

Hans Jörg Fahr

Mit oder ohne Urknall

Das ist hier die Frage

2. Auflage

SACHBUCH



Springer Spektrum

Mit oder ohne Urknall



Hans Jörg Fahr ist Universitätsprofessor am Argelander Institut für Astronomie der Universität Bonn. Er war u. a. Vorsitzender der Fachgruppe Extraterrestrik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Präsident der Kommission 49 (Heliosphere) der Internationalen Astronomischen Gesellschaft und Mitglied des Deutschen COSPAR Ausschusses (Committee on Space Research). Er begann seine akademische Karriere bereits mit einer Antrittsvorlesung über Kosmologie und hat im Laufe der Jahre mehrere Sachbücher zu Themen der Kosmologie und Kosmogonie geschrieben.

Hans Jörg Fahr

Mit oder ohne Urknall

Das ist hier die Frage

2. Auflage



Springer Spektrum

Hans Jörg Fahr
Argelander-Institut für Astronomie
Universität Bonn
Bonn, Deutschland

ISBN 978-3-662-47711-3
DOI 10.1007/978-3-662-47712-0

ISBN 978-3-662-47712-0 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995, 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Planung: Dr. Lisa Edelhäuser

Einbandabbildung: © deblik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+ Business Media
(www.springer.com)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Wie wir die Welt heute verstehen: Das Vier-Parameter-Universum der Standardkosmologie .	1
2	Wurde diese Welt wirklich im Urknall gemacht? Fragen an das vorherrschende Weltbild unserer Zeit	19
3	Was wissen wir überhaupt vom Kosmos als Ganzem? Können uns Photonen die Geschichte des Weltalls erzählen?	35
4	Doch kein Olbers'sches Paradoxon: der kosmische Mikrowellenhintergrund!	45
5	Die Sprache der Rotverschiebungen; verstehen wir sie eigentlich?	95
6	Ermüdendes Licht und kontroverse Rotverschiebungen	115
7	Gleichförmigkeit des Anfangs und die Struktur des kosmischen Jetzt	149

VI Mit oder ohne Urknall

8 Das kosmische Vakuum als energiegeladener Raum . 197

9 Ist die kosmische Hintergrundstrahlung das Echo des heißen Urballes? 231

10 Auf der Suche nach dem kosmischen Ruhesystem . . . 265

11 Lässt sich das Ganze überhaupt denken? 305

Glossar: Kosmologische Spezialbegriffe dieses Buches 339

Weiterführende Literatur 347

1

Einleitung: Wie wir die Welt heute verstehen: Das Vier-Parameter-Universum der Standardkosmologie

Wie jeder weiß, leben wir heute in einer anspruchsvollen Zeit; anspruchsvoll in jeder Hinsicht: im Ressourcenkonsum, im Komfortbedürfnis und gerade aber auch im Wissen: „Die Welt ist groß und rund“, das zu wissen, reicht heute nicht mehr. Es muss schon heißen: „Die Welt ist eine dynamische vierdimensionale Raum-Zeit-Gegebenheit mit inflationärer Expansion!“ Wir pflegen große Fragen zu stellen und ebenso große Antworten darauf zu erwarten. So muss es sich zeitgemäß auch ergeben, dass wir heute in dieser anspruchsvollen Zeit ganz ungeniert folgende Frage stellen: Wie sieht denn nun die „Welt im Ganzen“ aus? Eine bestürzende und zugleich herausfordernde Grundfrage nach dem uns umgebenden Realitätsganzen! Wobei den Ontologen unter den Philosophen nicht einmal klar sein wird, ob diesem gedachten Realitätsganzen überhaupt ein geschlossenes Sein zugrunde liegt. Könnte es nicht viel eher sein, dass es die Welt als ganze gar nicht gibt? Es gibt sie viel-

mehr nur in Teilen, die wir uns jeweils anzuschauen vornehmen können. Allerdings will ja schon die frühere, erst recht aber die heutige Kosmologie von ihrem Grundansatz her gerade die Welt als Ganze verstehen. Und dieses Ganze der Welt glaubt man heutzutage mit vier Zahlenwerten charakterisieren zu können; nämlich die Zahlenwerte für die Hubble-Konstante, H , und die Proporz von dunkler Energie, dunkler Materie und normaler, baryonischer Materie zur kritischen Massendichte dieses Universums.

Gegen dieses eitle Vorhaben der Naturwissenschaft, das Ganze erklären zu wollen, erhebt sich nur verdeckt bei den Unbeteiligten im Hintergrund ihres Bewusstseins die besorgte Frage, ob sich das Ganze der Welt denn überhaupt sehen und verstehen lässt. Wie soll das Ganze erfasst werden können, wenn dieses sich doch in Teilen stets unserem Blick entweder räumlich oder zeitlich entzieht? Das, was wir in der Nähe sehen, ist nicht genug; das was wir in der Ferne sehen, gibt es in unserer Zeit gar nicht mehr. Wie müssen die sich entziehenden Teile selbst beschaffen sein, so dass man beim Blick auf das Ganze von ihnen absehen kann? Was im Universum darf bei der Rekonstruktion des Ganzen als Detail vergessen werden, ohne dass das Ganze dadurch verfehlt wird?

