrechnung aber von einem linearen Zusammenhang ausgeht.⁵²

Eine physikalische Interpretation der kosmischen Expansion gab 1931 erstmals Lemaitre. Er extrapolierte die beobachtete Raumexpansion in die Vergangenheit bis zu einem „Uraxom“ mit einem Durchmesser etwa der Entfernung Erde – Sonne. In diesem Uratom sollte nach Ansicht Lemaitres einmal alle Masse zu einem einzigen Klumpen zusammengedrückt gewesen sein, bis dieses Uratom zum Zeitpunkt $t = 0$ explodierte. Über den Zustand davor machte Lemaitre keine Angaben. Diese Deutung ist insofern inkonsequent, als die Friedmanschen Lösungen mathematisch eine Extrapolation, ein Rückrechnen bis zum Zeitpunkt Null und dem Volumen Null zulassen. Da Lemaitre als geweihtem Priester – er wurde später Präsident der Päpstlichen Akademie der Wissenschaften – die

⁵² E. Schmutzer, Vortrag auf dem Kühlungsborner Kolloquium der Sektion Marxistisch-leninistische Philosophie der Humboldt-Universität zu Berlin, April 1974.

Konsequenzen eines dann notwendig zu fordernden Schöpfungsaktes nicht verborgen geblieben sein können, umging er mit seinem Modell eines Uratoms die Vorstellung einer naiven Schöpfung der Welt aus dem Nichts.

Dieses „Explosionsmodell“ wurde im Jahre 1948 von dem in der Sowjetunion ausgebildeten Physiker G. Gamow (1904-1968), der seit 1933 in den USA arbeitete, gemeinsam mit zwei anderen Wissenschaftlern weiter präzisiert. Gamow griff die Idee Lemaitres auf, interessierte sich aber für die Expansionszeit vor dem Lemaitreschen t_0 . Gamow ging von der Vorstellung eines echten Zeitpunktes $t = 0$ aus, bei dem aus einem Nullvolumen die kosmische Expansion begann. Er untersuchte, was im folgenden in den nächsten Sekunden, Minuten und Stunden geschah. Ähnliche Untersuchungen sind später [61] auch von P. Jordan, W. Kundt und J. B. Seldowitsch und anderen weiter präzisiert worden. Gamow, der am Manhattan-Projekt mitgearbeitet hatte, wurde in seinen Überlegungen entscheidend von den kernphysikalischen Vorstellungen des Bombenbaus inspiriert. So regte ihn nach seinen eigenen Worten die Vorstellung an, daß selbst Jahre nach der ersten Bombenexplosion in Nevada langlebige Explosionsprodukte zu finden waren, obwohl die Explosion selbst nur wenige Bruchteile von Sekunden gedauert hatte. Gamow berechnete analog, daß sich nach einer gewissen Zeit nach Beginn der Raumexpansion Strahlung von der übrigen, immer noch sehr verdichteten Materie losgelöst haben müsse, die als Schwarzkörperstrahlung mit der weiteren Ausdehnung des Universums allmählich abkühlte.

Tatsächlich wurde im Jahre 1965 von den beiden Radioelektronikern A. A. Penzias und R. W. Wilson bei der Erprobung eines neuartigen Antennensystems eine den ganzen kosmischen Raum erfüllende isotrope Radiostrahlung entdeckt, deren Temperatur im folgenden mit etwa 2,7 Grad Kelvin ermittelt wurde. Sie wird von den Astronomen als Relikt jener frühen, stark komprimierten Phase des Universums gewertet.

Heftig diskutiert war natürlich die Frage, ob die Raumexpansion tatsächlich in dem ominösen Nullvolumen ihren Ursprung habe. Die Einsteinschen Gravitationsgleichungen und die aus ihnen hervorgegangenen Friedmanschen Weltmodelle lassen als Kontinuumstheorie eine derartige Extrapolation zu. Der Ursprungspunkt hat in dieser Theorie – mathematisch formuliert – die Gestalt einer Singularität. Dennoch befriedigt die Vorstellung nicht, daß die ungeheure Bewegungsvielfalt des realen Weltalls ausgerechnet im Prototyp des Gestalt- und Strukturlosen ihren Anfang genommen haben soll. Um diesen eigentümlichen Anfangszustand zu umgehen, hatten im Jahre 1948 F. Hoyle (geb. 1915[-2001]), H. Bondi (geb. 1919[-2005]) und T. Gold (geb. 1920[-2004]) das Modell eines stationären Universums vorgeschlagen, das die Tatsache der Rotverschiebung, das heißt der Galaxienflucht, berücksichtigte. In zwei unabhängig voneinander verfaßten Arbeiten gingen diese Wissenschaftler von der Gültigkeit des kosmologischen Prinzips aus. Diese Theorie wurde vor allem seit 1961 weiter modifiziert und präzisiert. Man nahm an, daß die Galaxien zwar entsprechend der registrierten Rotverschiebung in immer entferntere Raumgebiete abwandern, daß aber der Verlust an Massendichte gleichzeitig durch die spontane Entstehung von Materie kompensiert werde. Die mittlere Materiedichte sollte auf [62] diese Weise im Universum zu allen Zeiten konstant bleiben, der Zustand des Universums wäre somit faktisch überall und zu allen Zeiten der gleiche, und die Annahme eines besonders ausgezeichneten Anfangszustandes wäre vermeidbar. Die englischen Astronomen konnten zudem für ihre Theorie ins Feld führen, daß die spontane Entstehung nur eines Wasserstoffatoms pro Kubikmeter und Jahr genügen würde, um die heutige mittlere Materiedichte der Metagalaxis aufrechtzuerhalten – ein derart geringer Wert entzieht sich einer astronomischen Beobachtung und könne somit nicht im Widerspruch zu experimentellen Tatsachen stehen.

Doch die spontane Entstehung von Masse bedeutet wegen der Äquivalenz von Masse und Energie eine Verletzung des Energieerhaltungssatzes. Andererseits müßten sich nach besagter Theorie sehr weit entfernte Galaxien mit Überlichtgeschwindigkeit fortbewegen – ein Verstoß gegen gleich zwei allgemein anerkannte Grundsätze der Physik. Experimentell zeigte sich dann auch sehr bald, daß die Grundannahme der Steady-state-Theorie, daß das Universum zu allen Zeiten gleich gewesen sein solle, mit den astronomischen Erfahrungen nicht übereinstimmt. Spätestens nach der Entdeckung der Quasare im Jahre 1962 und nach der Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung im Jahre 1965 war klar, daß das Universum zu einem sehr frühen Zeitpunkt, in ferner Vergangenheit, einen völlig

anderen physikalischen Zustand als heute gehabt haben muß. Die genannten englischen Astronomen haben daher ihre Theorie zurückgezogen.

Seit dem Jahre 1948 entwickelte auch P. Jordan seine kosmologischen Vorstellungen.⁵³ Er knüpft dabei an die Hypothese von P. A. M. Dirac an, daß die Gravitationskonstante eine in kosmologischen Maßstäben zeitabhängige Größe sei. Zu ähnlichen Überlegungen gelangten, wie im vorangegangenen Kapitel bereits ausführlich diskutiert, später auch G. Brans und R. H. Dicke. Ihre theoretischen Vorhersagen halten aber den experimentellen Prüfungen im Gravitationsfeld der Sonne bei dem unterdessen erreichten Entwicklungsstand nicht stand und sollen hier nicht weiter diskutiert werden.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß zumindest drei wesentliche kosmologische Entdeckungen – die Galaxienflucht (1929), die der Quasare (1963) und die der kosmischen Hintergrundstrahlung (1965) – ziemlich klar für die Existenz eines Evolutionskosmos aussagen. Und da bei dem gegenwärtigen Stand der experimentellen Forschung die mittlere Massendichte des Kosmos mit 10^{-28} bis $[63] 10^{-30} \text{ g/cm}^3$ bestimmt wurde, findet in der Kosmologie das Friedmansche Weltmodell mit seinen drei Grundtypen vorrangig Verwendung. Welches der drei Raummodelle dabei verwirklicht ist, das heißt, ob der Kosmos ein endlicher oder unendlicher Raum ist, kann erst bei weiterer Präzisierung des Wertes der mittleren Massendichte bestimmt werden. Voller Widersprüche bleibt, wie die kosmologische Singularität der Friedman-Modelle zu deuten ist. Gibt es wirklich den Anfang der Welt? Wie verhält es sich mit der Möglichkeit eines endlichen Raumes? Steht er im Widerspruch zu der philosophischen These von der Unendlichkeit der materiellen Welt?

Die Friedman-Modelle ergeben sich direkt aus der Einsteinschen Fassung des relativistischen Gravitationsgesetzes. Sie sind die einfachsten möglichen Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen. Die eingangs zitierten Behauptungen bürgerlicher Massenmedien nehmen gerade dieses Modell zum naturwissenschaftlichen Kronzeugen für einen Anfang der Zeit und des Raumes, für einen Weltbeginn. Genau genommen interpretieren sie jedoch nur die Eigenschaften eines idealisierten, mathematischen Modells, das zwar in vielen Punkten mit der realen Welt gut übereinstimmt, gerade aber in der Frage seiner „Frühzeit“ im Dunkeln des noch Unbekannten, weil experimentell gegenwärtig überhaupt noch nicht oder nur schwierig zu Erforschenden liegt.

In den letzten Jahren wurden beispielsweise immer deutlicher Zweifel geäußert, ob die Annahmen der Homogenität und Isotropie des Raumes tatsächlich in den zu betrachtenden Maßstäben ideal erfüllt sind. Bereits geringe Anisotropie und Inhomogenität hätten jedoch schon erhebliche Auswirkungen auf die theoretische Vorhersage einer Kosmosevolution nach dem Friedman-Modell. Die mathematische Behandlung des Problems unter diesen Voraussetzungen bereitet aber außerordentliche Schwierigkeiten. Die theoretischen Forschungen hierzu befinden sich in der Anfangsphase.

Neben den drei genannten kosmologischen, experimentellen Entdeckungen sei schließlich noch ein viertes Argument der Naturwissenschaft erwähnt, das für eine tatsächliche Evolution des Kosmos als Ganzes spricht: Die Altersdatierung unterschiedlicher kosmischer Objekte nach verschiedenen, voneinander unabhängigen Methoden. [64]

3.3. Zur Altersdatierung in der Naturwissenschaft

Die heutigen astronomischen Beobachtungsergebnisse zeigen eine äußerst große qualitative Vielfalt der im Kosmos ablaufenden Prozesse, die Existenz vieler unterschiedlicher Objekte, denen die Prädikate „jung“ und „alt“ zuerkannt werden müssen. Die heutige Astronomie ist Zeuge der „Geburt“ kosmischer Objekte und des „Untergangs“ anderer Objekte. Quasare, die am weitesten von der Erde entfernten kosmischen Strukturen und die ältesten bekannten extragalaktischen Erscheinungsformen überhaupt, verfügen über ungewöhnliche physikalische Eigenschaften, die auf einen Materiezustand hinweisen, der möglicherweise nur vor vielen Milliarden Jahren in der Metagalaxis realisiert war.

Astronomen schließen heute daraus, daß rund eine Milliarde sichtbare Galaxien existieren. Unsere Sonne mit ihren Planeten befindet sich am Rande einer dieser Galaxien, die sehr verschiedene Gestalt

⁵³ P. Jordan, in: *Astronomische Nachrichten*, 276/1948, S. 193.

und Größe besitzen können. Die Galaxien sind am Himmel nicht gleichmäßig verteilt. Es ballen sich einige Tausend von ihnen zu großen Haufen zusammen.

Noch längst nicht erschlossen sind die Formenvielfalt und die Entwicklungsprozesse, die sich mit Hilfe der modernen astronomischen Beobachtungsmittel dem Forscher auftun. So existieren sichtbare Objekte, die sich in der Charakteristik des ausgestrahlten Lichtes wesentlich voneinander unterscheiden. Seit einigen Jahren sind die sogenannten Pulsare bekannt, offensichtlich schnell rotierende Sterne, die aus Neutronen bestehen und über eine unvorstellbar hohe Massendichte verfügen. Sie senden wie ein Blinkfeuer Strahlung im sichtbaren und unsichtbaren Spektralbereich aus. Es mehren sich die Anzeichen für die Existenz der sogenannten Schwarzen Löcher, deren Massendichte so groß ist, daß Lichtquanten als Folge der extremen Gravitation die Sternoberfläche nicht mehr verlassen können. Radioantennen empfangen aus Entfernungen von mehreren Milliarden Lichtjahren Signale von sternähnlichen Objekten, den Quasaren, die über einen unvorstellbar hohen Energievorrat verfügen müssen.

Und schließlich beobachten Astronomen, wie aus den Kernen einiger Galaxien gewaltige Sternmengen als Folge gigantischer energetischer Prozesse herausgeschleudert werden und selbst wieder neue Galaxien bilden. Diese vielfältigen Erscheinungsformen gilt es schrittweise aufzuklären. Stillstand im Universum gibt es jedenfalls nicht.

[65] Die große Vielfalt der Entwicklungsformen ruft zwangsläufig die Frage nach der gesetzmäßigen Entwicklung der verschiedenen kosmischen Objekte auf den Plan, die Frage der gesetzmäßigen Entwicklung im Laufe der Zeit. Das trifft sowohl für relativ kleine Körper wie einzelne Sonnen oder gar Planeten zu, aber auch für größere Masse- und Energiemanifestationen, zum Beispiel Galaxien und Galaxienhaufen, sowie natürlich auch für die Gesamtheit aller heute bekannten Galaxien, die Metagalaxis. Die Frage nach dem zeitlichen Werdegang auch auf den bekannten Raum als Ganzes auszu dehnen, verlangen die bereits erwähnten experimentellen Befunde der spektralen Rotverschiebung, der Strahlung weit entfernter (das heißt sehr alter) Galaxien sowie die kosmische Hintergrundstrahlung. Die Einsteinsche Gravitationstheorie ermöglicht zudem, diese zeitliche Entwicklung des Kosmos in seiner Gesamtheit mathematisch zu modellieren. Die experimentelle Forschung hat dabei einen Entwicklungsstand erreicht, der es ermöglicht, einige Konsequenzen dieser theoretischen Modelle im Experiment zu überprüfen und so Aussagen über die Zuverlässigkeit des Gesamtmodells zu machen.

Das Vorhaben, die Entwicklungsgesetze kosmischer Prozesse in ihrem zeitlichen Verlauf zu erforschen, wird durch den Umstand begünstigt, daß der Astronom den Kosmos als Ganzes nicht in seinem derzeitigen Zustand sieht. Ursache hierfür ist die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit. Das Licht und alle andere Strahlung benötigen bekanntlich eine gewisse Zeit, um von ihren kosmischen Quellen bis zu den Empfangsgeräten auf der Erde oder in Erdsatelliten zu gelangen. Die derzeit am weitesten von uns entfernten bekannten Objekte, die Quasare, befinden sich in einer Entfernung von teilweise über zehn Milliarden Jahren. Ihr Licht und ihre Radiosignale, die wir heute empfangen, wurden vor dieser Zeit ausgestrahlt. Die Signale all dieser Objekte ermöglichen auf Grund ihrer spektralen Zusammensetzung, Energiedichte, Sendesequenz usw., Rückschlüsse über die physikalische Beschaffenheit der Strahlungsquellen zu jener Zeit zu ziehen. Die Astronomen erforschen heute also kosmische Objekte in ihrem physikalischen Zustand vor Millionen und Milliarden von Jahren.

Existierten zu dieser Zeit schon alle uns heute bekannten Objekte? Läßt sich an Hand objektiver Kriterien eine Zeitskala entwickeln, mit deren Hilfe dieser komplizierte Entwicklungsprozeß geordnet werden kann?

Die Astronomie, gestützt auf den Fortschritt in anderen Wissen-[66]schaftsgebieten, wie zum Beispiel der Spektroskopie, der Atomphysik oder der Chemie, hat es ermöglicht, das Alter einiger kosmischer Objekte mit großer Zuverlässigkeit zu bestimmen. Und wenn es natürlich auch nicht gelingt, die exakte Geburtsstunde dieses oder jenes Objektes anzugeben, so sind wenigstens Angaben über die Zeitspanne möglich, die das betreffende Objekt mit Sicherheit schon existieren muß.

Ein wesentliches Hilfsmittel für derartige Aussagen sind verschiedene voneinander unabhängige Methoden der Altersdatierung. Für die Altersdatierung kosmischer Objekte eignet sich zum Beispiel die

Kenntnis der chemischen Zusammensetzung der Sternpopulationen und der nichtstellaren Materie. Die Bestimmung der Leuchtkräfte und Massen von Sternen sowie der relativen Isotopenhäufigkeit ermöglicht in Zusammenhang mit verschiedenen physikalischen Theorien ebenfalls, Altersangaben zu machen. Hinsichtlich der Entwicklungsprozesse des Kosmos als Ganzem sind es vor allem die Fluchtgeschwindigkeit weitentfernter Galaxien (kosmische Expansion) sowie die seit über zehn Jahren bekannte kosmische Hintergrundstrahlung, die handfeste Hinweise auf wesentliche Merkmale der zeitlichen Entwicklung der Metagalaxis geben. (Ein detaillierter Überblick über die Fülle der methodischen Hilfsmittel für die Altersdatierung kosmischer Objekte ist bei H. Lambrecht⁵⁴ gegeben.)

Auf den angedeuteten Wegen wurden verschiedene Zeitskalen entwickelt. Die ältesten Sterne der Galaxis sind danach vor rund 15 Milliarden Jahren aus dem interstellaren Medium entstanden (Kosmogonische Uhr). Der Aufbau der schweren Elemente in unserer Galaxis hat vor sieben bis acht Milliarden Jahren begonnen (Atomare Uhr). Das „Alter“ des Universums beträgt etwa 15 bis 18 Milliarden Jahre. Die konkreten Zahlenangaben schwanken bei verschiedenen Autoren geringfügig, ohne am Prinzip etwas zu ändern.⁵⁵

Diese (möglicherweise zufällige) ungefähre Übereinstimmung deutet auf eine enge Verknüpfung von Kosmogonie und Kosmologie hin, in dem Sinne, daß die Metagalaxis vor einigen Milliarden Jahren einen noch nicht näher bekannten physikalischen Zustand besessen hat, in dem sich zumindest sehr viele der heutigen kosmischen Objekte herauszubilden begannen. Einige Physiker sehen in dieser Übereinstimmung bereits einen Beweis für ihr Postulat eines endlichen Weltalters. So schreibt W. Kundt: „Es ist erstaunlich und bestärkend, daß Raumexpansion, radioaktiver Zerfall und Sternentwicklung einheitlich auf ein Weltalter von 10^{10} Jahren schließen lassen.“⁵⁶

[67] Über den Zusammenhang von Kosmologie und Kosmogonie, über die Genesis der heute beobachtbaren kosmischen Objekte gibt es die verschiedensten und zum Teil widersprüchlichsten Theorien. Übereinstimmung besteht lediglich hinsichtlich des Ausgangspunktes.

Sowohl theoretische Überlegungen als auch die bereits erwähnten experimentellen Beobachtungsergebnisse der Astronomen bestätigen, daß die im Weltall vorhandene Masse, Strahlung usw. vor Milliarden von Jahren auf kleinerem Raum zusammengeballt war. Die Metagalaxis war in ferner Vergangenheit wesentlich dichter und viel heißer als heute. Die seit damals bestehende Expansion der Metagalaxis, die Expansion des Raumes, hält auch heute noch an, was von kaum einem Wissenschaftler mehr bestritten wird.

