

Leseprobe

John Hands

Cosmosapiens

Die Naturgeschichte des Menschen von der Entstehung des Universums bis heute

»Das Werk eines Universalgenies.« *The Times Literary Supplement Book of the Year*

Bestellen Sie mit einem Klick für 16,00 €



Seiten: 880

Erscheinungstermin: 24. September 2018

Mehr Informationen zum Buch gibt es auf

www.penguinrandomhouse.de

Inhalte

- Buch lesen
- Mehr zum Autor

Zum Buch

Ein grundlegendes Werk mit dem Zeug zum Klassiker

Was stand am Anfang unserer Welt? Woher kommt die Materie, die Energie, aus der sich alles entwickelte? Und wann begannen wir, darüber nachzudenken? John Hands fängt ganz von vorne an und zeigt die Grenzen unseres Wissens. Er greift aktuelle Diskussionen der Evolutionsbiologie und Neurogenetik auf, hinterfragt Konzepte wie kosmische Inflation, dunkle Energie und egoistische Gene. Spannend und klar verfolgt er die Entstehung des Lebens und die Entwicklung unseres Bewusstseins zurück, beschäftigt sich mit Sprache, Moral, Glauben und Religion. Er betrachtet den Menschen als soziales Wesen und deckt dabei Muster auf, die uns befähigen, die Zukunft der Evolution zu beeinflussen.



Autor

John Hands

John Hands ist Chemiker. Für »Cosmosapiens« widmete er der Auswertung wissenschaftlicher Theorien über die Entwicklungsgeschichte des Menschen mehr als zehn Jahre. An der Open University London unterrichtete er Physik und

*In liebendem Angedenken
an meine Frau Paddy Valerie Hands*

INHALT

Kapitel 1	
Die Suche	17
Teil 1	
Entstehung und Evolution der Materie	23
Kapitel 2	
Ursprungsmythen	25
Grundmotive	26
Erklärungen	30
Überprüfung auf Belegbarkeit und Vernünftigkeit	36
Gründe für die Beständigkeit	37
Der Einfluss auf das wissenschaftliche Denken	38
Kapitel 3	
Die Entstehung der Materie:	
Die herrschende Lehre in der Wissenschaft	40
Die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts	41
Die aktuelle Theorie: Der Big Bang	45
Probleme mit der Big-Bang-Theorie	50
Lösung durch die Inflationstheorie	53
Wie stichhaltig ist die inflatorische Big-Bang-Theorie?	56
Folgerungen	68

Kapitel 4

Was die herrschende Lehre nicht erklären kann	69
Singularität	69
Das beobachtete Verhältnis von Materie zu Strahlung	70
Dunkle Materie und Omega	72
Dunkle Energie	74
Die Feinabstimmung kosmologischer Parameter	77
Erschaffung aus dem Nichts	78
Folgerungen	81

Kapitel 5

Weitere kosmologische Mutmaßungen	82
Grenzenloses Universum nach Hartle-Hawking	82
Ewige chaotische Inflation	85
Veränderliche Lichtgeschwindigkeit	86
Ein zyklisch pulsierendes Universum	88
Natürliche Selektion von Universen	89
Schleifenquantengravitation	92
Kosmologie des Quasi-Steady-State	93
Plasma-Kosmologie	98
Quintessenz	100
Zyklisch-ekpyrotisches Universum	101
Die Landschaft der Möglichkeiten in der Stringtheorie	109
Probleme mit der Stringtheorie	109
Definitionen für das Universum	114
Folgerungen	115

Kapitel 6

Probleme der Kosmologie als Erklärungsinstrument	116
Praktische Schwierigkeiten	117
Dateninterpretation	120
Unzureichende Theorie	132
Immanente Beschränkungen der Wissenschaft	138
Folgerungen	138

Kapitel 7

Wie plausibel sind kosmologische Mutmaßungen?	140
Die Reichweite kosmologischer Mutmaßungen	140
Überprüfungsmöglichkeiten für kosmologische Mutmaßungen	144
Der Ursprung des Universums	146
Die Form des Universums	148
Folgerungen	156

Kapitel 8

Die Evolution der Materie in großem Maßstab	157
Die grundlegenden Naturkräfte	158
Die herrschende Lehre in der Kosmologie über die Evolution der Materie	163
Die Struktur des Universums	172
Die Ursache für die Struktur des Universums	174
Fortdauernde Evolution?	185
Folgerungen	189

Kapitel 9

Die Evolution der Materie in kleinem Maßstab	191
Die Evolution der Atomkerne der Elemente	191
Die Bildung von Atomen	198
Die Evolution der Atome	202
Moleküle im Weltall	205
Folgerungen	206

Kapitel 10

Muster in der Evolution der Materie	208
Übereinstimmung mit den bekannten wissenschaftlichen Gesetzen	209
Widersprüche im Prinzip der zunehmenden Entropie	214

Kapitel 11

Überlegungen und Folgerungen zur Entstehung und Evolution der Materie	222
Überlegungen	222
Folgerungen	225

Teil 2

Die Entstehung und Evolution des Lebens	233
--	-----

Kapitel 12

Ein für das Leben geeigneter Planet	235
Notwendige Voraussetzungen für bekannte Lebensformen	235
Die Entstehung der Erde und ihrer Biosphäre	240
Ist die Erde ein Sonderfall?	260
Folgerungen	270

Kapitel 13

Das Leben	273
Leben im Verständnis der Antike	274
Die Entwicklung der wissenschaftlichen Erklärung für das Leben	276
Angebliche Aussöhnungen zwischen alten Erkenntnissen und moderner Wissenschaft	277
Die Reaktion der herrschenden wissenschaftlichen Lehre	281
Der herrschende wissenschaftliche Erklärungsansatz für das Leben	282
Behauptete Merkmale des Lebendigen	285
Definitionen von Leben	288
Arbeitsdefinition für Leben	293
Folgerungen	294

Kapitel 14

Die Entstehung des Lebens I: Wissenschaftliche Belege	295
Direkte Belege	295
Indirekte Belege	301
Größe, Komplexität, Struktur und Funktionsweise der einfachsten Zelle	305
Folgerungen	314

Kapitel 15

Die Entstehung des Lebens II: Hypothesen	316
Folgerungen	342

Kapitel 16

Die Entwicklung wissenschaftlicher Ideen über die biologische Evolution	345
Präevolutionäre Ideen	346
Die Entwicklung der Vorstellungen von einer Evolution	348
Wallace	353
Charles Darwin	356
Orthogenese	372
Kropotkin und die wechselseitige Unterstützung	373
Symbiogenese	378
Mendel und die Vererbung	379
Neodarwinismus	381
Molekularbiologie	383
Grundsätze der herrschenden Lehre in der Biologie	386
Folgen des aktuellen Paradigmas	387

Kapitel 17

Belege für die biologische Evolution I: Fossilien	389
Art (Spezies)	389
Fossilien	395
Folgerungen	419

Kapitel 18

Belege für die biologische Evolution II: Analysen lebender Arten	421
Homologe Strukturen	421
Rudimentäre Körperteile	422
Biogeographie	423
Embryologie und Entwicklung	425
Veränderungen bei Arten	426
Biochemie	437

Genetik	438
Genomik	440
Folgerungen	443

Kapitel 19

Belege für die biologische Evolution III:

Das Verhalten lebender Arten	444
Einzeller	445
Mehrzeller	446
Gene	448
Pflanzen	448
Insekten	449
Fische	452
Erdmännchen	452
Primaten	453
Zusammenschlüsse zwischen verschiedenen Arten	454
Folgerungen	454

Kapitel 20

Die Abstammung des Menschen	457
Phylogenetische Bäume	457
Taxonomie der menschlichen Abstammungslinie	462

Kapitel 21

Ursachen der biologischen Evolution:

Die aktuell herrschende Lehre	469
Das derzeitige Paradigma	471
Was die herrschende neodarwinistische Lehre nicht erklären kann	473

Kapitel 22

Ergänzende und konkurrierende Hypothesen I:

Zunehmende Komplexität	490
Intelligent Design	491
Punktualismus (unterbrochenes oder punktiertes Gleichgewicht)	493

Plötzliche Ursprünge	494
Stabilisierende Selektion	496
Theorie der Neutralität	496
Verdoppelung des gesamten Genoms	498
Epigenetik	498
Tiefe Homologie und Parallelevolution	500
Evolutionäre Konvergenz	500
Emergenztheorie	503
Selbstorganisierende Komplexität	504
Gesetze der Genom-Evolution	506
Natürliche Genmanipulation	507
Systembiologie	508
Die Gaia-Hypothese	510
Formgebende Verursachung	511

Kapitel 23

Er ergänzende und konkurrierende Hypothesen II:

Zusammenarbeit	514
Soziobiologie	514
Zusammenarbeit	529

Kapitel 24

Die Evolution von Bewusstsein	537
Die Evolution des Verhaltens	538
Physische Korrelate wachsenden Bewusstseins	545

Kapitel 25

Die Entstehung und Evolution des Lebens:

Überlegungen und Folgerungen	558
Überlegungen	558
Folgerungen	564

TEIL 3

Die Entstehung und Evolution des Menschen 581

Kapitel 26

Die Entstehung des Menschen 583

Was ist ein Mensch? 583

Vorläufer des Menschen 588

Früheste Anzeichen für den Homo sapiens 605

Vollendung der Menschwerdung 614

Erklärende Hypothesen 615

Vorgeschlagnene Ursachen für die Entstehung
des Menschen 618

Folgerungen 621

Kapitel 27

Die Evolution des Menschen I:

Ursprüngliches Denken 623

Wie der Mensch sich entwickelt hat 623

Die Evolution ursprünglichen Denkens 627

Folgerungen 654

Kapitel 28

Die Evolution des Menschen II:

Philosophisches Denken 658

Die Entstehung des philosophischen Denkens 658

Die Evolution philosophischen Denkens 669

Verzweigungen des philosophischen Denkens 683

Überblick über die noetische Evolution 688

Folgerungen 690

Kapitel 29

Die Evolution des Menschen III:

Wissenschaftliches Denken 693

Die Entstehung wissenschaftlichen Denkens 695

Die Evolution wissenschaftlichen Denkens 702

Kapitel 30

Die Einzigartigkeit des Menschen 725

Die herrschende Lehre 725

Verhaltensweisen, die allein dem Menschen
zu eigen sind 728

Kapitel 31

**Folgerungen und Überlegungen zur Entstehung und Evolution
des Menschen** 733

Folgerungen 733

Überlegungen 741

Teil 4

Ein kosmischer Prozess 759

Kapitel 32

Grenzen der Wissenschaft 761

Beschränkungen innerhalb des Bereichs
der Wissenschaft 761

Grenzen des Bereichs der Wissenschaft 783

Eine weitere mögliche Beschränkung 787

Kapitel 33

**Überlegungen und Folgerungen zur Evolution des Menschen
als kosmischem Prozess** 788

Überlegungen 788

Folgerungen 791

Dank 799

Anmerkungen 804

Literaturverzeichnis 829

Glossar 836

Register 851

KAPITEL 1

DIE SUCHE

... wenn wir jedoch eine vollständige Theorie entdecken, dürfte sie nach einer gewissen Zeit in ihren Grundzügen für jedermann verständlich sein, nicht nur für eine Handvoll Spezialisten. Dann werden wir uns alle – Philosophen, Naturwissenschaftler und Laien – mit der Frage auseinandersetzen können, warum es uns und das Universum gibt. Wenn wir die Antwort auf diese Frage fänden, wäre das der endgültige Triumph der menschlichen Vernunft – denn dann würden wir Gottes Plan kennen.

Stephen Hawking, 1988

Denn erst wenn wir genügend gesicherte Erkenntnisse vereint haben, werden wir verstehen, wer wir sind und warum es uns gibt.

Edward O. Wilson, 2000

Was sind wir? Und warum sind wir hier? Diese Fragen schlagen die Menschen seit mindestens 25 000 Jahren in ihren Bann. Während des größten Teils dieser Zeit haben wir die Antwort im Glauben an übernatürliche Kräfte gesucht. Vor etwa 3000 Jahren begannen wir, die Antwort mithilfe der Philosophie zu suchen. Vor gerade mal 150 Jahren markierte Charles Darwins *Die Entstehung der Arten* einen vollkommen anderen Ansatz. Indem er die empirische Methode der Naturwissenschaften anwandte, gelangte er zu der Auffassung, wir seien das Ergebnis der biologischen Evolution. Vor ungefähr 50 Jahren wurde in der Kosmologie die Theorie entwickelt, dass Materie und Energie, aus denen wir letztlich bestehen, aus einem Big Bang oder Urknall hervorgegangen sind, durch den das Universum entstanden ist. Und vor etwa 30 Jahren begannen die Neurowissenschaften nachzuweisen, dass alles, was wir sehen, hören, fühlen und denken, mit der Aktivität von Neuronen in verschiedenen Teilen unseres Gehirns zusammenhängt.

Diese überragenden Errungenschaften der Naturwissenschaft wurden durch Fortschritte der Technologie ermöglicht, die für ein exponentielles Anwachsen der Daten sorgten. Das wiederum förderte die Verzweigung der Wissenschaft in immer engere und tiefer gehende Forschungsgebiete. In letzter Zeit hat niemand die Untersuchung seines speziellen Blattes an einem einzelnen Zweig ruhen lassen, um einen Schritt zurückzutreten und zu schauen,

welches Bild uns der gesamte evolutionäre Baum davon vermittelt, was wir sind, woher wir kamen und warum wir existieren.

Mit diesem Buch versuche ich genau das. Ich möchte herausfinden, welche durch systematische Beobachtungen oder Experimente abgesicherten Aussagen die Naturwissenschaft darüber machen kann, warum wir entstanden sind, wie wir uns vom Ursprung des Universums an entwickelt haben und ob wir uns unserem Wesen nach von allen anderen Tieren unterscheiden.

Dieser Fragestellung gehe ich in vier Teilen nach. In Teil 1 untersuche ich, welche Erklärungen die Naturwissenschaft für die Entstehung und Evolution von Materie und Energie anbietet; in Teil 2 setze ich mich entsprechend mit der Entstehung und Evolution von Leben auseinander, weil wir lebende Materie sind, in Teil 3 mit der Entstehung und Evolution des Menschen. In Teil 4 werde ich prüfen, ob in den wissenschaftlichen Belegen irgendwelche durchgängigen Muster vorhanden sind, die es erlauben, übergreifende Schlüsse zu ziehen.

In jedem Teil werde ich die zentrale Frage »Was sind wir?« in die Teilfragen zerlegen, die von den einschlägigen Fachgebieten untersucht werden. Anhand der wissenschaftlich anerkannten Veröffentlichungen jedes Gebiets versuche ich Antworten zu finden, die sich nicht aus Spekulationen oder Glaubensüberzeugungen ableiten, sondern empirisch belegt sind, und prüfe, ob sich in den Befunden ein Muster erkennen lässt, das weitergehende Schlussfolgerungen erlaubt. Nur wenn auf diese Weise keine zufriedenstellenden Erklärungen zu finden sind, werde ich abwägen, wie plausibel Hypothesen, Vermutungen und andere mögliche Wege zur Erkenntnis (wie intuitives Verstehen) sind.

Anschließend bitte ich Experten auf dem jeweiligen Gebiet (sie sind in der Danksagung aufgeführt), meine vorläufigen Ergebnisse auf sachliche Fehler, Lücken oder nicht nachvollziehbare Schlussfolgerungen zu prüfen.

Am Ende jedes Kapitels liste ich alle Schlussfolgerungen auf, damit Leser, die irgendeinen der eher fachspezifischen Abschnitte überspringen wollen, ersehen können, zu welchen Erkenntnissen ich gelangt bin.

Die Frage, was wir sind, hat mich seit Beginn meines naturwissenschaftlichen Studiums gefesselt. Abgesehen davon, dass ich Ko-Autor zweier Forschungsstudien war, ein Buch auf dem Gebiet der Sozialwissenschaften veröffentlicht habe und vier Jahre lang als Physik-Tutor in Teilzeit an der Open University beschäftigt war, bin ich nie als Wissenschaftler tätig gewesen und in diesem Sinn nicht für mein Vorhaben qualifiziert. Andererseits verfügen heutzutage nur wenige Forscher über das relevante Wissen außerhalb ihres Fachgebiets.

Wahrscheinlich werden viele dieser Experten den Eindruck haben, ich hätte ihr Gebiet nicht ausführlich genug dargestellt. In diesem Fall bekenne ich mich im Vorhinein schuldig. Ich habe mich bemüht, ein Buch zu schreiben, keine Bibliothek, und das erfordert zwangsläufig Verkürzungen, wenn man ein Gesamtbild der menschlichen Evolution herausarbeiten will – ein Bild davon, was wir sind und warum wir hier sind.

Trotz aller Bemühungen, Fehler zu korrigieren, dürften sich bei einer solchen Unternehmung einige Details als fehlerhaft erweisen, wofür ich die volle Verantwortung übernehme. Womöglich wird manches auch durch neue Forschungsergebnisse zwischen Schreiben und Veröffentlichung überholt sein, aber die Wissenschaft macht nun einmal – anders als der Glaube – Fortschritte. Ich hoffe jedoch, dass das Buch einen übergeordneten Rahmen bereitstellt, den andere verbessern und als Basis für weitere Arbeiten nutzen können.

Eine Mehrheit der Weltbevölkerung akzeptiert allerdings nicht, dass wir das Ergebnis eines evolutionären Prozesses sind. Sie glaubt an verschiedene Mythen, die unsere Ursprünge erklären sollen. Deshalb beginne ich mit einem Kapitel darüber, was diese Mythen ausmacht, warum sie sich auch fast 500 Jahre nach dem Beginn der wissenschaftlichen Revolution noch halten, und ob sie das naturwissenschaftliche Denken beeinflusst haben.

Viele Meinungsverschiedenheiten ergeben sich daraus, dass verschiedene Menschen dasselbe Wort in unterschiedlichen Bedeutungen verwenden. Bedeutungen wandeln sich mit der Zeit und sind je nach kulturellem Kontext verschieden. Um Missverständnisse möglichst gering zu halten, werde ich die von mir gemeinte Bedeutung jedes wichtigen und potenziell zweideutigen Wortes definieren, wenn ich es das erste Mal verwende. Außerdem findet sich am Ende des Buches ein Glossar mit solchen Begriffen, das zudem die Definitionen unvermeidbarer Fachausdrücke enthält.

Das erste Wort, das nach einer Definition verlangt, ist »Wissenschaft«. Es ist von »Wissen« abgeleitet. Man kann verschiedene Arten von Wissen auf unterschiedlichen Wegen erwerben oder schlicht behaupten, darüber zu verfügen. Ungefähr vom 16. Jahrhundert an stand der Begriff zunehmend für das Wissen von der – unbelebten und belebten – Natur, das durch Beobachtung und Experiment erlangt wird; damit unterschied es sich von Wissen, das allein durch Nachdenken, intuitives Verständnis oder Offenbarung zustande kommt. Folglich muss eine Definition der (Natur-)Wissenschaft* die Metho-

* Im Folgenden wird in der Regel nur noch der Begriff »Wissenschaft« verwendet. – Anm. d. Ü.

den berücksichtigen, mit denen ihr Wissen gewonnen wird. Unser derzeitiges Verständnis von Wissenschaft ließe sich folgendermaßen zusammenfassen:

Wissenschaft — Der Versuch, Naturphänomene mithilfe systematischer, vorzugsweise messbarer Beobachtungen oder Experimente zu verstehen und zu erklären, und aus den so gewonnenen Ergebnissen durch die Anwendung logischer Überlegungen überprüfbare Gesetze abzuleiten und Vorhersagen oder Retrodktionen zu machen.

Retrodktion — Ein Befund aus der Vergangenheit, der sich aus später entwickelten wissenschaftlichen Gesetzen oder Theorien ableiten oder mit ihrer Hilfe vorausberechnen lässt.