Es soll hier deshalb zunächst gezeigt werden, was die heutige Kosmologie nach den jüngst vergebenen Nobelpreisen für George Smoot, Saul Perlmutter und Peter Higgs inzwischen von der Welt weiß, aber auch zum anderen gefragt werden, inwiefern die menschliche Vernunft überhaupt in der Lage ist, standort-unabhängig auf das Ganze zu sehen. Was ist schon der Blick auf das Ganze von einem einzigen Standort aus wert? Diese große, allumfassende Welt,

die die Kosmologie erklärt, – welche Welt ist das eigentlich? Ist dies wirklich die Welt, die wir vor uns sehen, oder eher eine erfundene, theoretisch konzipierte Welt, wie wir sie uns in unserer abstrahierenden Vernunft aufscheinen lassen wollen? Eines soll aber von vornherein klar sein: Kosmologische Welterklärungen, wie immer sie aussehen, sind keine Blasphemie, sie sind keine Gotteslästerung – und schon gar kein Gottesersatz, wie etwa Stephen Hawking, Paul Davies, Richard Dawkins oder andere Wissensgrößen unserer Zeit behaupten wollen. Denn jedem sollte ja doch als erstes klar sein, dass, wer sich etwas erklärt, dieser deswegen das Erklärte nicht auch schon selbst gemacht hat.

Kosmologische Ambitionen hin zu einer Welterklärung gehen bis ins Altertum zurück und sind nicht erst Zeitzeichen unserer modernen, so wissenschaftsgläubigen Neuzeit. Die Fundamente unserer großen, kosmologischen Weltansichten gehen in ihrem Grundbestand zurück bis auf die Einsichten der griechischen Philosophen. Während jedoch Aristoteles noch an eine zeitlich ewige, jedoch räumlich einmalige und begrenzte Welt dachte, schwebte Nikolaus Kusanus, Dominikaner aus Kues und Bischof von Brixen, eine ganz andere Welt vor. Er machte schon um 1450 n. Chr. die für die damalige Zeit ungeheuer weise Aussage, dass die Welt ein Gebilde sei, dessen Mitte überall ist und dessen Rand nirgendwo ist. In einer solchen, – man kann sagen: gerechten Welt – steht demnach niemand im Zentrum, aber auch niemand am Rand. Auch der Nolaner Giordano Bruno hat 150 Jahre später diesen Gedanken vollinhaltlich fortgeführt, indem er ausführte, dass das Universum unendlich fortsetzbar sei, und Welten und Welteninseln, so wie

wir sie als Galaxien und Galaxienhaufen kennen, sich darin in allen Richtungen und Fernen immer weiter wiederholen, eine ewige Fortsetzung des Gleichen in alle Fernen und Zeiten des Alls hinaus. Während Nikolaus Kusanus jedoch trotz seiner nicht kirchenkonformen Ansicht eines natürlichen Todes sterben durfte, wurde Giordano Bruno für seine Aussagen im Jahre 1600 n. Chr. vom römischen Kirchentribunal auf dem Scheiterhaufen verbrannt, weil er mit einem solchen Universum ohne Mitte kirchlichen Unfrieden verbreitete. Ließ ein solches Universum ja gerade diejenige Mitte vermissen, die Gott dem Menschen zugedacht haben musste.

Was aber allen genannten Zeitgrößen, also Aristoteles sowie Nikolaus Kusanus sowie Giordano Bruno in ihrem Denken völlig fremd war, das bringt nun die moderne Kosmologie als neue Weltperspektive hervor, indem sie den Ansatz macht, dass das Universum seinen Anfang im Urknall hat, und dass man diesen Anfang aus den jetzigen kosmischen Gegebenheiten, die wir wahrnehmen können, extrapolativ erkennen kann. Zudem wird auf der Grundlage des kosmologischen Prinzips (Ellis 1983; Stephani 1988) argumentiert: Es wird angenommen, dass es im Weltall eine allgültige, einheitliche Weltzeit gibt und dass in jedem Weltzeitmoment die Welt an allen ihren Weltpunkten gleich beschaffen ist. Damit wird angenommen, dass kein Raumpunkt in diesem Universum vor irgendeinem anderen bevorzugt ist, dass sich vielmehr das Universum in seinen räumlichen Energierepräsentationen in Form von baryonischer, photonischer oder dunkler Materie zumindest auf großen Dimensionen als „**raumartig homogen**“ darstellt (Wu et al. 1999).

„Raumartig homogen“ soll dabei heißen, dass in einem Gleichzeitigkeitsraum, einem Raum mit einem überall geltenden, synchronisierten Zeitwert, Homogenität herrscht. Dieser **Gleichzeitigkeitsraum** hat eindeutig den Charakter eines nur gedachten Raumes, ganz und gar nicht identisch natürlich mit dem Raum, den die Astronomen mit ihren Teleskopen schauend ertasten und durchforschen. Denn bei ihrem Forschen erkennen sie stets den Zustand in größerer Ferne, weil sie ja nur über das endlich schnelle Licht davon erfahren, zu einer früheren Weltzeit, als durch das lokale Jetzt bei uns markiert ist. In einem evolvierenden Universum sehen wir demnach niemals eine **raumzeitliche Homogenität**, wir unterstellen ihm dennoch aber eine **raumartige Homogenität**, obwohl niemand diese jemals gesehen hat oder jemals sehen wird! Hier sind wir eigentlich nur auf den Glauben an die Schöpfung angewiesen, der wir unterstellen, dass sie eine ausgedehnte Welt in absoluter Gleichartigkeit überall hervorgebracht hat. Lediglich in einem statischen Universum, in dem sich großräumig gesehen nichts änderte, könnte man hoffen, gemittelt über entsprechend großen Skalen, auch eine raumzeitliche Homogenität bestätigt zu bekommen. Aber von einem solchen Universum will heutzutage keiner der modernen Kosmologen etwas wissen.