Wie sich im einzelnen im Laufe dieses langen Prozesses aus dem zunächst homogen verteilten „Urgas“ einzelne Galaxien und Galaxienhaufen, Sonnen und ihre Planeten bilden konnten, darüber gibt es verschieden begründete Hypothesen und ebenso zahllose, noch immer ungeklärte Fragen. Im Kernpunkt stimmen diese Hypothesen jedoch überein: Die Natur entwickelt sich nach den ihr eigenen Gesetzen, sie bedarf keines Anstoßes von außen. Sie ist ein kompliziertes Wechselspiel von Zufall und Notwendigkeit, ein ständiger Prozeß des Umschlagens von Quantität in Qualität usw.

Die beiden sowjetischen Wissenschaftler L. Gurewitsch und A. Tschernin gehen zum Beispiel davon aus, daß in einer gewissen Epoche die gesamte Materie mehr oder weniger homogen im All verteilt gewesen sei. Sie habe sich in gasförmigem Zustand befunden. Auch heute noch bestehen interstellare Materie und Sterne größtenteils aus Gas. Da das Gas gegenüber dem heute bekannten Zustand enorm verdichtet war, muß das All zu einem früheren Zeitpunkt sehr viel heißer als heute gewesen sein.

In diesem „heißen“ Stadium muß eine sehr intensive Wärmestrahlung existiert haben, deren Massendichte ($E = mc^2$) die Massendichte des Gases weit übertroffen hat. Eine Folgerung dieser Ausgangsanahme ist die von G. Gamow 1948 theoretisch vorhergesagte und 1965 von Penzias und Wilson entdeckte kosmische Hintergrundstrahlung. Diese den Raum isotrop erfüllende schwarze Strahlung wird von der Fachwelt nahezu übereinstimmend als Beweis für die heiße und komprimierte frühere Phase der Metagalaxis gewertet.

⁵⁴ H. Lambrecht, Zur Kosmogonie der interstellaren Materie, in: Zur Geschichte der Erde und des Kosmos, Berlin 1973.

⁵⁵ Ebenda, L. Gurewitsch/A. Tschernin, Der Werdegang des Weltalls, in: Ideen des exakten Wissens, 9/1970, S. 545 f.

⁵⁶ W. Kundt, Wie entwickelte sich die Welt?, in: Umschau in Wissenschaft und Technik, 9/1974, S. 274.

Während der Expansion des „Urgases“ und der damit verbundenen Abkühlung gab es nach Ansicht von Gurewitsch und Tschernin bei einer Temperatur von 10^{10} Kelvin eine besondere Phase. Photonen [68] sollten hier so hohe Energien besessen haben, daß sie sich bei Zusammenstößen mit Elektronen oder Protonen in ein Elektron-Positron-Paar verwandeln konnten. Strahlungsenergie und die Energie eines derartigen Teilchenpaares sind bei der genannten Temperatur etwa gleich groß. In dieser Entwicklungsphase konnten auch Paare der anderen heute bekannten Teilchen und Antiteilchen existieren.

Erst bei weiterer Expansion der Metagalaxis erlaubten die energetischen Verhältnisse, daß sich Protonen und Neutronen zu Atomkernen vereinigen konnten. Die schweren Kerne indessen entstanden erst später bei Kernreaktionen in den Sternen.

Damit Galaxien und Sterne entstehen konnten, mußte stoffliche Materie aus dem übrigen metagalaktischen Medium kondensieren, zunächst in Form von verdichteten Gaswolken. Während dieser Gravitationskondensation komprimierten einzelne, relativ kleine Teile aber wesentlich schneller. Über die hier zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten liegen verschiedene Untersuchungen vor.

J. Seldowitsch und I. Nowikow untersuchten zum Beispiel im Jahre 1967 die Möglichkeit, die Ursachen für die Galaxienbildung in Dichtehomogenitäten zu finden. Sie nahmen unter anderem an, daß in der Metagalaxis früherer Zeit Stoffverdichtungen existierten, aus denen zunächst Objekte mit etwa einer Million Sonnenmasse, sogenannte Vorsterne, kondensieren konnten, wohlgernekt bei gleichzeitiger Ausdehnung der Metagalaxis. In diesen Vorsternen verliefen Kernreaktionen so schnell, daß der gesamte hier vorhandene Wasserstoff in relativ kurzer Zeit nahezu vollständig verbrennen mußte. Danach explodierten die Vorsterne. Nach Ansicht von Seldowitsch und Nowikow heizte die bei der Explosion freiwerdende Energie das metagalaktische Gas wieder auf, und es konnten keine neuen Vorsterne mehr entstehen. Die Inhomogenitäten, die nach diesen Vorsternkatastrophen zurückblieben, hätten gewissermaßen die Kondensationskeime für die sich später verdichtenden Galaxien dargestellt.

Andere Theorien wiederum sehen als Ursachen für diese Gasverdichtungen Turbulenzen an. Die Ergebnisse all dieser theoretischen Untersuchungen befriedigen aber letztlich noch nicht. Die angeführten Beispiele sollen nicht die „modernsten“ oder „originellsten“ Theorien präsentieren, sie sollen lediglich den engen Zusammenhang zwischen Kosmogonie und Kosmologie in der Frage des Alters unserer Metagalaxis und des Alters kosmischer Objekte illustrieren.

Das heutige, realistische Bild der Kosmogonie läßt sich etwa so [69] charakterisieren: Prozesse, die selbst noch nicht befriedigend geklärt sind, verdichten das interstellare Medium teilweise zu Wolken. Einige dieser Gebilde werden gravitationsinstabil und fallen in sich zusammen. Dabei werden in den zentralen Gebieten Temperaturen und Dichten von Sternen erreicht. Planeten hingegen bilden sich wahrscheinlich in der verbleibenden, zirkumstellaren Wolke.

Der Begriff „Alter des Universums“ wird von Physikern und Astronomen unterschiedlich weit gefaßt. Vom „Beginn der Expansion“, wobei keine näheren Aussagen über den Zustand von Zeit und Raum davor gemacht werden, geht die Interpretation bis hin zum „Urknall“, gewissermaßen dem Zeitpunkt Null, bei dem aus einem Nullvolumen mit unendlicher Energie- und Massendichte die Entwicklung des Universums begann.

Interessanterweise stimmen die mit Hilfe experimenteller Methoden gewonnenen „Altersangaben“ auch gut mit den Werten überein, die sich aus den mathematischen Modellen eines zeitabhängigen Universums ergeben. Diese theoretischen Alterswerte ergeben sich aus Einsteins grundsätzlichen Erkenntnissen über den allgemeinen Zusammenhang zwischen der Geometrie des Raumes und den dort vorhandenen physikalischen Feldern, bedürfen darüber hinaus aber noch zusätzlicher, hypothetischer Annahmen über die Natur der Raum-Zeit. Zu diesen Annahmen zählt die Homogenität und Isotropie des Raumes sowie die Abschätzung einer mittleren, in der Metagalaxis vorhandenen Massendichte.

Aus dieser Übereinstimmung theoretischer und experimenteller Erkenntnisse den verallgemeinernden Schluß zu ziehen, daß dann nicht nur die einzelnen kosmischen Objekte, sondern auch das Universum, die Welt als Ganzes, ein endliches Alter besitzt, heißt, den Unterschied zwischen Modell und

Wirklichkeit verkennen und negiert den in Jahrhunderten erreichten philosophischen Erkenntnisstand. Denn wenn es ein Alter des Universums gibt, so hat die Welt einen Anfang. In irgendeiner Weise müßte also das Prinzip einer ersten Ursache, eines ersten Erregers, bestehen. Ein Schöpfungsakt muß stattgefunden haben. Ein Materialist muß diese Möglichkeit natürlich prinzipiell ausschließen.

Die Altersproblematik, soviel wird offensichtlich, hängt also unmittelbar mit der philosophischen Frage nach der Unendlichkeit unserer Welt zusammen. Die Genesis der Himmelskörper bringt in dieser Hinsicht keinerlei Schwierigkeiten, entspricht sie doch voll der Erkenntnis des Marxismus-Leninismus über die dialektische Einheit von Endlichkeit und Unendlichkeit. Die ungeheure qualitative Vielfalt kosmischer Objekte zeigt zum einen, daß das All nicht nur eine stereotype Wiederholung gleicher Entwicklungsformen ist, eine im Hegelschen Sinne schlechte Unendlichkeit. Zum anderen zeigt die Tatsache, daß Astronomen auch heute noch gewissermaßen Augenzeuge für die Geburt neuer Sterne und Galaxien sind und das „Absterben“ alter Sterne miterleben, daß im unendlichen Entwicklungsprozeß des materiellen Seins immer neue, endliche Erscheinungsformen sich herausbilden, um irgendwann wieder zu vergehen und neuen Platz zu machen.

Und die unverkennbare hierarchische „Altersstruktur“ kosmischer Objekte belegt schließlich die These des dialektischen Materialismus, daß der unendliche Entwicklungsprozeß nicht chaotisch, sondern qualitativ vom Niederen zum Höheren gerichtet verläuft. Die unendliche kosmische Welt hat als ihre Erscheinungsform in ständiger Bewegung befindliche Endlichkeiten. Engels hat auf diesen Sachverhalt hingewiesen, als er die der Endlichkeitsproblematik innewohnende Dialektik unterstrich: „Die Unendlichkeit *ist* ein Widerspruch und voll von Widersprüchen. Es ist schon ein Widerspruch, daß eine Unendlichkeit aus lauter Endlichkeiten zusammengesetzt sein soll, und doch ist dies der Fall ... Eben *weil* die Unendlichkeit ein Widerspruch ist, ist sie unendlicher, in Zeit und Raum ohne Ende sich abwickelnder Prozeß. Die Aufhebung des Widerspruchs wäre das Ende der Unendlichkeit.“⁵⁷

Der Unendlichkeitsbegriff des dialektischen Materialismus betont also den unendlich mannigfaltigen Entwicklungsprozeß der Materie. In diese sehr allgemeine Auffassung ist die Unendlichkeit von Raum und Zeit als ein sehr wesentliches Aussageelement fest eingebettet. Von seiten einiger Naturwissenschaftler und bürgerlicher Philosophen wird nun, gestützt auf Altersaussagen über konkrete materielle Objekte, behauptet, daß dieser unendliche Entwicklungsprozeß nur endlich sei, daß nicht nur die Metagalaxis, sondern der Kosmos überhaupt ein endliches Alter besitze, daß die Zeit selbst physikalisch einen echten Anfang genommen habe. Diese Aussage hat zur Konsequenz, daß das Universum aus einem Volumen Null mit unendlich hoher Massendichte heraus vor einer ziemlich genau zu bestimmenden Zeit zu expandieren begann und im Laufe vieler Milliarden Jahre seine heutige Ausdehnung und seinen heutigen physikalischen Zustand erreicht habe.

Diese Welt als Ganzes wäre nicht nur – ähnlich wie ein Himmelskörper – endlich im Sinne eines endlichen Alters, sondern es besteht als Folge kosmologischer Weltmodelle auch die diskutierte Möglichkeit, daß die topologische Struktur dieser Welt so beschaffen ist, daß sie auch über ein endliches Volumen verfügt.

Es hat wenig Sinn und würde dem konstruktiven Bündnis zwischen marxistisch-leninistischer Philosophie und Naturwissenschaft schaden, derartige naturwissenschaftliche Ergebnisse unter Hinweis auf die materialistische These von der Unendlichkeit der Welt in Raum und Zeit einfach abzuweisen. Es kommt vielmehr darauf an, den Inhalt und die Richtigkeit dieser These an Hand der von den Einzelwissenschaften – Kosmologie, Astronomie und Astrophysik – neu geschaffenen Tatsachen und Argumente präzise nachzuweisen und die Ursachen, die zu falschen philosophischen Interpretationen von Forschungsergebnissen der Einzelwissenschaften führen, aufzudecken.

Zunächst muß hervorgehoben werden, daß sich die Raum-Zeit-Problematik in der von der modernen Physik geschaffenen Situation weitgehend der menschlichen Anschauung entzieht. Ausführliche Begründungen für diesen Sachverhalt sind bereits gegeben worden. Wenn im Zusammenhang mit kosmologischen Fragen von Endlichkeit oder Unendlichkeit in Raum und Zeit gesprochen wird, so

⁵⁷ K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 48.

handelt es sich zunächst um ein vierdimensionales, gekrümmtes Raum-Zeit-Kontinuum, dessen Bedeutung und objektiver Inhalt für die reale, physikalische Welt sauber interpretiert werden muß.

Da, wie an Hand der experimentellen Ergebnisse gezeigt wurde, kein Anlaß besteht, die grundsätzlichen Erkenntnisse Einsteins über den Zusammenhang von Raumstruktur und physikalischem Inhalt zurückzuweisen, können auch die daraus folgenden mathematisch widerspruchsfreien Konsequenzen nicht abgelehnt werden.

Die bisherige Entwicklung der Naturwissenschaft, zum Beispiel die Ausarbeitung der Quantenphysik, lehrt, daß die Einzelwissenschaften durchaus auch Fragen aufwerfen, die die philosophischen Positionen in einem neuen Licht erscheinen lassen, ihr erneutes Durchdenken erzwingen und zur Weiterentwicklung philosophischer Erkenntnisse und Aussagen führen.

Eine sachliche Analyse des theoretischen Fundaments der Kosmologie und der entsprechenden experimentellen Fakten zeigt, daß seitens der Naturwissenschaft keine Veranlassung besteht, an der Richtigkeit der materialistischen Position zur Endlichkeit und Unendlichkeit zu zweifeln. Diese Analyse, geknüpft an grundsätzliche philosophische Überlegungen, ermöglicht, die angeschnittene Altersproblematik in aller gebotenen Sachlichkeit richtig zu bewerten.

Die in vielen Büchern und Zeitschriftenaufsätzen zumeist bürger-[72]licher Autoren publizierten, letztlich idealistischen Thesen beruhen teilweise auf Fehlinterpretationen naturwissenschaftlicher Theorien und Experimente, in die von vornherein bürgerliche Philosophie investiert wird, im Sinne von der Realität wegzielender hypothetischer Randbedingungen. Zum anderen wurzeln diese Behauptungen in einem falschen Verständnis der Dialektik des Erkenntnisprozesses. Um den Beweis für diese Einschätzung antreten zu können, müssen die grundsätzlichen Aussagen der Gravitationstheorie zum kosmologischen Problem kritisch analysiert werden. Dazu wird die dialektische Ganzheit Raum-Zeit – unter Berücksichtigung dieses Zusammenhangs – in ihren Teilen untersucht.

[73]

4. Über die Unendlichkeit und Ewigkeit der Materie

4.1. Was heißt Unendlichkeit?

Das Postulat eines endlichen Alters des Weltalls berührt nicht nur die philosophische Frage, worin die Unendlichkeit der materiellen Welt eigentlich zum Ausdruck kommt, sondern hängt auch auf das engste mit den Vorstellungen über die räumliche Endlichkeit oder Unendlichkeit unseres Weltalls zusammen. Die moderne Naturwissenschaft machte klar, daß Raum und Zeit nicht als etwas Absolutes und voneinander Unabhängiges betrachtet werden können. Raum und Zeit – darauf wurde bereits mehrfach verwiesen – bilden ein gemeinsames Kontinuum, dessen Eigenschaften und Strukturen sich mathematisch beschreiben lassen.

Unter Beachtung des dialektischen Zusammenhangs läßt sich die Frage nach der Unendlichkeit für die Größe „Zeit“ und für die Größe „Raum“ gesondert untersuchen. Um so mehr, als sich gerade im Modell der Einstein-Friedman-Welt, das offensichtlich den realen Sachverhalten in der Metagalaxis recht gut entspricht, die einheitliche Raum-Zeit in einen dreidimensionalen Raum mit Riemannscher Metrik und in eine nichtgekrümmte „Weltzeit“ aufspalten läßt. Die philosophische Antwort auf die Frage nach der Unendlichkeit unserer Welt, darauf sei zu Beginn dieses Abschnitts nochmals verwiesen, kann und darf aber nicht bei der Diskussion über Folgerungen aus diesem oder jenem Weltmodell, aus diesem oder jenem mathematisch definierten Raum stehenbleiben. Die marxistisch-leninistische Philosophie trifft hierzu allgemeinere, umfassendere Aussagen.

In der Physik arbeitet man heute mit einer Fülle mehr oder weniger abstrakter Raumvorstellungen, mit deren Hilfe sehr reale Prozesse erforscht und beschrieben werden. Die Quantenphysik kennt zum Beispiel den $3n$ -dimensionalen Konfigurationsraum der nichtrelativistischen Schrödinger-Gleichung des n -Teilchenproblems, den vierdimensionalen Energie-Impulsraum, den $6n$ - bzw. $8n$ -dimensionalen Phasenraum der statistischen Physik des n -Teilchenproblems, den Hilbert-Raum mit unendlich vielen Dimensionen, dessen Vektoren in [74] der Quantentheorie die Zustände von physikalischen Systemen abbilden oder schließlich den drei- bzw. vierdimensionalen Iso-Raum, in dem Symmetriegruppen der Elementarteilchen dargestellt werden. Das Gemeinsame aller dieser Räume sind gewisse mathematische Strukturen, denen zufolge sie gewissen Definitionen entsprechend eben als „Räume“ bezeichnet werden.

Doch alle experimentellen Erfahrungen über den Mikrokosmos beruhen auf Versuchen, die mit makroskopischen Geräten durchgeführt wurden. Diese Geräte verfügen unzweifelhaft über eine geometrische Ausdehnung im menschlichen Anschauungsraum (Ortsraum) und arbeiten in der uns geläufigen Zeit. Für sie sind die realen raum-zeitlichen Strukturen maßgebend, diese Strukturen bestimmen die Art, in der mikrophysikalische Gesetze erkennbar werden, auch wenn es für die Formulierung dieser Gesetze der traditionellen Raumvorstellung nicht bedarf. Man kann daher sagen, daß vor allen abstrakten physikalischen Räumen die vierdimensionale Raum-Zeit steht. Sie verkörpert die Mannigfaltigkeit der realen physikalischen Ereignisse und zeichnet sich durch diese universelle Allgemeinheit vor den anderen Räumen aus, die der Physiker für seine Forschungen benutzt.

Mathematisch ist eine Vielzahl von Raum-Zeit-Mannigfaltigkeiten denkbar, und es ist eine Aufgabe der Physik, gerade diejenige Raum-Zeit-Struktur aufzudecken, die der physikalischen Realität am besten entspricht. Aufgabe der Philosophie muß es hingegen sein, diese Erkenntnisse, sofern sie grundlegende Aussagen über Raumeigenschaften wie Endlichkeit oder Unendlichkeit treffen, zu analysieren und philosophisch zu verallgemeinern bzw. zu interpretieren.

Die in der Vergangenheit zwischen Einzelwissenschaftlern und Philosophen in dieser Sache geführten Diskussionen zeigten aber, daß sehr oft begriffliche Unstimmigkeiten über die Termini „endlich“ bzw. „unendlich“ herrschen. Auf diesen Umstand hat zum Beispiel Kannegießer im Zusammenhang mit der Erörterung verschiedener Weltmodelle hingewiesen. „Eine Schwierigkeit“, so schreibt er, „die sich uns bei solchen Denkmöglichkeiten aufdrängt, besteht darin, daß man oft nicht so genau weiß, was der Physiker unter geschlossenen Räumen, endlichen, offenen und unendlichen Räumen versteht, oder was die Kosmologie unter räumlicher Endlichkeit im Gegensatz zu einer räumlichen

Begrenzung verstanden wissen will. Eine mathematisch-topologische Abgeschlossenheit ist weit davon entfernt, eine philosophische Endlichkeit zu sein, und ebenso kann man einen offenen Raum, d. h. etwas mathematisch unab-[75]geschlossenes nicht mit der philosophischen Kategorie Unendlichkeit gleichsetzen.“⁵⁸

Diese Feststellung trifft zwar genau zu, aber Kannegießer unternimmt selbst leider auch nichts, um Klarheit in den Begriffswirrwarr zu bringen. Aber nur wenn die begrifflichen Inhalte dieser Termini bloßgelegt werden, läßt sich das aufgeworfene Problem zwischen Philosophen und Einzelwissenschaftlern in der gebotenen Sachlichkeit erörtern und lösen.