Die Wissenschaft zielt darauf ab, ein Gesetz oder eine allgemeine Theorie zu formulieren, die das unveränderliche Verhalten eines Systems von Erscheinungen erklärt. Ein Gesetz oder eine Theorie dieser Art verwenden wir, indem wir es auf konkrete Phänomene innerhalb des Systems anwenden, um künftige Ereignisse vorherzusagen. So können wir innerhalb des Systems bewegter Objekte mithilfe von Newtons Bewegungsgesetzen vorhersagen, was passiert, wenn wir eine bestimmte Rakete unter bestimmten Bedingungen abfeuern.

Die Wissenschaft kann uns auch über Ergebnisse in der Vergangenheit informieren. Mit einer solchen Retrodktion können wir beispielsweise aus der Theorie der Plattentektonik ableiten, dass ähnliche Fossilien aus der Zeit vor dem Auseinanderbrechen des Superkontinents Pangäa vor etwa 200 Millionen Jahren sowohl an der östlichen Küstenlinie Südamerikas als auch an der gegenüberliegenden westlichen Küstenlinie Südafrikas zu finden sein werden.

Vom 18. Jahrhundert an wurde die Untersuchung von Naturphänomenen auf Menschen und ihre sozialen Beziehungen ausgedehnt. Die Anwendung der wissenschaftlichen Methode auf diesem Gebiet führte im 19. Jahrhundert zur Herausbildung der Sozial- und Geisteswissenschaften, ein Oberbegriff, der Disziplinen wie Archäologie, Anthropologie, Soziologie, Psychologie, Politische Wissenschaft und sogar Geschichte abdeckt. Wichtige Erkenntnisse dieser Disziplinen werde ich in Teil 3 abhandeln.

Einige bezeichnen Mathematik als Naturwissenschaft, doch ihr Forschungsgebiet erstreckt sich weit über Naturphänomene hinaus, und ihre Theorien können nicht empirisch überprüft werden. Im Rahmen dieser Untersuchung halte ich es für besser, Mathematik als eine Sprache einzustufen, in der einige

Aspekte der Naturwissenschaften und speziell deren Gesetze ausgedrückt werden können.

In der Wissenschaft hat »Theorie« eine speziellere Bedeutung als im allgemeinen Sprachgebrauch, doch selbst in der Wissenschaft benutzt man die Begriffe »Theorie« und »Hypothese« oft recht frei. Daher ist es hilfreich, zwischen den beiden zu unterscheiden.

Hypothese — Eine vorläufige Theorie, die man aufstellt, um ein Phänomen oder eine Gruppe von Phänomenen zu erklären; man nutzt sie als Basis für weitere Untersuchungen. Gewöhnlich entwickelt man sie entweder durch intuitives Verstehen oder durch induktives Denken, nachdem man unvollständige Belege untersucht hat. Es muss möglich sein, sie zu falsifizieren.

Das Kriterium der Falsifizierbarkeit wurde von dem Wissenschaftsphilosophen Karl Popper aufgestellt. In der Praxis dürfte es nicht immer einfach umzusetzen sein, doch die meisten Wissenschaftler akzeptieren zumindest das Prinzip, dass eine wissenschaftliche Hypothese im Unterschied zu einer Mutmaßung oder Glaubensüberzeugung empirischen Tests unterzogen werden muss, durch die sie falsifiziert werden kann.

Theorie — Eine Erklärung für eine Gruppe von Phänomenen, die durch eine Reihe unabhängiger Experimente oder Beobachtungen bestätigt wurde und dazu verwendet wird, genaue Vorhersagen oder Retrodktionen über solche Phänomene zu machen.

Je größer die Bandbreite der erklärten Phänomene ist, desto nützlicher ist eine wissenschaftliche Theorie. Da sich die Wissenschaft durch die Entdeckung neuer Fakten und die Anwendung neuer Denkweisen weiterentwickelt, kann eine wissenschaftliche Theorie zwar infolge widersprechender Tatsachen abgewandelt oder widerlegt werden, doch absolut beweisen lässt sie sich nie. Manche wissenschaftlichen Theorien sind aber allgemein als gut abgesichert anerkannt. So hat man beispielsweise die Theorie widerlegt, dass die Erde der Mittelpunkt des Universums ist und die Sonne und andere Sterne um sie kreisen, wohingegen die Theorie, dass die Erde die Sonne umkreist, durch so viele Beobachtungen und präzise Vorhersagen bestätigt wurde, dass sie als gesicherte Tatsache gilt. Doch selbst das muss nicht immer so bleiben. Es ist sogar sehr wahrscheinlich, dass es in etwa fünf Milliarden Jahren nicht mehr zutrifft: Dann wird sich die Sonne den meisten Berechnungen zufolge in einen

KAPITEL 2

URSPRUNGSMYTHEN

Ich möchte wissen, wie Gott diese Welt erschaffen hat.

Albert Einstein, 1955

Also ist ohne Zweifel die Welt nicht in der Zeit, sondern zugleich mit der Zeit erschaffen worden.

St. Augustinus von Hippo, 417

Seit dem 11. Februar 2003* lautet die gewöhnlich als Tatsache dargestellte Lehrmeinung der Wissenschaft, dass das Universum einschließlich Raum und Zeit, Materie und Energie vor 13,7 Milliarden Jahren mit einer Explosion zu existieren begann. Zunächst ein punktförmiger Feuerball von unendlicher Dichte und unglaublich hoher Temperatur, dehnte es sich aus und kühlte ab, bis es schließlich die Gestalt angenommen hatte, die wir heute erblicken. Das sei der Big Bang, aus dem wir hervorgegangen sind.

Bevor ich mich damit befasse, ob die Wissenschaft unsere Evolution aus dem Ursprung von Materie und Energie erklären kann, möchte ich kurz auf die Ursprungsmythen eingehen, an die eine große Mehrheit der Weltbevölkerung glaubt. Es ist aufschlussreich, die Grundideen der verschiedenen Mythen sowie die vielfältigen Erklärungen zu untersuchen, welche die Sozialwissenschaften für sie gefunden haben, und zu sehen, wie weit diese Erklärungen einer empirischen Überprüfung oder Vernunftkriterien standhalten, warum die Mythen bestehen blieben und in welchem Umfang sie das wissenschaftliche Denken beeinflusst haben.

* An diesem Tag verkündeten Wissenschaftler der NASA, Daten der satellitengestützten Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) hätten das Big-Bang-Modell bestätigt und sie in die Lage versetzt, das Alter des Universums mit der beispiellosen Präzision einer Fehlerspanne von einem Prozent zu bestimmen. Am 21. März 2013 gaben Wissenschaftler der Europäischen Raumfahrtagentur ESA bekannt, Daten ihres Planck-Raumteleskops zufolge müsse das Alter des Universums auf 13,82 Milliarden Jahre korrigiert werden.

Grundmotive

In allen Kulturen der überlieferten Geschichte gibt es eine oder mehrere Erzählungen darüber, wie das Universum und wir Menschen entstanden sind. Verstehen zu wollen, woher wir kommen, ist Teil eines im Menschen angelegten Wunsches zu verstehen, was wir sind. Der *Rigveda* als ältester heiliger Text der Welt und wichtigste Schrift dessen, was heute als Hinduismus bezeichnet wird, enthält in seinem zehnten Buch der Hymnen an die Götter drei solcher Mythen. Die *Brahmana*-Texte – der zweite, weitgehend Ritualen gewidmete Teil jeder *Veda* – bieten andere, während die meisten der *Upanishaden* – Berichte über die mystischen Eingebungen von Sehern, die traditionell ans Ende der *Veden** angehängt sind – lediglich ein einziges Verständnis der Ursprünge des Universums auf unterschiedliche Weise ausdrücken.¹ Jüdisch-christliche und islamische Kulturen stimmen in ihren Schöpfungserklärungen weitgehend überein, andere Kulturen besitzen ihre jeweils eigenen. In China gibt es mindestens vier Ursprungsmythen, die in mehreren Versionen vorliegen. Auch wenn jeder Mythos anders ist,² tauchen neun Grundmotive immer wieder auf; einige davon überlappen sich.

Urchaos oder Urgewässer

Viele Mythen berichten von einem präexistenten Chaos, das oft als Wasser versinnbildlicht wird; aus diesem geht ein Gott hervor, der die Welt oder Teile davon erschafft. Als die Pelasger um 3500 v. Chr. von Kleinasien her auf die griechische Halbinsel zogen, brachten sie die Geschichte der Schöpfergöttin Eurynome mit, die nackt dem Chaos entsprungen ist.³ Die Mythen von Heliopolis in Ägypten aus dem vierten Jahrtausend v. Chr. sprechen von Nu, der Urflut, aus der Atum auftauchte; dieser masturbierete, und aus seinem Sperma wurde die Welt. Um 2400 v. Chr. wurde Atum mit dem Sonnengott Re (auch als Ra bekannt) gleichgesetzt, und sein Erscheinen brachte man mit der aufgehenden Sonne und der Vertreibung der chaotischen Finsternis in Zusammenhang.

* Siehe Glossar am Ende des Buches; dort findet sich eine ausführlichere Erklärung dieser Begriffe.

Erdtaucher

In Sibirien, Asien und bei manchen Stämmen der amerikanischen Ureinwohner sind Mythen von einem Urtier – oft eine Schildkröte oder ein Vogel – verbreitet, das in die Urgewässer taucht und ein Stück Land zutage fördert, das sich später zur Welt erweitert.

Das Weltenei

In Teilen Indiens, Asiens, Europas und im pazifischen Raum gilt ein Ei als Ursprung der Schöpfung. Dem Shatapatha-Brahmana zufolge haben die Urgewässer den Schöpfergott Prajapati in Form eines goldenen Eis hervorgebracht. Nach einem Jahr sprengt er die Schale und versucht zu sprechen. Sein erstes Wort wird zur Erde, sein zweites zur Luft und so weiter. Eine Version des chinesischen Pangu-Mythos beginnt mit einem großen kosmischen Ei, in dem Pangu als Embryo im Chaos treibt. Im orphischen Schöpfungsmythos des griechischen Altertums, der aus dem siebten oder sechsten Jahrhundert v. Chr. stammt und sich von den olympischen Mythen Homers abhebt, erschafft die Zeit das silberne kosmische Ei, aus dem der zweigeschlechtliche Phanes-Dionysos schlüpft, der in sich die Samen aller Götter und aller Männer trägt und Himmel und Erde erschafft.

Welteltern

In einem weitverbreiteten Motiv zeugt der Weltenvater – gewöhnlich der Himmel – mit der Weltenmutter – gewöhnlich die Erde – die Elemente der Welt. Oft bleiben die Eltern in leidenschaftlicher Umklammerung liegen und verhalten sich ihren Kindern gegenüber gleichgültig, etwa in einem Schöpfungsmythos der Maori.

Rebellion der Kinder

In mehreren Mythen erhebt sich der Nachwuchs gegen die Welteneltern. Die Kinder im Mythos der Maori – Wälder, Nahrungspflanzen, Ozeane und Menschen – kämpfen mit ihren Eltern um Raum. Der wohl bekannteste Mythos dieser Art ist die *Theogonie* des Griechen Hesiod aus dem achten Jahrhundert v. Chr. Darin zeichnet er die Rebellion aufeinanderfolgender Generationen von Göttern gegen ihre Eltern nach – die ersten von ihnen waren Chaos, Gaia (die Erde), Tartaros (die Unterwelt) und Eros (die Liebe); am Ende steht der Triumph des Zeus.

Opfer

Oft findet sich die Vorstellung einer Schöpfung durch eine Opfergabe. Im chinesischen Pangu-Mythos heißt es: »Die Welt war erst fertig, als Pangu starb. Denn nur sein Tod konnte das Universum vervollkommen. Aus seinem Schädel wurde die Himmelskuppel gebildet, aus seinem Fleisch der Humus der Äcker ... Und aus dem Ungeziefer, das seinen Körper bedeckte, entstand die Menschheit.«⁴

Urschlacht

Das große babylonische Epos *Enuma Elish* schildert den Krieg zwischen den sumerischen Göttern und dem babylonischen Stadtgott Marduk und dessen Gefolgschaft. Marduk tötet die überlebende Urgöttin Tiamat und ihre Chaosmonster, schafft Ordnung und wird zum höchsten, universellen Schöpfergott: Die gesamte Natur mitsamt den Menschen verdankt ihm ihre Existenz. Ähnliche Mythen treten überall auf der Welt in Erscheinung, so etwa wenn auf dem Olymp die männlichen Himmelsgötter der eindringenden Arier über die fruchtbaren Erdgöttinnen der Pelasger und Kreter siegen.

Schöpfung aus dem Nichts

Nur wenige Mythen enthalten das Motiv einer Schöpfung aus dem Nichts. Doch der entsprechende Glaube gehört nicht nur zu denen, die am weitesten verbreitet sind, sondern stimmt auch mit der derzeit favorisierten wissenschaftliche Erklärung überein.

Die älteste Version des Motivs findet sich im *Rigveda*. Dessen Datierung durch Max Müller im 19. Jahrhundert wird durch jüngste archäo-astronomische Untersuchungen in Frage gestellt – sie stützen die indische Überlieferung; demnach wurde der *Rigveda* von etwa 4000 v. Chr. an über einen Zeitraum von 2000 Jahren zusammengetragen.⁵ Im zehnten und letzten Buch steht in der Hymne 129: »Weder Nichtsein noch Sein war damals; nicht war der Luftraum noch der Himmel darüber [...] Es atmete nach seinem Eigengesetz ohne Windzug dieses Eine. Irgendein Anderes als dieses war weiter nicht vorhanden.«

Dieser Gedanke wird in den *Upanishaden* weiterentwickelt, deren wichtigste wahrscheinlich zwischen 1000 und 500 v. Chr. niedergeschrieben wurden. Ihre zentrale Einsicht wird in der *Chandogya-Upanishad* auf den Punkt gebracht: Das Universum geht aus Brahman hervor und kehrt dorthin zurück; alles ist Brahman. In verschiedenen *Upanishaden* werden Metapher, Allegorie, Pabel,

Dialog und Anekdote eingesetzt, um Brahman als ultimative, außerhalb von Raum und Zeit existierende Realität darzustellen, aus der alles hervorgeht und aus der alles besteht. Allgemein wird es als kosmisches Bewusstsein oder Geist oder Höchste Gottheit jenseits aller Form gedeutet.

Eine ähnliche Vorstellung kennt auch der Taoismus. Sein wichtigster Text, in China als *Lao-Tzu* und im Westen als *Tao-Te-King* bekannt, wurde wahrscheinlich vom sechsten bis zum dritten Jahrhundert v. Chr. zusammengetragen. Er betont die Einheit und Ewigkeit des Tao, des Weges. Das Tao ist »nichts« insofern, als es »kein Ding« ist. Es hat weder Namen noch Form, es ist die Grundlage allen Seins und die Form allen Seins. Der Weg oder das Nichts lässt die Existenz entstehen, die Existenz lässt die Gegensätze von Yin und Yang entstehen, und Yin und Yang lassen alles entstehen: männlich und weiblich, Erde und Himmel und so weiter.

Das erste Buch der hebräischen Bibel, nicht vor dem späten siebten Jahrhundert v. Chr.⁶ verfasst, beginnt mit den Worten: »Am Anfang schuf Gott Himmel und Erde.«⁷ Der nächste Vers beschreibt die Erde in einer Weise, die an die Mythen von einem Urchaos aus Wasser erinnert, danach spricht Gott, es werde Licht, und das Licht wird erschaffen, und schließlich scheidet Gott an diesem ersten Schöpfungstag noch das Licht von der Dunkelheit. In den folgenden fünf Tagen erschafft er in gleicher Weise durch sein Gebot alles andere im Universum.

Im Koran, der vom siebten Jahrhundert n. Chr. an verfasst wurde, erschafft Gott Himmel und Erde ebenfalls durch sein Gebot.⁸

Ewiger Kreislauf

Mehrere aus Indien stammende Mythen bestreiten, dass das Universum geschaffen worden sei, und behaupten stattdessen, es habe schon immer existiert, sei jedoch Zyklen unterworfen.

Buddha meinte im fünften Jahrhundert v. Chr., wer versuche, Mutmaßungen über den Ursprung des Universums anzustellen, werde dem Wahnsinn anheimfallen.⁹ Seine Anhänger ließen sich dennoch nicht davon abhalten. Dabei wandten sie seine Erkenntnis an, wonach die Dinge nicht von Dauer sind, ständig entstehen, werden, sich verändern und wieder vergehen. Deshalb lehren die meisten buddhistischen Schulen heute, dass das Universum sich in einem ewigen Kreislauf ausdehnt und zusammenzieht, sich ins Nichtsein auflöst und wieder ins Sein zurückentwickelt.

Möglicherweise wurden sie von den Jainisten beeinflusst, deren letzter Tirthankara (wörtlich Furtbereiter, der zeigt, wie der Fluss der Wiedergeburten

zu überqueren ist, um zum Zustand ewiger Befreiung der Seele zu gelangen) bereits vor Buddha in Ostindien zu lehren begann. Die Jainisten glauben, das Universum sei nicht erschaffen worden und ewig. Die Zeit ist für sie wie ein Rad mit zwölf Speichen, die das Maß für *Yugas* oder Weltalter bilden, die jeweils 1000 Jahre dauern. Sechs *Yugas* bilden einen aufsteigenden Bogen, in dem Wissen und Glück der Menschen zunehmen, während diese Eigenschaften in den sechs *Yugas* des absteigenden Bogens abnehmen. Wenn der Zyklus seinen tiefsten Punkt erreicht, ist selbst der Jainismus verloren. Im Lauf des folgenden Aufschwungs wird das jainistische Wissen wiederentdeckt und durch neue Tirthankaras abermals verbreitet werden, nur um am Ende des nächsten Abschwungs im endlos kreisenden Rad der Zeit wieder verloren zu gehen.

Dies ähnelt den meisten Glaubensinhalten des Yoga, das sich aus der vedischen Philosophie ableitet. Üblicherweise gehen sie von nur vier *Yugas* aus. Das erste – Satya Yuga oder Krita Yuga – dauert 1 728 000 Jahre, während das vierte – Kali – 432 000 Jahre dauert. Der Abstieg von Satya zu Kali geht mit einer fortschreitenden Schädigung des *Dharma* oder der Rechtschaffenheit einher und ist mit einer Abnahme der menschlichen Lebensdauer und einem Verfall moralischer Normen verknüpft. Unglücklicherweise befinden wir uns derzeit im Zeitalter von Kali.

Erklärungen

Die vielen Erklärungen für diese Ursprungsmythen lassen sich in fünf Kategorien einordnen.

Buchstäbliche Wahrheit

Weil jeder Ursprungsmythos anders ist, können nicht alle buchstäblich wahr sein. In manchen Kulturen geht man jedoch davon aus, beim *eigenen* Mythos sei das sehr wohl der Fall. 63 Prozent der Amerikaner sind fest davon überzeugt, dass die Bibel das Wort Gottes und im Wortsinn wahr ist,¹⁰ gleichzeitig glaubt die überwiegende Mehrheit* der 1,6 Milliarden Muslime weltweit an die

* Die mystischen und modernistischen Strömungen des Islam sind inzwischen marginalisiert; siehe Ahmed (2007).

buchstäbliche Wahrheit des Koran, weil er das ewige Wort Gottes sei, das auf einer Tafel im Himmel niedergeschrieben und Mohammed durch den Erzengel Gabriel diktiert worden sei.

Viele, die an die buchstäbliche Wahrheit der Bibel glauben, stimmen auch James Ussher zu, der anhand der *Genesis* errechnet hat, dass die sechstägige Erschaffung des Universums am Samstag, dem 22. Oktober 4004 v. Chr., um 18 Uhr vollendet gewesen sei.*¹¹ Die radiometrische Datierung von Gesteinen, Fossilien und Eisbohrkernen hat jedoch erdrückende geologische, paläontologische und biologische Befunde geliefert, wonach die Erde mindestens 4,3 Milliarden Jahre alt ist. Astronomische Daten deuten darauf hin, dass das Universum vor 10 bis 20 Milliarden Jahren entstanden ist. Die wissenschaftlichen Beweise gegen den Kreationismus sind also zwingend.¹² An eine buchstäbliche Wahrheit der Bibel zu glauben heißt außerdem, mindestens zwei einander widersprechenden Schilderungen der Schöpfung anzuhängen. In Mose 1:26-1 erschafft Gott Pflanzen und Bäume am dritten Tag, Fische und Vögel am fünften Tag, Tiere zu Beginn des sechsten Tages und Mann und Frau nach seinem Ebenbild erst an dessen Ende. In Mose 2 dagegen erschafft Gott zuerst den Mann aus Staub; erst danach legt er einen Garten an und lässt Pflanzen und Bäume wachsen; aus der Erde erschafft er dann all die Tiere und Vögel – Fische werden gar nicht erwähnt –, und am Ende lässt er aus der Rippe des Mannes eine Frau entstehen.