Bei Ansicht der früheren Zustände des Kosmos, gesehen in den größeren kosmischen Fernen von uns, kommen die Astronomen zu der ihnen evident erscheinenden Vorstellung, dass sie im Vergleich zu den heutigen Zuständen in unserer Nähe, daraus eine Entwicklung der Weltzustände im Verlauf der Weltzeit herleiten können. Auch glauben sie dann natürlich, aus dieser sich darin andeutenden Entwicklung auf die uns heute völlig entlegenen Anfangszustände

des Kosmos schließen zu können. Die Erkennbarkeit eines Weltanfangs könnte sich jedoch auch als bittere Illusion herausstellen. Denn es könnte ja vielleicht auch so sein, dass das Universum ein chaotisches System mit unzählig vielen multikausalen, nichtlinearen Ursacherückkopplungen darstellt, jede für sich zurückwirkend auf jeden anderen lokalen kosmischen Zustand! Einen sogenannten kosmischen **Attraktorzustand** würde man dies nennen (Fahr 2004). Dann aber würde die Frage nach dem Weltanfang völlig obsolet sein, denn alle nichtlinear-chaotischen Systeme lassen ihre Anfänge in völlige Vergessenheit zurücktreten. Man sieht ihnen ihre Anfangszustände einfach nicht mehr an! Alle denkbaren Anfänge führen dann immer zum gleichen in sich wirkungsgeschlossenen Endzustand zurück. Das Weltgeschehen läuft vor dem Beobachter einfach ab, ohne aber dabei irgendeinen Hinweis auf seine Anfangszustände zu geben. Zwar gibt es wohl ein Mikrogesehen überall an lokalen Stellen in der Welt, jedoch das morphogenetische Makrobild des Kosmos, also die großräumige Strukturbeschaffenheit, ändert sich dabei nicht, sie hält sich vielmehr über alle Zeiten durch. Man denke vielleicht hier vergleichsweise an die Gasmoleküle im thermodynamischen Gleichgewicht: der Makrozustand eines solchen thermodynamischen Gleichgewichtssystems ändert sich hier überhaupt nicht, das heißt, Teilchenzahl, Teilchendichte, Temperatur und Gesamtenergie sind konstant, – und dennoch bewegen sich alle Moleküle ständig, aber diese Bewegungen führen eben keinen sich ändernden Makrozustand herbei!

Zum Beispiel wirft das meteorologische Geschehen auf unserer Erde ja gerade deshalb auch für niemanden die

Frage nach dem Anfangszustand des Wetters auf. Lediglich fragt man sich, ob man aus Kenntnis des Jetztzustandes den unmittelbaren Nachfolgezustand des Wetters über dem Erdball im Rahmen einer Kurzzeitprognose prophezeien kann. In der Kosmologie würde Gleiches heißen, dass wir uns den Istzustand des Universums möglichst umfassend ansehen und dann im Rahmen naturgesetzlicher Prozessabläufe eine Vorhersage auf den damit kausal korrespondierenden, ins Jetzt kommenden Zustand wagen. Das hieße aber, wir sollten die Welt eher anhand ihres Istzustandes als aufgrund eines ihr unterstellten Anfangszustandes zu verstehen versuchen. Das jedoch wäre im Vergleich zur Standardkosmologie ein völlig neuer Ansatz zu einem Weltverständnis, in dem die Welt nicht an ihrem Anfangszustand festgemacht wird, sondern an ihrem zeitlosen Sosein in einem thermo-gravo-dynamischen Attraktorzustand (Fahr [2004](#)). Wie gut und wie eindeutig ist also eigentlich unsere derzeitige Welterkenntnis, die wir im Rahmen der modernen Urknall-basierten Kosmologie gewinnen? Kann das solchermaßen Erkannte uns jemals die Ansicht der Welt selbst ersetzen?

Bei der heutigen Kosmologie geht man von den Einstein'schen **Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie** (Einstein [1915](#), [1917](#)) aus, mit denen die Beschaffenheit und die Dynamik des globalen Weltalls beschrieben werden soll. In diesen Gleichungen taucht die Massenverteilung, oder ihr Äquivalent: die Energieverteilung, als Ursache für die Raum-Zeit-Geometrie des Universums auf. Damit aber nun alles in diesem Weltall, wie gewollt, homogen bleibt, ergibt sich die Geometrie eines solchen Weltalls natürlich zwangsläufig in ortsunab-

hängiger Form, also einer Form, die nur von der Weltzeit abhängen darf. Die **Raum-Zeit-Geometrie** dieses Alls lässt sich dann durch eine isotrope, ortsunabhängige Krümmung $\Gamma = k/R^2$ beschreiben, und die zu dieser Krümmungseigenschaft passende Raumzeit-Metrik wird gegeben durch eine sogenannte **Robertson-Walker-Metrik**, in der als Welt-relevante Größen nur der Skalenparameter $R = R(t)$ und ein konstanter Krümmungsskalar $k = \text{const}$ vorkommen. Damit schreibt sich dann das Weltlinienelement ds für die Bewegung eines Objektes im Weltall auf die folgende Weise:

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

wobei die Koordinaten r, Θ, Φ die üblichen räumlichen Polarkoordinaten sind.

Diese Grundannahmen der heutigen Standardkosmologie, wie die angenommene Homogenität der Energie- und Massenverteilung und die dazuhin angenommene isotrope, ortsunabhängige Krümmung, erlauben gerade eben, dass man unter solchen Umständen die Robertson-Walker-Metrik zur Beschreibung der Raum-Zeit-Metrik verwenden kann und damit eine für alle Weltpunkte gültige und verpflichtende Weltzeit t einführen kann.