Der Begriff der Unendlichkeit ist in der Mathematik unter anderem durch die Entwicklung der nicht-euklidischen Geometrie präzisiert worden. Zunächst wurde ein Unterschied zwischen den Eigenschaften „unendlich“ und „unbegrenzt“ offensichtlich. Zur Veranschaulichung mag die Oberfläche einer Kugel dienen. Sie ist ein zweidimensionaler, sphärischer Raum von sicherlich endlicher Größe, der sich mit den euklidischen Denkgewohnheiten sehr gut veranschaulichen läßt. Man kann zum Beispiel ohne Schwierigkeit den Flächeninhalt angeben. Dennoch ist dieser sphärische Raum unbegrenzt, denn so oft man auf der Kugeloberfläche auch entlangfährt, an eine Grenze, an ein Ende stößt man nicht. Analog liegt der Fall des dreidimensionalen sphärischen Raumes, der endlich, aber unbegrenzt ist, sich der menschlichen Anschauung aber leider entzieht.

Es erhebt sich angesichts dieses Sachverhalts natürlich die Frage, was denn nun der Philosoph meint, wenn er von Unendlichkeit spricht. „Der Terminus ‚Unendlichkeit‘“, so schreibt zum Beispiel G. I. Naan, „findet in der Philosophie schon seit langem Verwendung. Bei einem aufmerksamen Studium der Quellen wird man jedoch unschwer feststellen, daß mit diesem Terminus in Wirklichkeit nur der Begriff ‚Unbegrenztheit‘ bezeichnet wurde.“⁵⁹

Trifft diese Behauptung zu? Vertreten Philosophen wirklich seit langem derart eingeeengte Vorstellungen von der Unendlichkeit? Die Vorstellung einer unendlichen Welt findet sich schon bei den griechischen Atomisten, zum Beispiel bei Leukipp und Demokrit. Vermutlich Plutarch verdanken wir folgende Überlieferung: „Demokrit aus Abdera stellte die Lehre auf, das All sei unendlich, weil es nie von irgendwem erschaffen worden sei. Ferner nennt er es auch unveränderlich und setzt ausdrücklich die allgemeine Beschaffenheit des Alls auseinander. Die Ursachen der Vorgänge, die jetzt geschehen, hätten keinen Anfang, von der Vergangenheit her hänge seit unendlicher langer Zeit alles Vergangene, Gegenwärtige und Künftige durch Notwendigkeit miteinander zusammen. Für Sonne und Mond nimmt er eine Entstehung an.“⁶⁰

[76] Naan hat insofern recht, als der Begriff „unendlich“ hier an eine Raumvorstellung geknüpft ist; der Inhalt dieses Begriffs liegt aber nicht, wie behauptet wird, in der Forderung einer räumlichen Grenzenlosigkeit, sondern im Postulat einer Ewigkeit der Zeit.

Eine gewisse Unterscheidung von unendlich und unbegrenzt, wenn auch noch nicht präzise herausgearbeitet, findet sich bei G. Bruno; er nannte das All als Ganzes unendlich, „weil es ohne Rand ist, keine Schranke, keine Oberfläche hat“. In Brunos Vorstellung schwebten unzählige „Weltkugeln“ ähnlich der Erde im Raum, die, wie „jede einzelne der unendlichen Welten ... begrenzt“ sind. Naan hat mit seiner Einschätzung hier insofern recht, als Bruno das Fehlen einer räumlichen Grenze, hinter der nur das Nichts existiert, offensichtlich mit der Eigenschaft „unendlich“ gleichsetzt. Hegels Kritik am Begriff der „schlechten Unendlichkeit“, dem er den Terminus der „wahren Unendlichkeit“ gegenüberstellt, zeigt hingegen, daß der Philosoph nicht erst seit heute den Begriff der Unendlichkeit nicht nur in der bloßen Raumvorstellung des Grenzenlosen, sondern viel allgemeiner faßt.

Zur Abrundung seiner Ansicht zitiert Naan schließlich Engels: „Ewigkeit in der Zeit, Unendlichkeit im Raum, besteht schon von vornherein und dem einfachen Wortsinne nach darin, nach *keiner* Seite

⁵⁸ K. H. Kannegießer, Raum-Zeit-Unendlichkeit, Berlin 1964, S. 129.

⁵⁹ G. I. Naan, Über die Unendlichkeit des Weltalls, in: Philosophische Probleme der modernen Kosmologie, Berlin 1965, S. 97 f.

⁶⁰ Griechische Atomisten, Leipzig 1973, S. 149 f.

hin ein Ende zu haben, weder nach vorn oder nach hinten, nach oben oder nach unten, nach rechts oder nach links.“⁶¹ Das ist in der Tat ein Kriterium, das lediglich eine Grenzenlosigkeit des Raumes beschreibt. Doch dieses Zitat allein gibt nicht die Engelssche komplexe Aussage über die Unendlichkeit der Welt wieder, es ist aus seinem Zusammenhang im Dialog Engels – Dühring gerissen.

Der Unendlichkeitsbegriff von Engels bleibt natürlich nicht bei bloßen Raumvorstellungen stehen. Unter Hinweis auf den dialektischen Zusammenhang zwischen Endlichem und Unendlichem schreibt Engels zum Beispiel an anderer Stelle: „Eben *weil* die Unendlichkeit ein Widerspruch ist, ist sie unendlicher, in Zeit und Raum sich abwickelnder Prozeß.“⁶² „Sobald wir sagen“, so heißt es in den Fragmenten zur „Dialektik der Natur“, „Materie und Bewegung sind nicht erschafft und unzerstörbar, sagen wir, daß die Welt als unendlicher Prozeß, d. h. in der Form der schlechten Unendlichkeit, existiert, und haben damit an diesem Prozeß alles begriffen, was zu begreifen ist.“⁶³

Der Begriff Unendlichkeit in der Philosophie geht also nicht erst seit heute weit über bloße Raumvorstellungen hinaus. Die Behauptung von Naan trifft aber sicher zu, wenn sie sich lediglich auf [77] philosophische und weltanschauliche Erörterungen in der Vergangenheit über die Endlichkeit oder Unendlichkeit des Ortsraumes beschränkt.

Erst die Entwicklung der Mathematik, insbesondere die Ausarbeitung der nichteuklidischen Geometrien, hat seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts einen Unterschied zwischen den geometrisch-räumlichen Termini „unendlich“ und „unbegrenzt“ aufgezeigt. Und da, wie die Astrophysik überzeugend nachweisen konnte, der reale Erfahrungsraum tatsächlich nichteuklidisch ist, spielen diese zunächst abstrakten, theoretischen Probleme heute auch bei der Diskussion über die realen kosmischen Raumstrukturen eine Rolle. Daher ist eine fundierte Antwort auf die Frage nach den Begriffsinhalten von „endlich“ und „unendlich“ für die weltanschauliche Diskussion erforderlich. Zwischen dem mathematischen und dem philosophischen Unendlichkeitsbegriff gibt es erhebliche Unterschiede.

Bei der philosophischen Erörterung dieser Problematik sollte man sich zunächst über die Inhalte der von der Mathematik geprägten Begriffe Klarheit verschaffen. Die mathematische Unterscheidung zwischen Unendlichkeit und Unbegrenztheit legte erstmals B. Riemann in seiner berühmten Vorlesung aus dem Jahre 1854 an der Göttinger Universität dar. „Bei der Ausdehnung der Raumkonstruktionen ins Unmeßbargroße ist Unbegrenztheit und Unendlichkeit zu scheiden; jene gehört zu den Ausdehnungsverhältnissen, diese zu den Maßverhältnissen. Daß der Raum eine unbegrenzte dreifach ausgedehnte Mannigfaltigkeit sei, ist eine Voraussetzung, welche bei jeder Auffassung der Außenwelt angewandt wird, nach welcher in jedem Augenblick das Gebiet der wirklichen Wahrnehmungen ergänzt ... (wird) ... Hieraus folgt aber die Unendlichkeit keineswegs.“⁶⁴ In dieser Vorlesung führte Riemann übrigens auch den Begriff der Metrik ein und zeigte die Möglichkeit eines mathematisch-widerspruchsfreien Raumes mit positiver konstanter Krümmung.

Riemann unterschied also zwischen „Ausdehnung“ und „Maß“. Die Oberfläche der Kugel in dem bereits angeführten Beispiel ist in diesem Sinne von seiner Ausdehnung her unbegrenzt, vom Maß her aber endlich, wie der Flächeninhalt beweist. Der zweidimensionale Raum, und das trifft vollinhaltlich auch auf den dreidimensionalen sphärischen Raum zu, ist also gleichzeitig unbegrenzt und endlich. Ergibt sich diese Schlußfolgerung für den Fall der Kugeloberfläche schon aus reiner Anschauung, so ist das für den dreidimensionalen sphärischen Raum nicht möglich. Während sich nämlich der zweidimensionale sphärische Raum auf Grund topologischer Gesetz-[78]mäßigkeiten in den dreieuklidischen Raum einbetten läßt, benötigt man für die Einbettung des dreidimensionalen sphärischen Raumes einen vierdimensionalen euklidischen Raum, für den es aber keine Anschauung im menschlichen Erfahrungsbereich gibt. Derartige geometrische Zusammenhänge spielen aber bei der Interpretation der kosmologischen Weltmodelle eine wichtige Rolle.

⁶¹ K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 46.

⁶² Ebenda, S. 48.

⁶³ Ebenda, S. 503.

⁶⁴ B. Riemanns Gesammelte Mathematische Werke und Wissenschaftlicher Nachlaß, Leipzig 1892, S. 284.

Vor der Diskussion der entsprechenden Zusammenhänge in den Modellen der Einstein-Friedman-Welt sollen noch einige weitere Raumbegriffe der Mathematik einer inhaltlichen Analyse unterzogen werden und fundamentale Eigenschaften einiger für die Kosmologie wichtiger nichteuklidischer Raumtypen untersucht werden.

Aus der Vielzahl mathematisch möglicher Räume eignen sich prinzipiell nur wenige, um mit ihnen die tatsächlichen physikalischen Prozesse in der Raum-Zeit und im Raum beschreiben zu können. Hierfür gibt es eine Reihe verschiedener grundsätzlicher Argumente, die in verschiedenen Arbeiten ausführlich diskutiert sind.⁶⁵ Eine notwendige Bedingung besteht in der Forderung, daß der Raum metrisch ist. Der Begriff des metrischen Raumes geht auf den französischen Mathematiker M. Frechét zurück und wurde im Jahre 1906 geschaffen. Die erste systematische Darstellung der Theorie metrischer Räume hat F. Hausdorff in seiner 1914 in Leipzig erstmals veröffentlichten Arbeit „Grundzüge der Mengenlehre“ gegeben.

Das Wesentliche eines metrischen Raumes besteht darin, daß man zwischen je zwei Punkten dieses Raumes eindeutig einen Abstand definieren kann. Damit wird auch unmittelbar der physikalische Sinn klar, warum nur metrische Räume in Frage kommen sollen. Mathematisch exakt versteht man unter einem derartigen Raum eine beliebige Menge R mit folgenden Eigenschaften: Jeweils zwei Elementen x, y dieser Menge muß sich eindeutig eine nichtnegative reelle Zahl $\rho(x, y)$ zuordnen lassen, und es müssen folgende Axiome erfüllt sein:

- a) Die nichtnegative reelle Zahl kann nur dann Null sein, wenn beide Elemente des Raumes gleich sind, d. h. $\rho(x, y) = 0$ genau dann, wenn $x = y$.
- b) Die Reihenfolge, mit der beide Elemente aus R der reellen Zahl zugeordnet werden, ist gleichgültig, d. h. $\rho(x, y) = \rho(y, x)$.

Physikalisch gesprochen bedeutet das: Die von x nach y gemessene Strecke muß der von y nach x gemessenen Strecke gleich sein.

- c) Verbindet man drei Punkte des Raumes R miteinander, so darf die Länge einer Seite des auf diese Weise gebildeten Dreiecks nicht größer sein als die Summe der Längen der anderen beiden Seiten, d. h. $\rho(x, y) = \rho(y, x)$.

[79] Während der Wert $\rho(x, y)$ einen Abstand darstellt, wird die Funktion ρ das heißt die Vorschrift, wie man diesen Abstand konkret zu ermitteln hat, als Metrik des Raumes bezeichnet. Unter den genannten Voraussetzungen definieren dann R und ρ einen metrischen Raum, der mit (R, ρ) oder \mathbf{R} bezeichnet wird.

Diese Voraussetzungen erfüllt zum Beispiel der n -dimensionale euklidische Raum E^n . Seine Grundmenge ist die Gesamtheit aller n -Tupeln von reellen Zahlen $(x_1 \dots x_n) = \vec{x}$. Der Abstand zweier Punkte $\vec{x} = (x_1 \dots x_n), \vec{y} = (y_1 \dots y_n)$ wird durch die Vorschrift

$$\rho(\vec{x}, \vec{y}) = |\vec{x} - \vec{y}| = \sum_{v=1}^n x_v - y_v^2$$

eindeutig bestimmt. Der E^1 ist demgemäß die Zahlengerade, der E^2 eine ebene Fläche, der E^3 der von den cartesischen Koordinaten aufgespannte menschliche Erfahrungsraum der Newtonschen Physik, dessen Eigenschaften von der Schulmathematik her im allgemeinen jedem geläufig sind.

Zu den metrischen Räumen zählt ferner der sogenannte sphärische Raum. Seine Grundmenge R wird als aus allen n -dimensionalen Sphären vom Radius r bestehend definiert, das heißt die Menge S^n aller Punkte $\vec{x} = (x_1 \dots x_{n+1})$ des $n + 1$ -dimensionalen euklidischen Raumes E^{n+1} , die der Bedingung

$$|\vec{x}| = \sum_{v=1}^{n+1} x_v^2 = r^2 (>0)$$

genügen. Auch dieser Raum (S^n, ρ) erfüllt die drei obengenannten Axiome, er ist metrisch. Der Abstand zweier Punkte wird in diesem Raum durch

⁶⁵ Vgl. H.-J. Treder, Philosophische Probleme des physikalischen Raumes, Berlin 1974, S. 297.

$$\cos \frac{\rho(x,y)}{r} = \frac{\sum_{v=1}^{n+1} x_v y_v}{r^2} \qquad 0 = \rho(\vec{x}, \vec{y}) \leq \pi r$$

definiert. Die Größe $\rho(x, y)/r$ verkörpert dabei den Winkel zwischen den beiden vom Koordinatenursprung nach x bzw. y führenden Strahlen, und $\rho(\vec{x}, \vec{y})$ ist gleich der Länge des kleineren der beiden \vec{x} und \vec{y} verbindenden Großkreisbögen. Unter Großkreis wird dabei der Schnitt von S^n mit einer durch den Ursprung gehenden zweidimensionalen Ebene verstanden. Die Größe $1/r^2$ wird als Krümmung K dieses Raumes bezeichnet, das Symbol für diesen Raum ist S_K^n , die Metrik wird mit δ_k bezeichnet.

Und schließlich sei als drittes Beispiel eines metrischen Raumes der [80] hyperbolische Raum eingeführt. Seine Grundmenge ist die Menge aller Punkte $\vec{x} = (x_1 \dots x_n)$ des n -dimensionalen euklidischen Raumes E^n , die der Ungleichung

$$\sum_{v=1}^n x_v^2 < 1$$

genügen, also alle Punkte im Inneren der Einheitskugel, ohne die Kugeloberfläche selbst. In diesem Raum ist es weitaus komplizierter, den Abstand zu definieren und die Erfülltheit der drei klassifizierenden Axiome nachzuweisen. Wegen der fehlenden Anschaulichkeit sei deshalb hier darauf verzichtet und auf entsprechende mathematische Literatur verwiesen.⁶⁶ Auch der so definierte Raum ist metrisch, seine Krümmung beträgt $K = -1/r^2$, ist also bis auf das entgegengesetzte Vorzeichen der Krümmung des sphärischen Raumes gleich. Es sei bereits hier vermerkt, daß es sich bei den drei möglichen Raumtypen, die das Einstein-Friedman-Modell postuliert, gerade um diese drei kurz vorgestellten Räume handelt.

Auch die Begriffe „offen“ und „abgeschlossen“ sind in Verbindung mit der Geometrie metrischer Räume definiert worden. Offen im Raum R heißt zum Beispiel eine Teilmenge A aus dem Raum R , wenn jeder Punkt von A eine sphärische Umgebung besitzt, die wieder selbst in A enthalten ist. Mit anderen Worten: Zu jedem Punkt a der Teilmenge A lassen sich in seiner Umgebung weitere Punkte finden, deren Abstand zu a kleiner als eine positive reelle Zahl ε ist, das heißt $\rho(a, x) < \varepsilon$.

Dieser Umgebungsbegriff, darauf sei hier nur verwiesen, läßt sich weiter verallgemeinern.

Für den Begriff der abgeschlossenen Menge, dem Gegenteil der offenen Menge, wurden zunächst die Termini Berührungspunkt und abgeschlossene Hülle eingeführt. Ein Punkt x des metrischen Raumes heißt ein Berührungspunkt der Teilmenge A von R , wenn jede Umgebung von x wenigstens einen Punkt von A enthält. Die Menge aller Berührungspunkte von A nennt man dann die abgeschlossene Hülle \bar{A} von A . Wenn die abgeschlossene Hülle \bar{A} mit der Teilmenge A übereinstimmt, das heißt $\bar{A} = A$ ist, heißt die Teilmenge A in R abgeschlossen.

Das bisher Gesagte soll an zwei einfachen geometrischen Figuren dargestellt werden. Die Oberfläche einer Kugel stellt nach dem bisher Gesagten einen zweidimensionalen sphärischen Raum dar, der durch die Menge der Punkte $x^2 + y^2 + z^2 = r^2 = \text{const.}$ gegeben und im dreidimensionalen euklidischen Raum eingebettet ist (Abb. 1). [81]

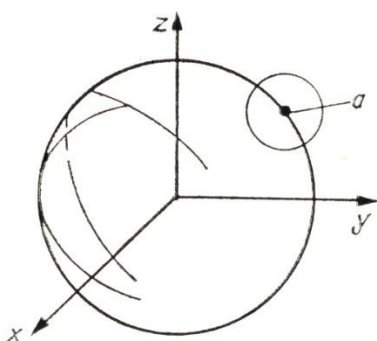


Abb. 1

⁶⁶ W. Rinow, Die innere Geometrie der metrischen Räume, (West-)Berlin/Göttingen/Heidelberg 1961, S. 5 f.

Dieser Raum ist in bezug auf den E^3 abgeschlossen, denn jeder Punkt der Fläche enthält in seiner sphärischen Umgebung wieder wenigstens einen Punkt der Fläche selbst. Die Menge aller dieser Berührungspunkte ist aber die Fläche selbst. (Aus den zuvor geführten Betrachtungen folgten als weitere Eigenschaften dieser Fläche deren Endlichkeit und Unbegrenztheit.)

Im Gegensatz zur Kugeloberfläche sei jetzt die durch eine ähnliche Gleichung $x^2 + y^2 - z^2 = r^2 = \text{const.}$ definierte Fläche betrachtet, die Oberfläche eines Hyperboloids (Abb. 2).