Auch diejenigen, die an eine buchstäbliche Wahrheit des Koran glauben, stehen vor einem logischen Widerspruch: In Sure 41:9-12 hat Gott Erde und Himmel in acht Tagen geschaffen, in Sure 7:54 sind es sechs Tage.

Metaphorik

Barbara Sproul, eine der führenden Expertinnen auf diesem Gebiet, ist der Meinung, dass die Ursprungsmythen zwar nicht buchstäblich wahr sein mögen, jedoch allesamt ihre Wahrheiten metaphorisch ausdrücken. Als einzigen Beleg führt sie an, wie der Ethnologe Marcel Griaule die Aussage eines Weisen der Dogon deutet, wonach der Mythos seines Volkes in Worten der niederen Welt auszusprechen sei. Ansonsten erklärt sie lediglich die eigentliche Bedeutung verschiedener Ursprungsmythen. Im Heliopolis-Mythos repräsentiert

* Da Ussher (1581–1656) Erzbischof im irischen Armagh war, ist hier vermutlich die Greenwich Mean Time gemeint.

demnach der Schöpfergott, der durch Masturbation die Welt hervorbringt, die internalisierte Dualität, in der sich jegliche Dualität manifestiert, und er »wird heilig und enthüllt uns das Wesen der Wirklichkeit, sobald wir verstehen, was gemeint ist.«¹³ Sproul bleibt jeden Beleg schuldig, dass die Schöpfer des Heliopolis-Mythos oder gar die Bevölkerung von Heliopolis vor 5000 Jahren ihre Ansicht teilten.

Was die anderen von ihr zitierten Beispiele angeht, kann man sich schwer des Eindrucks erwehren, dass sie einfach ihre eigenen Interpretationen aus dem späten 20. Jahrhundert auf diese Mythen projiziert. Wenn 63 Prozent der Bevölkerung in der technologisch am weitesten entwickelten Nation auf Erden glauben, dass ein Schöpfungsmythos aus der *Genesis* buchstäblich wahr ist: Kann man dann vernünftigerweise annehmen, dass nomadische Stämme vor 4000 Jahren oder auch die Schreiber des Königs Joschija vor 2500 Jahren glaubten, es handle sich um eine Metapher?

Es ist zwar einleuchtend, aus dem Kontext *mancher* Ursprungserklärungen wie etwa jener in den *Upanishaden* zu schließen, dass sie absichtlich Metaphern verwenden, doch Sproul bietet keine Belege dafür, dass die meisten dieser Mythen nicht als wörtlich zu verstehende Berichte gedacht waren oder nicht als solche aufgefasst wurden.

Der Aspekt einer absoluten Wirklichkeit

Sproul hält daran fest, dass alle Religionen eine absolute Wirklichkeit verkünden, die sowohl transzendent (immer und überall wahr) als auch immanent (im Hier und Jetzt wahr) ist. Sie meint: »Die eigentliche Aufgabe der Schöpfungsmythen ist es gerade, diese absolute Wirklichkeit zu proklamieren.«¹⁴ Zudem zeige ihre Sammlung von Schöpfungsmythen, »dass sich die Mythen ihrer wesentlichen Essenz nach nicht voneinander unterscheiden. Sie lässt aber sehr wohl eine Vielzahl ähnlicher Perspektiven erkennen, ausgehend von einer Fülle unterschiedlicher Standpunkte.«¹⁵

Demnach ist in vielen Ursprungsmythen von polaren Gegensätzen die Rede: hell und dunkel, Geist und Materie, männlich und weiblich, gut und böse und so weiter. Die besonders tief sinnigen Mythen gehen bis zum Gegensatz von Sein und Nichtsein zurück, wobei manche – wie die *Changoya-Upanishad* – besagen, das Nichtsein sei durch das Sein hervorgebracht worden, während andere – wie ein Maori-Mythos – behaupten, das Nichtsein selbst sei die Quelle allen Seins und Nichtseins. Einige sehen den Ursprung aller Gegensätze als Chaos, in dem alle Unterscheidungen potenziell vorhanden sind; die Schöpfung findet

statt, sobald das Chaos Form annimmt und auf das übrige Nichtgeformte einwirkt, um weitere Unterscheidungen zu erschaffen und so die Welt hervorzu- bringen. »Was ist hierbei die absolute Wirklichkeit? Das Chaos an sich? Oder das ›Kind‹ des Chaos, das wieder auf das Chaos zurückwirkt? *Beide*. Sie sind ein und dasselbe.«¹⁶

Die offenkundigen Unterschiede zwischen den Mythen entstehen demnach nur, weil sie alle das Nicht-Wissbare in bekannten und vertrauten Begriffen ausdrücken; gewöhnlich versuchen sie, das Absolute mit relativen Vorstellungen oder Anthropomorphisierungen zu beschreiben. Laut Sproul setzen selbst Buddhismus, Jaininismus und Yoga-Lehre, die einen Schöpfungsakt zurückweisen, ihr ewiges Universum nicht von einem solchen ab, das erschaffen wurde. Mythen, die von Schöpfungsakten handeln, verzeitlichen nur: Sie sprechen vom Absoluten als etwas zuerst Dagewesenem.

Dass alle Ursprungsmythen Aspekte der gleichen absoluten Wirklichkeit enthüllen, ist eine faszinierende Behauptung. Sie wird jedoch durch keinerlei wissenschaftliche Belege gestützt. Erklären lässt sie sich vielmehr dadurch, dass Sproul diese Mythen so interpretiert, dass sie mit ihrer eigenen Vorstellung von absoluter Wirklichkeit in Einklang stehen.

Archetypische Wahrheit

Laut Sproul, die bei Joseph Campbell studiert hat, sind Schöpfungsmythen nicht nur von historischem Interesse. Sie würden auch archetypische Werte offenlegen, mit denen sich unser persönliches Wachstum besser verstehen lässt – »körperlich, seelisch und geistig im Rahmen des zyklischen Fließens von Sein und Nichtsein und schließlich in der absoluten Vereinigung dieser beiden«.¹⁷

Dieser Rückgriff auf Campbells von Jung abgeleitete Psychologie liefert allerdings keine überzeugende Erklärung.

Fötales Erleben

Der Molekularbiologe Darryl Reaney meint, das verbreitete Motiv eines prä-existenten, dunklen und formlosen Gewässers, in das Licht eintritt und die Geburt des Universums einleitet, könnte vielleicht durch unterschwellige Erinnerungen an das Geburtserlebnis des Fötus aus den dunklen, gestaltlosen und nährenden Wassern des Mutterleibs erklärt werden. »Eindrücke vom Geburtserlebnis im pränatalen Gehirn stellen die Weichen dafür, dass Mythen eine

speziell konfigurierte symbolische Bildsprache entwickeln, die äußerst empfindliche Saiten der Psyche anschlägt.«¹⁸ Um das zu untermauern, verweist er darauf, dass im Großhirn von Föten etwa vom siebten Monat an elektrische Aktivität aufgezeichnet werden kann (jüngere Daten deuten darauf hin, dass dies vor dem sechsten Monat einsetzt).

Eine interessante Vermutung – es ist aber schwer ersichtlich, wie sie bestätigt oder widerlegt werden kann.

Ich schlage drei andere Erklärungen vor.

Eingeschränktes Verständnis von Naturerscheinungen

In dem Stadium der menschlichen Evolution, in dem diese Mythen entstanden, besaßen die meisten Kulturen ein falsches oder begrenztes Verständnis von den Kräften der Natur, und mit Ausnahme Ostindiens und Teilen Chinas hatte das philosophische Nachdenken noch nicht begonnen.

Dass in so vielen Mythen das Element des Urgewässers auftaucht, dürfte auf denselben Grund zurückzuführen sein, aus dem viele Völker der Jungsteinzeit ihre Siedlungen an den Ufern eines Flusses anlegten. Sie nutzten das Wasser zum Trinken und für andere alltägliche Zwecke sowie zur Bewässerung ihrer Ackerfrüchte. Wasser war die Quelle von Leben und Fruchtbarkeit, vor dem Aufkommen der Städte wurde es gewöhnlich mit dem Geist oder der Gottheit des Lebens in Zusammenhang gebracht.

Die meisten Mythen stammen aus Kulturen der Bronzezeit, in der man noch keine Wissenschaft – abgesehen von Astronomie – kannte. Sollten die Weisen den Ursprung der Welt erklären, gingen sie von ihren eigenen Erfahrungen einer Schöpfung aus. Und weil Menschen und Tiere durch die sexuelle Vereinigung von Vater und Mutter gezeugt wurden, wurde auch die Welt an sich durch die Vereinigung eines Vaters und einer Mutter erschaffen. Um die Welt zu befruchten, musste dieser Vater allmächtig sein, und die mächtigste Kraft, die die Menschen kannten, war der Himmel; er sandte die Wärme der Sonne, Donner, Blitz und den Regen, mit dem alles befruchtet wird, was wächst. Die Mutter wiederum musste, um mit der Welt schwanger zu gehen, allfruchtbar sein, und das fruchtbarste, was sie kannten, war die Erde, aus der alle Bäume, Pflanzen und Feldfrüchte wuchsen. Daher der Himmel als Vatergott und die Erde als Muttergöttin.

Die Weisen unterschiedlicher Völker verstanden das Ei als das Ding, aus dem das Leben hervorgeht. Deshalb musste auch der Kosmos oder der Gott, der ihn erschafft, aus einem Ei geschlüpft sein. Andere Weise bemerkten die

Zyklen von Sonne, Mond, Jahreszeiten und Ernten. Alles schwindet, stirbt, erscheint wieder und wächst in scheinbar endloser Folge. Wenn die wesentlichen Bestandteile des Universums diesem Muster unterworfen sind, dann muss das auch für das Universum selbst gelten.

Politische und kulturelle Bedürfnisse

Mit der Bronzezeit hatten die von den Jägern und Sammlern sowie den frühen Ackerbaukulturen angerufenen Naturgeister sich zu Göttern entwickelt, deren funktionale Hierarchie jene der sich entwickelnden Stadtstaaten widerspiegelte, während ihre Ursprungsmythen oft politische oder kulturelle Bedürfnisse erfüllten.

So wurde Atum, den man im Heliopolis des 4. Jahrtausends v. Chr. als eigenständigen Schöpfergott verehrt hatte, von den Theologen des Pharaos Menes zu einem Abkömmling und Erfüllungsgehilfen von Ptha heruntergestuft, der bis dahin nur der Gott des Schicksals gewesen war. Nun wollten sie diesen zu einem Schöpfergott erheben, weil er eine lokale Gottheit von Memphis war und Menes in Memphis eine neue Hauptstadt errichtet hatte.

Die Mythen von einer Schöpfung durch eine Urschlacht lassen sich in der Regel ebenfalls auf diese Weise erklären. Im babylonischen Mythos *Enuma Elish* schlägt Marduk die Göttin Tiamat und ihre Chaosmonster; seine Erhebung zum Schöpfergott heiligt und legitimiert den Triumph der Babylonier über die alten sumerischen Mächte und die Errichtung der eigenen Ordnung im ganzen Sumer.

Archäologische Funde aus dem späten 20. Jahrhundert¹⁹ legen nahe, dass auch die biblische Darstellung einer Schöpfung durch das Wort Gottes wahrscheinlich mit politischen und kulturellen Bedürfnissen zu erklären ist. Im späten 7. Jahrhundert v. Chr. gab König Joschija seinen Schreibern den Auftrag, aus den Mythen und Legenden der Region einen kanonischen Text zusammenzustellen, der die Vereinigung seines Königreichs Juda mit dem nunmehr geschlagenen Königreich Israel unter einem absolut herrschenden Patriarchen und mit einem einzigen Gesetzescodex heiligen und legitimieren sollte. Jahwe, der lokale Gott Judas, der ursprünglich die Göttin Aschera als Gemahlin gehabt hatte, wurde nun nicht nur zum obersten, sondern zum einzigen Gott. Jahwe ist der Name Gottes in der Schöpfungsgeschichte des 2. Buches Mose. Um das Volk Israel aber dazu zu bringen, die Vereinigung zu akzeptieren, wird er als derselbe wie ihre Götter angesehen. Elohim, wie Gott im 1. Buch Mose genannt wird, ist die Gattungsbezeichnung für ein göttliches Wesen und wurde von den

Kanaanitern, deren Territorium und Kultur die Israeliten übernommen hatten, zur Bezeichnung ihres gesamten Götterpantheons verwendet. Dessen Mitglieder werden im 1. Buch Mose zu einer einzigen Gottheit zusammengefasst. Dieser eine Gott spiegelte die Rolle des absoluten Herrschers der Vereinigten Königreiche von Juda und Israel wider, die Joschija geheiligt haben wollte: Er musste nur etwas aussprechen, und es wurde vollzogen; so wurde die Welt erschaffen.

Mythen auf diese Weise zu verändern ist nicht das Vorrecht des Eroberers. Die Schöpfungsgeschichte der Chiricahua-Apachen stellt eine tragikomische Verschmelzung des Alten Testaments mit ihrer eigenen Mythologie aus der Zeit vor der Eroberung dar. So ertränkt die Sintflut diejenigen, welche die Berggötter Blitz und Wind verehren. Nachdem die Wasser abgeflossen sind, werden zwei Männern ein Gewehr sowie Pfeil und Bogen vorgelegt. Der erste wählt das Gewehr und wird zum weißen Mann, der andere muss Pfeil und Bogen nehmen und wird zum Indianer.

Intuitive Erkenntnis

Manche Kulturen in Indien und China legten Wert darauf, den Geist zu lehren, sich nach innen auszurichten und unmittelbare Erkenntnis zu erlangen, indem man mit dem Gegenstand der Untersuchung eins wird. Durch diese Art der Meditation gelangten indische Seher zu der Einsicht, dass *Atman*, die Essenz des Selbst, identisch sei mit dem Universum, welches wiederum identisch sei mit Brahman, der unbeschreibbaren, aus sich selbst heraus existierenden Entität, aus dem es hervorgegangen ist. Diese mystische Erkenntnis hat große Ähnlichkeit mit jener der frühen Taoisten und späterer Seher in anderen Ländern. Der Kern dieser gemeinsamen Erkenntnisse sollte von den kulturell gebrochenen Deutungen ihrer Anhänger unterschieden werden, denen oft das Verständnis von Naturerscheinungen und sozialen oder politischen Bedürfnissen fehlte.

Überprüfung auf Belegbarkeit und Vernünftigkeit

Um einen Ursprungsmythos oder mögliche Erklärungen dafür in wissenschaftlichem Sinn bewerten zu können, fehlt es uns an Belegen. Dagegen verfügen wir sehr wohl über genügend wissenschaftliche Belege, mit denen wir die buchstäbliche Wahrheit der meisten dieser Mythen widerlegen

können – einschließlich derer, die angeblich von einem externen, transzendenten Gott offenbart worden sind.

Ein eingeschränktes, wenn nicht falsches Verständnis von Naturerscheinungen, dazu kulturelle und politische Bedürfnisse sowie kulturell gebrochene Deutungen mystischer Einsichten dürften prosaischere Erklärungen für die Ursprungsmythen sein als jene, die von den meisten Mythologen, Ethnologen, Psychologen und anderen Wissenschaftlern vorgebracht werden. Um sie zu stützen, kann ich auch keine zwingenden Beweise anführen. Sie haben jedoch den Vorteil, dass sie mit den bekannten Fakten übereinstimmen, und zudem beruhen sie auf der Anwendung von Ockhams Rasiermesser oder der wissenschaftlichen Regel der Sparsamkeit: Es sind die einfachsten Erklärungen.

Jene Ursprungserzählungen, die ihre Wahrheitsbehauptung nicht auf materielle Beweise oder logisches Denken oder Offenbarung durch einen transzendenten Gott stützen, sondern auf intuitive Erkenntnis, können durch die Wissenschaft oder logisches Denken weder bestätigt noch widerlegt werden. Auf intuitive Erkenntnis werde ich ausführlicher eingehen, wenn ich die Entwicklung des philosophischen Denkens erörtere. Aus einer rein wissenschaftlichen und rationalen Perspektive fallen die meisten Ursprungsmythen jedoch in die Kategorie Aberglauben, den ich wie folgt definiere:

Aberglauben — Eine Überzeugung, die mit wissenschaftlichen Belegen kollidiert oder für die es keine vernünftige Grundlage gibt; gewöhnlich erwächst sie aus einem Mangel an Verständnis für Naturerscheinungen oder einer Furcht vor dem Unbekannten.

Gründe für die Beständigkeit

Eine Erklärung dafür, warum Schöpfungsmythen sich selbst in den fortschrittlichsten Kulturen halten, besteht darin, dass die Wissenschaft nur die physische Welt untersucht, es aber eine letzte Wirklichkeit gibt, welche die physische Welt transzendiert. All die verschiedenen Schöpfungsmythen formulieren demnach diese letzte Wirklichkeit in – häufig anthropomorphen – Begriffen, welche die jeweilige Kultur widerspiegeln.

Auch wenn das in manchen Fällen zutreffen dürfte, widersprechen sich zu viele Mythen gegenseitig, als dass diese Aussage allgemein gültig sein könnte. Eine einfachere Erklärung lautet, dass die Beständigkeit solcher

widerstreitenden Mythen kein Beleg für ihre Wahrheit ist, sondern eher dafür spricht, wie stark die Einimpfung durch 200 Generationen menschlicher Gesellschaften über 5000 Jahre hinweg nachwirkt.

Der Einfluss auf das wissenschaftliche Denken

Die fortwährende Macht der Mythen hielt der ersten wissenschaftlichen Revolution nicht nur stand – die Architekten dieser Revolution sahen ihre Rolle sogar darin, die Gesetze zu entdecken, durch die der jüdisch-christliche Gott das von ihm geschaffene Universum lenkte. Isaac Newton als Vollstrecker dieser Revolution glaubte, das Universum »konnte allein aus dem Rat und der Herrschaft eines intelligenten und mächtigen Wesens hervorgegangen sein«. ²⁰

Ihre fortwährende Macht widerstand auch der zweiten wissenschaftlichen Revolution, die Mitte des 19. Jahrhunderts mit Darwins Argumenten für eine biologische Evolution begann und ihren Höhepunkt im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts erreichte, als die Physik durch die Relativitäts- und die Quantentheorie grundlegend verwandelt wurde. Darwin selbst gab seine christlichen Überzeugungen auf und wurde für den Rest seines Lebens zum Agnostiker, ²¹ doch Albert Einstein, Urheber der Speziellen wie der Allgemeinen Relativitätstheorie, teilte Newtons Überzeugung, das Universum müsse von einer höchsten Intelligenz geschaffen worden sein, obwohl er bestritt, dass ein solcher Gott sich in menschliche Angelegenheiten einmische. ²²

Viele Pioniere der Quantentheorie hingen der Überzeugung an, die Materie existiere nicht unabhängig, sondern nur als Konstrukt des Geistes. Manche wie Erwin Schrödinger waren ihr Leben lang fasziniert von der Erkenntnis aus den *Upanishaden*, wonach alles einschließlich des Universums aus dem Bewusstsein des Brahman hervorgegangen sei, der außerhalb von Raum und Zeit existierenden, letzten Wirklichkeit. ²³ Inwieweit das Auswirkungen auf seine Arbeit hatte, ist eine offene Frage. David Bohm wurde in seinem wissenschaftlichen Denken sicherlich durch diesen Glauben beeinflusst. ²⁴

Heutzutage bekennt sich nur eine Minderheit der Wissenschaftler offen zu ihren religiösen Überzeugungen. Dazu gehören John D. Barrow, ein Kosmologe und Mitglied der Christian Emmanuel United Reformed Church, Francis Collins, ehemaliger Leiter des Human Genome Project – er sieht die »DNA, das Informationsmolekül alles Lebendigen, als die Sprache Gottes« an »und die Eleganz und Komplexität unseres Körpers und der übrigen Natur als eine

Widerspiegelung von Gottes Plan«²⁵–, und Ahmed Zewail, Muslim und Nobelpreisträger des Jahres 1999 für Chemie. In der Regel vertreten solche Wissenschaftler die Ansicht, Wissenschaft und Religion gehörten verschiedenen Bereichen an, obwohl manche, wie John Polkinghorne, theoretischer Physiker und anglikanischer Priester, aktiv Debatten über die Schnittmengen von Wissenschaft und Theologie vorantreiben.