Verbunden mit dem obigen Robertson-Walker-Linienelement lassen sich dann die ursprünglich 10 voneinander unabhängigen Einstein'schen allgemein-relativistischen Feldgleichungen auf nur zwei nicht-triviale Differenzialgleichungen zurückführen, welche über die Größen $\dot{R} = dR/dt$ und $\ddot{R} = d^2R/dt^2$ die Geschwindigkeit bzw. die Beschleu-

nigung der Weltexpansionsskala $R(t)$ beschreiben. Diese beiden noch verbleibenden Differenzialgleichungen haben die folgende Gestalt

$$\frac{\dot{R}^2(t)}{R^2(t)} = \frac{8\pi G}{3}\rho(t) - \frac{kc^2}{R^2(t)} + \frac{\Lambda c^2}{3} \quad (1.1)$$

und

$$\frac{\ddot{R}(t)}{R(t)} = -\frac{4\pi G}{3c^2}(3p(t) + \rho(t)c^2) + \frac{\Lambda c^2}{3} . \quad (1.2)$$

Hierbei ist G die Newton'sche Gravitationskonstante, c ist die Lichtgeschwindigkeit, k ist der Krümmungsparameter, und Λ ist Einstein's Kosmologische Konstante. Die Funktionen $\rho(t)$ und $p(t)$ beschreiben die Gesamtmasendichte und den Gesamtdruck im Kosmos. Letztere Größen setzen sich nach heutiger Vorstellung aus mehreren Anteilen wie folgt zusammen:

$$\rho(t) = \rho_B(t) + \rho_D(t) + \rho_v(t) ,$$

wobei $\rho_B(t)$; $\rho_D(t)$; $\rho_v(t)$ die jeweiligen Massedichteanteile der Baryonen (schwere Elementarteilchen, z. B. Protonen), der Darkionen, also der Dunkelmaterieteilchen unbekannter Natur, und der Photonen (Lichtteilchen) sind. Photonen tragen hierbei kosmologisch gewertet wegen der Masse-Energie-Äquivalenz $m_v = h\nu/c^2$ auch mit zur Massendichte im Universum bei, insbesondere im frühen Universum (Goenner 1996).

Entsprechend ergeben sich auch die Druckanteile dieser Konstituenten, womit der Druck insgesamt sich dann wie

folgt darstellt:

$$P(t) = P_B(t) + P_D(t) + P_v(t)$$

In diesen obigen Gleichungen wird nun zudem angenommen, dass die massebehafteten Teilchen im Kosmos zu einer homogenen Massendichte führen, welche wegen angenommener Erhaltung der Teilchenzahl und der Teilchenmassen im Universum umgekehrt proportional zum raumartigen Weltvolumen, das heißt zur dritten Potenz der Skala R abfällt, mit dem Ergebnis also $\rho_{B,D}(t) = \rho_{B,D}(R(t)) \sim R^{-3}(t)$. Hierin verbirgt sich die nur dem ersten Anschein nach triviale Annahme der Erhaltung der Gleichzeitigkeitsmasse des Universums verborgen. Letztere bezeichnet die Gesamtmasse im Gleichzeitigkeitsraum. Es wäre die Masse, die in einem bestimmten Weltzeitpunkt dem gesamten Universum zukommt. Wie wir später noch diskutieren werden, gibt es jedoch durchaus gute Gründe anzunehmen, dass diese Weltgröße nicht konstant ist, und damit auch, dass das Dichteverhalten ein anderes als oben angenommen ist.

Zudem ist eine konstante Vakuumenergiedichte in den obigen Gleichungen vorgesehen, die über den Term, der die sogenannte kosmologische Konstante Λ enthält, in diese Gleichungen Eingang findet und auf eine ursprüngliche Idee von Albert Einstein (Einstein 1917) zurückgeht. Dieser Term stellt so etwas wie eine Volumenenergie des leeren Raumes dar und beschreibt bei positivem Wert eine akzeleorative, bei negativem Wert eine dezelerative Wirkung auf die **Expansionsdynamik** der Welt, also auf die zeitliche kosmische Skalenveränderung $\dot{R}$. Im Falle positiven Wertes von Λ steht die Wirkung dieses Terms damit im krassen Gegensatz

zu der grundsätzlich dezelerativen Wirkung aller anderen Raumpunkt-bezogenen, „teilchenartigen“ Energierepräsentationen im Kosmos. In einem Universum, das nur normale baryonische Materie enthält, kann es nur eine sich verlangsamende Expansion oder eben das Gegenteil, eine sich beschleunigende Kontraktion geben.

Wenn nun, wie in der heutigen Kosmologie praktiziert, Λ als Konstante angenommen wird und somit einer konstanten Massendichte $\rho_\Lambda = \Lambda c^2 / 8\pi G$ des Vakuums gleichgesetzt werden kann und wenn zudem das Weltall als ungekrümmt entsprechend $k = 0$ angesehen wird, dann lässt sich die erste der verbliebenen Feldgleichungen auch wie folgt schreiben:

$$\frac{\dot{R}^2(t)}{R^2(t)} = H^2 = \frac{8\pi G}{3} [\rho_B(t) + \rho_D(t) + \rho_v(t) + \rho_\Lambda(t)] , \quad (1.3)$$

wobei hier H die bekannte **Hubble-Konstante** bezeichnet, die für die heutige Zeit einen Wert von $H_0 = 73 \text{ km/s/Mpc}$ besitzt, die aber über die Zeiten der kosmischen Entwicklung hinweg keine Konstante darstellt. Die Gleichung in der obigen Form lässt sich dann auch folgendermaßen umschreiben

$$1 = \Omega_B(t) + \Omega_D(t) + \Omega_v(t) + \Omega_\Lambda(t) , \quad (1.4)$$

worin ausgedrückt ist, dass sich die mit der kritischen Dichte $\rho_c = 3H^2 / 8\pi G$ normierten Dichtewerte $\Omega_B(t)$, $\Omega_D(t)$, $\Omega_v(t)$, $\Omega_\Lambda(t)$ sich zu allen Zeiten der Weltentwicklung immer zum Gesamtwert von „1“ addieren sollten. Mit

der kritischen Dichte ρ_c hat es dabei die folgende Bewandnis: Sie erfüllt gerade die Gleichgewichtsforderung: „Kinetische Energie = Bindungsenergie“ in der Form: $(1/2)\dot{R}^2 = (4\pi/3)G\rho_c R^3/R$, wobei H die Hubblekonstante und G die Gravitationskonstante bezeichnet.