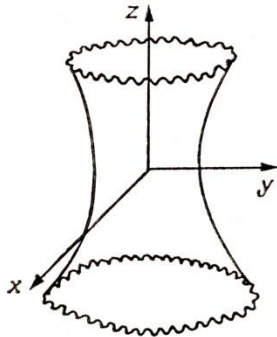


Abb. 2

Auch diese Fläche ist offensichtlich abgeschlossen. (Sie ist, ebenso wie die Kugeloberfläche, unbegrenzt. Aber sie ist unendlich, denn sie verfügt über kein endliches Maß, keinen endlichen Flächeninhalt.)

Abschließend sei noch kurz das Innere des Einheitskreises betrachtet, das nach der Formel $x^2 + y^2 < 1$ die Grundmenge für einen zweidimensionalen hyperbolischen Raum liefert (Abb. 3).

Der Rand, das heißt die Kreislinie, gehört bereits nicht mehr zur Grundmenge. Sie ist im Gegensatz zu den beiden ersten Beispielen [82]

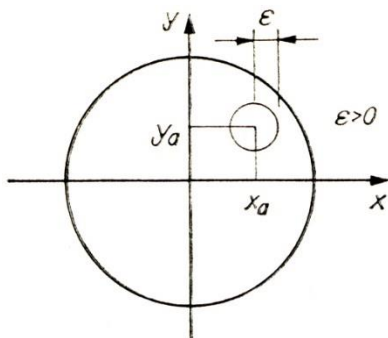


Abb. 3

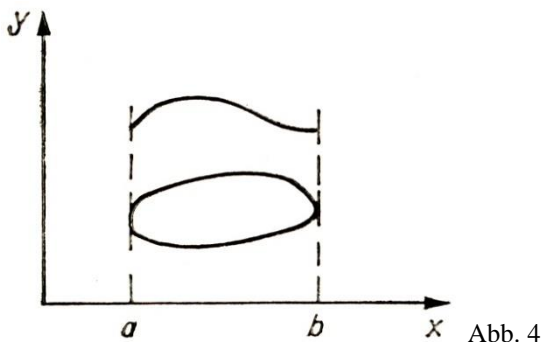
offen, denn welchen Punkt a man auch wählt und wie dicht er auch am Rand liegen mag, immer läßt sich eine kleine Umgebung finden, in der alle Punkte zu a einen Abstand besitzen, der durch eine positive, wenn auch noch so kleine Zahl gegeben ist. (Dieser Raum ist endlich, denn über eine Grenzwertbetrachtung läßt sich ein endliches Maß, der Kreisinhalt, finden. Der Raum ist zugleich begrenzt, denn in welcher Richtung man auch fortschreitet, man nähert sich stets infinitesimal einer Grenze, die nicht erreichbar und nicht überschreitbar ist.)

Aus dem Gesagten wird deutlich, daß diese eben definierten Termini „abgeschlossen“ und „offen“ für die Diskussion über die Endlichkeit eines Raumes untauglich sind. Es wurde gezeigt, daß eine abgeschlossene Fläche sowohl unbegrenzt und endlich als auch unbegrenzt und unendlich sein kann. Die Definition dieser beiden Termini machte außerdem deutlich, daß Raumeigenschaften wie „abgeschlossen“ und „offen“ Kriterien eines Raumes bezüglich eines anderen Raumes sind. Der sphärische Raum S_k^2 war abgeschlossen bezüglich des E^3 , das Innere des Einheitskreises ist offen bezüglich der euklidischen Ebene.

Diese Kriterien sind mathematisch sehr sinnvoll. Wenn zum Beispiel die Struktur eines bestimmten Raumes kompliziert ist, so kann eine Untersuchung in einem höherdimensionalen Raum, in welchem das Untersuchungsobjekt eingebettet wird, um vieles einfacher sein. Voraussetzung für eine derartige Verfahrensweise ist, daß die Eigenschaften des höherdimensionalen Raumes und die Einbettungsvorschrift gut bekannt sind.

Es stellt sich aber die Frage, ob die eben definierten Begriffe „abgeschlossen“ und „offen“ für die Diskussion der realen, physikalischen Raumstruktur als Ganzes einen Sinn haben können. Denn eine der Grundannahmen der Einsteinschen Relativitätstheorie geht [83] ja davon aus, daß es keine denotwendige Geometrie geben darf, mit der die materiellen Prozesse erst beschreibbar werden. Die Struktur des Raumes in seiner Gesamtheit, das heißt die kosmologische Struktur der Raum-Zeit, das besagen die Einsteinschen Feldgleichungen, ergibt sich allein aus dem mit ihr verknüpften physikalischen Geschehen. Aussagen über diese Struktur können nicht an irgendwelche abstrakten Raumprojektionen oder Einbettungen geknüpft sein, sollen sie einen physikalisch interpretierbaren Sinn haben. So läßt sich zwar der aus der Raum-Zeit separierte physikalische Raum des sphärischen Einstein-Friedman-Modells formal in den E^4 einbetten, doch gewonnen ist damit nichts. Mit der Frage nach der Unendlichkeit des Raumes haben die Raumeigenschaften „offen“ und „abgeschlossen“ also nichts zu tun.

Schließlich taucht in der Mathematik aber auch der für die kosmologischen Modelle wichtige Begriff der „Geschlossenheit“ (zu unterscheiden von der eben diskutierten „Abgeschlossenheit“) auf, dessen Gegenteil die Eigenschaft des „Offenen“ ist (ebenfalls zu unterscheiden von der eben behandelten Eigenschaft „offen“). Eine Menge von Punkten, zum Beispiel eine Fläche, ist zum Beispiel dann geschlossen, wenn sie „kompakt“ und „ohne Rand“ ist. „Ohne Rand“ bedeutet praktisch das Fehlen einer Grenze, eines Anfangs- und Endpunktes der Menge. Die einfachsten Beispiele stellen in der euklidischen Ebene die Menge der Punkte eines Kurvenabschnittes bzw. die Menge der Punkte einer geschlossenen Kurve dar (Abb. 4).



Der Kurvenabschnitt verfügt über zwei Randpunkte a und b , die geschlossene Kurve hingegen besitzt diese Eigenschaft nicht.

Jede Menge läßt sich durch unendlich viele Teilmengen vollständig überdecken. Gelingt das bei jeder der vielen möglichen Überdeckungen bereits mit endlich vielen dieser Teilmengen, so wird diese Menge als „kompakt“ bezeichnet. In einigen mathematischen Arbeiten [84] wird die Eigenschaft der Kompaktheit auch durch die Eigenschaft der Endlichkeit ersetzt und als charakterisierende Eigenschaft geschlossener Flächen und Räume dann deren Endlichkeit und Unberandetheit genannt.⁶⁷

Der bereits mehrmals als Beispiel angeführte zweidimensionale sphärische Raum, im E^3 eingebettet, ist Beispiel für einen in diesem Sinne geschlossenen Raum. Er besitzt keine Randpunkte, wie am Spezialfall der Kreislinie bereits gezeigt wurde. Und von unendlich vielen Teilräumen – in diesem Falle Kugelschalensegmenten – lassen sich immer endlich viele finden, welche die Kugeloberfläche vollständig überdecken. Die Analogie vom eindimensionalen sphärischen Raum konstanter Krümmung (Kreislinie) über den zweidimensionalen sphärischen Raum (Kugeloberfläche) läßt sich auch auf den dreidimensionalen sphärischen Raum fortsetzen. Alle diese Räume sind geschlossen, oder, was dasselbe ist, sie sind endlich im Sinne eines endlichen Volumens, aber unbegrenzt. Der euklidische Raum hingegen ist offen, oder, was dasselbe ist, unendlich und unbegrenzt.

Und hier beginnt sich der Kreis zu der von Riemann gegebenen Unterscheidung von Ausdehnung (Unbegrenztheit) und Maß (Endlichkeit/Unendlichkeit) zu schließen:

⁶⁷ H. Seifert/W. Threlfall, Lehrbuch der Topologie, New York 1947, S. 205.

Im n -dimensionalen Riemannschen Raum läßt sich über einen beliebigen Teilraum D ein Volumen gemäß

$$\text{Volumen} = \int_D \sqrt{\text{Det.} | g_{ik} |} dx_1 \dots dx_n$$

definieren, das gegen Koordinatentransformationen invariant, also eine Größe mit physikalischem Inhalt ist. Für den Spezialfall des dreidimensionalen euklidischen Raumes (Riemannscher Raum mit der Krümmung Null) ist die Determinante der g_{ik} gleich Eins, und man erhält das bekannte Volumenintegral

$$V = \int dx dy dz.$$

Die Entscheidung, ob ein Raummodell endlich oder unendlich ist, fällt nach Riemann mit der Festlegung seines Raummaßes, das heißt anschaulich mit dem Volumen eines in diesem Raum unbegrenzt ausgedehnten Körpers, zusammen. Das Innere einer Kugel, um das Gesagte zu veranschaulichen, besitzt ein endliches Volumen, das sich mit größer werdendem Radius ebenfalls vergrößert. Selbst wenn $r \rightarrow \infty$ und damit $V \rightarrow \infty$ gehen, läßt sich mit einer endlichen Zahl dieser Teilmengen des dreidimensionalen euklidischen Raumes dieser Raum nicht abdecken.

[85] Sein Volumen ist somit unendlich. Nach dem vorher Gesagten ist er auch nicht kompakt, beide Entscheidungskriterien führen also zum gleichen Ziel. Für den dreidimensionalen sphärischen Raum, der als geschlossen erkannt wurde, läßt sich sehr wohl ein Volumen angeben. Es hat den Wert $2\pi^2 R^3$.

Ein unbegrenzter Raum – um schließlich noch eine weitere Eigenschaft zu nennen – ist derart, daß die Geodäten, das heißt die kürzesten Verbindungen zweier Punkte, weder einen Anfang noch ein Ende kennen. Im euklidischen Raum ist die Geodäte eine Gerade ohne Anfang und Ende, der Raum ist somit unbegrenzt. Der sphärische Raum innerhalb des dreidimensionalen euklidischen Raumes, die Kugeloberfläche, besitzt als Geodäten hingegen geschlossene Kreislinien, die ebenfalls endlos sind. Dieser Raum – wir wissen es bereits – ist ebenfalls unbegrenzt.

4.2. Endliche oder unendliche Welt?

Von besonderem Interesse ist nun die Sachlage bei den diskutierten Weltmodellen, vor allem vom Einstein-Friedman-Typ. Friedmans Annahme über den Kosmos, daß der Raum isotrop und homogen sei, drückt sich in der Aussage aus, daß der reale kosmische Raum überall zu einem jeweiligen Zeitpunkt konstant gekrümmt ist. Lediglich dieser augenblickliche konstante Krümmungswert kann sich im Laufe der Zeit ändern.

Mit der Forderung der räumlichen Isotropie und Homogenität ist von vornherein die Metrik, die durch das infinitesimale Wegeelement ds bestimmt ist, vorgegeben. Der entsprechende Ansatz für einen isotropen und homogenen Raum lautet

$$ds^2 = dx^4 - G^2 A^2 (dx_1 + dx_2 + dx_3),$$

wobei G nur von der Zeitkoordinate und A von r ($r^2 = x^2 + y^2 + z^2$) abhängt und die Beziehung

$$A = \frac{1}{1 + \frac{r^2}{4}}$$

gelten muß. In sphärischen Koordinaten entspricht dieser Ansatz dem sogenannten Robertson-Walker-Linienelement

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2(t) \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 (d\Theta^2 + \sin^2 \Theta d\Phi^2) \right].$$

[86] Die zeitabhängige Größe R ist ein Maß für den „Radius“ eines Raumes dieser Metrik, und k ist als Parameter mit $k = 0, +1, -1$ wählbar. Je nachdem, wie dieser Parameter gewählt wird, definiert das Linienelement die Metrik eines quasieuklidischen ($k = 0$), eines sphärischen ($k = 1$) oder hyperbolischen ($k = -1$) dreidimensionalen Raumes konstanter Krümmung, wenn man die additive Größe $c^2 dt^2$ zunächst beiseite läßt.

Friedman zeigte als erster (1922), daß mit diesem Ansatz die Einsteinschen Gravitationsgleichungen zu lösen sind. Einstein selbst hat seinen eigenen kosmologischen Ansatz, für den er ein zusätzliches Glied in die Feldgleichungen einführen mußte, zugunsten des Friedmanschen Lösungsweges verworfen. „Schon die Forderung der räumlichen Isotropie der Welt“, schreibt er, „führt zu Friedmans Ansatz. Es ist daher unzweifelhaft, daß es sich um den allgemeinsten Ansatz handelt, der für das kosmologische Problem in Frage kommt.“⁶⁸

Damit schließt sich der Kreis zu den vorangeschickten Bestimmungen mathematischer Begriffe endgültig. Die Einstein-Friedman-Welt vom sphärischen Typ (Raum mit konstanter positiver Krümmung, $k = 1$) ist das mathematische Modell eines geschlossenen Weltalls, das heißt einer räumlich endlichen und unbegrenzten Welt.

Es ist wissenschaftshistorisch äußerst interessant, daß B. Riemann bei der Begründung seiner Geometrie durchaus deren Bedeutung für die Physik geahnt hat. „Es muß also entweder das dem Raume zugrunde liegende Wirkliche eine diskrete Mannigfaltigkeit bilden, oder der Grund der Maßverhältnisse außerhalb, in darauf wirkenden Kräften, gesucht werden.

Die Entscheidung dieser Frage kann nur dann gefunden werden, indem man von der bisherigen, durch die Erfahrung bewährten Auffassung der Erscheinungen, wozu Newton den Grund gelegt hat, ausgeht und diese durch Thatsachen, die sich aus ihr nicht erklären lassen, getrieben allmählich umarbeitet. Solche Untersuchungen, welche, wie die hier geführte, von allgemeinen Begriffen ausgehen, können nur dazu dienen, daß diese Arbeit nicht durch die Beschränktheit der Begriffe gehindert und der Fortschritt im Erkennen des Zusammenhangs der Dinge nicht durch überlieferte Vorurteile gehemmt wird.

Es führt dies hinüber in das Gebiet einer anderen Wissenschaft, in das Gebiet der Physik, welches wohl die Natur der heutigen Veranlassung nicht zu betreten erlaubt.“ – Diese Sätze enthalten im Keim bereits das später von Einstein verwirklichte Konzept [87] zur Verknüpfung von Raumgeometrie und physikalischen Ereignissen.⁶⁹

Alle drei Modelltypen des Einstein-Friedman-Kosmos beinhalten aber ein noch nicht erfaßtes Interpretationsproblem: Sie sagen über zeitliche Entwicklungseffekte aus, die sich mathematisch einwandfrei bis zu einem Zeitpunkt Null zurückrechnen lassen, also die Möglichkeit eines Weltanfangs und eines Anfangs der physikalischen Zeit beinhalten.

Aus der grundlegenden Tensorgleichung von A. Einstein für das Gravitationsproblem

$$R_{ik} - g_{ik}R/2 = -x \cdot T_{ik}$$

lassen sich mit dem erwähnten Ansatz für die Metrik eines isotropen und homogenen Raumes zwei Differentialgleichungen gewinnen, die über die zeitliche Änderung des „Weltradius“ $R = \sqrt{\sum R_{ik} g_{ik}}$ und der im Raum verteilten mittleren Massendichte ρ Aussagen treffen

$$\left(\frac{dR}{dt} + k\right) \frac{1}{R^2} = x\rho/3 \text{ mit } x = \frac{8\pi G}{c^2}$$

$$2R \frac{d^2R}{dt^2} + \left(\frac{dR}{dt}\right)^2 + k = 0$$

und G = Newtonsche Gravitationskonstante, c = Lichtgeschw.

Als Konsequenz dieser Gleichungen folgt

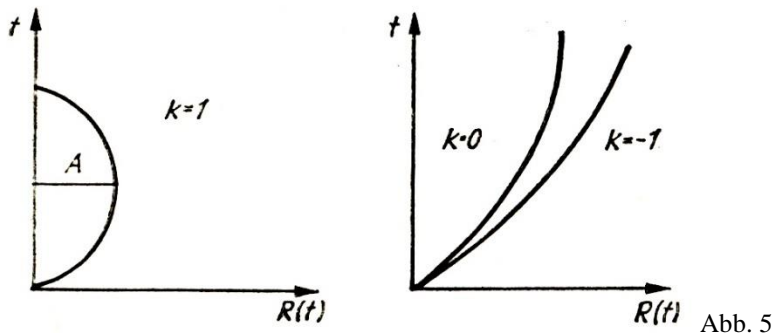
$$\rho(t)R^3(t) = \text{const.}$$

und bedeutet, daß zwar nicht die Massendichte, aber die Gesamtmasse des Universums zu jeder Zeit erhalten bleibt.⁷⁰ Die Lösungen der beiden angeführten Differentialgleichungen lassen sich wie folgt grafisch darstellen: (Abb. 5)

⁶⁸ A. Einstein, Grundzüge der Relativitätstheorie, Berlin/Oxford/Braunschweig 1969, S. 126.

⁶⁹ Vgl. H. Reichardt, Gauß und die nicht-euklidische Geometrie, Leipzig 1976, S. 110.

⁷⁰ R. U. Sexl, Kosmologie, in: Physik in unserer Zeit, 5/1972, S. 156.



Für das sphärische Modell beginnt der „Kosmos“ im Punkt $t = 0$, $R = 0$ aus unbekannter Ursache zu expandieren (Urknall). Die zunächst gewaltige Anfangsgeschwindigkeit der Raumexpansion [88] schwächt sich allmählich ab und schlägt nach Erreichen einer Maximalausdehnung von $A = x \cdot \rho \cdot R^3/3$ in eine Kontraktionsphase um, die in einem Zusammenziehen des Raumes auf das Nullvolumen endet. Für die anderen beiden Modelltypen beginnt die Expansion ebenfalls aus dem Nullvolumen, setzt sich aber endlos fort, mit für den entsprechenden Modelltyp unterschiedlichen Expansionsgeschwindigkeiten. Für beide Fälle nimmt der „Weltraum“ im Laufe der Zeit unbegrenzt zu, in beiden Modellen ist der „Weltraum“ unendlich groß.

Für die Teilfrage endlicher oder unendlicher Raum, für die Frage nach der in der Metagalaxis realisierten Raumstruktur ist wichtig, daß der Parameter k und damit der Raumtyp nicht willkürlich gewählt werden kann und auch nicht aus theoretischen Überlegungen zu erschließen ist. Diese Aufgabe kann nur durch eine präzise experimentelle Bestimmung der mittleren kosmischen Massendichte und der Hubble-Konstanten erfolgen.

Die zuerst von Hubble aus der Rotverschiebung gezogenen Schlußfolgerungen besagen, daß sich die Galaxien mit einer Geschwindigkeit v entfernen, die dem Abstand s der Galaxien zur Erde und damit ihrem Alter proportional ist. Der Proportionalitätsfaktor dieser Beziehung wird als Hubble-Konstante bezeichnet. Exakt formuliert, gilt also die Beziehung

$$v = H_0 \cdot s \text{ (der Index 0 besagt, daß } H \text{ zum jetzigen Zeitpunkt gemessen wird).}$$

H_0 hat die Dimension einer inversen Zeit und steht mit der Größe des zeitabhängigen „Weltradius“ in folgender Beziehung

$$\tau_0 = \frac{R_0}{\dot{R}_0} = H_0^{-1}$$

Die Größe τ_0 ist die lineare Extrapolationszeit von den heute beobachteten Expansionsgeschwindigkeiten rückwärts bis zum Zeitpunkt $t = 0$. Da alle drei Friedman-Modelle keine linear zunehmende Expansionsgeschwindigkeit vorhersagen, sondern eine immer langsamer werdende Zunahme, ist die Zeitgröße τ_0 (experimentell ermittelbar) somit eine obere Schranke für das theoretisch ermittelbare „Weltalter“.