Lassen wir den Mythos nun hinter uns und wenden uns der Wissenschaft zu, damit sie uns ein klareres Verständnis vom Ursprung des Universums vermittelt und mithin auch von der Materie und Energie, aus der wir uns entwickelt haben. Aber tut sie das überhaupt?

KAPITEL 3

DIE ENTSTEHUNG DER MATERIE: DIE HERRSCHENDE LEHRE IN DER WISSENSCHAFT

Diese Idee eines Big Bang erschien mir nun unbefriedigend.

Fred Hoyle, 1950

[Der Big Bang] ist ein Beweis für jenes erste Fiat lux.

Papst Pius XII., 1951

Wir sind Materie. Vielleicht sind wir auch mehr als Materie. Vielleicht sind wir Manifestationen eines kosmischen Bewusstseins, wie in mystischen Lehren behauptet wird, oder dreidimensionale Simulationen eines superintelligenten Computers, wie eine philosophische Spekulation es nahelegt. In diesem Buch geht es jedoch darum festzustellen, was wir derzeit wirklich wissen oder welche begründeten Schlüsse wir aus Experimenten oder der Beobachtung der von uns wahrgenommenen Welt ziehen können. Anders ausgedrückt: was die Wissenschaft uns darüber sagt, wer wir sind und woher wir kommen.

Deshalb gehen wir von dem aus, was wir von der Wissenschaft über den Ursprung der Materie wissen, und die aktuell herrschende Theorie lautet, dass Materie und Energie vor 13,8 Milliarden Jahren im Big Bang entstanden sind.

Die Betonung liegt auf »aktuell«, weil die Medien und populärwissenschaftliche Bücher allzu oft eine wissenschaftliche Theorie oder auch nur Mutmaßung so präsentieren, als handle es sich um eine unbestreitbare Tatsache. Doch wissenschaftliche Theorien ändern sich. Um das zu verdeutlichen, werde ich die Theorie schildern, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts galt; ich werde dann zeigen, warum und wie sie sich so verändert hat, dass aus ihr das Modell des Big Bang hervorgehen konnte, werde Probleme dieses Modells erörtern und die derzeitigen Lösungen der Kosmologen dafür genauer betrachten.

Die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts

Hätte ich dieses Buch 1928 verfasst, hätte ich behauptet, der in der Wissenschaft aktuell herrschenden Theorie zufolge sei das Universum ewig und unveränderlich.

Diese Theorie galt als so unumstößlich, dass Einstein etwas tat, was er später als seinen größten Fehler bezeichnen sollte. 1915 schloss er seine Allgemeine Theorie der Relativität ab, welche die Schwerkraft in seine Darstellung aller bekannten Materie und Kräfte einbezog. Als er sie jedoch auf das Universum als Ganzes anwandte, erkannte er, dass sie ein sich veränderndes Universum vorhersagte – die Schwerkraft sorgte dafür, dass sich die gesamte Materie des Universums zusammenzog. Deshalb führte er zwei Jahre später eine willkürlich gewählte Konstante Lambda (Λ) in seine Feldgleichungen ein. Mit der Feinabstimmung des Wertes von Lambda sorgte er dafür, dass der zusätzliche Term in seinen Gleichungen die Anziehung der Schwerkraft exakt ausglich und somit ein statisches Universum zustande kam.

Für die folgenden 15 Jahre akzeptierten das fast alle theoretischen Physiker, weil es durch Beobachtungen gestützt wurde: Die Sterne bewegten sich sehr wenig. Diese Sicht eines statischen Universums blieb auch bestehen, nachdem der Astronom Edwin Hubble 1924 bewiesen hatte, dass manche Lichtflecken keine Gaswolken in der einzigen bis dahin bekannten Galaxie – der Milchstraße – waren, sondern sehr ferne Galaxien.

Zwischen 1929 und 1931 konnte Hubble jedoch zeigen, dass das von diesen fernen Galaxien abgestrahlte Licht eine Rotverschiebung aufwies und dass die Rotverschiebung mit wachsender Entfernung von uns zunahm. Weißes Licht besteht aus verschiedenen Farben, die zum Vorschein kommen, wenn es von einem Prisma in ein Spektrum von Wellenlängen zerlegt wird. Die kürzeren Wellenlängen erscheinen blau, die längeren rot. Wenn eine Lichtquelle sich vom Beobachter fortbewegt, scheint sich ihre Wellenlänge zu vergrößern und zum roten Ende des Spektrums hin zu verschieben. Hubbles Beobachtungen wurden als Hinweis darauf gedeutet, dass die Galaxien sich von uns entfernen und dass ihre Geschwindigkeit umso größer ist, je weiter sie von uns entfernt sind.

Erst jetzt nahmen die theoretischen Physiker die Arbeiten derjenigen ernst, die andere Lösungen für Einsteins Feldgleichungen zur Allgemeinen Relativität gefunden hatten – solche, die auf ein expandierendes Universum hinausliefen. Einer von ihnen war der belgische Jesuit und Wissenschaftler Georges Lemaître, der Hubbles Daten in seine eigenen Ideen aus dem Jahr 1927

einbaute; er ließ die Expansion des Universums rückwärts laufen und kam so zu seiner Hypothese vom Uratom. Sie besagt, dass zu einem Zeitpunkt Null alles im Universum – alles Licht und all die Galaxien, Sterne und Planeten – zu einem einzigen, superdichten Atom zusammengezogen war, das explodierte und ein expandierendes Universum bildete.

Der Astronom Fred Hoyle bezeichnete das abwertend als Big Bang, nachdem er zusammen mit Thomas Gold und Hermann Bondi 1948 die Theorie des Fließgleichgewichts (Steady-State-Theorie) entwickelt hatte. Dieser Hypothese zufolge dehnt sich das Universum zwar aus, aber nicht von einem einzigen Punkt her: Im expandierenden Raum entsteht ständig Materie, die in einem unendlich großen Universum für eine insgesamt gleichbleibende Dichte sorgt.

In dem Jahrzehnt nach Ende des Zweiten Weltkriegs wandten sich mehrere theoretische Physiker dem Rätsel der Kosmogense zu – dem Anfang des Universums. Enrico Fermi, Edward Teller, Maria Mayer, Rudolf Peierls, George Gamow, Ralph Alpher und Robert Herman gehörten zu denen, die sich mit der Idee des Big Bang auseinandersetzten.

Gamow, Alpher und Herman versuchten herauszufinden, wie all die verschiedenen Arten von Atomen, die wir im Universum vorfinden, aus dem hypothetisch angenommenen, unfassbar kleinen, dichten und heißen Plasma aus Protonen, Neutronen, Elektronen und Photonen entstanden sein konnten.* Sie zeigten, wie die Kerne von Helium und die Isotope** des Wasserstoffs von Protonen und Neutronen gebildet werden konnten, die sich in den ersten drei Minuten nach einem Big Bang vereinigten, während das Plasma sich ausdehnte und auf unter eine Milliarde Kelvin (K) abkühlte.*** Das auf diese Weise entstandene Verhältnis von Wasserstoff zu Helium stimmte nach den Berechnungen Alphers und Hermans annähernd mit dem im Universum beobachteten Wert überein, was die Big-Bang-Hypothese stützte. Doch weder die beiden noch jemand anderes vermochte zu erklären, wie die schwereren Elemente angesichts der Instabilität von Kernen mit fünf oder acht kombinierten Protonen und Neutronen zustande gekommen sein sollten. Das weckte Zweifel am

* Eine Erklärung dieser Begriffe findet sich im Glossar.

** Atome mit der gleichen Zahl von Protonen, aber unterschiedlicher Zahl von Neutronen im Kern heißen Isotope. Der Kern eines Wasserstoffatoms besteht aus einem Proton, der von Deuterium aus einem Proton und einem Neutron, und der von Tritium aus einem Proton und zwei Neutronen.

*** Kelvin ist eine Einheit zur Temperaturmessung auf der Kelvinskala, die bei 0 K beginnt – dem absoluten Nullpunkt, unter den molekulare Energie nicht fallen kann. Ein Schritt von einem Kelvin entspricht einem Grad Celsius, und 0 K entspricht -273,15 °C.

Big Bang, und Fermi wie seine Kollegen ließen ihn als Modell der Kosmogense fallen.¹

Der herrschenden Darstellung zufolge berechneten Gamow und Alpher, dass das Plasma nach dem Big Bang 300 000 Jahre lang expandierte und sich dabei auf 4000 K abkühlte, als die negativ geladenen Elektronen von den positiv geladenen Atomkernen eingefangen wurden und elektrisch neutrale, stabile zweiatomige Wasserstoffmoleküle sowie deren Isotope und dazu Heliumatome bildeten. Die Photonen – neutrale Teilchen elektromagnetischer Strahlung – wären dann nicht länger an das Plasma gebunden gewesen; sie hätten sich abgekoppelt und frei durch den sich ausdehnenden Raum bewegt. Dabei hätten sie sich weiter abgekühlt, und ihre Wellenlänge hätte zugenommen. Als das Universum seine aktuelle Größe erreichte, wäre ihre Wellenlänge im Bereich der Mikrowellen angekommen; sie hätten den gesamten Weltraum ausgefüllt und sich als kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung gezeigt. 1948 schätzten Gamow und Alpher die Temperatur dieser Hintergrundstrahlung auf etwa 5 K. 1952 schätzte Gamow sie auf 50 K.²

In der Zwischenzeit hatten Fred Hoyle und seine Kollegen gezeigt, wie die schwereren Elemente durch Kernfusion in Sternen gebildet werden konnten.

Diese Arbeiten der Nachkriegszeit ließen das Fließgleichgewicht und den Big Bang als konkurrierende Erklärungshypothesen für den Ursprung des Universums bestehen: Die erste hielt daran fest, dass das Universum ewig sei und folglich keinen Anfang habe, während die zweite besagte, das Universum habe mit einer Explosion von Licht und Plasma aus einem Punkt heraus begonnen.

Ohne weitere Nachweise abzuwarten, wie sie die Wissenschaft benötigte, um sich zwischen den beiden zu entscheiden, fällte die römisch-katholische Kirche ihr Urteil. 1951 teilte Papst Pius XII. der Päpstlichen Akademie der Wissenschaften mit, der Big Bang sei ein Beleg für die Schöpfungsgeschichte der *Genesis*, wo Gott sagt, es werde Licht. Die Eilfertigkeit, mit der die Kirche auf diese wissenschaftliche Hypothese reagierte, steht im Gegensatz zu den 200 Jahren, die sie brauchte, um zu akzeptieren, dass Galileis Beobachtungen sehr wohl die kopernikanische Theorie stützten, wonach die Erde nicht der Mittelpunkt des Universums ist, sondern sie und die anderen Planeten um die Sonne kreisen.

Anders als die katholische Kirche teilte sich die Wissenschaft weiterhin in Anhänger des Big Bang und des Fließgleichgewichts, bis – so die vorherrschende Version der Geschichte – 1965 eine Zufallsentdeckung den entscheidenden Beweis lieferte.

Den Astronomen Arno Penzias und Robert Woodrow Wilson war es bei Beobachtungen mit ihrem Radioteleskop an den Bell Laboratories in New Jersey nicht gelungen, das »Hintergrundrauschen« auszuschalten, das aus allen Himmelsrichtungen kam. Sie baten Robert Dicke in Princeton um Rat, ohne zu wissen, dass er versucht hatte, die von Gamow vorhergesagte kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung zu finden. Dicke erkannte, dass das gleichförmige »Rauschen« im Mikrowellenbereich genau diese Strahlung war, die sich auf die Temperatur von 2,7 K abgekühlt hatte.³

Wenn überhaupt, ist selten davon die Rede, dass Geoffrey Burbidge, Professor für Astrophysik an der University of California in San Diego, behauptet hat, diese herrschende Darstellung stelle eine Verzerrung der Tatsachen dar. Denn dass die Gleichungen von Alpher und Herman die Entstehung von Wasserstoff und den anderen leichten Elementen in einem Verhältnis ergaben, das grob mit dem beobachteten Verhältnis übereinstimmte, sei lediglich auf die von ihnen gewählten Parameter zurückzuführen. Außerdem wies er darauf hin, dass Andrew McKellar die kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung entdeckt und ihre Temperatur zwischen 1,8 und 3,4 K geschätzt habe; seine Befunde veröffentlichte er 1941. Burbidge legte nahe, zumindest Gamow habe sie gekannt, und folglich habe nicht er die kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung als Erster vorhergesagt, die durch anschließende Beobachtungen bestätigt wurde.⁴

Doch die herrschende Darstellung setzte sich durch, und Penzias und Wilson bekamen für ihre Entdeckung den Nobelpreis. Die überwiegende Mehrheit der Wissenschaft übernahm den Big Bang als Modell für den Ursprung des Universums, und wer anderer Meinung war, erlebte schwierige Zeiten. Dass Hoyle weiterhin die Steady-State-Theorie vertrat, führte laut John Maddox dazu, »dass er von seinen Kollegen geächtet wurde und schließlich seine Professur in Cambridge niederlegte (ein praktisch beispielloser Vorgang)«.⁵

Letzteres hatte wahrscheinlich auch damit zu tun, dass Hoyle die von seinem Cambridge-Kollegen Martin Ryle vorgebrachten Belege gegen die Theorie des Fließgleichgewichts besonders unverblümt kritisiert hatte, was zu einer Fehde zwischen den beiden führte. Während Hoyle niemals mehr eine akademische Position bekleidete, wurde Ryle später der britische Astronomer Royal und bekam den Nobelpreis. Unerklärlicherweise wurde der Nobelpreis 1983 für Arbeiten auf dem Gebiet der stellaren Nukleosynthese allein William Fowler zuerkannt, während man Hoyle sowie Geoffrey und Margaret Burbidge übergang – sie waren die anderen drei Autoren des bahnbrechenden Aufsatzes von 1957 gewesen, der detailliert beschreibt, wie all die anderen natürlich

vorkommenden Elemente außer Wasserstoff und Helium im Inneren von Sternen entstehen. Fowler selbst gab offen zu, dass Hoyle das Konzept der stellaren Nukleosynthese als Erster formuliert hatte und dass er selbst als Fulbright-Stipendiat nach Cambridge gekommen war, um mit ihm zusammenzuarbeiten.⁶

Die herrschende Darstellung veranschaulicht die wissenschaftliche Methode insofern, als eine fest etablierte Theorie – die vom ewigen Universum – verworfen wurde, sobald neue Daten die Vorhersagen einer anderen Hypothese – vom Big Bang – bestätigten, worauf diese zur vorherrschenden Theorie wurde. Der Umgang mit Hoyle ist allerdings auch ein Beispiel dafür, wie das wissenschaftliche Establishment sich gegenüber denen verhalten kann, die von der gängigen Lehre abweichen.

Seit Mitte der 1960er Jahre hält man am Modell des Big Bang mit zumindest ebenso großer Überzeugung fest wie an dem des ewigen und unveränderlichen Universums im Jahr 1928. Doch wird das Modell immer noch durch wissenschaftliche Beweise gestützt, und falls nicht, wie hat die Wissenschaft darauf reagiert?

Die aktuelle Theorie: Der Big Bang

Um zu erkennen, ob das Modell des Big Bang eine zufriedenstellende Erklärung für den Ursprung des Universums bietet, müssen wir seine theoretische Basis untersuchen.

Theoretische Basis

Anders als die allgemein akzeptierte wissenschaftliche Methode* vorsieht, leitete sich die Theorie des Big Bang nicht aus Beobachtungen ab. Sie ergab sich aus Lösungen für die Gleichungen in Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie, von denen man eine herausgriff, weil sie am besten mit den Beobachtungen übereinstimmte.

Einsteins Erkenntnis führte zu Bewegungsgesetzen, die unabhängig davon sind, ob der Beobachter sich in Bezug auf das beobachtete Objekt in bestimmter

* Eine vollständige Darstellung findet sich im Glossar.

mit gekrümmten Oberflächen befasst. Heraus kam das, was man heute als Einsteinsche Feldgleichungen bezeichnet. Der Plural bezieht sich darauf, dass die Gleichung Tensoren* enthält, die zehn Möglichkeiten einschließen, was faktisch auf zehn Gleichungen hinausläuft. Die sehr vielen möglichen Lösungen dieser Gleichungen bringen sehr viele theoretische Universen hervor, und die Herausforderung bestand darin, eine Lösung zu finden, die mit den Beobachtungsdaten am besten übereinstimmte.

Es ist extrem schwierig, diese Gleichungen zu lösen. Bei den entsprechenden Versuchen waren vier Männer führend. Neben Einstein und Lemaître handelte es sich um den holländischen Astronomen Willem de Sitter und den russischen Meteorologen Alexander Friedmann.

Vereinfachende Annahmen: Isotropie und Omnizentrismus

Sie alle gingen von zwei vereinfachenden Annahmen aus: Das Universum erscheint zu jedem gegebenen Zeitpunkt gleich, in welche Richtung wir auch blicken (es ist isotrop), und das gilt auch, wenn wir das Universum von einem beliebigen anderen Standort aus betrachten (es ist omnizentrisch). Diese beiden Annahmen bedeuten zwangsläufig, dass das Universum an jedem Ort gleich ist (es ist homogen).**

Die angenommene Isotropie ist eindeutig nicht absolut gültig: Die Sterne unserer eigenen Galaxie bilden ein abgegrenztes Lichtband über den Nachthimmel – die Milchstraße. Drei Gründe sprachen jedoch für diese Annahmen: (a) die intuitive Einsicht, dass es sich gemessen an der Größenordnung des Universums um eine gute Näherung handelt; (b) der Glaube, dass wir keinen besonderen oder privilegierten Ort im Universum bewohnen, so wie Kopernikus gezeigt hatte, dass wir keinen einzigartigen Platz im Sonnensystem

* Ein Tensor ist eine Anordnung von Komponenten, die sich bei einer Transformation von einem Raumkoordinatensystem in ein anderes verändern.

** *Isotrop* bedeutet, dass das Universum für einen Beobachter in jeder Richtung gleich erscheint. *Homogen* bedeutet, dass das Universum an jedem Ort gleich ist. Das ist nicht zwangsläufig dasselbe. So ist ein Universum mit einem gleichförmigen Magnetfeld homogen, weil alle Punkte gleich sind, es ist aber nicht isotrop, weil ein Beobachter in unterschiedlichen Richtungen jeweils verschiedene magnetische Feldlinien sieht. Umgekehrt ist eine kugelförmig symmetrische Verteilung von Material isotrop, wenn man sie von ihrem Mittelpunkt aus betrachtet, aber nicht zwangsläufig homogen: Das Material an einem Punkt ist womöglich nicht das gleiche wie das an einem anderen Punkt in derselben Richtung. Wenn wir jedoch annehmen, dass die Verteilung von Material *unabhängig* vom Standort eines Betrachters isotrop ist, dann ist das Universum notwendigerweise homogen.

Gravitationswirkung seiner Materie ist so stark, dass die Expansion verlangsamt, angehalten und dann umgekehrt wird, bis sie in einem Big Crunch endet. Das offene (hyperbolische) Universum expandiert ebenfalls aus einem Big Bang heraus, doch die Gravitationswirkung seiner Materie ist zu schwach und kann die Expansion nicht anhalten; diese setzt sich mit gleichbleibender Rate unendlich fort, bis die Bestandteile des Universums untereinander keinen Kontakt mehr haben, was mit einem leeren Universum endet. Und auch das flache Universum expandiert aus einem Big Bang heraus, doch die Gravitationswirkung, die seine gesamte Materie zusammenzieht, wiegt die kinetische Energie der Expansion exakt auf, wodurch die Expansionsrate abnimmt, wenn auch nicht stark genug, um sie anzuhalten. So expandiert das Universum auf ewig mit abnehmender Geschwindigkeit.