Je nach angenommenen Proportionen der Materiedichten oder Vakuumenergiedichte zur sogenannten kritischen Dichte ρ_c ergeben sich sehr unterschiedliche Verlaufsformen (siehe Abb. 1.1) für die zeitliche Entwicklung der kosmischen Skala $R(t)$, die insbesondere ausgehend von der jetzigen Expansion des Kosmos sehr unterschiedliche Vergangenheiten und Zukünfte unserer Welt erwarten lassen würden (Perlmutter 2003). Über die Bedeutung dieser unterschiedlichen Expansionskurven, insbesondere über die Frage, welche der resultierenden Kurven denn nun auf unser vorliegendes Universum zutrifft, muss man sich im Einzelnen angesichts gegebener, astronomischer Beobachtungsfakten weiter unterhalten.

Aus der Vielfalt der in Abb. 1.1 gezeigten, möglichen Weltexpansionsmodelle kann man nun versuchen, das im Hinblick auf astronomische Fakten am besten passende Modell, the „best fitting model“ also, aus der Menge dieser Standardmodelle auszuwählen. Allerdings liegen modellrelevante „astronomische Fakten“ für diese Zwecke nicht so einfach auf der Hand des astronomischen Beobachters. Sie sprechen vor allem auch nicht einfach für sich, vielmehr werden sie auf modellabhängige Weise theorie-immanent aufgefunden. Dazu geht man heute auf zweierlei Weise vor:

In der Tat werden heute die in der Horizontkarte der **kosmischen Hintergrundstrahlung** vom Satelliten *WMAP* (Bennet et al. 2003) gefundenen Minimalvariationen in

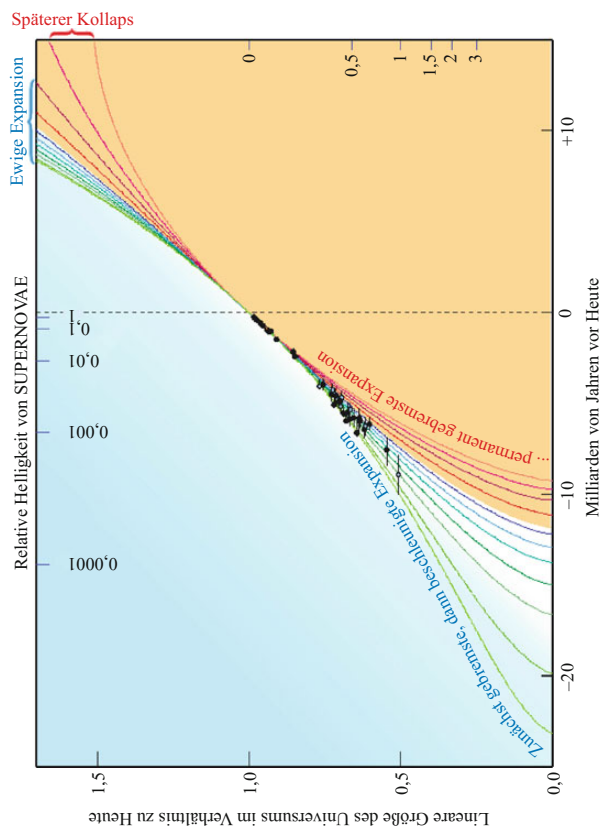


Abb. 1.1 Alternative Lösungen der Friedmann-Lémaître Gleichungen im Rahmen der Standard-Kosmologie (aus S. Perlmutter, Physics Today, April 2003, 53–60, Figure 4)

der Intensität, bzw. der Planck'schen Äquivalenttemperatur, dieser Hintergrundstrahlung zur Modellbestätigung verwendet. Auf eine gewiß nicht ganz unproblematische Weise lassen sich diese gefundenen Minimalvariationen in der Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung als Anzeichen für Dichtekonturen im frühen Universum verstehen, also zu einer Zeit kurz vor der Epoche der Rekombination der elektrisch leitfähigen kosmischen Materie (Protonen und Elektronen rekombinieren zu Wasserstoffatomen!). Nun lässt sich einmal annehmen, dass diese ursprünglich minimalen Dichtefluktuationen im Laufe der kosmischen Evolution zu den stark ausgeprägten Dichtestrukturen des heutigen Universums in Form von Galaxien und Galaxienhaufen durch selbstgravitatives Wachstum geworden sind. Dann aber wird die Übertragung der anfänglichen Minimalfluktuation in die heutigen stark ausgeprägten Dichtestrukturen von der Geschichte der Weltexpansion abhängig, also von dem richtigen, zugrundegelegten Expansionsmodell. Über eine lange Kette von kosmologie-belasteten Zwischenschritten wird versucht die frühen Strukturen in der Hintergrundstrahlung mit den Geburtszentren für die heute gefundenen Galaxien und Galaxienhaufen zusammenzubringen (Springel et al. 2005). An dieser großangelegten Simulationsrechnung zur kosmischen Strukturbildung waren unter anderem die Professoren Simon White und Volker Springel vom Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching beteiligt. In ihrer Simulation gehen die Autoren davon aus, dass in einem Universum, welches von dunkler Materie entscheidend beherrscht wird, sich Großstrukturen von Megaparsec Dimensionen (3,2 Millionen Lichtjahre) erzeugen lassen und