Der zeitabhängige „Weltradius“ läßt sich auch in Beziehung zur ebenfalls der experimentellen Überprüfung zugänglichen mittleren Massendichte des Universums setzen. Dabei gilt der Zusammenhang

$$\rho_0 = 6H_0^2 \frac{\dot{R}_0 \cdot R_0}{\dot{R}_0^2 \cdot c^2}$$

[89] Mit den heute aktuellen Werten einer mittleren Massendichte von $4 \cdot 10^{-31} \text{ g/cm}^3$ bis 10^{-30} g/cm^3 würde daraus folgen, daß der Raum hyperbolisch sei. Aus den Messungen der Rotverschiebung und deren nichtlinearen Korrekturen ergibt sich hingegen meistens ein geschlossenes sphärisches Raummodell. Andere Argumente hingegen sprechen für die Realität eines quasieuklidischen Raumes.

Der gegenwärtige Stand der experimentellen Forschung ermöglicht heute offensichtlich noch keine experimentell abgesicherten quantitativen Entscheidungen über die „Realität“ dieses oder jenes Modelltyps im realen Kosmos zu treffen.

Die Situation kennzeichnete sehr treffend H. Lambrecht, als er 1973 schrieb: „Zur Zeit ist... die Situation derart, daß man sich aus einem runden Dutzend Arbeiten der letzten zwei bis drei Jahre, in dem sowohl die extremen Auffassungen als auch die Kompromißlösungen mit gleicher Überzeugungskraft und leider auch mit polemischer Schärfe vorgetragen werden, die dem eigenen Geschmack am besten entsprechende aussuchen kann, ohne in nennenswerte intellektuelle Konflikte zu geraten.“⁷¹

Um die experimentellen Schwierigkeiten anzudeuten, sei kurz auf das Problem der Bestimmung der Massendichte hingewiesen. Aus der Helligkeit der Sterne, ihrer Leuchtkraft und ihrem Abstand zur Erde läßt sich recht gut deren Masse abschätzen. Weitaus schwieriger ist es, die zwischen den Galaxien als Gas auftretende Masse zu erfassen. Im Ergebnis von Messungen der Röntgenstrahlung des kosmischen Hintergrundes, die gewisse Aufschlüsse über vorhandene Gasmengen im intergalaktischen Medium ermöglichen, glauben einige Forscher Grund zu der Annahme zu finden, daß sehr viel mehr Wasserstoff in der Welt vorhanden sein könnte, als in Galaxien konzentriert ist. Eine weitere Schwierigkeit bilden die sogenannten schwarzen Löcher, „erloschene“ Sterne mit unvorstellbar hoher Massendichte, die kein Licht mehr emittieren. Der erste Existenzbeweis ist vermutlich Ende 1973 gelungen: Cygnus X-1. Nachweisbar wurde dieses schwarze Loch in einer charakteristischen Röntgenstrahlung, die von den aus der galaktischen Umgebung des Körpers in das Gravitationszentrum hineinstürzenden Gasmassen herrührt. Zwei weitere Röntgenquellen sind seither als mögliche schwarze Löcher verdächtig, aber niemand kann sagen, wie viele derartige Sternobjekte es überhaupt gibt, die natürlich wesentlich zur Gesamtbilanz der Massendichte der Metagalaxis beitragen können.

Zum Abschluß der kommentarlosen Klärung und Erläuterung [90] mathematischer und physikalischer Begriffe sei versucht, einige Konsequenzen dieser drei Raumtypen zu erläutern. Das hyperbolische und quasieuklidische Modell bereitet hinsichtlich seiner räumlichen Unendlichkeit keinerlei Schwierigkeit. Insbesondere erhebt sich aber die Frage nach der Interpretation des geschlossenen Weltmodells, das ja von der räumlichen Endlichkeit unserer Welt ausgeht. Diese sphärische Welt, daran sei noch einmal erinnert, ist das dreidimensionale Analogon zum zweidimensionalen sphärischen Raum konstanter Krümmung, zur Kugeloberfläche. Die sphärische Friedman-Welt besitzt ein endliches Volumen, das durch den Weltradius“ R mit $2\pi^2R^3$ bestimmt ist. Welche Konsequenzen ein Transport „starrer“ Körper in diesem Raum mit sich bringt, hat Einstein selbst in beispielhaft populärer Form geschildert:

„Von einem Punkte aus ziehen wir Gerade (spannen wir Schnüre) nach allen Richtungen und tragen auf jeder derselben Strecke r mit dem Maßstabe auf. Alle freien Endpunkte dieser Strecken liegen auf einer Kugelfläche. Die Fläche dieser (F) können wir mit einem Maßstabquadrat besonders ausmessen. Ist die Welt euklidisch, so ist $F = 4\pi r^2$, ist die Welt sphärisch, ist F stets kleiner als $4\pi r^2$. F wächst mit wachsendem r von Null bis zu einem durch den ‚Weltradius‘ bestimmten Maximum, um bei weiter wachsendem Kugelradius r allmählich wieder bis zu Null abzunehmen. Die vom Ausgangspunkt ausgehenden radialen Geraden entfernen sich zunächst immer weiter voneinander, nähern sich später wieder, um schließlich im ‚Gegenpunkte‘ des Ausgangspunktes wieder zusammenzulaufen; sie haben dann den ganzen sphärischen Raum durchmessen. Man überzeuge sich leicht, daß der dreidimensionale sphärische Raum dem zweidimensionalen (Kugelfläche) völlig analog ist. Er ist endlich (d. h. von endlichem Volumen) ohne Grenzen zu haben. Es sei bemerkt, daß es noch eine Abart des sphärischen Raumes gibt, den ‚elliptischen Raum‘. Er kann als ein sphärischer Raum aufgefaßt werden, in welchem die ‚Gegenpunkte‘ identisch (nicht unterscheidbar) sind. Eine elliptische Welt kann also gewissermaßen als eine zentrisch symmetrische, sphärische Welt angesehen werden.“⁷²

Soweit die logisch nicht anfechtbaren theoretischen Kosmosmodelle, wie sie von der Einzelwissenschaft geschaffen wurden. Aus allem bisher Gesagten, aus den angeführten vereinfachenden, hypothetischen Annahmen, die bereits in diesen Modellen und ihren Aussagen stecken, ergibt sich eigentlich von selbst, daß die Schlußfolgerungen aus diesen Modellen nicht formal auf die Vielfalt der Prozesse in der realen Welt übertragen werden können. Und noch [91] mehr verbietet es sich, die Aussagen

⁷¹ H. Lambrecht in: Zur Geschichte der Erde und des Kosmos, Berlin 1973, S. 42.

⁷² A. Einstein, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, Berlin/ Oxford/Braunschweig 1969, S. 88.

dieser Modelle als philosophische Aussagen über Raum und Zeit anzusehen. Bereits dieser elementare Umstand wird aber von einigen bürgerlichen Philosophen und Naturforschern außer acht gelassen.

An dem grundsätzlichen Wert dieser Modelle für die Erkennbarkeit der objektiven Welt kann andererseits kein Zweifel bestehen. Wenn auch gegenwärtig noch keine Möglichkeit besteht, den für den Modelltyp charakteristischen Parameter zu bestimmen, so liegt doch bereits eine Fülle experimenteller Ergebnisse vor, die die grundsätzliche Richtigkeit des eingeschlagenen Weges belegt. Und auch wichtige, aus den Friedman-Modellen folgende Aussagen stimmen gut mit den Erfahrungen über die Entwicklungstendenzen in der Metagalaxis überein.

Welche philosophischen Konsequenzen müssen aus marxistischer Sicht aus dem gegenwärtigen Entwicklungsstand der Kosmologie gezogen werden? Für die Friedman-Modelle mit negativer bzw. verschwindender konstanter Krümmung ergeben sich, jedenfalls hinsichtlich der Unendlichkeit des Raumes, keine neuen Probleme. Für den Fall einer sphärischen Welt, mag man ihn nun für wahrscheinlich halten oder nicht, muß zunächst festgestellt werden, daß die hieraus folgenden Konsequenzen nicht im Widerspruch zu gegenwärtig bekannten astronomisch erfahrbaren Tatsachen stehen. Es ergibt sich auch kein Widerspruch zu dem vom dialektischen Materialismus geforderten unendlichen Progreß, zur ständigen, unerschöpflichen Bewegung der Materie, wenn man zunächst einmal von dem im Modell enthaltenen Anfangspunkt absehen will. Das sphärische Modell sagt einen ständigen Bewegungsablauf als Folge innerer Gesetzmäßigkeiten voraus, in dem auf Phasen kosmischer Expansion Phasen kosmischer Kontraktion folgen, die von erneuter Expansion abgelöst werden.

Da dieser Raum keine Grenzen kennt, gibt es – formal gesehen – natürlich nichts, was sich außerhalb dieses sphärischen Raumes befinden könnte. Diesen mathematischen Tatbestand erläutert Naan in der bereits zitierten Arbeit so: „Das stärkste Argument des gesunden Menschenverstandes gegen die Idee der Endlichkeit des Raumes ist die ‚niederschmetternde‘, Tausende Male gestellte Frage: ‚Und was befindet sich außerhalb des endlichen Raumes?‘ Auf diese Frage läßt sich nur antworten, daß es einen solchen ‚Ort‘ nicht gibt. Der geschlossene Raum ist der gesamte Raum. Er ist genauso unbegrenzt wie der unendliche Raum und unterscheidet sich in dieser Beziehung durch nichts von letzterem. Es gibt keinerlei Grenzen, ‚außerhalb‘ [92] derer noch etwas sein könnte. Die Frage, was sich außerhalb des (endlichen oder unendlichen) unbegrenzten Raumes befindet, ist ebenso unsinnig wie die Frage, was sich über einer vertikalen Linie oder innerhalb eines mathematischen Punktes befindet.“⁷³

Diese Antwort wird natürlich jeden Mathematiker befriedigen, sie ist von dieser Seite her nicht anfechtbar. Die Frage ist aber nur, ob sich dieser ideale Sachverhalt in der Natur tatsächlich verwirklicht. Naan äußert sich hierzu nicht sehr präzise. „Man darf sich den endlichen Raum“, so argumentiert er vom Standpunkt der Mathematik aus, „nicht in Gestalt irgendeiner großen Kugel oder eines Würfels vorstellen. Die Kugel ist ein Teil des dreidimensionalen Raumes, und ihre Oberfläche ist eine zweidimensionale Mannigfaltigkeit... Im Falle des endlichen dreidimensionalen Raumes liegen die Dinge völlig anders. Endlich ist hier der dreidimensionale Raum selbst, der alle denkbaren und existierenden Kugeln und Würfel einschließt, der nirgends eine Grenze hat und in bezug auf sich nichts Äußeres kennt. Die räumliche Anschauung versagt hier natürlich, man kann sich das nicht vorstellen; es gibt jedoch viele reale Dinge, die sich anschaulich nicht vorstellen lassen. In logischer Hinsicht dagegen ist der Begriff des endlichen Raumes völlig einwandfrei. Ähnlich verhält es sich mit anderen Argumenten des gesunden Menschenverstandes. Bedeutet die Annahme der räumlichen Endlichkeit des Weltalls aber nicht ein Abgehen vom Materialismus?“⁷⁴

In seiner Antwort auf diese Frage verweist Naan darauf, daß für viele Physiker die Frage nach der Unendlichkeit oder Endlichkeit des Weltalls keine philosophische Frage sei und daß sie mit physikalischen Mitteln eindeutig gelöst werden könne. Von diesem Standpunkt aus, so behauptet Naan, sei ein Widerspruch zwischen der Annahme von der Endlichkeit des Weltalls und den Prinzipien des dialektischen Materialismus ausgeschlossen. – Eine schwer zu begreifende Logik, denn erstens ist nicht einzusehen, wieso das Kriterium, wann eine Frage eine philosophische Frage sei, von der

⁷³ G. I. Naan in: Philosophische Probleme der modernen Kosmologie, Berlin 1965, S. 97.

⁷⁴ Ebenda.

subjektiven Ansicht eines Einzelwissenschaftlers abhängen soll, und zum anderen zeigte ja gerade die Entwicklung der Naturwissenschaft bis zur Gegenwart, daß die Frage der Unendlichkeit der Welt eben nicht allein vom Standpunkt einer physikalischen Theorie umfassend zu beantworten ist, wenn auch hier der Naturwissenschaftler ganz wesentliche Aspekte dieser Frage zu untersuchen hat.

Viele Philosophen hingegen, so meint Naan, welche die Frage nach der Unendlichkeit des Weltalls für eine ihrem Charakter nach wesentlich philosophische halten, belegten ihren Standpunkt „bei weitem [93] nicht immer mit überzeugenden Argumenten“. Damit mag Naan recht haben, aber er begründet diese Aussage mit der angeblichen Gleichsetzung von Unendlichkeit und Unbegrenztheit durch die Philosophen, und das trifft nicht zu, wie bereits gezeigt wurde.

Im folgenden verstrickt sich Naan dann selbst in Widersprüche: Einerseits hebt er hervor, daß das Raumproblem nur im Rahmen der vierdimensionalen Raum-Zeit-Union richtig gesehen werden könne und in der Raum-Zeit das Weltall in jedem Fall unendlich sei. Andererseits räumt er wenig später ein, daß die einheitliche Raum-Zeit „in ganz bestimmter Weise – und im Prinzip im Maßstab des gesamten Weltalls – in einen dreidimensionalen Raum mit Riemannscher Metrik und eine nicht-gekrümmte ‚Welt‘-Zeit aufgespalten“ werden könne, eben in den Friedman-Modellen, die, wie Naan ebenfalls anerkennt, den kosmischen Realitäten in guter Näherung entsprechen.

Einerseits fordert Naan, es müßten alle Argumente, die davon ausgehen, daß die Relativitätstheorie bei all ihrer Vollkommenheit doch eine relative Erkenntnis ist und nicht die absolute Wahrheit zum Ausdruck bringt, zurückgewiesen werden. „Es versteht sich, daß auch die Relativitätstheorie nur eine relative Wahrheit ist, aber wir kennen vorläufig keine andere physikalische Theorie der Raum-Zeit und der Gravitationen, die der absoluten Wahrheit noch näher käme.“⁷⁵ Andererseits kommt er aber zu dem überzeugenden Schluß: „Jedes reale System kann sich hinsichtlich seiner Eigenschaften bestenfalls nur mehr oder weniger der räumlichen Abgeschlossenheit annähern.“⁷⁶

Der Umstand, daß es zur Zeit keine bessere Theorie gibt, kann nicht Verzicht auf die Herausarbeitung noch offener, auch philosophischer Fragen bedeuten, im Gegenteil. Und warum soll der Raum als Ganzes oder die Metagalaxis weniger real sein als irgendein anderes Gebilde des materiellen Seins?

Die Friedman-Modelle, soviel steht fest, sind formal und logisch nicht anfechtbar, wenn man die in sie hineingesteckten physikalischen Hypothesen akzeptiert. Deswegen müssen sie aber noch lange nicht die komplexe Vielfalt des kosmischen Geschehens exakt widerspiegeln. Aus erkenntnistheoretischen Gründen wäre eher genau das Gegenteil zu erwarten.

Zur Demonstration sei ein kleines Gedankenexperiment angeführt: Man stelle sich ein schwarzes Loch vor, den Endzustand einer Sonne. Die gigantische Massendichte dieses Gebildes verhindert, daß Licht, das nach der Relativitätstheorie auch über träge Masse verfügt, dieses Loch verläßt. Jede Strahlung im Innern dieses Gebildes verbleibt [94] dort, welcher Art sie auch immer sein mag. Und anzunehmen, daß im Innern eines solchen Körpers ein Zustand des vollständigen Gleichgewichtes, der Ruhe herrscht, verbietet sich wohl von selbst. Angenommen, in diesem schwarzen Loch existieren Lebewesen, die sich die Aufgabe stellten, die Raumstruktur ihrer „Welt“ zu bestimmen. Sämtliche Signale, die sie in den Raum aussenden, verlassen diese ihre „Welt“ nicht. Auf mehr oder weniger gekrümmten Bahnen durchheilen sie den Raum. Reflexionen an der Oberfläche einmal ausgeschlossen, müßte sich für die „Lochbewohner“ die Geometrie einer geschlossenen und vielleicht unbegrenzten Welt ergeben. Dennoch bestehen für uns, die „außerhalb“ dieser Welt Lebenden, durchaus reale Möglichkeiten, die Existenz dieser „Löcher“ nachzuweisen, nämlich auf Grund der Wechselwirkung mit der Außenwelt dieser Löcher, mit der sie umgebenden Materie. Und für die Bewohner des Loches ist es natürlich nur eine Frage ihres Erkenntnisstandes und ihrer experimentellen Möglichkeiten, diese Wechselwirkung zum Beispiel am ständigen Zustrom interstellarer Materie nachzuweisen. Ihre Welt wird somit wieder offen. Das Problem der Lochbewohner ist also nur, ob der erreichte Erkenntnisstand den realen Sachverhalt bereits gut genug widerspiegelt, oder, philosophisch gesprochen, ob die relative Wahrheit der absoluten Wahrheit schon hinreichend genau angenähert ist.

⁷⁵ Ebenda, S. 109.

⁷⁶ Ebenda, S. 107.

Dieses Gedankenexperiment soll natürlich keineswegs den Analogieschluß nahelegen, das sphärische Friedman-Modell sei als riesige geschlossene Welt, eingebettet im eigentlichen Universum, zu deuten. Das wäre ein sehr naiver, mechanistischer Standpunkt. Es soll nur illustrieren, daß weitgehend vereinfachte, durch viele einschränkende Voraussetzungen – zum Beispiel Homogenität und Isotropie des Raumes – erhaltene theoretische Vorstellungen eben immer nur näherungsweise die Wirklichkeit widerspiegeln. Und die Friedman-Modelle erklären eben gut die heute beobachtete Raumexpansion, die schon einige Milliarden Jahre anhält. Und sie sagen über Raumtypen konstanter Krümmung aus, denen diese Eigenschaft tendenziell innewohnt. Über Abweichungen der Natur im Detail kann von diesem Grundmodell schon keine Aussage mehr getroffen werden.

So formal, wie Naan den sphärischen Raum betrachtet, hilft dies in einer mehr weltanschaulichen Diskussion nicht weiter. Die sphärische Friedman-Welt ist eine dynamische Welt. Für zwei Zeitpunkte $t_1 < t_2$ gibt es zwei wohldefinierte „Weltvolumina“ $V_1 < V_2$. Die Differenz wäre, folgt man den Argumenten Naans, ein Volumen ohne Raum. Wohin dehnt sich denn der sphärische Friedman-Raum aus? [95] Etwa in die nicht existente vierte euklidische Dimension? Doch wohl ganz sicher innerhalb des realen dreidimensionalen Raumes.

Wichtiger als formale mathematische Schlüsse ist die Frage nach den realen physikalischen Konsequenzen dieses oder jenen Raumtyps. Ein Merkmal der endlichen sphärischen Friedman-Welt besteht darin, daß sich das Licht auf einer Geodäten fortbewegt – in dem stationären, sphärischen Raum wäre das eine Kreisbahn, das heißt, ein Lichtstrahl würde auf seinem Weg durch den Raum immer konstant abgelenkt und käme irgendwann an den Ausgangspunkt zurück. Da das Friedman-All expandiert, ändert sich mit jedem Zeitpunkt der „Weltradius“. Der Lichtstrahl bewegt sich auf einer Spirale nach außen, die sich später wieder in ihren Ursprung zusammenzieht. Was aber, wenn die Krümmung des Raumes partiell verschieden ist, wie das im realen Kosmos mit seinen Massekonzentrationen und fast leeren Zwischenräumen der Fall ist? Licht erfährt so viele diskrete Ablenkungen, daß es schwerlich auf einer Bahn konstanter Krümmung zum Ausgangspunkt zurückkehrte. Damit ist ein wesentliches Merkmal eines im mathematischen Sinne sphärischen Raumes nicht gegeben.