Aus den vereinfachenden Annahmen ergibt sich, dass sowohl das flache als auch das offene Universum zwangsläufig von unendlicher Ausdehnung sind: Würde eines an einen definierten Rand gelangen, widerspräche das der

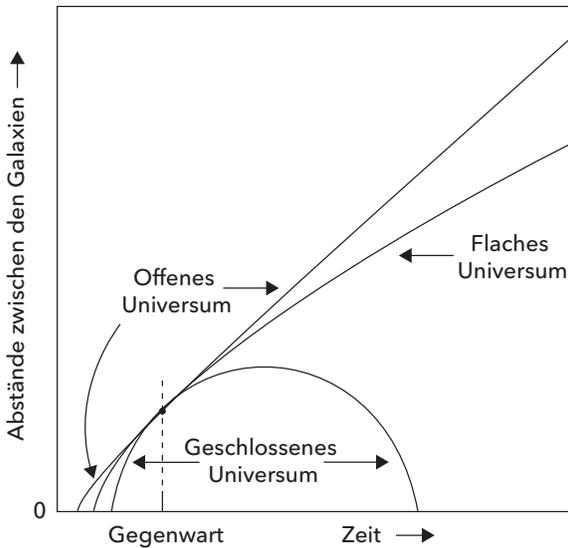


Abb. 3.3 Die Entwicklung von Friedmann-Universen

Ohne eine kosmologische Konstante führt eine Masse, deren Dichte ausreicht, um die Expansion umzukehren, zu einem geschlossenen Universum; eine niedrige Massendichte reicht nicht aus, die Expansion umzukehren – sie geht mit konstanter Rate weiter und führt zu einem offenen Universum. Eine kritische Massendichte zwischen den beiden besitzt eine flache Geometrie: Das Universum wird sich auf ewig ausdehnen, jedoch mit einer ständig abnehmenden Geschwindigkeit.

Annahme, das Universum sehe von allen Orten her gleich aus. Bei einem kugelförmigen Universum gilt das nicht: Eine vollkommene Kugel sieht von allen Punkten ihrer Oberfläche gleich aus.

Anders als Einstein führte Friedmann keine willkürlich gewählte Konstante Lambda ein, um das gewünschte Ergebnis zu bekommen. In seinem mathematischen Modell kann das Verhältnis zwischen der kontrahierenden Gravitationskraft der Materie und ihrer expandierenden kinetischen Energie als der Dichteparameter Omega (Ω) ausgedrückt werden. In einem geschlossenen Universum ist Omega größer als 1, in einem offenen Universum ist Omega kleiner als 1, in einem flachen Universum ist Omega exakt gleich 1.

Nachdem Hubble seine Daten veröffentlicht hatte, kamen die meisten Wissenschaftler zu dem Schluss, dass ein flaches, aus einem sehr heißen Big Bang hervorgegangenes Universum am genauesten mit den Beobachtungen übereinstimmte, und so wurde das mathematische Modell von Friedmann-Lemaître zum Modell der herrschenden Lehre.⁷

Probleme mit der Big-Bang-Theorie

Das Universum als Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung war fortan nicht länger die alleinige Domäne der beobachtenden und theoretischen Astronomie. Es war eine neue Wissenschaft vom Kosmos entstanden, die ich so definiere:

Kosmologie — Die Erforschung des Ursprungs, der Natur und der großräumigen Struktur des physischen Universums, wozu auch die Verteilung und die wechselseitigen Beziehungen aller Galaxien, Galaxienhaufen und quastellaren Objekte gehört.

Die Relativitätstheorie hat bei der Erforschung des Universums in seiner Gesamtheit eine entscheidende Rolle gespielt, während die Astronomie sich traditionell auf einzelne Sterne und Galaxien konzentriert hat. Nun nutzte man die theoretische und experimentelle Teilchenphysik, die Plasmaphysik und die Quantenphysik, um herauszufinden, was beim Big Bang und unmittelbar danach geschehen ist, als das Universum unglaublich winzig und heiß war. Als man die Erkenntnisse dieser verschiedenen Disziplinen auf das Modell des Big Bang anwandte, stieß man auf vier Probleme.

Magnetischer Monopol

Nach einer Theorie von Teilchen- und Plasmaphysikern müssten die extrem hohe Temperatur und Energie des Plasmas unmittelbar nach dem Big Bang magnetische Monopole hervorgebracht haben – Teilchen mit nur einem magnetischen Pol statt der normalen zwei.* Wie sie mithilfe der Relativitätstheorie berechneten, hätte der Big Bang tatsächlich so viele davon produzieren sollen, dass das Hundertfache der im Universum beobachteten Energiedichte zustande gekommen wäre.⁸

Bisher hat man im Universum noch keinen einzigen magnetischen Monopol aufgespürt.

Homogenität

Die beiden Annahmen des herrschenden Modells bringen ein Universum hervor, das homogen oder vollkommen gleichförmig ist, während alle anderen Lösungen von Einsteins Feldgleichungen ohne diese Annahmen irreguläre Universen produzieren.

Wenn wir das Universum beobachten, erkennen wir jedoch, dass es im Gegensatz zu diesem Modell nicht vollkommen gleichförmig ist. Es gibt Sonnensysteme, Galaxien, Galaxienhaufen und Supercluster, die alle durch ungeheure leere Räume mit wenig oder gar keiner Materie voneinander getrennt sind. Die Massendichte der Erde liegt ungefähr 10^{30} -mal höher als der Durchschnittswert des Universums, die Massendichte der Luft, die wir atmen, liegt 10^{26} -mal höher, die durchschnittliche Massendichte unserer Milchstraße ist 10^6 -mal größer, und bei unserer lokalen Galaxiengruppe ist dieser Wert 200-mal größer. Demgegenüber erstreckt sich zwischen Schichten von Superclustern typischerweise leerer Raum von 150 Millionen Lichtjahren.⁹

Wäre das Universum vollkommen homogen, gäbe es uns nicht, und wir könnten es nicht beobachten.

Doch die Kosmologen dachten, in der Größenordnung eines Universums betrage die Abweichung von der Homogenität lediglich 1 zu 100 000.

Das Modell des Big Bang kann nicht erklären, wie und warum das Universum so extrem nahe an der vollkommenen Homogenität liegt, aber gerade so viel davon abweicht, dass Strukturen wie unser Sonnensystem entstehen konnten – mit Planeten wie der Erde, auf der wir uns entwickelt haben.

* Siehe Glossar.

Isotropie der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung (Horizontproblem)

Der kosmische Mikrowellen-Hintergrund (CMB) ist nach dem Big-Bang-Modell die Strahlung, die sich (revidierten Schätzungen zufolge) etwa 380 000 Jahre nach dem Big Bang vom Materieplasma abgekoppelt hat, mit der Expansion des Universums Energie verlor und sich auf ihre derzeitige Temperatur von 2,73 K abkühlte.

Detektoren auf den Satelliten Cosmic Background Explorer (COBE) und Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) haben angezeigt, dass diese Temperatur beinahe isotrop – in alle Richtungen gleich – ist. Dazu konnte es nur kommen, wenn sich alle Strahlungsteilchen (Photonen) durch wiederholte Kollisionen unmittelbar nach ihrer Entkoppelung vom Plasma vermischt haben.

Die Relativitätstheorie besagt, nichts könne sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen. Damit sich die Photonen mischen konnten, kann demnach keines von ihnen weiter von den anderen entfernt gewesen sein, als es mit Lichtgeschwindigkeit erreichen kann. Diese Entfernung wird als Kontakthorizont des Photons bezeichnet.

Nach dem Big-Bang-Modell nahm die Expansionsrate des Universums jedoch ab. Der Kontakthorizont eines Photons war folglich im sehr viel jüngeren Universum erheblich kleiner als jetzt. Also wäre es nicht möglich gewesen, dass jedes Photon kurz nach der Entkoppelung vom Plasma mit allen anderen in Kontakt kam. Die Energien der Photonen hätten sich somit damals unterschieden, was sich jetzt darin zeigen müsste, dass die in unterschiedlichen Richtungen gemessene kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung auch verschiedene Temperaturen aufweist.

Die Big-Bang-Theorie kann diesen Konflikt mit den beobachtbaren Belegen nicht erklären.

Flachheit (Omega)

Ein flaches Universum ist von Natur aus instabil. Es ist davon abhängig, dass das prekäre Gleichgewicht zwischen der kinetischen Energie der Expansion und der anziehenden Gravitationskraft seiner Materie ein $\Omega = 1$ aufweist. Die Mathematik des Big-Bang-Modells zeigt jedoch, dass Ω speziell im frühen Universum sehr empfindlich ist. Kleinste Abweichungen von 1 in beide Richtungen werden rasch größer und lassen das Universum entweder in eine geschlossene oder eine offene Konfiguration kippen. Als das Universum

eine Sekunde alt war, muss der Wert von Omega nach einer Berechnung von Dicke irgendwo zwischen 0,9999999999999999 und 1,00000000000000001 gelegen haben, das heißt, die Empfindlichkeit betrug $\pm 10^{-17}$. Wäre Omega um mehr als diesen Betrag von 1 abgewichen, wäre das Universum entweder in einem Big Crunch kollabiert, oder es hätte sich zu völliger Leere ausgedehnt, lange bevor Sonnensysteme und Planeten entstehen konnten – und wir wären nicht hier, um über den Big Bang spekulieren zu können.

Die meisten Kosmologen leiten eher aus theoretischen Gründen als aus Beobachtungen ab, dass das Universum sich ausdehnt, seit es 10^{-43} Sekunden alt war* (allein deswegen, weil die Quantentheorie** vor diesem Zeitpunkt zusammenbricht). Falls das zutrifft, kann der Wert von Omega höchstens um 10^{-64} von 1 abgewichen sein – eine solche Empfindlichkeit ist unvorstellbar.¹⁰

Doch Omega kann auch nicht von Anfang an genau 1 betragen haben, denn sonst hätte das Universum sich gar nicht erst ausgedehnt.

Das Big-Bang-Modell kann nicht erklären, wie oder warum der Wert von Omega so unglaublich nahe bei 1 liegen sollte, ohne genau 1 zu betragen, sodass das Universum sich auf stabile Weise ausdehnen konnte.

Es gibt ein fünftes, noch fundamentaleres Problem, das die überwiegende Mehrheit der Kosmologen nicht in Angriff genommen hat. Diesem Elefanten im Zimmer werde ich mich im nächsten Kapitel widmen, wenn ich untersuche, was das revidierte Modell nicht erklären kann.

Lösung durch die Inflationstheorie

Von einer Idee wird behauptet, sie löse die ersten vier Probleme auf einen Streich.

Wer zuerst darauf kam, war und ist Gegenstand von Kontroversen. Alan Guth vom Massachusetts Institute of Technology sagt: »Als offizielles Debüt für die Inflationstheorie aber würde ich das Seminar einstufen, das ich am 23. Januar 1980 am SLAC gegeben habe.«¹¹ Der Russe Andrei Linde, inzwischen

* Dieser Wert ist als Planck-Zeit bekannt, siehe Glossar.

** Siehe Glossar, wo sich eine Definition von Quantentheorie findet, sowie S. 134 für eine ausführlichere Erklärung.

an der kalifornischen Stanford University, behauptet, die wesentlichen Ideen zur Inflation seien schon vorher von Alexei Starobinsky, David Kirzhnits und ihm selbst in der damaligen Sowjetunion entwickelt worden.¹²

Gemäß der von Guth 1981 publizierten Version erfuhr das Universum sehr kurz nach dem Big Bang eine gewaltige und instantane Expansion: In einer Zeitspanne, die kleiner als das Billionstel eines Billionstels einer Sekunde gewesen sein dürfte, dehnte es sich billionenfach aus. Zu diesem Phänomen konnte es kommen, weil sich das Universum in einem instabilen, superkalten Zustand befand; dieser brach zusammen, die Inflation endete, und das inzwischen ungeheuer große Universum ging zu der langsamer werdenden Expansion über, die vom ursprünglichen Big-Bang-Modell vorhergesagt wurde.¹³

Nach der Inflation ist das Universum so ungeheuer groß, dass wir jetzt nur einen winzigen Bruchteil davon sehen können. Deshalb erscheint unser Teil – wie jede winzige Oberfläche auf einem riesigen Ballon – als flach. Anders gesagt, alle Ungleichgewichte zwischen der explosiven Energie der Expansion und der anziehenden Gravitationsenergie der Materie im Big Bang werden durch die Inflation so sehr »verdünnt«, dass sich nun die sonst höchst unwahrscheinliche Balance einstellt, die dem postinflationären Universum eine immer langsamer werdende Expansion ermöglicht. Nach der Inflation hat Omega effektiv den Wert 1 angenommen, und das Universum ist nicht mehr dazu verdammt, eine rasche Beschleunigung bis zur Leere oder eine rasche Kontraktion bis zum Kollaps zu erfahren: Es folgt dem mathematischen Modell des flachen Universums. Das löst das Flachheitsproblem.

In ähnlicher Weise wurden alle Unregelmäßigkeiten, die sich aus dem explosionsartigen Big Bang ergaben, durch die gewaltige inflatorische Ausdehnung »verdünnt«. Das löst das Homogenitätsproblem.

Ebenso existieren all die magnetischen Monopole tatsächlich irgendwo da draußen in dem riesigen Universum, aber unsere Region ist so unglaublich winzig, dass sie keinen einzigen enthält. Das löst das Problem der magnetischen Monopole.

Das heute sichtbare Universum, in dem die größten Entfernungen durch die Lichtgeschwindigkeit und das Alter des Universums begrenzt sind, ist lediglich das postinflationäre, normal ausgedehnte Gebiet dessen, was einmal einen unglaublich winzigen Teil des durch Inflation entstandenen Universums ausmachte. In diesem unfassbar winzigen Teil waren alle Photonen miteinander in Kontakt und nahmen eine gleichförmige Temperatur an. Das löst das Problem der Isotropie des kosmischen Mikrowellen-Hintergrunds.

Guths Annahme einer Inflation wies allerdings entscheidende Fehler auf. Dass die exponentielle Expansion des Universums zum Stillstand kam und somit die langsamer werdende Expansion gemäß dem ursprünglichen Modell eines flachen Universums nach Friedmann-Lemaître einsetzen konnte, hatte er mit einem Mechanismus erklärt, der jedoch massive Inhomogenitäten im Universum hervorbrachte, die durch Beobachtungen widerlegt werden. Guth zog die Erklärung binnen eines Jahres zurück.

Andreas Albrecht und Paul Steinhardt sowie – unabhängig von ihnen – Linde legten modifizierte Versionen der Inflationstheorie vor.

Laut Linde funktionierten auch diese nicht. Er behauptet, die Probleme des Inflationskonzepts seien erst gelöst worden, als er 1983 eine neue, einfachere Version ableitete, in der er ohne die superkühlenden Effekte der Quantengravitation auskam und sogar ohne die Standardannahme, das Universum sei ursprünglich heiß gewesen. Er setzte stattdessen auf Skalarfelder. Das Skalarfeld ist ein mathematisches Konzept, in dem jeder Raumpunkt mit einem Skalar assoziiert ist – einer Größe wie Masse, Länge oder Geschwindigkeit, die durch ihren Zahlenwert vollständig definiert ist.* Linde ging einfach davon aus, dass das Universum alle möglichen Skalarfelder hatte und jedes davon alle möglichen Werte aufwies. Diese Annahme gab seinem mathematischen Modell unbeschränkte Möglichkeiten und erzeugte in der Theorie Bereiche des Universums, die klein bleiben, sowie andere, die exponentiell inflatorisch expandieren. Dies nannte er wegen seiner willkürlichen Natur »chaotische Inflation«. Das Modell wurde zu einer beliebten Version der Inflation, doch mittlerweile hat man viele weitere Versionen vorgelegt.¹⁴

Die Mutmaßung einer Inflation löst das Problem des Elefanten im Raum nicht – sie macht den Elefanten letztlich noch größer –, doch die Kosmologen waren so erleichtert, dass sie die vier von ihnen dingfest gemachten Probleme löste, dass sie sie eifrig übernahmen. Sie gewährten ihr sogar den Titel Inflationstheorie, und das inflatorische Big-Bang-Modell wurde zur wissenschaftlichen Lehrmeinung.

* Siehe Glossar.

Wie stichhaltig ist die inflatorische Big-Bang-Theorie?

Ob diese revidierte kosmologische Lehre eine wissenschaftliche Erklärung für den Ursprung des Universums bieten kann, hängt davon ab, ob sowohl die grundlegende Theorie als auch die Erweiterung um die Inflation in zweierlei Hinsicht gültig sind: (a) Ist die Theorie zuverlässig? (b) Wird sie durch Beobachtungen oder Experimente gestützt?

Zuverlässigkeit der grundlegenden Theorie

Die Basistheorie des Heißen Big Bang umfasst zwei Teile: Der erste besteht aus der Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen, der zufolge das Universum sowohl omnizentrisch als auch isotrop (und folglich homogen) ist, und der Entscheidung für das geometrisch flache Universum. Den zweiten Teil liefert das Standardmodell der Teilchenphysik.

Der angenommene Omnizentrismus ist nicht überprüfbar. Selbst wenn eine fortgeschrittene Zivilisation in einer fernen Galaxie uns ihre Sicht des Universums übermitteln würde, wäre sie lange vor ihrer Ankunft nicht mehr aktuell.

Auch wenn die angenommene Isotropie und Homogenität eindeutig nicht absolut gelten, weil das Universum Sonnensysteme, Galaxien, lokale Galaxiengruppen, Galaxienhaufen und Supercluster enthält, die durch ungeheure leere Räume getrennt sind, glaubt man in der Kosmologie, dass diese Annahmen in der Größenordnung des Universums gleichwohl gültig sind. Doch jedes Mal, wenn die Astronomen mit ihren immer raffinierteren Instrumenten größere Ausschnitte des Universums in größeren Entfernungen untersucht haben, fanden sie Strukturen so groß wie der Umfang der untersuchten Zone. 1989 stießen Geller und Huchra auf eine fast zweidimensionale Struktur mit einer Länge von annähernd 650 Millionen Lichtjahren, die sie Große Mauer nannten. 2005 entdeckten Gott und Kollegen die Sloan Great Wall, die mit 1,3 Milliarden Lichtjahren mehr als doppelt so lang ist und etwa 1 Milliarde Lichtjahre von uns entfernt liegt. 2013 machten Roger Clowes und Kollegen eine Quasargruppe mit vielen Mitgliedern ausfindig, die 4 Milliarden Lichtjahre lang und 8–9 Milliarden Lichtjahre entfernt ist.¹⁵ 2014 berichteten István Horváth und Kollegen, sie hätten 2013 ein Objekt entdeckt, das mehr als sechsmal so lang ist wie die Sloan Great Wall – nämlich etwa 7–10 Milliarden Lichtjahre – und sich in annähernd 10 Milliarden Lichtjahren Entfernung befindet.¹⁶ Die Größe dieser Objekte steht im Widerspruch zu der angenommenen Isotropie und Homogenität.

Was die Entscheidung für eine flache Geometrie angeht, können wir die daraus folgende Aussage, das Universum sei unendlich, nicht überprüfen.