dabei zu einer Form der Galaxienverteilung führen, die in groben Zügen derjenigen ähnelt, die tatsächlich beobachtet wird, allerdings nur dann, wenn man von einem großen Anteil der **Dunkelmaterie** ausgeht (also $\Omega_D/\Omega_B \simeq 5$). Diese Simulation folgt der Bewegung von 2 Millionen Galaxien in einem kosmischen Würfel mit Kantenlängen von mehr als 2 Milliarden Lichtjahren und kann im Rahmen der ihr verbliebenen Freiheiten untersuchen, welches der denkbaren $[\Omega_{B,0}, \Omega_{D,0}, \Omega_{v,0}, \Omega_{\Lambda,0}]$ -Weltmodelle (siehe Abb. 1.1!) hierbei die besten Überbringerdienste tut.

Auch kann die aus kosmologisch gedeuteter Rotverschiebung geschlossene Entfernung fernster Supernovae durch Wahl des geeigneten Kosmologiemodells so zugeordnet werden, dass die gefundenen scheinbaren und die erwarteten absoluten Helligkeiten dieser kosmischen Standardstrahler im Rahmen der Standardmodellierung gut zusammenpassen (siehe Abb. 2 aus Perlmutter et al. 1999). Damit kann auch wieder ein best-passendes kosmologisches $[\Omega_{B,0}, \Omega_{D,0}, \Omega_{v,0}, \Omega_{\Lambda,0}]$ -Konsensmodell gefunden werden, in dem dann allerdings die geforderten Proportionen der diese „Konsenswelt“ konstituierenden kosmischen Energieanteile ebenso verwundern, wie bei der vorher erwähnten Großsimulation.

Der Hauptanteil, nämlich 72 %, der unsere Welt ausmachenden Energie entfällt nach beiden Fit-Prozeduren auf die sogenannte „*dunkle Energie*“ ($\Omega_{\Lambda,0} = 0,72!$), oder anders auch genannt: *Vakuumenergie*. Der zweitwichtigste Anteil, nämlich 23 %, wird von der „*dunklen Materie*“ ($\Omega_{D,0} = 0,23$) ausgemacht, jener kosmischen Energiekomponente, die einer bisher nicht nachgewiesenen, aber aus gravitativen Bindungsgründen geforderten Form von

Materie repräsentiert wird, die laut Definition keinerlei elektromagnetische Wechselwirkung mit sich selbst (elektrisch ungeladene Partikel) oder anderer Materie zeigt und demnach nicht direkt, sondern nur indirekt durch Mitgestaltung der kosmischen Gravitationsfelder erkennbar wird (siehe Bennet et al., 2003). Lediglich 4 % vom Gesamtenergiekuchen werden dagegen von den gewöhnlichen, baryonischen Materieteilchen ($\Omega_{B,0} = 0,04$) ausgemacht, die man zuvor und bisher immer als die wichtigsten Masse- und Energie-Komponenten des Universums angesehen hatte. Das stellt uns heute die Frage: muss man nun in Zukunft mit einer solch ungewöhnlichen 4-Parameter-Welt leben, in der das, was wir sehen können, keine Rolle spielt, dagegen das, was wir nicht sehen, die Hauptrolle?

Wir werden in den folgenden Kapiteln dieses Buches hinterfragen, ob dieses moderne Weltbild, das in den Naturwissenschaften derzeit emporgekommen ist, Bestand haben kann über die kommenden Jahrzehnte, oder ob man eher einen Weltbildsturz ähnlichen Ausmaßes, wie seinerzeit 1927–1929, von G. Lemaître und E. Hubble ausgelöst, erwarten muss, als damals innerhalb weniger Jahre das bis dahin fest und alternativlos geglaubte statische Weltbild, zu dem auch A. Einstein sich noch 1917 bekennen wollte, in das Bild einer in Expansion begriffenen, also auseinanderfliegenden Welt sich zu wandeln hatte.

An dieser Stelle dieses Buches will ich meinen Lesern so gleich aber auch meinen rein intellektuell motivierten, sagen wir „wissenschafts-theoretischen“, Grund nennen, warum ich dennoch an kein Universum glauben will, das aus dem Urknall herkommt. Ist es doch so: Wenn wir Kosmologie betreiben, dann weil wir denken, dass das Universum als

ein Ganzes beschrieben werden kann. Das Universum ist aber nur dann ein solches Ganzes, wenn alles im Universum mit allem anderen schicksalmäßig physikalisch zusammenhängt, und nicht, wenn es ein Sammelsurium von voneinander unabhängigen Einzelgeschehnissen darstellt. Eine solche Idee der Zusammenhängigkeit wird aber gerade mit der Hubble'schen Suggestion aufgegeben, die glauben machen will, die Expansion des Universums und der Galaxien sei wie das Auseinanderfliegen von kommunikationslosen Gewehr-kugeln zu verstehen, – ein kosmisches Spiel, das man mühelos in der Zeit umkehren können sollte und das demnach die Herkunft aus einem allerdichtesten Zentrum suggeriert. Hier aber ist der Widerspruch im Denken: Entweder also ist dieses Weltall kein zusammenhängendes Gesamtgebilde – wenn nämlich die Galaxien kommunikationslos wie Gewehr-kugeln aus der Urknallflinte hervorgestoben gekommen wären, und dann aber wäre die Kosmologie somit fehl am Platze, – oder aber, wenn dieser Kosmos ein zusammenhängendes Ganzes ist, dann ist das Expansionsgeschehen eben nicht rückextrapolierbar in der Zeit hin auf einen allerdichtesten Urknallpunkt. Entscheiden Sie hier lieber gleich selbst einmal, was Sie persönlich denn glauben wollen würden, bevor Sie sich in diesem Buch einer fremden Indoktrination ausliefern.