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß sich die Frage nach der Unendlichkeit der Welt, sofern sie sich ausdrücklich auf bloße Raumvorstellungen beschränkt, streng auf die Forderung nach der Unbegrenztheit der Welt reduziert. Die Denkmöglichkeit einer räumlich endlichen, aber unbegrenzten Welt steht nicht im Widerspruch zur philosophischen These des dialektischen Materialismus über die Unendlichkeit der materiellen Welt. Es ist Aufgabe der Einzelwissenschaft zu klären, ob dieser Raumtyp in seiner mathematisch reinen Form stabil ist, ob er in der Natur realisiert ist. Die philosophische These von der Unendlichkeit der Materie weist aber weit über bloße Raumvorstellungen hinaus. Ständige Qualitätsänderungen und damit Endlichkeit der räumlichen und zeitlichen Beziehungen bestimmter materieller Formen und Qualitäten sind Kennzeichen der Unendlichkeit der Welt. Die Unendlichkeit der Zeit anzuerkennen, heißt die ewige Dauer der Veränderungen zu sehen, und Unendlichkeit des Raumes bedeutet philosophisch nicht nur einfaches Fortschreiten im Raum, sondern zum Beispiel auch die Existenz unendlich vieler räumlicher Beziehungen.

Alle bisherigen Betrachtungen zum Einstein-Friedman-Kosmos hatten immer die Homogenität und Isotropie des Raumes zur Voraussetzung. In den letzten Jahren haben indessen Astrophysiker Befunde vorgelegt, die sich gegen eine vollkommene Isotropie des Alls [96] wenden. So berichtete die Zeitschrift „New Scientist“ (Bd. 66/S. 597) über die Untersuchung französischer Forscher an einer Reihe von Spiralgalaxien mit 320 Millionen Lichtjahren Abstand. Dabei hatten Galaxien gleicher Entfernung, aber unterschiedlicher Raumrichtung, unterschiedliche Fluchtgeschwindigkeiten. Auf Grund der großen Meßgenauigkeit, die übrigens zuvor auch amerikanische Forscher erreicht hatten, schlossen die Astrophysiker andere Interpretationsmöglichkeiten aus. Demnach hätte die Hubble-Konstante einen je nach Raumrichtung unterschiedlichen Wert; das aber bedeutet die Anisotropie des Raumes.

Dieses Ergebnis wird von anderen Forschern angezweifelt, die ihrerseits mit eigenen Messungen die strenge Isotropie der Raumexpansion beweisen. Das zeigt indes nur, daß diese Frage letztlich noch nicht mit eindeutiger Sicherheit unzweifelhaft zu entscheiden ist.

4.3. Materieschöpfung aus dem Nichts?

Die bereits angeschnittenen Fragen der Historizität elementarer Naturkonstanten, des Alters der Metagalaxis und der kosmologischen Weltmodelle sind eng mit der Diskussion um eine Materieschöpfung aus dem Nichts verbunden. Die sogenannte „creatio ex nihilo“, jener göttliche Akt der Erschaffung der Welt aus dem Nichts in den Vorstellungen der mittelalterlichen Scholastik, soll ausgerechnet durch die moderne Naturwissenschaft wieder nahegelegt werden. Eine Analyse des einzelwissenschaftlichen Hintergrundes für derartige spekulative, idealistische Hypothesen zeigt, daß sich Schöpfungsvorstellungen natürlich nicht zwingend aus einem gesicherten Erkenntnisstand ergeben. Sie sind vielmehr ein Ergebnis zu weit gefaßter mathematisch formalisierter und physikalisch fehlinterpretierter Hypothesen.

Bereits die Scholastik des Mittelalters erkannte gewisse Antinomien in der schlichten Vorstellung von der Erschaffung der Welt. Augustinus nahm daher an, gleichzeitig mit der Welt sei auch die Zeit entstanden. Er wollte so der Antinomie entgehen, es habe vor der Erschaffung der Welt eine völlig „leere“ Zeit gegeben. Für Thomas von Aquin, für den christlichen Gottesglauben der Hochscholastik hingegen, war weder ein Schöpfungsakt mit der Zeit, wie ihn Augustinus vorschlug, noch ein Schöpfungsakt in der Zeit, wie ihn Bonaventura vorschlug, vonnöten. Entsprechend der thomistischen These sollte man den Schöpfungsgedanken vielmehr so fassen, daß Gott in jedem Augenblick das Wunder der Schöpfung hervorbringe.

[97] Jahrhunderten auch die Philosophen beschäftigt. Sowohl Aristoteles Gedanken über einen möglichen Anfang der Zeit haben in früheren in seiner Metaphysik und in seiner Abhandlung über den Himmel als auch Kant in seiner Antinomienlehre lehnten einen Anfang der Zeit und damit einen zeitlichen Anfang der Welt ausdrücklich ab. Ausgerechnet durch die moderne Naturwissenschaft, genauer durch die Astrophysik und die Kosmologie, ist die Vorstellung eines Anfangs der Zeit erneut zur Diskussion gestellt worden. Sieht man von weltanschaulichen Fehlinterpretationen hypothetischer Aussagen einzelwissenschaftlicher Theorien durch Naturwissenschaftler einmal ab, so versuchen in jüngerer Zeit hauptsächlich Vertreter verschiedener Richtungen der bürgerlichen Philosophie, gewisse einzelwissenschaftliche Aussagen für ihre Zwecke zu nutzen. Seinen neothomistischen Standpunkt faßte zum Beispiel der Theologe A. Romana 1957 in einem in Graz herausgegebenen Sammelband „Gott – Mensch – Universum“ so zusammen: „Die Astrophysik ... stellt viele Tatsachen fest, die, wenn wir sie auch nicht als endgültigen Beweis ansehen wollen, dennoch, wie es scheint, nicht anders erklärt werden können als durch einen Weltanfang, der von außen her, von einer ihr selbst fremden Ursache gesetzt sein muß.“ Kennzeichnend stellte bereits Engels im Anti-Dühring fest: „Der ‚erste Anstoß‘ ist aber bekanntlich nur ein anderer Ausdruck für Gott.“⁷⁷

Das Problem der Materieschöpfung aus dem Nichts tauchte in der modernen Astrophysik bisher in zweifacher Gestalt auf: Einerseits bei einer möglichen Spontanentstehung von Materie in kosmischen Räumen, andererseits eben in der Frage eines Anfangs der Zeit, eines zeitlichen Anfangs der Welt.

Große, wenn auch nur vorübergehende Popularität fanden Anfang der sechziger Jahre die englischen Astronomen F. Hoyle, H. Bondi und Gold mit ihrer sogenannten „Steady-state-Theorie“, die eine ständige Schöpfung von Teilchen postulierte. Vorausgegangen war die Entdeckung der Rotverschiebung der Linien im Spektrum ferner Galaxien, die als Indiz für die theoretisch vorhergesagte Raumexpansion gedeutet wurde.

Um besonders die von G. Gamow gezogene extreme Schlußfolgerung eines „Anfangs“ aus dem Nullvolumen zu umgehen, suchten Bondi und Gold im Modell eines stationären Universums einen Ausweg, das zwar expandiert, dessen Masseabwanderungen ins Unendliche aber durch eine stetige, wenn auch sehr geringe Spontanentstehung von Wasserstoffatomen kompensiert werden sollte. Hoyle meinte hierzu 1952, er halte die Idee einer einmaligen Schöp-[98]fung der Materiemenge des Alls zu einem bestimmten Zeitpunkt für viel fragwürdiger als die Idee einer ständigen Neuschöpfung. Die späteren Entdeckungen der kosmischen Hintergrundstrahlung und der Quasare zeigten dann aber

⁷⁷ K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 49.

ziemlich eindeutig, daß der Kosmos tatsächlich eine unverkennbare Evolution durchmacht, daß es für ein stationäres Weltmodell keinerlei Berechtigung gibt.

Einen anderen Aspekt der Spontanentstehung von Masseteilchen enthalten die theoretischen Ansätze von P. Jordan und P. A. M. Dirac. Jordan hat den Diracschen Gedanken, daß die Gravitationskonstante eigentlich keine Konstante, sondern eine Funktion der sogenannten Weltzeit ist, theoretisch ausgeschöpft. Die ursprüngliche Fassung der Jordanschen Skalar-Tensor-Theorie postulierte eine ungeheuer große Vermehrung der Anzahl der Lichtquanten während der kosmischen Expansion. Das widerspricht jedoch den Beobachtungen der Radioastronomie, wie H. Dehnen und H. Hönl im Jahre 1968 zeigen konnten. Jordan hat daraufhin seine Theorie auf den Spezialfall reduziert, daß keine Vermehrung der Lichtquanten und keine Spontanerzeugung von Materie stattfindet. Die Jordansche Theorie ist in dieser Fassung im übrigen identisch mit der Skalar-Tensor-Theorie der beiden amerikanischen Physiker C. Brans und R. H. Dicke.

In diesem Zusammenhang seien schließlich noch die Experimente des amerikanischen Physikers J. Weber erwähnt, der die Existenz von Gravitationswellen nachzuweisen versuchte. Tatsächlich legten die Physiker zunächst Meßwerte vor, die von ihren empfindlichen Strahlungsdetektoren registriert worden waren und die sie als eine aus dem Zentrum unserer Milchstraße stammende Gravitationswellenwirkung interpretierten.

Bei kritischer Abschätzung der dafür im Milchstraßenzentrum umgesetzten Energiemengen kam man zu dem Ergebnis, daß, um die entsprechenden Gravitationswellen mit den Weberschen Apparaturen überhaupt empfangen zu können, dort jährlich eine Energiemenge abgestrahlt werden müßte, die etwa 20.000 Sonnenmassen entspricht. Nur etwa 10^7 Sonnenmassen sind aber in diesem Zentrum konzentriert, so daß in einigen Jahrtausenden das ganze Milchstraßenzentrum zerstrahlt wäre. Unsere Erde und unser Planetensystem sind aber mit Sicherheit bereits einige Milliarden Jahre alt.

Um diese Meßwerte dennoch als Gravitationswellen deuten zu können, behaupteten nun einige Physiker, im Zentrum der Milchstraße träten ständig Teilchen und Energie ursachelos aus dem Nichts in den Raum ein und würden hier in Gravitationsstrahlung umgesetzt. Theoretisch wird diese sehr mythische Behauptung mit [99] den sogenannten Weltlinien, den Bahnkurven der Teilchen in der vierdimensionalen Raum-Zeit der allgemeinen Relativitätstheorie, erklärt. Der mathematische Apparat läßt formal einen Anfang und ein Ende derartiger Bahnkurven zu. Der Anfang wird dann kurzerhand als „weißes Loch“, als „Schöpfung“, das Ende einer Bahnkurve als Verschwinden im Nichts interpretiert. Eine derartige Interpretation, das scheint einige Theoretiker nicht zu stören, steht im Widerspruch zum Hilbertschen Vollständigkeitsaxiom, das fordert, die allgemeinen Koordinaten so zu interpretieren, daß alle Teilchenbahnen unbeschränkt fortsetzbar sind.

Wie leicht mathematische Ergebnisse physikalisch fehlinterpretiert werden können, mag das Beispiel der unbeschleunigten Bewegung eines Teilchens im Rahmen der klassischen Mechanik demonstrieren: Das Teilchen fliege auf der Bahnkurve

$$x = vt \text{ mit } v = \text{const. und } t \text{ als Newtonscher Zeit.}$$

Die Bahnkurve läßt sich, wie in Abb. 6 dargestellt, als geradliniger und gleichmäßiger Flug eines Partikels interpretieren.

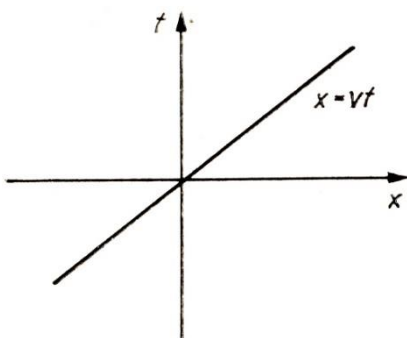


Abb. 6

Für die Bahnkurve $x = v \cdot \sqrt{t^2}$ ergibt sich hingegen ein Verlauf wie in Abb. 7 dargestellt:

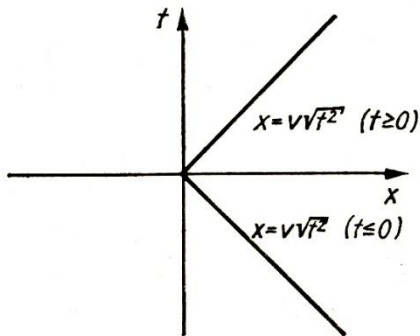


Abb. 7

[100] Der mathematische Unterschied zwischen beiden Kurven besteht darin, daß $x=vt$ überall stetig differenzierbar ist, $x = v\sqrt{t^2}$ an der Stelle $x=0$ hingegen nicht. Da t als Newtonsche Zeit vorgegeben und ihr physikalischer Inhalt von Anfang an klar ist, sie also keinen echten Anfang bei dem Kurvenpunkt $t=0$ nehmen kann, bleibt als physikalische Interpretation für $x = v\sqrt{t^2}$ gemäß Abb. 7 nur die Reflexion des Partikels bei $t=0$, an einer elastischen Wand übrig. Ohne das Wissen über die Newtonsche Zeit, das gewissermaßen über dem mathematischen Formalismus steht, wäre aber auch eine Interpretation, wie in Abb. 8 dargestellt, möglich:

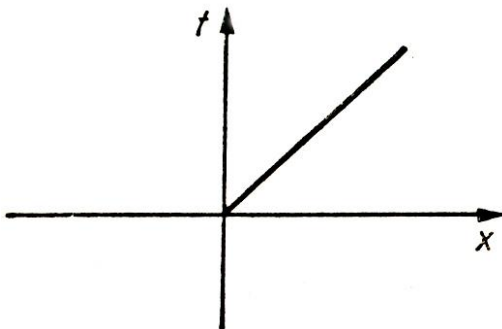


Abb. 8

Die Gerade wäre nur für $x \geq 0$ erklärt und hätte bei $x=0$ einen Anfangs- bzw. Endpunkt. Das Partikel würde zum Zeitpunkt $t=0$ am Ort $x=0$ ursachelos erzeugt. Das aber wäre eine zutiefst unphysikalische Erklärung.

Die Zusammenhänge sind hier überaus einfach: In der allgemeinen Relativitätstheorie wird nicht mit cartesischen Koordinaten und der Newtonschen Zeit, die beide absolut und völlig unabhängig voneinander existieren, gearbeitet, sondern mit allgemeinen Koordinaten der vierdimensionalen Raum-Zeit. Die Interpretationsprobleme sind hingegen erheblich komplizierter, denn es ist längst nicht immer unmittelbar klar, welcher physikalische Sinn den einzelnen Rechengrößen zukommt. Wenn also die analytische Teilchenbahn an irgendeinem Punkt P der Raum-Zeit endet, so sollte man nicht zuletzt wegen des Hilbertschen Vollständigkeitsaxioms andere Erklärungen suchen als die, daß das Teilchen bei P verschwindet oder entsteht.

Die Unrichtigkeit der spekulativen Interpretationen der Weberschen Meßergebnisse wurde aber durch weitere Experimente nachgewiesen. In Forschungslaboratorien anderer Länder sind in den letzten Jahren nach dem Weberschen Vorbild weitere Gravitationswellendetektoren installiert worden. Die weiter verfeinerte Meßmethodik ermöglichte jetzt weitaus präzisere Messungen, aber die Weberschen Meßergebnisse konnten dennoch nicht bestätigt werden. Die theoretischen Überlegungen führten nun zu dem Schluß, daß, wenn es [101] überhaupt Gravitationswellen gibt und diese in irdischen Laboratorien nachweisbar sein sollen, die Empfindlichkeit der heutigen Registriergeräte um mindestens zwei Größenordnungen verbessert werden muß.⁷⁸

Die Frage einer allgegenwärtigen Spontanentstehung von Materie, einer creatio ex nihilo, ist lediglich aus einem falschen Verständnis der Entwicklung der Einzelwissenschaften mit naturwissenschaftlichen

⁷⁸ Umschau in Wissenschaft und Technik, 21/1974, S. 659.

Argumenten zu beantworten. Aus astrophysikalischer Sicht ist die Diskussion aller Aspekte einer Theorie selbstverständlich ein notwendiger Schritt auf dem Wege des ständigen Erkenntnisfortschritts, allein schon, um die Konsequenzen und die Lücken der verschiedenen theoretischen Ansätze auszuloten. Die im Zusammenhang mit der Spontanentstehung von Materie vorgeschlagenen theoretischen Ansätze führten und führen jedoch zu Widersprüchen mit der Realität; sie sind falsch. Gleichermäßen falsch müssen dann die darauf aufbauenden philosophischen Verallgemeinerungen sein oder das, was man als solche ausgibt.

4.4. Ewigkeit der Materie oder Anfang der Zeit?

Ähnlich liegt der Sachverhalt bei der zweiten Behauptung, bei der These vom Anfang der Zeit, vom Anfang der Metagalaxis und der Welt überhaupt. Sie hängt ebenfalls mit der Rotverschiebung und der isotropen kosmischen Hintergrundstrahlung zusammen. Die Argumente für diese These von einem Anfang der Welt stützen sich jedoch nicht so sehr auf experimentelle Ergebnisse, sondern vielmehr auf Folgerungen aus der Theorie.

Die von A. A. Friedman 1922 und 1924 gefundenen Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen der Gravitation beinhalten bekanntlich, daß die Galaxien nicht in gegenseitiger Ruhe zueinander verharren können, sondern in charakteristischer Weise auseinanderstreben müssen. Um seine Rechnungen ausführen zu können, mußte Friedman allerdings die zwei bereits genannten wesentlich vereinfachenden Annahmen über den Zustand des Kosmos übernehmen: Er setzte voraus, daß das Universum homogen und isotrop sei, das heißt, daß es von Materie konstanter mittlerer Dichte in allen Teilbereichen erfüllt sei und daß alle Raumrichtungen physikalisch gleichartig seien. Diese Annahmen sind, wenn auch vielleicht nur näherungsweise, für die Metagalaxis im heutigen Zustand recht gut erfüllt. Für frühere Zeiträume, für frühere Entwicklungsstadien der Metagalaxis muß [102] diese Aussage aber nicht zutreffen – ein wesentlicher Umstand, auf den noch eingegangen wird.

Im Ergebnis seiner Berechnungen kam Friedman auf mathematisch relativ leicht überschaubare Gesetzmäßigkeiten in der Entwicklung des Universums. Die Gleichungen der Einstein-Friedman-Welt, das wurde im vorangegangenen Abschnitt bereits gezeigt, enthalten zum Beispiel den sogenannten Weltradius R als eine zeitabhängige Größe.

Da es sich bei den Einsteinschen Feldgleichungen um partielle Differentialgleichungen handelt, die eine Reihe Stetigkeits- und Differenzierbarkeitsforderungen enthalten, kann Friedman den Radius und die Zeit ohne Schwierigkeit kontinuierlich gegen Null streben lassen. Die Massen- bzw. Energiedichte strebt dann gegen unendlich. Im Falle $t \rightarrow 0$, $R \rightarrow 0$ und $\rho \rightarrow \infty$ liegt eine mathematische Singularität vor.

Um Fehlinterpretationen vorzubeugen, sei noch einmal an die mathematischen Begriffserklärungen erinnert.