Zudem entsprang die Idee, dass das Universum einschließlich der Raumzeit in einem Heißen Big Bang aus dem Nichts in die Existenz eruptiert ist, aus der Rückrechnung der Expansion des Universums zum Nullpunkt. Doch an diesem Zeitpunkt bricht die Quantentheorie zusammen, weil dem Unbestimmtheitsprinzip zufolge nichts definiert werden kann, was in einer Zeitspanne von weniger als 10^{-43} Sekunden, der sogenannten Planck-Zeit, liegt.* Darüber hinaus wird das Universum durch diese Rückrechnung zu einem Punkt unendlicher Dichte komprimiert, wo die Krümmung der Raumzeit unendlich wird, was wiederum die Relativitätstheorie versagen lässt.¹⁷ Guth sagt: »Die Unterstellung von beliebig hohen Temperaturen gelangt in Bereiche weit jenseits der Physik, die wir noch verstehen können. Es gibt daher keinen vernünftigen Grund, einer solchen Extrapolation zu vertrauen. Die wahre Geschichte des Universums, die bis zur Zeit $t = 0$ zurückreicht, bleibt ein Geheimnis.«¹⁸

Eine auf einem Mysterium beruhende Theorie, in der die dahinterstehenden Theorien versagen und die auf vereinfachenden Annahmen gründet, von denen eine nicht überprüfbar ist, während andere mit astronomischen Beobachtungen unvereinbar sind, ist nicht unbedingt das, was man als absolut verlässlich bezeichnen würde.

Den zweiten Teil der grundlegenden Big-Bang-Theorie bildet das Standardmodell der Teilchenphysik, das mithilfe der Quantenfeldtheorie erklärt, wie sich aus der beim Big Bang freigesetzten Energie subatomare Teilchen bilden – der entsprechende Mechanismus heißt Symmetriebrechung.

Standardmodell der Teilchenphysik — Es zielt darauf ab, mit Ausnahme der Gravitation die Existenz von allem, was wir im Universum beobachten, sowie die damit zusammenhängenden Interaktionen mittels Elementarteilchen und deren Bewegungen zu erklären. Derzeit beschreibt es 17 solche Arten von Elementarteilchen, die zu Quarks, Leptonen und Bosonen zusammengefasst sind. Wenn man die entsprechenden Antiteilchen und Boson-Varianten einbezieht, ergibt sich die Zahl von insgesamt 61 Elementarteilchen.

Diesem Modell zufolge setzen sich verschiedene Arten von Quarks zu Proton und Neutron zusammen (die wiederum in unterschiedlichen Kombinationen

* Siehe Glossar für eine Erklärung von *Planck-Zeit* und *Unbestimmtheitsprinzip*.

die Kerne aller Atome bilden). Die Interaktionen zwischen zwölf dieser Arten von Elementarteilchen ergeben sich aus Bewegungen von fünf anderen Elementarteilchen, den Bosonen als den Trägern von Kräften. Dazu zählen etwa Gluonen, welche die Bindungskräfte für Quarks liefern.*

Das Modell hat die Existenz von Teilchen vorhergesagt, die anschließend tatsächlich entdeckt wurden – im Fall der Quarks direkt oder durch Rückschlüsse, ansonsten durch Experimente oder Beobachtungen. Eine zentrale Vorhersage betrifft die Existenz eines Teilchens namens Higgs-Boson, das entscheidend für die Erklärung ist, warum außer Photon und Gluon die anderen 16 Arten der Elementarteilchen Masse besitzen. Zwei Experimente mit dem von der Europäischen Organisation für Nuklearforschung (CERN) gebauten Large Hadron Collider (LHC) nahe der Grenze zwischen Frankreich und der Schweiz wiesen 2012 die Existenz des extrem kurzlebigen Higgs-Bosons nach – möglicherweise auch die einer Familie von Higgs-Bosonen, was eine Revidierung des Standardmodells erfordern würde.

Selbst wenn nach der Wiederinbetriebnahme des LHC im Jahr 2015 mit sehr viel höheren Energien nur ein Higgs-Boson bestätigt werden sollte, bleiben signifikante Probleme bestehen. Das Standardmodell enthielt 19 Parameter, was nach 1998 auf 29 korrigiert wurde, um zu ermöglichen, dass auch Neutrinos Masse besitzen, was das Modell bis dahin nicht vorhergesagt hatte. Diese Parameter sind frei anzupassende Konstanten, deren Werte man explizit wählen muss: Egal welche man einsetzt, die Theorie ist mathematisch widerspruchsfrei. Diese Konstanten bestimmen die Eigenschaften der Materie – wie die Ladung eines Elektrons, die Masse eines Protons – und die Kopplungskonstanten; das sind Zahlen, welche die Stärke der Wechselwirkungen zwischen Teilchen festlegen. Die Konstanten werden experimentell gemessen und dann »von Hand« in die Gleichungen eingesetzt. Wie Guth einräumt, wird »die Masse des W^+ -Teilchens [gemäß dem Standardmodell] ... im Wesentlichen dem gleichen Mechanismus zugeschrieben wie die Masse des Elektrons. Die Tatsache aber, dass sich beide Massen um den Faktor 160 000 unterscheiden, lässt sich nur mit Hilfe dieser Theorie erklären, weil ihre Parameter so zurechtgebogen werden, damit dieses Ergebnis möglich ist.«¹⁹ Eine solche Theorie ist grundsätzlich weniger verlässlich als eine, deren Vorhersagen anschließend durch Experimente oder Beobachtungen bestätigt werden.

* Siehe Glossar für eine Definition von *Quark*, *Lepton* und *Boson*.

Bezieht man die korrespondierenden Antiteilchen und Boson-Varianten ein, erhöht sich die Zahl der Teilchen auf 61,²⁰ was für Teilchen, die man als elementar oder nicht weiter reduzierbar bezeichnet, ziemlich viel zu sein scheint. Zudem ist das derzeitige Standardmodell zwangsläufig unvollständig, weil es die Gravitation nicht berücksichtigt. Wäre das der Fall, würden noch mehr vermutete Elementarteilchen wie das Graviton nötig.

Die Zuverlässigkeit der grundlegenden Big-Bang-Theorie hängt auch von ihrem Bezug zur Realität ab. Die Kosmologen haben Friedmanns Ausdeutung seiner Lösung für die Einsteinschen Feldgleichungen übernommen. Das heißt, dass Sterne sich nicht bewegen (später wurde das auf Galaxien und dann auf Galaxienhaufen erweitert). Sie sind im Raum eingebettet, und es ist der Raum zwischen Galaxien, der sich ausdehnt. Die mathematische Logik dahinter mag sehr elegant sein, doch vielen Nicht-Kosmologen kommt diese Deutung jesuitisch vor: Wenn die Entfernung zwischen zwei Galaxien in der realen Welt mit der Zeit größer wird, dann bewegen sie sich in dieser Zeit auseinander. Tatsächlich bezeichnen Kosmologen die beobachtete Rotverschiebung einer Galaxie als Maß der Geschwindigkeit, mit der diese Galaxie sich von unserer Galaxie entfernt.

Behauptete wissenschaftliche Belege, welche die grundlegende Theorie stützen

Die überwiegende Mehrheit der Kosmologen ist sich sicher, dass die grundlegende Big-Bang-Theorie durch drei starke Säulen gestützt wird: (a) die beobachteten Rotverschiebungen von Galaxien, die zeigen, dass das Universum sich ausdehnt, (b) die Existenz der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung und deren Schwarzkörper-Form, (c) der beobachtete relative Überschuss leichter Elemente.

Kosmologische Rotverschiebung

Als man die beobachtete Rotverschiebung von Himmelsobjekten als deren Bewegung fort von uns interpretierte, die mit zunehmender Entfernung schneller wurde, führte das zur Hubble-Konstante, dem Verhältnis der Expansionsgeschwindigkeit zur Entfernung. Deren Berechnung erwies sich als notorisch schwierig, nicht zuletzt, weil die Messung von Entfernungen eine ungeheure Herausforderung darstellt.* Nichtsdestoweniger gingen die Vertreter der herr-

* Siehe S.118.

schenden kosmologischen Lehre davon aus, dass alle Rotverschiebungen von Objekten, die weiter entfernt sind als unsere Lokale Gruppe von Galaxien, auf die Expansion des Universums zurückzuführen sind, und übernahmen die Rotverschiebung als *Maß* der Entfernung.

Mehrere angesehene Astronomen haben diese Annahme in Frage gestellt; ihrer Meinung nach zeigen die Daten, dass viele Rotverschiebungen eine andere Ursache haben. Damit werde ich mich in Kapitel 6 genauer beschäftigen, wenn es um die Probleme geht, mit denen die Kosmologie als Erklärungsansatz konfrontiert ist. *Falls* diese Interpretation der Daten* jedoch korrekt ist, dann ist die Rotverschiebung als solche – und speziell eine sehr starke Rotverschiebung, deren Herkunft aus einer Emission oder Absorption von Sonnenspektren sich nicht belegen lässt – kein zuverlässiger Indikator für kosmologische Entfernung oder Expansionsgeschwindigkeit und folglich auch nicht für das Alter. Und das würde eine der drei Hauptstützen für das Big-Bang-Modell der herrschenden kosmologischen Lehre untergraben.

Kosmischer Mikrowellen-Hintergrund

Die Temperatur des Kosmischen Mikrowellen-Hintergrunds (CMB) von 2,37 K lässt sich damit vereinbaren, dass sich im frühen Stadium des Heißen Big Bang die Strahlung von der Materie abkoppelte und abkühlte, während sie sich durch das expandierende Universum ausbreitete. Zudem müsste eine solche Strahlung das sogenannte Plancksche Schwarzkörperspektrum aufweisen. Der 1989 gestartete Satellit COBE machte solch ein Spektrum tatsächlich ausfindig und lieferte damit ein starkes Argument für das Modell der herrschenden Lehre.²¹

Doch wie wir bei meiner Auseinandersetzung mit der Dateninterpretation im Kapitel 6 sehen werden, behaupten auch die Vertreter anderer kosmologischer Modelle, dass Existenz und Eigenschaften der CMB mit ihren Hypothesen übereinstimmen.

Relativer Überschuss der leichten Elemente

Gamow, Alpher und Herman haben gezeigt, dass die Kerne von Helium, Deuterium und Lithium entstanden sein könnten, als es im extrem heißen Plasma der ersten paar Minuten des Big Bang zu einer Kernfusion von Protonen und

* Siehe S. 120, wo diese Dateninterpretation eingehender erörtert wird.

Neutronen kam. * Der relative Überschuss dieser leichten Elemente, die erzeugt wurden, bevor Expansion und Abkühlung den Prozess der Nukleosynthese beendeten, sollte im Universum heute weitgehend erhalten geblieben sein. Das von Alpher und Herman vorhergesagte Massenverhältnis von annähernd 75 Prozent Wasserstoff zu 25 Prozent Helium stimmt mit dem gemessenen Verhältnis überein und wird als überzeugender Beweis für den Heißen Big Bang angeführt.

Wie bereits erwähnt, hat Burbidge eingewandt, dass Alpher und Herman bei ihren Gleichungen für das Verhältnis der Baryonendichte (normale, sichtbare Materie) zur Strahlungsdichte einen Wert eingesetzt hätten, der so berechnet war, dass das damals beobachtete Verhältnis von Wasserstoff zu Helium herauskam. Somit habe es sich nicht um eine Vorhersage gehandelt. ** Er räumte ein, dass dieser gewählte Parameter auch das beobachtete Verhältnis von Wasserstoff zu Deuterium ergibt, was die Big-Bang-Hypothese tatsächlich stützt.

Michael Rowan-Robinson, damals Professor für Astrophysik am Imperial College in London und Präsident der Royal Astronomical Society, wies 2004 jedoch darauf hin, dass es aufgrund der von Tytler und Kollegen bei neueren Schätzungen erkannten Deuteriummenge in Absorptionslinien in der Sichtlinie zu Quasaren mit starker Rotverschiebung notwendig sei, die Schätzung für die Baryonendichte zu revidieren. Der neue Wert wird durch die Analyse der Fluktuationen im kosmischen Mikrowellen-Hintergrund gestützt. Daraus ergibt sich dann eine mangelhafte Übereinstimmung mit der Menge des Heliums.

All das legt nahe, dass dieser Stützpfeiler für den Big Bang nicht so stabil sein dürfte, wie die meisten Kosmologen behaupten.

Eine von Hoyle und Burbidge vorgebrachte alternative Hypothese behauptet, dass alle Elemente durch Nukleosynthese im Inneren von Sternen erzeugt werden. Denn wenn auf diese Weise die bekannte Menge des Heliums aus Wasserstoff erzeugt würde, so ergäbe sich aus der dabei freigesetzten, in thermische Strahlung umgewandelten Energie ein Schwarzkörper-Mikrowellenhintergrund von 2,67 K – was beinahe dem beobachteten Wert entspricht. Die beiden meinen, die anderen leichten Elemente könnten entweder in den Protuberanzen an der Oberfläche von Sternen produziert werden, wie das bekanntermaßen bei der Sonne und anderen Sternen geschieht, oder durch unvollständige Wasserstoffverbrennung im Inneren.²³

* Siehe S. 43.

** Siehe S. 44.

Alte Objekte in jungen Galaxien?

Angesehene Astronomen behaupten, dass Galaxien mit sehr starker Rotverschiebung, die also nach dem herrschenden Modell als sehr jung anzusehen sind, sehr alte Objekte wie Rote Riesen sowie Eisen und andere Metalle enthalten. Weil Galaxien keine Objekte enthalten können, die älter sind als sie selbst, sei die Big-Bang-Theorie daher falsch. Diese Behauptung werde ich eingehender betrachten, wenn ich in Kapitel 8 die Evolution der Materie im Universum untersuche.

Bei drei der zuvor genannten fünf Probleme ist der Widerspruch zu den vorliegenden Beobachtungsdaten weniger umstritten: das Fehlen magnetischer Monopole, die Abweichung von der Homogenität im Bereich von 1 zu 100 000 und die Isotropie des kosmischen Mikrowellen-Hintergrunds. Es waren diese drei sowie das Flachheitsproblem des Big-Bang-Modells, welche die meisten Kosmologen dazu brachten, die von der Inflationstheorie gebotene Lösung in das herrschende Modell des Universums zu integrieren. Deshalb müssen wir untersuchen, inwieweit diese Erweiterung der ursprünglichen Big-Bang-Theorie gültig ist.

Zuverlässigkeit der Inflationstheorie

Linde sagt: »Wenn das Universum am Beginn der Inflation nur 10^{-33} Zentimeter klein war,* dann nimmt dieser Bereich nach 10^{-35} Sekunden der Inflation eine unglaubliche Größe an. Gemäß manchen Inflationsmodellen kann diese Größe (10^{10})¹² Zentimeter erreichen«, also $10^{1000000000000}$ Zentimeter.²⁴ Damit behauptet einer der Erfinder der Inflationstheorie: In einem Zeitraum von hunderttausend Millionen Millionen Millionen Millionen Millionsteln einer Sekunde könnte sich ein Universum mit einem angenommenen Durchmesser von eintausend Millionen Millionen Millionen Millionen Millionsteln eines Zentimeters auf eine Größe ausgedehnt haben, die um mehr als 10 Milliarden Größenordnungen größer ist als das heute beobachtete Universum. Lindes eigener Einschätzung zu widersprechen, dass dies eine »unglaubliche« Dimension ist, wäre wohl vermessen.

Dass eine Mutmaßung unglaublich ist, heißt jedoch nicht, dass sie wissenschaftlich wertlos ist. Damit allerdings ein solcher Größenzuwachs in so kurzer Zeit zu erreichen ist, muss sich das Universums um sehr viele

* Diese Annahme beruht auf der Länge, unter der die Quantentheorie versagt.

Größenordnungen schneller als mit Lichtgeschwindigkeit ausgedehnt haben. Verfechter der Inflation beteuern, dass dies nicht gegen die Relativitätstheorie verstößt. Unter Berufung auf Friedmanns Interpretation argumentieren sie, dass nicht die Materie des Universums schneller unterwegs gewesen sei als das Licht, sondern der Raum zwischen der Materie – und die Relativitätstheorie verbiete nur, dass Materie und Information, nicht aber der Raum, schneller unterwegs seien als das Licht.

Eine Mehrheit der Inflationsverfechter vertritt inzwischen die Ansicht, dass der Heiße Big Bang nach der Inflation stattfand. Das heißt, es gab kein Material – wie Materie und Strahlung –, sondern nur eine Vakuumblase, die eine Inflation durchlief und sich mit deren Ende in Energie und Materie umwandelte. Doch die Inflationsverfechter meinen außerdem, dass der expandierende Raum oder das expandierende Vakuum eine Grundzustandsenergie besitzen, und weil Energie und Masse äquivalent sind, war die Massenenergie von Raum oder Vakuum logischerweise um mehrere Größenordnungen schneller unterwegs als das Licht, was im Widerspruch zur Relativitätstheorie steht.

Wie und wann die vorgeschlagene Expansion des Universums begann, ist eine offene Frage. Nach Guths ursprünglicher Version, die auf Großen Vereinheitlichten Theorien (GUT) der Teilchenphysik beruhte, begann die Inflation etwa 10^{-35} Sekunden nach dem Big Bang. Seither wurden mehr als 100 Versionen der Inflation entwickelt, die auf unterschiedlichen Mechanismen beruhen, meist irgendeine Form von Skalarfeld, das man als Inflatonfeld bezeichnet. Zu den unterschiedlichen Versionen gehören die chaotische, doppelte, dreifache und hybride Inflation sowie solche, die Gravitation, Spin, Vektorfelder und Brane aus der Stringtheorie verwenden.* Jede hat eine andere Startzeit, eine unterschiedlich lange Periode exponentieller Inflation mit Überlichtgeschwindigkeit sowie eine eigene Endzeit, sodass sich eine weite Spanne von Größen für das Universum ergibt. Dennoch erhebt jede Version den Anspruch, dass ihre Inflationsperiode mit einem Universum endet, das die höchst unwahrscheinliche kritische Massendichte aufweist, bei der $\Omega = 1$ ist, sodass danach ein flaches Universum stabil und mit abnehmender Geschwindigkeit expandieren kann.

Wenn der Big Bang beginnt, nachdem das Universum sich inflationär ausgedehnt hat, wirft das die Frage auf, was vor der Inflation stattfand, und warum,

* Die wichtigsten Versionen werden auf S. 174 und den anschließenden Seiten eingehender betrachtet.

wie und wann sie einsetzte. Guth scheint das nicht weiter umzutreiben: »[die] Inflationstheorie [lässt] viele unterschiedliche Annahmen hinsichtlich des Zustands des Universums vor dem Eintritt der Inflation [zu]«,²⁵ und »Wie unwahrscheinlich der Ausbruch einer Inflationsphase auch immer sein mag, ein anhaltender exponentieller Anstieg kann diesen Nachteil leicht wieder ausgleichen.«²⁶ Vage Antworten dieser Art gehören nicht gerade zu den Kennzeichen einer verlässlichen Theorie.

Diese Inflationstheorien werfen auch die Frage auf, wodurch die unterschiedlichen Mechanismen eigentlich ein superdichtes Ur-Universum exponentiell aufblähen können – gegen sein ungeheures Gravitationsfeld, von dem man erwarten würde, dass es das Ganze zu einem Schwarzen Loch* zusammenstürzen lässt, aus dem nichts entkommen kann. Um das zu beantworten, haben die meisten Theoretiker in ihre Gleichungen wieder die willkürlich gewählte Konstante Lambda eingeführt, die Einstein als Fehler verworfen hatte. Indem sie ihr einen positiven Wert zuweisen, der weit über dem liegt, den Einstein ihr gegeben hatte, können sie ihre fiktiven Inflationsfelder mit einer so gewaltigen negativen (oder abstoßenden) Gravitationsenergie versehen, dass das ungeheure normale Gravitationsfeld bedeutungslos wird.

Worum es sich bei Lambda in der physikalischen Realität handelt – im Unterschied zu einer willkürlich gewählten mathematischen Konstante, die einer Gleichung die erwünschte Lösung verschafft –, dazu gibt es verschiedene Auffassungen. Mit ihnen werde ich mich in Kapitel 4 auseinandersetzen. Denn mehr als 15 Jahre nach der Inflationshypothese wurde diese Konstante erneut bemüht – wenn auch mit einem wiederum sehr unterschiedlichen Wert –, um eine andere astronomische Beobachtung zu erklären, die dem Big-Bang-Modell widerspricht.