Literatur

- Bennet, C.L., Hill, R.S., Hinshaw, G. Nolta, M.L., et al.: Results from the COBE mission. *Astrophys. J. Supplem.* **148**, 97–111 (2003)
- Einstein, A.: Zur Allgemeinen Relativitätstheorie. *Sitzungsber. der königl. Preussischen Akademie der Wissenschaften*. Berlin (1915)
- Einstein, A.: Kosmologische Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie. In: *Sitzungsberichte der königl. Preussischen Akademie der Wissenschaften*, S. 142–152. Berlin (1917)
- Ellis, G.F.R.: Relativistic cosmology: its nature, aims and problems. In: Bertotti, B., de Felice, F. und Pasolini, A. (Hrsg.) *General Relativity and Gravitation*, Aufl. 1, S. 668–670 (1983)
- Fahr, H.J.: The cosmology of empty space: How heavy is the vacuum? What we know enforces our belief. In: Löffler, W. und Weingartner, P. (Hrsg.) *Knowledge and Belief*. öbv&htp Verlag, Wien (2004)
- Goenner, H.: Einführung in die Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (1996)
- Perlmutter, S.: *Physics Today*, April 2003, 53–60 (2003)
- Perlmutter, S., Aldering, G., Goldhaber, G. et al.: The project T.S.C. *Astrophys J.* **517**, 565–578 (1999)
- Springel, V. et al.: Simulations of the formation, evolution and clustering of galaxies and quasars. *NATURE* **435**, (7042), 629–636 (2005)
- Stephani, H.: Allgemeine Relativitätstheorie: Eine Einführung in die Theorie des Gravitationsfeldes. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1988)
- Wu, K.K.S., Lahav, O., Rees, M.J. et al.: The large-scale smoothness of the universe, *NATURE* **396**, 225–230 (1999)

2

Wurde diese Welt wirklich im Urknall gemacht? Fragen an das vorherrschende Weltbild unserer Zeit

Wie vollzieht sich ein Denken an anderer Stelle im Kosmos oder gar am Rande des Universums im Vergleich zu dem unseren hier auf der Erde? Denkt man anderswo wohl anders als bei uns? Und wenn ja, dann wäre jede Theorie über die Entstehung und die Natur unseres Universums nur eben unsere hausbackene, geomorphe oder anthropomorphe Theorie, die mehr mit der Beschränktheit des Standortes „Erde“ und mit der Fehlbarkeit der Denkmachine „Mensch“ zu tun hätte als mit der Realität des Universums! Es wäre eher ja dann schlicht eine Theorie über den „Kosmos in uns“ als über den Kosmos als solchen. Mit einer solchen Auslegung wollen sich die Wissenschaftler aus dem Bereich der Astrophysik und der Kosmologie aber auf keinen Fall abfinden, und so gilt die Kosmologie der heutigen Tage für sie als eine absolut kreditwürdige Sache mit einer unerschütterlichen Aussage über die Realität des Kosmos als Ganzem. Sie gilt ihnen nicht einfach nur als ein ergötz-

liches, delektierliches Rasonnement, als ein intellektuelles Training zur Schärfung der Verstandeskräfte, und gilt auch nicht dem Erwerb eines schlichten Spiegelbildes menschlichen Denkens im Bereich des eigentlich schon nicht mehr intellektuell Legalen.

Für den Normalbürger gehören Wissenschaftler zwar zu jener Gattung Menschen, die denken können, für die das Denken aber gelegentlich auch zu einer Geißel ihrer Existenz wird. Sie, die Wissenschaftler, können das Nachdenken eben auch da nicht lassen, wo es eigentlich schon um das Undenkbare geht, obwohl Letzteres allen denkerischen Disziplinen naturgemäß ja verschlossen bleiben sollte wie ein Sesam. Solch einen Sesam stellt doch höchstwahrscheinlich auch das Universum für unseren Verstand dar, denn wie sollte unser begrenzter Verstand ein unbegrenztes Universum je begreifen können. Man kann einen solchen Sesam überhaupt nur zu öffnen hoffen, wenn man auf eine ausreichende Zahl von interdisziplinären Multitalenten aus vielen hilfreichen Wissenschaften rechnen darf, die die verschiedensten Schlüssel beim Versuch eines Öffnens zum Einsatz bringen können. Was kann bei einem solchen Unternehmen, sich das Verschlussene zu erschließen, dann aber letztendendes herauskommen? – Eine Lehre über die Wahrheit der Natur des Allergrößten, eine Wegweisung zum Verständnis des Realitätsganzen oder eine Wissenschaftsbibel über die Welt?