Die Lösung der Einsteinschen Gravitationsgleichung

$$R_{ik} - g_{ik} R/2 = - \kappa T_{ik}$$

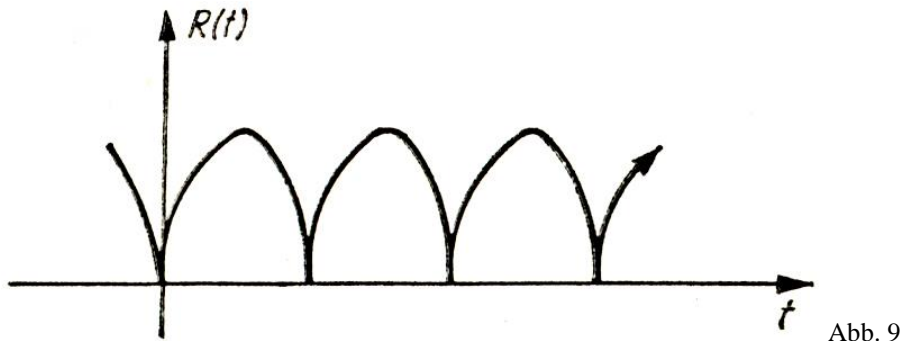
mit Hilfe der durch das Robertson-Walker-Linienelement bestimmten Metrik und eines auf Grund allgemeiner physikalischer Überlegungen vorgegebenen Energie-Impuls-Tensors T_{ik} ergab die beiden Differentialgleichungen

$$(\dot{R}^2 + k)/R^2 = \frac{1}{3} \kappa \rho; 2R\ddot{R} + \dot{R}^2 + k = 0,$$

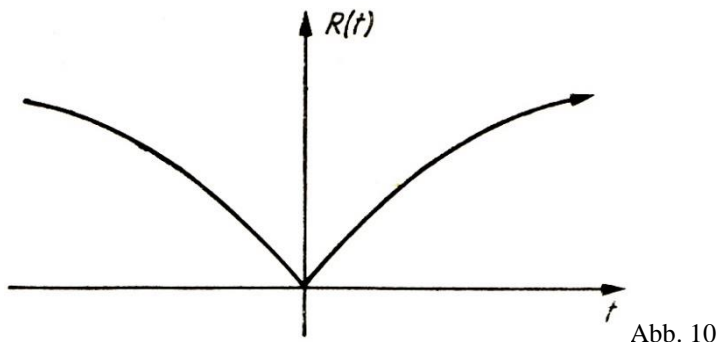
die physikalisch gleichbedeutend mit der Erhaltung der Gesamtmasse des Universums sind und die eine „Schöpfung“, wie zum Beispiel Hoyle annahm, ausschließen. Die Parameterwahl $k=0, +1, -1$ entscheidet nicht nur über die innere Geometrie des Raumes, sondern auch über die zeitliche Entwicklung des jeweiligen Weltmodells. Nach Hönl läßt sich auf dieser Grundlage das zeitliche Verhalten des „Weltradius“ R folgendermaßen veranschaulichen:⁷⁹

⁷⁹ H. Hönl, Was ist Gravitation?, in: Umschau in Wissenschaft und Technik, 12/1971, S. 412 f.

Abb. 9 zeigt die Verhältnisse für den Fall $k = 1$, das heißt für die



[103]



sphärische Friedman-Welt, Abb. 10 verdeutlicht die Verhältnisse für die hyperbolische Friedman-Welt ($k = -1$).

Für alle drei möglichen Fälle, auch für den quasieuklidischen Fall ($k = 0$), hat das Modell einen echten Anfang in der Zeit, nämlich als die Raumexpansion begann. Für den Fall der sphärischen Welt, so zeigen die mathematischen Lösungen, nimmt die Expansionsgeschwindigkeit allmählich infolge der Gravitationsanziehung der Massen ab, um dann in eine Kontraktion umzuschlagen, die nach Erreichen des Zustandes $R = 0$ erneut in eine Expansion übergeht. Man kann sagen, das Weltall pulsiert, Phasen der Expansion werden durch Phasen der Kontraktion abgelöst und umgekehrt. Einmal begonnen, vollzieht sich dieser Vorgang zeitlich ewig.

Für den quasieuklidischen bzw. hyperbolischen Fall hingegen vergrößert sich der Weltradius im Laufe der Zeit unbegrenzt. Die experimentell beobachtete Galaxienflucht, die Expansion der Metagalaxis, wird nach diesem Modell endlos andauern. Mit einem „Urknall“ bei $t = 0$ einmal entstanden, sinkt dieses Weltmodell nie mehr in sich zusammen.

Interessant ist an der graphischen Darstellung von Hönl, daß er für das hyperbolische Modell eine negative Zeit zuläßt, die im Widerspruch zu den Aussagen der Theorie steht und die er nicht begründet. Vom Standpunkt der Mathematik sind die eigenwilligen Punkte bei $R = 0$ Singularitäten, das heißt für die Differentialgeometrie völlig unbestimmte Orte, über die keine direkten Aussagen möglich sind. Unter der Annahme, daß die Modelle im Bereich der Singularitäten die Wirklichkeit nicht beschreiben, sondern durch Modifizierungen des theoretischen Apparates verbessert werden müssen, ergibt sich ein Bild, das gut mit der experimentell erfaßbaren allgemeinen Entwicklungstendenz der Metagalaxis übereinstimmt, das aber das Postulat eines Weltanfangs, eines Anfangs der Zeit, umgeht. Gestattet das Modell dann aber über die Umgebung der Singularitäten noch Aussagen? – Wir meinen nein.

[104] Das Friedman-Modell stellt ein Punktmodell dar, demzufolge – nach dem mathematisch Möglichen – eine Bewegung aus dem Volumen Null zum Zeitpunkt $t = 0$ bei unendlich hoher Massendichte beginnt. Dieser Beginn der kosmischen Expansion, häufig „Urknall“ oder auf englisch „big bang“ genannt, bedeutet nach Ansicht einiger Physiker und Philosophen zugleich den Anfang der Zeit, den Anfang unserer Welt. P. Jordan meinte diesbezüglich, der physikalische, der kosmische Raum sei keineswegs unendlich groß und die Zeit reiche keineswegs in eine unendliche Vergangenheit zurück, sondern daß sie „einen echten Anfang genommen hat, einen Anfang vor etwa zwölf

Milliarden Jahren gehabt hat“.⁸⁰ Den Zeitpunkt ordnete er genau gewissen Entwicklungsetappen nach dem ominösen Zeitpunkt Null zu. Er stellte zum Beispiel fest, daß die Entstehung der Elemente möglicherweise zwanzig Minuten „nach Beginn der Zeit“ stattgefunden hat. Jordans Schüler W. Kundt hat dieses Bild der Weltentstehung in seinen Konsequenzen ausgemalt, zum Beispiel was in den ersten 10^{-43} oder 10^{-23} Sekunden „nach der Entstehung des Weltalls“ geschehen sein soll. Die ersten 10^{-43} Sekunden sind nach Kundt durch eine nicht näher bestimmte „Quantengravitationstheorie“ zu beschreiben, nach 1023 Sekunden wäre das physikalische Geschehen im Minikosmos vorwiegend durch die starke Wechselwirkung, das heißt durch stark wechselwirkende Teilchen, wie Protonen oder Neutronen, bestimmt gewesen (Hadronenära), bei einem „Weltvolumen“ von 10^{-39} cm³ hätte der Weltstoff schließlich eine Dichte von 10^{51} g/cm³ besessen (die Dichte der Atomkerne beträgt vergleichsweise 10^{-14} g/cm³, diejenige von Neutronensternen 10^{12} bis 10^{15} g/cm³). Ähnliche Rückrechnungen anhand der Friedmanschen Lösungen wurden übrigens auch von anderen Autoren, zum Beispiel von J. Seldowitsch und I. Nowikow, vorgenommen. Diese Autoren lassen aber eine nicht näher bestimmte „Periode vor der Singularität“ zu: „Wir gestalten die Kosmologie als Theorie der Evolution von der Singularität bis zur Gegenwart und weiter in die Zukunft und sehen dabei von der Frage ab, was vor der Singularität war.“⁸¹ Vom rein mathematischen Standpunkt aus sind die Rechnungen nicht anfechtbar, ihre physikalische Interpretation aber wirft eine Fülle von Fragen auf.

Wie schon betont, beruhen die Friedmanschen Lösungen der Einsteinschen Gravitationsgleichungen auf idealisierenden Annahmen, die mit dem gegenwärtigen Zustand der Metagalaxis in Näherung vereinbar sind. Über lange Zeiträume betrachtet ist die Metagalaxis aber weder homogen noch isotrop. Man denke nur einmal an die recht kompakten Gebilde der Galaxien oder Galaxienhaufen. Seit langem [105] sind die Eigenbewegungen der Galaxien bekannt, mit durchschnittlichen Geschwindigkeiten von einigen hundert Kilometern in der Sekunde, die sich der allgemeinen kosmischen Expansion überlagern. In früheren Zeiten müssen diese Eigengeschwindigkeiten noch größer gewesen sein als heute. Der „Ausgangszustand“, aus dem die heutige Gestalt der Metagalaxis hervorging, muß sehr turbulent gewesen sein, zumindest müssen erhebliche Dichteschwankungen vorgelegen haben. Von Homogenität kann zu dieser Zeit keine Rede sein. Hinzu kommt ferner, daß das Verhalten der Materie unter den von Kundt geschilderten Bedingungen heute noch weitgehend unbekannt ist. Man denke an die großen Schwierigkeiten der Physiker, die an der Lösung von Problemen der gesteuerten Kernfusion arbeiten, um Plasma von vielen Millionen Grad und relativ hoher Dichte in den Griff zu bekommen. Inhomogenitäten und schwer zu erfassende Plasmaschwingungen stellen die Forscher immer wieder vor neue Probleme. Und auch die Fortschritte der Hochenergiephysik demonstrieren, daß Materie unter für irdische Verhältnisse extremen, für kosmische Verhältnisse aber normalen Bedingungen eine Fülle von Gesetzmäßigkeiten aufweist, die es im einzelnen schrittweise erst noch zu enthüllen und zu verstehen gilt. Und schließlich dürfte auch aus quantenphysikalischer Sicht für Materie unter so extremen Bedingungen noch manche Frage offen sein.

Das alles spricht wohl eher dafür, daß die Singularitäten in der Friedmanschen-Theorie der kosmischen Expansion zu Anfang und zu Ende einer Weltzeit überhaupt keinen physikalischen Inhalt besitzen, sondern eher lediglich eine Folge der idealisierenden Annahmen sind, die von vornherein in die Theorie hineingesteckt wurden. Der unschätzbare Wert der Friedmanschen Theorie besteht darin, daß sie in sehr guter Näherung ermöglicht, die gegenwärtigen und auch gewisse frühere Entwicklungsphasen der Metagalaxis zu verstehen und Ordnung in die Fülle der neuen astronomischen Beobachtungsergebnisse zu bringen. Eine „Supertheorie“, mit der alle noch offenen Fragen bis hin zur Vergangenheit von zehn oder noch mehr Milliarden Jahren erklärbar werden, ist sie nicht. Eine derartige Theorie wird es sicherlich nie geben, denn der menschliche Erkenntnisprozeß selbst ist unendlich. Je weiter man vom Friedman-Modell in die Vergangenheit extrapoliert, desto weniger werden die Aussagen zwangsläufig mit dem damaligen wirklichen kosmischen Geschehen übereinstimmen.

⁸⁰ P. Jordan, Erkenntnis und Besinnung, Oldenburg/Hamburg 1972, S. 50.

⁸¹ J. B. Seldowitsch/I. D. Nowikow, Probleme der modernen Kosmologie, in: Sowjetwissenschaft, Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge, 3/1975, S. 302.

Das wesentlichste philosophische Argument gegen eine unzulässige Extrapolation der „Weltzeit“ bis zum Punkt Null ist wohl, daß [106] es die Friedmansche Theorie (und überhaupt alle Feldtheorien, die auf dem mathematischen Fundament partieller Differentialgleichungen beruhen) prinzipiell nicht gestattet, wesentliche qualitative Sprünge in der Entwicklung der Metagalaxis zu erfassen, obgleich sie nach dem heutigen Erkenntnisstand der Naturwissenschaft eigentlich zu erwarten sind.

Aus vielen Bereichen von Wissenschaft und Technik ließen sich Beispiele für un stetige, „ruckartige“ Prozesse anführen, etwa der Schlag des menschlichen Herzens. Um diese Vorgänge mathematisch zu modellieren, ist der heutige Apparat der Analysis nur unvollkommen, die entsprechenden Gleichungen würden eine Fülle von Singularitäten enthalten. Es käme zwar in diesen Fällen niemandem in den Sinn, diese Singularitäten mystizistisch zu deuten, denn den jeweiligen realen Prozeß hätte man praktisch vor Augen. Mit diesen Singularitäten wäre dennoch für die mathematische Modellierung nichts gewonnen. Erste Schritte, auch für die Behandlung der verschiedensten Klassen von Singularitäten einen wirksamen mathematischen Apparat, der allerdings sehr kompliziert zu werden verspricht, zu entwickeln, sind getan, es sei nur die sogenannte Katastrophentheorie erwähnt.

R. Thorn analysierte zum Beispiel mit den Methoden der algebraischen Topologie sieben verschiedene Singularitätstypen, die für in der Natur ablaufende Prozesse mit qualitativen Sprüngen charakteristisch sind, zum Beispiel den Phasensprung eines Van-der-Waals-Gases, die Embryonalentwicklung in der Biologie und andere Vorgänge.⁸² Um auf diesem Wege Ergebnisse für die theoretische Astrophysik oder für Feldtheorien überhaupt zu gewinnen, in denen die felderzeugenden Quellen – Ladungsteilchen, Elementarteilchen oder auch Neutronensterne bzw. sogenannte schwarze Löcher – jeweils Singularitäten sind, wird, wenn es überhaupt möglich ist, sicher noch geraume Zeit verstreichen.

Wesentliche Fortschritte für das Wissen über sehr frühe Entwicklungsetappen der Metagalaxis jedenfalls sind erst nach einem weiteren Ausbau des theoretischen Fundaments zu erwarten, das dann vermutlich nicht mehr ausschließlich auf herkömmliche Feldgleichungen aufbaut, sondern ähnlich wie die Quantentheorie auch diskontinuierliche Elemente enthält. Möglicherweise berührt sich hier die Raum-Zeit-Problematik der Kosmologie mit derjenigen der Elementarteilchenphysik. Heuristisch liegt jedenfalls der Schluß nahe, die Singularität in den Friedman-Modellen dahingehend zu deuten, daß der heute beobachtete Expansionszustand der Metaga-[107]laxis Folge eines qualitativen Entwicklungsumschlags vor einigen Milliarden Jahren ist. Wann dieser Sprung genau erfolgte, darüber sagen die gegenwärtigen theoretischen und experimentellen Ergebnisse nichts aus.

Eine der Ursachen für Fehlinterpretationen von Ergebnissen der theoretischen Physik liegt in einem gelegentlichen Mißverständnis des Verhältnisses von Mathematik und Physik begründet. Im Zusammenhang mit der hypothetischen Spontanentstehung von Materie ist bereits auf das Interpretationsproblem eingegangen worden. Mit dem mathematischen Formalismus werden zwangsläufig bestimmte mathematische Hypothesen in die Physik übernommen, die – wie zum Beispiel die Differenzierbarkeitshypothese – an sich keine physikalische Bedeutung haben. „Man kann sich im allgemeinen unter der ersten Ableitung noch etwas vorstellen“, so bemerkt in diesem Zusammenhang H.-J. Treder, „z. B. unter der ersten Ableitung der Geschwindigkeit. Aber oft arbeitet man mit sehr starken Differenzierbarkeitshypothesen, etwa mit der Annahme der Analytizität. Kein Physiker wird sich vorstellen können, was etwa die 100. Ableitung physikalisch bedeutet. Und wenn er das doch kann, fordere man ihn auf, die 300. Ableitung zu interpretieren. Da gibt es dann sicherlich keine Vorstellung mehr.“ „Die erkenntnistheoretische Schwierigkeit“, so resümiert Treder in diesem Zusammenhang, „ist, daß eine physikalische Theorie im Gewand einer mathematischen Theorie auftritt, also mit Allaussagen. Tatsächlich weiß aber jeder Physiker, daß keine physikalische Theorie den Anspruch erhebt, absolut wahr zu sein. Sie strebt vielmehr nur an, einen möglichst hohen objektiven Gehalt, einen möglichst hohen Gehalt an relativen Wahrheiten zu besitzen. Die Physik muß sich selbst distanzieren können von denjenigen Teilen der mathematischen Hilfsmittel, die keiner physikalischen Interpretation fähig oder bedürftig sind.“⁸³ Bei der Interpretation kosmologischer Ergebnisse wird häufig

⁸² R. Thom, *The magnificent seven*, in: *Manifold – 14* Spring, 1973, sowie: *Topological models in biology*, in: *Topology*, vol. 8, 1969, S. 313 f.

⁸³ H.-J. Treder, *Philosophische Probleme des physikalischen Raumes*, Berlin 1974, S. 324.

vergessen, daß die Topologie in die allgemeine Relativitätstheorie hineingesteckt werden muß und nicht aus den Einsteinschen Feldgleichungen herleitbar ist.

Die weltanschaulichen Folgerungen aus der Einstein-Friedman-Theorie bezüglich eines Anfangs der Zeit haben, wie gezeigt wurde, keinen gesicherten naturwissenschaftlichen Hintergrund. Alle philosophisch-weltanschaulichen Folgerungen dieser Art sind nichts weiter als vage Spekulationen. Vom Standpunkt der Einzelwissenschaft, das sei noch einmal hervorgehoben, haben die angeführten theoretischen Ansätze und Diskussionen ihre Berechtigung. Genau genommen handelt es sich hierbei um mathematische und naturwissenschaftliche Fragestellungen, die sich aus dem bis jetzt erreichten Entwicklungsstand ergeben.

Um dialektische Ganzheiten zu beschreiben, werden dabei ihre einzelnen Komponenten gesondert untersucht. Es sind vereinfachende Annahmen erforderlich, um dieses oder jenes Problem in hinreichender Näherung lösen zu können. Die zahlreichen, zur Diskussion gestellten theoretischen Ansichten sind gewissermaßen ein Tasten in die verschiedensten Richtungen, die letztlich ein Umschlagen zu einer neuen Qualität der Erkenntnis, ein weiteres Annähern unseres Wissens an die absolute Wahrheit bewirken werden. Nur indem diese Zusammenhänge außer acht gelassen oder verwischt werden, werden in der Diskussion aus Sacherörterungen brisante weltanschauliche Auseinandersetzungen, die unmittelbar die Grundfrage der Philosophie berühren. Die Behauptung eines „Anfangs der Zeit“ beruht eben zum Beispiel auf einer Extrapolation, bei der der Unterschied zwischen idealisiertem Modell und Wirklichkeit weitgehend außer acht gelassen ist.

Die formal nicht anfechtbaren mathematischen Weltmodelle geben Anlaß, über den allgemeinen Inhalt des Begriffs „Zeit“ nachzudenken. Eine gründliche philosophische Analyse der historischen Entwicklung der damit verbundenen Vorstellungen – die hier nicht vorgenommen werden soll – könnte vielleicht helfen, das eigentliche Wesen dieser fundamentalen Größe tiefer zu verstehen.