Es versteht sich von selbst, dass nicht alle der sehr unterschiedlichen Versionen der Inflation richtig sein können, doch Guth merkt dazu lediglich an: »Aus den vielen unterschiedlichen Inflationsszenarien, die in der Zwischenzeit entwickelt worden sind, lassen sich eine Reihe von Schlussfolgerungen ableiten. [...] Damit eine Inflation zustande kommt, benötigt man nur *einen* Zustand, der die Funktion des falschen Vakuums übernimmt, sowie *einen* Mechanismus, der für die Erzeugung der Baryonen (das heißt der Protonen und Neutronen) im Universum nach dem Ablauf der Inflationsphase verantwortlich ist. Aus diesem Grund wird die Idee von der Inflation auch dann überleben, wenn

* Siehe Glossar für eine ausführlichere Darstellung eines Schwarzen Lochs.

sich die großen vereinheitlichten Theorien als falsch herausstellen sollten [Kursivierung durch J. H.].²⁷ Hier wird keine Theorie im wissenschaftlichen Sinn formuliert, sondern eine Sammlung unterschiedlicher Mutmaßungen vorgelegt, die so abstrakt und allgemein sind, dass sie in der physischen Welt bedeutungslos bleiben.

Das Definitionsproblem ergibt sich, weil in der Kosmologie Theoretiker federführend sind, deren Werkzeug vor allem die Mathematik ist. Mathematiker verwenden das Wort »Theorie«, um eine Sammlung von Sätzen zu einem Gegenstand zu beschreiben, die durch Deduktion aus einer Gruppe von Annahmen oder Axiomen beweisbar sind und durch Symbole und Formeln ausgedrückt werden. Eine mathematische Theorie muss nicht in Zusammenhang mit physikalischen Phänomenen stehen, wie Einstein freimütig einräumte: »Der Skeptiker wird sagen: ›Es mag wohl wahr sein, dass dieses System von Gleichungen unter logischen Gesichtspunkten vernünftig ist. Doch dies beweist noch lange nicht, dass es in Wirklichkeit der Natur entspricht.‹ Sie haben völlig recht, verehrter Skeptiker. Nur mit Hilfe der Erfahrung lässt sich die Wahrheit ergründen.«

Die meisten Kosmologen behaupten zwar, ihre Disziplin sei eine Wissenschaft, doch für viele von ihnen ist eine mathematische Theorie gleichbedeutend mit einer wissenschaftlichen Theorie, obwohl beide sich grundlegend unterscheiden. Wissenschaft ist eine empirische Disziplin, und eine wissenschaftliche Theorie ist eine Erklärung für eine Gruppe von Phänomenen, die durch unabhängige Experimente oder Beobachtungen validiert wurde; sie dient dazu, präzise Vorhersagen oder Retrodiktionen über solche Phänomene zu machen.

Wissenschaftliche Belege, welche die Inflationstheorie stützen sollen

Lassen sich mit irgendeiner Hypothese zur Inflation spezifische Vorhersagen machen, die durch empirische Befunde bestätigt werden? 1997 schrieb Guth: »Wir können wohl guten Gewissens sagen, dass das Konzept der Inflation im strengen Sinn nicht bewiesen ist. Ich glaube aber, dass die Inflation eine Arbeitshypothese darstellt, die sehr schnell zu einer allgemein akzeptierten Theorie werden wird.«²⁸ 2004 behauptete er dann, dass »die Vorhersagen der Inflation gut mit dem übereinstimmen, was man im kosmischen Mikrowellen-Hintergrund gemessen hat.«²⁹ Tatsächlich verkündete das für die satellitengestützte Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) zuständige

Wissenschaftlerteam 2006, dass die im kosmischen Mikrowellen-Hintergrund (CMB) aufgespürten Kräuselungen für die einfachsten Versionen der Inflation sprechen. Dadurch wurde die Inflation als ein wesentliches Element der herrschenden Erklärung für die Entstehung des Universums bestätigt.

Ein Team, das im Rahmen des BICEP2-Projekts vom Südpol aus ein bis fünf Grad des Himmels (zwei- bis zehnmal die Ausdehnung des Vollmonds) untersuchte, gab 2014 zudem bekannt, es habe direkte Beweise für die Inflation gefunden.³⁰

Was die Forscher tatsächlich gefunden hatten, war ein B-Moden-Polarisationssignal im kosmischen Mikrowellen-Hintergrund (CMB). Das BICEP2-Team kam zu dem Schluss, das Signal rühre von Ur-Gravitationswellen her, die von der inflationären Expansion des Universums erzeugt worden waren. Nach anfänglicher Aufregung – es war schon von Nobelpreisen die Rede – behaupteten zwei unabhängige Studien zu den BICEP2-Daten später, das Signal könne ebenso gut durch Staub und Magnetfelder in unserer eigenen Milchstraßen-Galaxie erklärt werden.³¹ Zudem waren die Signale weit stärker als erwartet und nicht mit den Teleskopdaten des WMAP- und des Planck-Projekts vereinbar gewesen.

Ob sich aus den verschiedenen Inflationsversionen überhaupt Vorhersagen ableiten lassen oder ob die Parameter ihrer Feldgleichungen so getrimmt wurden, dass sie Ergebnisse produzieren, die mit den Beobachtungen übereinstimmen, ist eine Frage, die ich in Kapitel 8 untersuchen werde. Außerdem wird in der kosmologischen Fachliteratur nur selten erwähnt, dass es Behauptungen gibt, die Kräuselungen der CMB stünden mit anderen Hypothesen in Einklang – etwa dem kugelsymmetrisch inhomogenen Modell des Universums, dem zyklisch-ekpyrotischen Modell des Universums, der Kosmologie des Quasi-Fließgleichgewichts und dem Modell der Plasmakosmologie, einem ewigen Universum.

Diese Behauptungen und die WMAP-Daten untersuche ich eingehender, wenn ich in Kapitel 6 auf die Frage der Dateninterpretation eingehe. Hier beschränke ich mich auf den Hinweis, dass Peter Coles, Professor für Astronomie an der University of Nottingham (UK), Diskrepanzen zwischen WMAP-Daten und der Inflationstheorie hervorhebt. So führt er die unerklärliche Abfolge bestimmter Bestandteile heißer und kalter Orte an, die theoretisch strukturlos sein sollten. Sein Fazit:

Es gibt wenig direkte Belege dafür, dass die Inflation überhaupt stattgefunden hat. Einige Beobachtungen des kosmischen Mikrowellen-

Hintergrunds ... stehen zwar mit der Vorstellung einer Inflation in Einklang, doch das heißt nicht, dass es sie wirklich gab. Selbst wenn das der Fall gewesen sein sollte, wüssten wir noch nicht einmal, was sie verursacht hat.³²

Rowan-Robinson kommt zu einem ähnlichen Urteil:

Inzwischen hat man mehrere verschiedene Versionen zum Ablauf der Inflation vorgelegt. Ihr wesentliches gemeinsames Merkmal ist die Periode exponentieller Expansion im sehr frühen Universum, die das Horizont- und das Flachheitsproblem löst. Es gibt jedoch keine Belege dafür, dass irgendeine Phase dieser Art je durchlaufen wurde, und es ist tatsächlich schwer ersichtlich, wie man einen solchen Beweis erbringen kann.³³

Ellis macht auf die geringe Erklärungs- und Vorhersagekraft der Inflationstheorie aufmerksam:

Wenn die Hypothese nur die spezifischen Fragen in Bezug auf das sehr frühe Universum löst, für deren Lösung sie konzipiert wurde, und sonst nichts, dann besitzt sie in der Tat nur wenig Erklärungskraft; sie ist dann eher nur eine (und theoretisch vielleicht bessere) alternative Darstellung der bekannten Gegebenheiten ... Das angenommene Inflationfeld, das im frühen Universum einer inflationären Periode rascher Expansion unterworfen ist, wurde nicht gefunden und schon gar nicht durch irgendein Laborexperiment nachgewiesen. Weil dieses Feld φ unbekannt ist, kann man ihm ein beliebiges Potential $V_{(\varphi)}$ zuweisen ... Man kann zeigen, dass praktisch jede gewünschte Skalenentwicklung $S_{(t)}$ des Universums zu erreichen ist, wenn man dieses Potenzial passend wählt; ebenso lässt sich fast jedes gewünschte Störspektrum [das angeblich die Kräuselungen der CMB hervorbringt] erhalten, wenn man eine (möglicherweise andere) passende Wahl trifft. Tatsächlich kann man in jedem Fall die Mathematik rückwärts ablaufen lassen, um das erforderliche Potenzial $V_{(\varphi)}$ vom gewünschten Ergebnis her zu bestimmen.³⁴

Und schließlich: Wenn eine Hypothese zur wissenschaftlichen Theorie werden soll, muss sie auch überprüft werden können. Die zentrale Behauptung

der verschiedenen Inflationshypothesen lautet, dass das von uns beobachtete Universum ein unfassbar winziger Teil des gesamten Universums ist. Wenn keine Information schneller unterwegs sein kann als das Licht, können wir mit keinem anderen Teil dieses Universums kommunizieren oder Informationen darüber gewinnen. Solange die Vertreter der verschiedenen Inflationsmodelle kein Verfahren entwickeln, mit dem sich zweifelsfrei die Existenz von etwas beweisen lässt, mit dem wir nicht kommunizieren oder über das wir keine Information gewinnen können, bleibt ihre zentrale Aussage nicht nur ungeprüft, sondern auch unüberprüfbar. Ich werde die Inflation von nun an als *Mutmaßung* bezeichnen.

Wie sagte doch John Maddox, der 23 Jahre lang Chefredakteur von *Nature* war: »Es sagt viel über die Haltung der Wissenschaft aus, dass sie ihre andauernde und gesunde Skepsis ungewohnt sparsam auf diese gewagte und ausgeklügelte Theorie angewendet hat.«³⁵

Folgerungen

Die Folgerung ist kaum zu vermeiden, dass die herrschende Theorie der Kosmologie nicht verlässlich ist, weil viele ihrer Grundannahmen nicht stichhaltig sind und sie davon abhängen, dass man willkürlich gewählte Parameter einsetzt und ihre Werte anpasst, damit sie mit den Beobachtungen übereinstimmen. Überdies mangelt es den verschiedenen Inflationsmodellen, mit denen man die anerkannten Widersprüche des grundlegenden Big-Bang-Modells gegenüber den Beobachtungsdaten erklären will, nicht nur an Verlässlichkeit – ihre zentrale Behauptung ist auch nicht überprüfbar.

Darüber hinaus kann sie mehrere entscheidende Fragen nicht angehen oder angemessen erklären. Diese werde ich im folgenden Kapitel erörtern.

KAPITEL 4

WAS DIE HERRSCHENDE LEHRE NICHT ERKLÄREN KANN

Prinzipiell ist es in der Wissenschaft unerwünscht, bei der Erklärung des Beobachtbaren entscheidend von Dingen abzuhängen, die nicht beobachtbar sind.
Halton Arp, 1990

Wir können nicht nur nicht sehen, woraus das Universum besteht, wir bestehen noch nicht einmal aus dem, woraus der größte Teil des Universums besteht.
Bernard Sadoulet, ~ 1993

Wenn das inflatorische Big-Bang-Modell als vorherrschende wissenschaftliche Theorie eine überzeugende Erklärung für den Ursprung der Materie, aus der wir bestehen, bereitstellen soll, dann muss es sechs Schlüsselfragen zufriedenstellend beantworten können.

Singularität

Dreht man die Uhr der kosmischen Expansion zurück, so gelangt man gemäß dem Big-Bang-Modell zu einer Singularität. Diese Idee haben theoretische Physiker entwickelt, als sie sich mit Schwarzen Löchern befassten. Sie lässt sich folgendermaßen definieren:

Singularität — Eine hypothetische Region der Raumzeit, in der Gravitationskräfte eine endliche Masse zu einem unendlich kleinen Volumen mit unendlicher Dichte komprimieren. Die Raumzeit wird dabei unendlich stark verzerrt.

1970 veröffentlichten Stephen Hawking und Roger Penrose einen mathematischen Beweis, dass es eine Big-Bang-Singularität gegeben haben muss – vorausgesetzt, die Allgemeine Relativitätstheorie ist korrekt und das Universum enthält so viel Materie, wie wir beobachten. Das wurde zur Theorie der herrschenden Lehre.

Hawking hat seine Ansicht mittlerweile jedoch geändert und behauptet, die Singularität verschwinde, sobald Quanteneffekte einbezogen würden (siehe Hartle-Hawkings grenzenloses Universum im nächsten Kapitel).

Gab es also beim Big Bang eine Singularität, und wenn ja, was wissen wir über das Universum in diesem Stadium?

Was den ersten Teil der Frage angeht, gibt die herrschende Theorie keine eindeutige Antwort. Zum zweiten Teil sagt sie uns gar nichts, weil Relativitäts- und Quantentheorie, auf denen sie aufbaut, hier versagen.* Obwohl eine Zeitspanne von 10^{-43} Sekunden so absurd klein erscheinen mag, dass keine spezifischen Aussagen möglich sind, spekulieren verschiedene Inflationsmodelle, dass in einer solchen Periode vor oder nach einem Big Bang höchst bedeutsame Ereignisse stattgefunden hätten.

Das beobachtete Verhältnis von Materie zu Strahlung

Die herrschende Theorie zum Ursprung der Materie zieht die Standardtheorie der Teilchenphysik heran, um zu erklären, wie Materie aus der Energie entstand, die beim Big Bang explosionsartig freigesetzt wurde.

Gemäß der Standardtheorie kann ein Elementarteilchen der Materie sich spontan aus einem Energiefeld materialisieren, wobei gleichzeitig das dazu symmetrische Teilchen aus Antimaterie mit gleicher Masse und gleichem Spin, aber entgegengesetzter Ladung entsteht. Ein (negativ geladenes) Elektron tritt also mit einem (positiv geladenen) Positron auf, ein (positiv geladenes) Proton mit einem (negativ geladenen) Antiproton. Unter Laborbedingungen können diese Teilchen und Antiteilchen voneinander getrennt und mithilfe elektromagnetischer Felder »aufbewahrt« werden. Die Lebensdauer solcher Elementarteilchen und Antiteilchen ist jedoch ohne äußere Felder sehr gering – typischerweise sind es 10^{-21} Sekunden. Danach vernichten sie einander in einem heftigen Energieausbruch – einer Umkehrung des Vorgangs, durch den sie entstanden sind.

Deshalb musste das inflatorische Big-Bang-Modell Folgendes erklären: (a) In der extrem hohen Dichte unmittelbar nach dem Big Bang waren die

* Siehe S. 56.

entstandenen Paare aus Teilchen und Antiteilchen eng zusammengepresst – warum vernichteten sich all diese Teilchen und Antiteilchen nicht gegenseitig?; b) Wir wissen, dass im Universum eine enorme Menge von Materie existiert – wo ist die entsprechende Menge der Antimaterie?

Spekulierte man zunächst über Anti-Galaxien, so ging man später dazu über, anhand von Beobachtungen das Verhältnis von Photonen zu Protonen im Universum zu schätzen, das etwa zwei Milliarden zu eins beträgt. Daraus folgerten die Theoretiker, dass sich für jeweils eine Milliarde Antiteilchen – Antiprotonen und Positronen –, die sich aus der Energiefreisetzung des Big Bang materialisierten, eine Milliarde und eins entsprechende Teilchen – Protonen und Elektronen – materialisiert haben müssten. Je eine Milliarde Teilchen und Antiteilchen vernichteten sich gegenseitig in einem gewaltigen Energieausbruch, bei dem zwei Milliarden Photonen entstanden; das sind Quanten elektromagnetischer Energie. Dem Big-Bang-Modell zufolge ist es diese inzwischen expandierte und abgekühlte Energie, welche die Strahlungsenergie des kosmischen Mikrowellen-Hintergrunds bildet, die wir jetzt sehen. Die über die jeweilige Milliarde hinausgehenden verwaisten Protonen und Elektronen überlebten und verbanden sich in der Folge zur gesamten Materie des Universums – den Planeten, Sonnensystemen, Galaxien und Galaxienhaufen.

Das jedoch stand in Widerspruch zur Standardtheorie der Teilchenphysik, wonach sich in Übereinstimmung mit dem Symmetriegesetz nur Paare von Teilchen und Antiteilchen materialisieren können.

Für die theoretischen Physiker blieb dieser Widerspruch ein Problem, bis Mitte der 1970er Jahre die Mutmaßung aufkam, bei den extrem hohen Temperaturen des Big Bang seien drei Grundkräfte der Natur – die elektromagnetische, die schwache und die starke Kernkraft* – nur verschiedene Aspekte der gleichen Kraft. Man dachte sich verschiedene mathematische Modelle aus und bezeichnete sie als Große Vereinheitlichte Theorien (Grand Unified Theories oder GUTs), obwohl die ursprüngliche GUT durch experimentelle Daten widerlegt wurde und sich auch keine von den anderen bestätigen ließ. Diesen theoretischen Mutmaßungen zufolge können alle Arten von Elementarteilchen mit allen anderen Teilchen interagieren und sich sogar in diese verwandeln. Infolgedessen glaubte man, dass die Symmetrie zwischen Materie und Antimaterie nicht zwangsläufig erhalten werden muss. Das Standardmodell

* Siehe Glossar.

wurde so angepasst, dass es Antisymmetrie ermöglichte. Durch diese Anpassung lässt sich der Betrag der Antisymmetrie nicht etwa voraussagen, sondern sie erfordert – wie die Ladung eines Elektrons – empirische Messwerte, die dann in das Modell eingebracht werden, damit es mit der Beobachtung übereinstimmt.

Anders als in den 1970ern erhofft, konnte die Materie-Antimaterie-Asymmetrie zunächst nicht im Labor entdeckt und gemessen werden. Erst 2001 gelang die Erzeugung von B-Mesonen – Teilchen, die hypothetisch ein Bottom-Quark und ein Anti-Down-Quark enthalten sollten – und Anti-B-Mesonen, die für 10^{-12} Sekunden überlebten. Die dabei beobachtete Asymmetrie war jedoch nicht groß genug, um das geschätzte Verhältnis von Energie zu Materie im Universum erklären zu können.¹

Folglich muss die derzeit herrschende Lehre zum Ursprung der Materie eine überzeugende Antwort auf die Frage liefern, wie die beim Big Bang freigesetzte Energie so in Materie verwandelt worden sein kann, dass dabei das heute im Universum beobachtete Verhältnis von Materie zu Energie herauskam.

Dunkle Materie und Omega

Hier ergeben sich zwei Probleme.

Schätzt man die Masse einer Galaxie nach der konventionellen Methode, indem man ihre Leuchtkraft misst, dann beträgt die Anziehungskraft der Masse nur etwa ein Zehntel dessen, das erforderlich wäre, alle Sterne der Galaxie in einer Umlaufbahn um ihr Zentrum zu halten. Ebenso beträgt die Anziehungskraft der Masse eines Galaxienhaufens, die sich aus der Messung seiner Leuchtkraft ergibt, nur ein Zehntel dessen, das erforderlich wäre, all die Galaxien in einem Haufen zusammenzuhalten.

Das ist keine große Überraschung, weil die herkömmliche Methode einfach das emittierte Licht misst. Sterne und Galaxien unterschiedlicher Masse variieren hinsichtlich Leuchtkraft und Entfernung von uns, und weiter entfernte Objekte könnten durch Gas oder Staub verdunkelt oder vom Licht näher liegender Sterne und Galaxien überstrahlt sein. Die Messung der Masse ist also lediglich eine grobe Schätzung, die auf dem Durchschnitt geschätzter »bekannter« Werte beruht.

Bedeutsamer ist, dass die herkömmliche Methode keine Masse misst, die nicht Licht emittiert oder reflektiert. Wenn die Allgemeine Relativitätstheorie

gilt, dann muss es etwa eine zehnfache Menge nichtleuchtender Materie – die Dunkle Materie – geben, die sich über den Radius jeder sichtbaren Galaxie hinaus erstreckt, damit die Galaxie nicht auseinanderfliegt. Ebenso muss es etwa eine zehnfache Menge dunkler Materie in dem gedachten leeren Raum geben, der das sichtbare Cluster von Galaxien umgeben soll.