Ein Buch über Kosmologie sollte sicherlich keine reine Bestandsaufnahme des Gegebenen im Kosmos sein, es sollte auch mehr als ein pädagogischer Abriss eines sich aus dem Gegebenen ableitenden Fragenkataloges sein, es sollte vielmehr eine Deutung des Gegebenen im Kosmos und

eine große Ideenperspektive geben, die alles Wahrgenommene erklärlich erscheinen lässt! Ein Buch also vielleicht denn aber, das dem Leser zur Anregung von höhenflughaftem Ausdenken der uns ewig fremden Dimensionen des Universums und den aus der Beschäftigung damit hervortönenden Apokalypsen der modernen wissenschaftlichen Deutung dient! Ein wegweisendes Buch zumindest für einen Leser, den nicht gleich der Schwindel angesichts der vielen Unbeweisbarkeiten und Bodenlosigkeiten des in der Kosmologie Spekulierten packt. Denn spekuliert muss hier allemal werden! Der Kosmos spricht zu uns nicht in einer klar vernehmlichen Sprache, so dass wir nur hinhören müssten, um die Botschaft des großen Ganzen zu empfangen.

Vielmehr müssen wir bemüht sein, die von ihm an uns gegebenen Zeichen in unserer Sprache, oder besser gesagt, in der Sprache unseres Verstandes, unterzubringen. Da bleibt aber dann immer noch die Frage, ob diese Zeichen überhaupt für das Ganze des Kosmos sprechen können oder ob sie nur die Beschaffenheit eines kleinen Teiles desselben signalisieren. Ist der Kosmos über die Zeichen, die er uns gibt, vielleicht dimensionenweit erhaben, oder verrät er sich in ihnen eher vollwesentlich seiner Substanz nach? Ein Mensch, der sein Leben lang abgeschieden vom Rest der Welt, zum Beispiel in den Bergtälern Abchasiens oder in den Kalksteinhöhlen Kappadokiens lebt und seine Umwelt nur von dort aus erfährt, wird ob dieser beschränkten Perspektive niemals den Anspruch auf eine allgemeingültige Welterkenntnis erheben können. Nichts kann ihm in seiner Teilwelt den Hinweis dafür geben, dass er von dort aus im Prinzip auch die Beschaffenheit der Welt als ganzer erfahren

kann. Er muss sich damit abfinden, dass seine Weltsicht nur beschränkte Gültigkeit haben kann.

Wie beschränkt ist nun aber tatsächlich diese kosmologische Weltansicht der Astronomen, die den Kosmos mit Fernrohren und Radioteleskopen erkennen wollen und darob sagen können möchten, wie dessen Realität beschaffen ist? Ob die kosmischen Zeichen, so wie wir sie zu unserer Zeit und von unserem Standort her vernehmen, Allgemeingültigkeit für die Beschaffenheit des Gesamtkosmos haben, von dem wir ja gerne reden wollen, werden wir niemals aus ihnen selbst heraus beweisen können. Zeichen sind immer höchstens ein Hinweis auf die Wahrheit, sie tragen aber niemals an sich ein Prädikat für ihre Allgemeingültigkeit bzw. für die Beschränktheit ihrer Zeichengebung! Allenfalls ihre Deutung im Rahmen einer adäquat angelegten, kosmologisch geschlossenen Theorie kann a posteriori den Konsistenzcharakter dieser Zeichen manifest werden lassen. Im Rahmen einer entsprechend gefertigten Theorie des Kosmos kann es somit möglich werden, den kosmischen Zeichen Allgemeinheitswert zuzusprechen.

Wir müssen uns aus dieser für unsere Erkenntnis des Kosmos generell misslichen Lage einfach mit pragmatischen Mitteln zu befreien versuchen, indem wir danach fragen, wie denn eigentlich ein Kosmos beschaffen sein müsste, dessen an uns gegebene Zeichen wir als Indizien für das Ganze nehmen dürften! Ein kurzer Blick auf die Frühgeschichte der kosmologischen Konzeptansätze mag hier schnell die Problematik in einer solchen Visionierung eigentlich unzugänglicher Dinge aufzeigen können: An dieser Stelle soll nur ein kurzer Hinblick auf die kosmologischen

Perspektiven aus der Zeit der griechischen Vorsokratiker seit 500 vor Christus genügen.

Der wohl berühmteste Naturphilosoph dieser Zeit, Heraklit (500 v. Chr.) sagte über die Welt: „Diese Welt hat weder einer der Götter, noch einer der Menschen gemacht. Sie vielmehr war immer schon und wird immer sein – ein ewig lebendes Feuer, sich in Stufen entzündend, und in Stufen wieder verlöschend.“ Empedokles (435 v. Chr.) dagegen nennt diese Welt einen zwar in Ewigkeit fortdauernden Prozess einer allerdings ewigen Umwandlung, eine Ewigkeit, jedoch in dauerndem Wechsel von Entstehung und Vergehen befindlich mit der Bildung ständiger Gestaltenumwandlung unter den Urteilchen der Materie einhergehend. Etwa um die gleiche Zeit äußert sich Anaxagoras (462 v. Chr.) auf die folgende Weise über den Kosmos: „Entstehen und Vergehen findet im Kosmos nur statt durch ewig andauernde Umwandlung des einen, nie entstandenen und nie ins Nichts vergehenden Materievorrats des Universums. Die Gesamtheit der Urteilchen der Materie wird nicht mehr und nicht weniger, sie erhält sich vielmehr in ewigem Wandel, denn aus dem nichts kann niemals etwas entstehen, ebenso wenig wie etwas ins Nichts vergehen kann, wenn es einmal ist.“

Das scheinen klare Vorgaben aus dem Denken der Menschheit herkommend für die grundsätzlichen Züge dessen zu sein, was eine vernunftgemäße Form der Kosmologie eigentlich sein muss. Wir werden hiervon ausgehend verfolgen, inwieweit die heutige Kosmologie diesen apriorischen Vorgaben zu entsprechen vermocht hat, und werden auf diese Nachfrage an die Vernunftkonkordanz der heutigen Kosmologie am Ende des Buches noch einmal zurückkom-