Die moderne Physik machte überzeugend deutlich, daß die Zeit nicht im Sinne eines ewigen Gleichmaßes aufgefaßt werden darf. Die von Einstein belegte Relativität der Zeit ist in ihrer Wesensbestimmung als ein quantitatives Maß für die Aufeinanderfolge physikalischer Ereignisse begründet. Das wird deutlich, wenn man bedenkt, welche große Rolle der Begriff der Gleichzeitigkeit in Einsteins Argumenten für die Begründung der speziellen Relativitätstheorie einnimmt. Indem Einstein nachwies, daß diese quantitative Größe abhängig ist von dem jeweiligen Standpunkt des Beobachters, widerlegte er die bis dahin üblichen Vorstellungen eines absoluten Zeitflusses, einer absoluten Zeit ohne physikalischen Inhalt. Nicht aufgehoben indessen wurde die qualitative Seite dieser Größe, die die Richtung eines Entwicklungsprozesses eindeutig markiert und es ermöglicht, kausale Zusammenhänge in Ereignisfolgen festzulegen.

Mit der allgemeinen Relativitätstheorie wurde der Zeitbegriff als eine real existierende quantitative Größe weiter modifiziert, die auf das engste mit dem physikalischen Raum und den in ihm [109] ablaufenden Entwicklungsprozessen verknüpft ist. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich eine Reihe von Interpretationsproblemen. Um etwa spezielle relativistisch-physikalische Probleme, zum Beispiel das kosmologische Problem, zu untersuchen, müssen in das allgemeine Gravitationsgesetz spezielle mathematisch-physikalische Randbedingungen eingefügt werden, vorgefaßte hypothetische Annahmen über das zu erwartende Ergebnis, die allerdings nicht völlig willkürlich sind, sondern sich an gewissen, verallgemeinerten Erfahrungswerten orientieren. Diese Vorgabe umfaßt nicht nur den Raum, sondern natürlich auch die Zeit.

So gesehen ergibt sich die Vermutung, daß es sich bei der Größe t in den Friedman-Modellen lediglich um eine Art „Eigenzeit“ des Modells handelt, die nur aussagt, wie lange dieses Modell unter den vorgegebenen Randbedingungen physikalisch sinnvoll ist. Die reale Existenz einer Größe „Zeit“ kann hingegen notwendig nur untrennbar mit dem realen, physikalischen Geschehen verbunden sein. Solange es bewegte Materie gibt, solange macht sich die Existenz einer Größe „Zeit“ erforderlich.

Stellt man sich, um diesen Gedanken von einer anderen Seite her zu verdeutlichen, eine in jeder Hinsicht statische Welt vor, in der es zwar im Raum verteilte Masse und Energie, aber nur im Zustand

einer völligen Ruhe und Bewegungslosigkeit, eines idealen Gleichgewichts, gibt, so hat der Begriff „Zeit“ offensichtlich jeden Sinn verloren. Nicht anders läßt sich die Friedmansche Singularität $R = 0$, $t = 0$ und $\rho \rightarrow \infty$ auffassen: Formal wäre es schon richtig zu sagen, die Zeit t nimmt hier einen echten Anfang, denn ein Nullvolumen kann ja nur ein Zustand absoluter Bewegungslosigkeit sein, der keinen Zeitbegriff kennt. Nur trifft diese Aussage eben nur für das Modell und nicht für die Realität zu.

Es gibt keinen ernsthaften Grund anzunehmen, daß die heute beobachtete ungeheure Bewegungsvielfalt aus dem Zustand einer absoluten Bewegungslosigkeit heraus entstanden sein soll. Die Astronomen im Kosmos und die Naturwissenschaftler auf der Erde beobachten hingegen täglich, wie eine Bewegungsform ständig in eine andere übergeht, und es ist kein Fall bekannt, in dem Bewegung bzw. Energie ursachelos entstanden oder verschwunden ist. Ein Zustand absoluter Ruhe kann sich aber nicht von selbst in Bewegung setzen.

Solange es aber Bewegung gibt, also ewig, besteht die Möglichkeit und Notwendigkeit, die „Richtung“ dieser Bewegungsabläufe, ihre ursächlichen, inneren Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten zu [110] kennzeichnen. Die hierüber aussagende, objektiv existierende Größe wäre eben die Zeit, welchen konkreten physikalischen Inhalt sie im Rahmen der jeweiligen Raum-Zeit-Struktur auch besitzen mag.

Die angeschnittene Problematik ist natürlich nicht neu, seit langem wird der Begriff Zeit sowohl im Sinne von Maßstab als auch für die Definition eines Ablaufs genutzt. Dieser doppelte Inhalt spielte zum Beispiel in einer Diskussion zwischen Einstein und Bergson auf einer Sitzung der französischen Gesellschaft für Philosophie 1922 in Paris eine Rolle. Bergson definierte die Zeit als Ablauf, er unterschied zwischen „temps“ [Zeit] und „durée“ [Dauer], das heißt zwischen Maßstab und Ablauf, eine Unterscheidung, die schon in Newtons Begriffen der „absoluten“ (wahren, mathematischen) Zeit, die ohne Beziehung zu irgendwelchen äußeren Objekten abläuft, und der „relativen“ Zeit als Maß für die Dauer eines Ereignisses verwurzelt ist. Einstein neigte in dieser Diskussion hingegen mehr zu der Auffassung, die Zeit als Maßstab zu sehen, dem ein realer physikalischer Vorgang zugrunde liegt.

J. Moltschanow verwies kürzlich auf zwei Paare einander ergänzender, dialektisch gegensätzlicher Zeit-Konzeptionen.⁸⁴ Das erste Paar besteht aus einer Substanz- und einer relationalen Konzeption. Die erste betrachtet die Zeit als eine Wesenheit besonderer Art oder als eine unkörperliche Substanz, die unabhängig von Raum, Stoff und Feld, von den in der Welt stattfindenden Ereignissen und Wechselwirkungen zwischen materiellen Systemen existiert.

Die relationale Konzeption – und diese vertrat wohl auch Einstein – betrachtet hingegen die Zeit als Eigenschaft oder Attribut der Materie, als System von Beziehungen zwischen physikalischen Ereignissen und Körpern. Moltschanow findet in beiden Konzeptionen einen dialektischen Zusammenhang. „Es ist nämlich anzunehmen, daß diese Konzeptionen einander nur dialektisch negieren, das heißt, daß sie verschiedene Seiten, unterschiedliche Ebenen des theoretischen Vorgehens bei der Beschreibung der zeitlichen Beziehungen charakterisieren.“

Als zweites Paar sieht Moltschanow die statische und die dynamische Konzeption. Nach der ersteren gäbe es „aus der Sicht des Status der realen Existenz keinerlei Unterschied zwischen vergangenen, gegenwärtigen und künftigen Ereignissen“. Nach der dynamischen Konzeption hingegen existieren real nur die Ereignisse der Gegenwart. Die Ereignisse der Vergangenheit existieren nicht mehr, die Ereignisse der Zukunft noch nicht real.

Eine befriedigende Lösung des Zeitproblems in seiner Komplexität [111] steht offensichtlich noch aus. Die Frage nach dem eigentlichen Inhalt des Zeitbegriffs beispielsweise scheint noch nicht ausdiskutiert zu sein.

Die Gesetzmäßigkeiten des Erkenntnisprozesses dürfen bei der Diskussion über das Verhältnis von Modell und Wirklichkeit nicht außer acht gelassen werden. Engels hat bei der Diskussion um die damals interessante Vorstellung des Urnebels auf einen wesentlichen Punkt hingewiesen: „Beiläufig

⁸⁴ J. B. Moltschanow, Das Problem der Zeit und die Dialektik, in: Sowjetwissenschaft, Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge, 5/1977, S. 538 f.

bemerkt“, so schreibt er, „wenn in der heutigen Naturwissenschaft der Kantsche Nebelball als Urnebel bezeichnet wird, so ist dies selbstredend nur beziehungsweise zu verstehn. Urnebel ist er, einerseits, als Ursprung der bestehenden Weltkörper und andererseits als die früheste Form der Materie, auf die wir bis jetzt zurückgehn können. Was durchaus nicht ausschließt, sondern vielmehr bedingt, daß die Materie vor dem Urnebel eine unendliche Reihe anderer Formen durchgemacht habe.“⁸⁵ Dieser Gedanke findet sich, angewendet auf die kosmologischen Friedman-Modelle, zum Beispiel bei Sedowitsch und Nowikow wieder. An diesem grundsätzlichen Standpunkt des dialektischen Materialismus hat sich bis heute nichts geändert, keine ernsthaften physikalischen Erkenntnisse geben zwingenden Anlaß, diese Position neu zu durchdenken.

H. Hörz stellt in diesem Zusammenhang treffend fest: „Wenn also die Astronomen feststellen, daß unser Weltall sich ausdehnt, seine bisher bekannte Struktur zurückverfolgt werden kann bis auf die Zeit vor etwa zwölf Milliarden Jahren und viele Beobachtungen in Modellen eines geschlossenen (endlichen) Weltalls erfaßt werden können, so widerspricht das keineswegs unserer marxistisch-leninistischen Erkenntnis von der Unendlichkeit der Materie oder ihrer ewigen nie geschaffenen Existenz. So kann vor zwölf Milliarden Jahren ein prinzipieller Strukturwandel im Universum stattgefunden haben, über den wir nichts bzw. noch nichts wissen. Unsere Modelle können sich als einseitig erweisen. Die Expansion (Ausdehnung) des Weltalls kann mit Kontraktionen (Zusammenziehen, Verkleinerung der räumlichen Abmessungen) verbunden sein.“⁸⁶

Dieser materialistische, erkenntnistheoretische Standpunkt wird bewußt oder unbewußt, das heißt spontan, auch von vielen Naturwissenschaftlern geteilt. So bemerkte zum Beispiel Einstein: „Das theoretische Bedenken ist darauf gegründet, daß für die Zeit des Expansions-Beginns die Metrik singular und die Dichte ρ unendlich wird. Hier ist folgendes zu bemerken. Die gegenwärtige Relativitätstheorie beruht auf einer Spaltung der physikalischen Realität in [112] metrisches Feld (Gravitation) einerseits und elektromagnetisches Feld und Materie andererseits. In Wahrheit dürfte das Raumerfüllende von einheitlichem Charakter sein und die gegenwärtige Theorie nur als Grenzfall gelten. Bei großen Feld- und Materiedichten wird den Feldgleichungen und darüber hinaus den in diese eingehenden Feldvariablen keine reale Bedeutung beizumessen sein. Man darf deshalb die Gültigkeit der Gleichungen auf Gebiete sehr hoher Feld- und Materiedichten nicht voraussetzen, und man darf nicht schließen, daß der ‚Anfang der Expansion‘ in mathematischem Sinne eine Singularität bedeuten müsse. Wir müssen uns nur bewußt sein, daß die Gleichungen über derartige Gebiete nicht fortgesetzt werden dürfen. Diese Erwägung ändert aber nichts an der Tatsache, daß der ‚Weltanfang‘ vom Standpunkt der Entwicklung der jetzt vorhandenen Sterne und Sternsysteme wirklich einen Anfang bedeutet, in dem jene Sterne und Sternsysteme als einzelne Gebilde noch nicht existiert haben.“⁸⁷

Diese Gedanken Einsteins zielen auf die Dialektik zwischen Endlichkeit und Unendlichkeit hin, auf die bereits ausführlich verwiesen wurde. Ohne Zweifel existieren für Sterne und Sternsysteme in ihrer Genesis Anfang und Ende, davon zeugen die von Astronomen schon frühzeitig beobachteten Supernovas oder die Beobachtung der „Geburt“ neuer Galaxien durch W. A. Ambarzumjan, die mit gigantischer Wucht aus den Zentren bestehender Galaxien herausgestoßen werden. Hier bestätigt sich die marxistische These von der unendlichen Vielfalt endlicher Entwicklungs- und Daseinsformen in der materiellen Welt.

Der Gedanke von der dialektischen Einheit von Endlichem und Unendlichem ist in der Astronomie, in der Naturwissenschaft keineswegs so neu, wie es scheinen mag, wenn auch das Wesen dieses Widerspruchs den Naturforschern früherer Zeiten nicht bewußt geworden ist. So ging zum Beispiel G. Bruno von der Unendlichkeit des Weltalls aus. Für ihn schwebten „unzählige Weltkugeln“, „wie diese, auf der wir leben“, im Raum. ich sage aber, das All ist nicht absolut und völlig unendlich, weil jeder Teil, den wir von ihm erfassen können, begrenzt und jede einzelne der unendlichen Welten, die es an sich gibt, begrenzt ist.“

⁸⁵ K. Marx/F. Engels, Werke, Bd. 20, S. 53 f.

⁸⁶ H. Hörz, in: Einheit, 7/1974, S. 783.

⁸⁷ A. Einstein, Grundzüge der Relativitätstheorie, Berlin/Oxford/Braunschweig 1969, S. 128.

Aus dem Lager der Neothornisten kommen hingegen mystische, ihrem Wesen nach idealistische Deutungsversuche für den allgemeinen Inhalt dieser physikalischen Vorstellungen. So schreibt der bereits erwähnte Theologe Romana: „Was auch immer die Expansionsbewegung sei, es wird in unseren Tagen immer eindeutiger, daß [113] sich vor wenigen Milliarden Jahren etwas von ausnehmender Bedeutung im Universum ereignet haben muß. Die verschiedenen Methoden, die Zeit zu berechnen, führen uns bis zu dieser Grenze, jenseits von ihr steht das Unbekannte, das Geheimnis.“⁸⁸ Der Tenor seines Aufsatzes läßt im übrigen keinen Zweifel darüber, daß „jenseits dieser Grenze“ nur noch Gott steht. Mit einer philosophischen Verallgemeinerung naturwissenschaftlicher Aussagen hat dieser Akt der Mystifizierung nichts gemein.

In der Entgegensetzung dieser Standpunkte wird die Aufgabe der Philosophie sichtbar. Die Philosophie übt gegenüber der Naturwissenschaft sowohl eine ideologische und weltanschauliche als auch eine heuristische Funktion aus. In der Art, wie die Einzelwissenschaftler ihre sich der unmittelbaren Anschauung entziehenden Ergebnisse interpretieren, kommt ihre weltanschauliche Grundeinstellung zum Ausdruck.

Das Beispiel der Kosmologie, ja die Entwicklung der Naturwissenschaft in den letzten Jahrzehnten überhaupt, zeigt, wie eng Philosophie und Naturwissenschaften zusammenarbeiten müssen, um die wissenschaftliche Arbeit zielstrebig voranzutreiben. Der Engelssche Satz, daß die Naturforscher von der Philosophie beherrscht werden, hat nach wie vor Gültigkeit. Die philosophischen Inkonsequenzen in den Arbeiten namhafter, erfolgreicher Naturwissenschaftler, wie zum Beispiel Jordan oder Dirac, die idealistisch-philosophische Standpunkte vertreten, ergeben sich nicht zuletzt gerade aus dem Widerspruch, daß sie als Naturforscher in ihrer Grundhaltung spontane Materialisten sind, die durch die neuere Entwicklung der Naturforschung spontan auch immer mehr zu einer dialektischen Denkmethodik finden. Für die marxistische Philosophie, darauf hat zum Beispiel H. Hörz verwiesen⁸⁹, kommt es darauf an, diese Inkonsequenzen aufzuzeigen. Der Hauptangriff indessen muß gegen die bürgerlichen Philosophen gerichtet sein, die den Naturwissenschaftlern Idealismus zur Erklärung der Natur anbieten. Hierbei müssen marxistische Philosophen und marxistische Naturwissenschaftler eng zusammenarbeiten. Auch in dieser Aufgabe verwirklicht sich das Bündnis von marxistischer Philosophie und Naturwissenschaft.

Auf die wichtige Funktion des dialektischen Materialismus für eine progressive Naturforschung hat W. I. Lenin nachdrücklich hingewiesen. Unter Bezugnahme auf einen Zeitschriftenaufsatz von A. Timirjasew über die Relativitätstheorie Einsteins schreibt er, daß man bedenken müsse, „daß gerade aus dem jähen Umbruch, den die [114] moderne Naturwissenschaft durchmacht, unausgesetzt reaktionäre philosophische Schulen und Richtungen, große wie kleine, emporsproßen. Die Fragen, welche die jüngste Revolution auf dem Gebiet der Naturwissenschaft aufwirft, aufmerksam zu verfolgen und hierzu Naturforscher für die Mitarbeit an der philosophischen Zeitschrift zu gewinnen, ist daher eine Aufgabe, ohne deren Lösung der streitbare Materialismus schlechthin weder streitbar noch materialistisch sein kann.“⁹⁰

Und unter Hinweis auf die Tatsache, daß „schon eine Unzahl Vertreter der bürgerlichen Intelligenz in allen Ländern die Theorie Einsteins ... auszuschlachten versucht“, schreibt Lenin weiter: „Und um einer solchen Erscheinung nicht ratlos gegenüberzustehen, müssen wir begreifen, daß sich ohne eine gediegene philosophische Grundlage keine Naturwissenschaft, kein Materialismus im Kampf gegen den Ansturm der bürgerlichen Ideen und gegen die Wiederherstellung der bürgerlichen Weltanschauung behaupten kann. Um diesen Kampf bestehen und mit vollem Erfolg zu Ende führen zu können, muß der Naturforscher moderner Materialist, bewußter Anhänger des von Marx vertretenen Materialismus sein, das heißt, er muß dialektischer Materialist sein.“⁹¹

Abschließend sei zum Problem eines Zeitanfangs noch darauf hingewiesen, daß eine gewisse Abschwächung der Schöpfungstheorie in der von einigen Wissenschaftlern erwogenen Möglichkeit liegt,

⁸⁸ A. Romana, in: Gott – Mensch – Universum, Graz 1956, S. 122.

⁸⁹ H. Hörz, [Marxistische Philosophie und Naturwissenschaft, Berlin 1974](#), S. 558.

⁹⁰ W. I. Lenin, Werke, Bd. 33, Berlin 1962, S. 219.

⁹¹ Ebenda.

eine allmähliche und kontinuierliche Entstehung von Materie anzunehmen. Derartige Hypothesen hängen mit dem Versuch zusammen, Kosmologie und Elementarteilchenphysik theoretisch zu verknüpfen, worauf im Rahmen dieser Arbeit aber nicht näher eingegangen werden soll. C. F. von Weizsäcker glaubt jedenfalls, um nur ein Beispiel zu nennen, erkenntnistheoretische Argumente dafür zu besitzen, daß einerseits der Raum endlich und geschlossen sein müsse, andererseits die Zahl der Elementarteilchen ständig zunehme. Unter diesen Voraussetzungen ließe sich dann auch die Expansion des Universums aus einem Anfangszustand erklären. Aber auch von Weizsäcker kommt ohne Hypothesen, Verallgemeinerungen und blanke Spekulationen nicht aus. Unsere auf das Prinzipielle zielende Kritik trifft hier vollinhaltlich zu.

Mit der Frage nach frühesten Entwicklungsstadien der Metagalaxis ist die Einzelwissenschaft offensichtlich an derzeit unübersteigbare Grenzen gestoßen. Auf der Suche nach neuen, besseren theoretischen Ansätzen sollte gerade der dialektische Materialismus mit seinen grundsätzlichen Aussagen über das materielle Sein eine heuristische, [115] orientierende Funktion erfüllen. Er kann helfen, Irrtümer und Sackgassen zu vermeiden. Der Begriff „Welt“ als Synonym für das Seiende umfaßt zum Beispiel bekanntlich mehr als nur die materiellen Dinge und deren strukturelle Gesetzmäßigkeiten. Er beinhaltet nicht zuletzt auch das Bewußtsein. Zu behaupten, daß die ungeheure Vielfalt des Wirklichen sich aus einem real aufgefaßten Punktmodell – der extremsten Form des Struktur- und Gestaltlosen – heraus entwickelt haben soll, ohne umfassende naturwissenschaftliche Beweise und weltanschauliche Argumentationen vorlegen zu können, zeugt von Ignoranz der modernen Philosophie.