Die vielen Spekulationen, was diese Dunkle Materie ausmachen könnte, lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

MACHOs — Massive Compact Halo Objects (massereiche, kompakte Halo-Objekte) sind Formen dichter Materie, etwa Schwarze Löcher, Braune Zwerge und andere schwach oder nicht leuchtende Sterne. Mit ihnen erklären Astrophysiker die Dunkle Materie am liebsten.

WIMPs — Weakly Interacting Massive Particles (schwach wechselwirkende massereiche Teilchen) sind Teilchen, die vom Big Bang übrig geblieben sind, etwa Neutrinos mit der hundertfachen Masse eines Protons, und so weiter. Sie werden von Teilchenphysikern zur Erklärung der Dunklen Materie bevorzugt.

Obwohl man aus ihren Gravitationseffekten auf die Dunkle Materie geschlossen hat, ist es der Forschung in mehr als 30 Jahren nicht gelungen, das Wesen der Dunklen Materie genauer zu bestimmen oder die Existenz von WIMPs experimentell zu bestätigen. Viele Teilchenphysiker hoffen weiterhin, dass der Nachweis durch den LHC erbracht wird, der 2015 mit annähernd doppelt so hohen Kollisionsenergien wieder in Betrieb genommen wurde.

Das zweite Problem: Selbst wenn man all die Dunkle Materie, die schätzungsweise notwendig ist, um die Sterne in ihren Galaxien und die Galaxien in ihren Clustern zu halten, zur geschätzten sichtbaren und bekannten Materie addiert, ergibt sich eine Gesamtmasse, deren Gravitationskraft bei weitem nicht groß genug ist, um die kinetische Energie der Expansion auszugleichen, der das Universum laut dem inflatorischen Big-Bang-Modell der herrschenden Lehre unterworfen ist. Aus den Schätzungen ergibt sich für den Dichteparameter Ω ein Wert von etwa $0,3^2$, was erheblich weniger ist als der Wert $1,0$ des flachen Universums, der im herrschenden Modell von Friedmann-Lemaître angenommen wird und von den Verfechtern einer Inflation in rationale Gleichungen umgesetzt wurde.

Somit kann die aktuell herrschende Lehre vom Ursprung der Materie nicht beantworten, was (a) die Dunkle Materie ist, die anscheinend die Sterne in

Umlaufbahnen und die Galaxien in Clustern hält, und (b), was und wo die zusätzliche Materie ist, die man braucht, damit kein Widerspruch zum herrschenden Modell des Universums entsteht.

Dunkle Energie

Als wäre das für das herrschende Modell nicht schon schlimm genug gewesen, gaben Astronomen 1998 eine noch bedeutsamere Entdeckung bekannt.

Durch die Weiterentwicklung der Technik und der astrophysikalischen Theorie konnten zwei internationale Astronomen-Teams Daten von stark rotverschobenen Supernovae des Typs Ia sammeln. Sie waren der Meinung, dass diese heftigen Explosionen Weißer Zwergsterne sogenannte Standardkerzen der Leuchtkraft produzieren. Ihr Maß der Rotverschiebung bedeutete nach der herrschenden kosmologischen Lehre, dass die Sterne weit entfernt und deshalb jung sind; sie sollten explodiert sein, als das Universum etwa 9–10 Milliarden Jahre alt war. Doch sie waren weniger hell als erwartet. Die Kosmologen schlossen daraus, dass sie weiter entfernt sein mussten, als das Friedmann-Lemaître-Modell der flachen Geometrie vorhergesagt hatte – ihm zufolge sollte die Expansionsrate des Universums langsamer werden. Deshalb entschieden sie, es müsse etwas geben, das die Expansion des Universums beschleunigt hatte. Diese unbekannt Komponente nannten sie »Dunkle Energie«.³

Gestützt auf die Annahmen der herrschenden Theorie und deren Interpretation astronomischer Daten verkündeten die Wissenschaftler, die das satellitengestützte Projekt WMAP betrieben, im Jahr 2003, das Universum bestehe aus 4 Prozent bekannter Materie, 23 Prozent einer unbekannt Art Dunkler Materie und 73 Prozent dieser mysteriösen Dunklen Energie.* Anders gesagt, die unbekannt Dunkle Materie, welche die uns bekannte Materie winzig erscheinen lässt, wird ihrerseits durch eine unbekannt Dunkle Energie in den Schatten gestellt, die mehr als zwei Drittel des Universums ausmacht. Vielleicht sollte man Bernard Sadoulets Zitat am Anfang des Kapitels so

* Daten des Planck-Weltraumteleskops der Europäischen Raumfahrtagentur führten zu einer Revision dieser Anteile auf 4,9 Prozent bekannte Materie, 26,8 Prozent Dunkle Materie und 68,3 Prozent Dunkle Energie.

Nun also führten Theoretiker die kosmologische Konstante abermals ein – allerdings mit einem ganz anderen Wert, als Einstein oder Vertreter der Inflationsvermutung ihr gegeben hatten –; so versuchten sie, die besagte Beschleunigung zu erklären, die sehr viel geringer ausfiel als die inflatorische Beschleunigung. Nicht ohne Grund spricht der Kosmologe Rocky Kolbe von der University of Chicago scherzhaft von der kosmo-unlogischen Konstante.

Wenn sie aber mehr sein soll als eine Konstante, welche die Theoretiker beliebig in die Gleichungen einsetzen und mit deren Wert sie so lange herumspielen können, bis ihre Lösungen zu den Beobachtungen passen, dann muss sie in der realen Welt etwas bedeuten. In der Teilchenphysik dachte man, sie repräsentiere die Nullpunktenergie, den quantenmechanischen Grundzustand des Universums – das ist die niedrigste mögliche Energie des Universums, die mit dem Vakuum des leeren Raums zusammenhängt. Als man jedoch ihren Wert entsprechend berechnete, stellte sich heraus, dass er um enorme 120 Größenordnungen höher lag als der, den Astronomen beobachtet hatten.⁴

Der theoretische Physiker Martin Kunz und seine Kollegen stellten Lambda in Frage, indem sie darauf hinwiesen, dass es erstens eine weite Spanne bei den astronomischen Daten gebe und zweitens die Interpretation dieser Daten von Vorannahmen über das Wesen der Dunklen Energie stark beeinflusst werde. Sie meinten, wenn man die Daten zu einer weiten Spanne astrophysikalischer Phänomene vergleiche, lasse sich eine kosmologische Konstante als Ursprung der Dunklen Energie möglicherweise ausschließen.⁵

Ein anderer Teilchenphysiker, Syksy Rasanen vom CERN, schlug in die gleiche Kerbe mit der Idee, die beschleunigte Expansion des Universums werde nicht durch eine mysteriöse Dunkle Energie angetrieben, sondern paradoxerweise durch eine ständig abnehmende Expansionsrate jener kleinen Raumregionen, die von Materie dominiert sind. Da diese Regionen durch ihre Gravitation mehr Materie in sich aufnahmen, würden sie ständig dichter und stellten dadurch einen immer kleineren – und weniger bedeutsamen – Anteil am Volumen des Universums. Die Expansion der leeren Räume gehe ungehindert weiter, da sie einen immer größeren Anteil am Volumen des Universums ausmachten. Insgesamt führt das laut Rasanen dazu, dass die durchschnittliche Expansionsrate des Universums zunimmt, ohne dass dafür Dunkle Energie nötig wäre.⁶

2011 wies die theoretische Physikerin Ruth Durrer von der Universität Genf darauf hin, dass die verschiedenen Belege, welche die Existenz der Dunklen Energie beweisen sollen, bislang allesamt auf Entfernungen beruhen, die mittels Rotverschiebung berechnet wurden und größer sind, als nach dem

herrschenden Modell zu erwarten war.⁷ Richard Lieu, Professor für Astrophysik an der University of Alabama, geht weiter – er meint, ein großer Teil des herrschenden Modells, das inzwischen Dunkle Materie und Dunkle Energie einbezieht, »ist durch eine lähmende Propaganda flankiert worden, mit der Gegenbeweise unterdrückt und konkurrierende Modelle niedergehalten werden«. Er behauptet, zwei dieser konkurrierenden Modelle – eines kommt ohne Dunkle Materie aus, das andere sowohl ohne Dunkle Materie als auch ohne Dunkle Energie – stimmten auch nicht besser oder schlechter mit den Belegen überein. Je weniger das Lager der herrschenden Lehre, das die Förderinstitutionen dominiert, dazu imstande sei, die unbekanntesten dunklen Bestandteile aufzuspüren, desto mehr Steuergeld investiere es in den Versuch, sie zu finden, was letztlich dazu führe, dass alternative Ansätze vollständig abgewürgt würden.⁸

Auch Ellis hält daran fest, dass alternative Erklärungen für die astronomischen Daten möglich seien. Sie könnten zu dem Modell eines kugelsymmetrischen, inhomogenen Universums passen oder zum Teil auf Rückwirkungen von Inhomogenitäten bei der kosmischen Expansion zurückzuführen sein, oder eine Auswirkung von Inhomogenitäten auf die effektive Entfernung der Region darstellen.⁹

Der Kosmologe Lawrence Krauss meint, »das Wesen der ›Dunklen Energie‹, welche die offenbar beschleunigte Expansion des Universums antreibt, ist zweifellos das größte Mysterium der Physik und der Astronomie.«¹⁰

Wenn also die vorherrschende wissenschaftliche Theorie für den Ursprung der Materie überzeugend sein soll, dann muss sie folgende Fragen beantworten: (a) Beschleunigt sich die Expansion des Universums oder nicht?; (b) Falls ja: Wann ging die langsamer werdende Expansion in eine schneller werdende über?; und (c) Welche verifizierbare Ursache hat diese Beschleunigung?

Die Feinabstimmung kosmologischer Parameter

Als es in Kapitel 3 um das Flachheitsproblem des ursprünglichen Big-Bang-Modells ging, haben wir gesehen, wie extrem winzige Unterschiede beim Omega-Wert – mit dem das Verhältnis zwischen der Anziehungskraft der Materie im Universum und seiner Expansionsenergie gemessen wird – sehr unterschiedliche Arten von Universen hervorbringen.

Im Jahr 2000 meinte Martin Rees, der britische Astronomer Royal, wenn nicht nur der Wert von Omega, sondern auch der von fünf weiteren kosmolo-

gischen Parametern nur um eine Winzigkeit anders gewesen wäre, hätte unser Universum sich nicht zu seinem derzeitigen Zustand entwickelt, wo Menschen wie wir darin leben, die über den Ursprung des Universums nachdenken.

Tatsächlich wird behauptet, für die Evolution des Menschen sei nicht nur die Feinabstimmung der sechs von Rees genannten Parameter erforderlich, sondern auch die vieler weiterer; die Frage des »anthropischen Universums« werde ich in späteren Kapiteln ausführlicher erörtern. Hier genügt die Feststellung, dass die herrschende kosmologische Theorie nicht beantworten kann, wie und warum das aus dem Big Bang hervorgegangene Universum die Form annahm, die es heute hat, wo doch viele andere Formen möglich gewesen wären.

Erschaffung aus dem Nichts

Das ist der Elefant im Raum. Es ist die größte Frage, welche die Theorie der herrschenden Lehre zum Ursprung der Materie beantworten muss. Einfach ausgedrückt: Woher kam das alles?

Präziser gefragt: Woher kam die Energie, die nicht nur das ganze Universum hervorbrachte, sondern die auch der ungeheuren Anziehungskraft der dabei entstandenen superdichten – unendlich dichten, falls alles aus einer Singularität hervorging – Materie widerstand, sodass sie das Universum zu seiner derzeitigen Größe expandieren lassen konnte?

Viele Kosmologen vertreten die Vorstellung, sie ergebe sich aus der Nettoenergie null des Universums. Gemäß Einsteins Spezieller Relativitätstheorie besitzt jede Masse m ein Energieäquivalent, das sich aus $E=mc^2$ berechnet, und diese Ruhemasse-Energie der Materie hat üblicherweise ein positives Vorzeichen. Guth meint nun, die Energie eines Gravitationsfeldes sei negativ. Auf der Grundlage einer Idee, die anscheinend erstmals von Richard Tolman im Jahr 1934¹¹ vorgebracht wurde, plädiert er für eine Entstehung aus dem Nichts mithilfe der Nettoenergie null. Seine Argumentation lässt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Wenn für das Universum das Prinzip der Energieerhaltung gilt, dann muss die Energie des Universums genau der entsprechen, aus der es hervorgegangen ist.
2. Wenn das Universum aus nichts entstanden ist, dann muss die Gesamtenergie des Universums null betragen.

3. Weil das beobachtbare Universum eindeutig mit einer nicht auslotbaren Massenenergie von hundert Milliarden expandierenden Galaxien ausgefüllt ist, muss diese durch irgendeine andere Energie ausgeglichen werden.
4. Weil das Gravitationsfeld negative Energie besitzt, kann es die beobachtete ungeheure Energiemenge durch einen negativen Beitrag gleicher Größe ausgleichen.
5. Weil es für die Größe der Energie im Gravitationsfeld keine Grenze gibt, gibt es auch für den Betrag der Massenenergie, den sie ausgleichen kann, keine Grenze.
6. Deshalb könnte sich das Universum aus absolut nichts entwickelt haben, ohne dass dabei gegen einen der bekannten Erhaltungssätze verstoßen würde.¹²

Aussage (2) hängt von der Voraussetzung ab, dass das Universum *tatsächlich* aus nichts hervorgegangen ist. Das ist keineswegs eine selbstverständliche Wahrheit. Die Gültigkeit der Aussage ist also fragwürdig.

Aussage (5) beruht auf einer fragwürdigen Annahme; Begriffe wie »grenzenlos« und »unbeschränkt« werde ich in Kapitel 6 erörtern, wenn ich mich mit Unendlichkeiten in einem physikalischen Kosmos auseinandersetze.

Doch selbst wenn wir diese fragwürdigen Aussagen akzeptieren, zeigt die Argumentation lediglich, wie das Universum sich *theoretisch* aus nichts entwickelt haben *könnte*, aber nicht, *wie es sich in der Realität* entwickelt hat.

Edward Tryon schlug 1973 eine weitere Lösung vor: die »Quantenfluktuation des Vakuums«. Gemäß dem Unbestimmtheitsprinzip der Quantentheorie können wir die präzise Energie eines Systems zu einem präzisen Zeitpunkt nicht messen. Dementsprechend erlaubt die Quantentheorie die Vermutung, dass sogar ein Vakuum, also ein Raum, aus dem alles entfernt wurde, einen Nullpunkt (einen Grundzustand) fluktuierender Energie besitzt, aus dem sich spontan ein Paar aus Materie- und Antimaterieteilchen materialisieren kann. Das Paar existiert für eine unfassbar kurze Zeitspanne und verschwindet dann wieder. Tryon brachte vor, das Universum habe sich durch eine solche Quantenfluktuation spontan aus dem Nichts materialisiert.¹³

In der Quantentheorie nimmt jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass ein Objekt sich aus dem Vakuum materialisiert, dramatisch ab, je mehr Masse und Komplexität es aufweist. Dass ein 14 Milliarden Jahre altes komplexes Universum mit einer Masse, die etwa zehntausend Milliarden Milliarden Mal so groß ist wie die der Sonne, auf diesem Weg entstanden sein könnte, ist deshalb so unwahrscheinlich, dass es praktisch unmöglich ist. Tryons Vorschlag wurde nicht ernst genommen, bis die Inflation zu Hilfe kam.

Guth und andere spekulieren, dass während der unendlich kurzen Lebenszeit solcher Quantenfluktuationen des Vakuums sich ein Proto-Universum fast augenblicklich um etwa 50 Größenordnungen inflatorisch ausdehnte – obwohl das Gravitationsfeld seiner Materie dabei war, es zu einem Nichts zu komprimieren.

Dies fordert zwei Einwände heraus. Erstens kann diese Massenenergie, wie wir in Kapitel 3 gesehen haben, entgegen den anderslautenden Argumenten der Inflationstheoretiker nicht schneller unterwegs sein als das Licht, ohne mit der Relativitätstheorie in Konflikt zu geraten.*

Zweitens gibt es, wie wir ebenfalls im letzten Kapitel gesehen haben, ungefähr 100 verschiedene Versionen der Inflation, auch wenn die meisten Linde folgen und davon ausgehen, dass der zugrunde liegende Mechanismus eine Art von Skalarfeld ist, das man allgemein Inflationsfeld nennt. Doch anders als beim Magnetfeld, das detektiert und gemessen werden kann, ist bislang noch keine Möglichkeit gefunden worden, ein Inflationsfeld aufzuspüren oder gar zu messen. Für diese entscheidende Vermutung fehlt die empirische Unterstützung.

Die Energie für dieses spekulative Inflationsfeld soll aus der Nettoenergie des Universums hervorgehen, die bei null liegt. Während Rees diese Idee vorsichtig als »Mutmaßung« bezeichnet,¹⁴ hat Hawking keine solchen Vorbehalte. Er behauptet, im Falle eines im Raum annähernd gleichförmigen Universums gleiche die negative Gravitationsenergie die durch Materie repräsentierte positive Energie exakt aus. Daher liege die Gesamtenergie des Universums bei Null. »Nun ist zwei mal Null ebenfalls Null. Das Universum kann also den Betrag der positiven Materieenergie und der negativen Gravitationsenergie verdoppeln, ohne gegen das Gesetz von der Erhaltung der Energie zu verstoßen ... Während der Inflationsphase wächst die Größe des Universums um einen sehr hohen Betrag. Damit wird die Gesamtenergie, die zur Hervorbringung von Teilchen zur Verfügung steht, sehr groß. Guths Kommentar: »Es heißt, von nichts kommt nichts. Doch das Universum ist die Verkörperung des entgegengesetzten Prinzips in höchster Vollendung.«¹⁵

Außer Kosmologen fallen mir keine Wissenschaftler ein, die an dieses Prinzip glauben. Doch selbst wenn das Universum aus dem Nichts gekommen sein sollte, kann diese Idee immer noch nicht erklären, woher die Bestandteile dieses Nichts kamen. Schließlich ist ein Vakuum mit einer Grundzustandsenergie

* Siehe S. 63.

und zufälligen Quantenfluktuationen nicht nichts. Woher kam dieses Vakuum? Und außerdem, wie kann das alles überprüft werden?

Diese Fragen muss die derzeit herrschende Kosmologie beantworten, wenn ihre Vermutung einer Entstehung aus dem Nichts als wissenschaftliche Theorie behandelt werden soll.

Folgerungen

Am Ende von Kapitel 3 stand das Fazit, dass die herrschende kosmologische Theorie nicht verlässlich ist und dass die zentrale Behauptung einer Inflation, die man ergänzend herangezogen hatte, um die eingeräumten Widersprüche zu Beobachtungsdaten zu erklären, sich kaum überprüfen lassen dürfte.

Das vorliegende Kapitel hat ergeben, dass die derzeitige Theorie selbst mit zwei weiteren bedeutenden Ergänzungen – Dunkle Materie und Dunkle Energie – keine überzeugenden Antworten auf sechs Schlüsselfragen liefert: Entstand das Universum als Singularität, und wenn ja, wie ging das vor sich; wie bildete sich aus der im Big Bang freigesetzten Energie Materie, sodass das heute beobachtete Verhältnis von Materie zu Energie zustande kam; was ist die Dunkle Materie, die anscheinend nötig ist, um zu erklären, warum Galaxien und Galaxienhaufen nicht auseinanderfliegen; was und wo ist die noch umfangreichere zusätzliche Dunkle Materie, ohne die man nicht erklären kann, warum die Expansionsrate des Universums mit der übereinstimmt, welche die Theorie vorhersagt; wie und wann ging diese abnehmende Expansionsrate dem Anschein nach in eine zunehmende über, und was ist die Dunkle Energie, die als Ursache genannt wird; wie und warum nahm das Universum seine Form an, wo doch viele andere Formen möglich gewesen wären; und vor allem, wie kann alles aus nichts hervorgegangen sein, wo doch die ursprüngliche Vakuumblase eine Grundzustandsenergie besitzt und somit nicht nichts ist?

1989 veröffentlichte *Nature* einen Leitartikel, in dem das Big-Bang-Modell als »unannehmbar« bezeichnet wurde – es werde »das kommende Jahrzehnt wahrscheinlich nicht überleben«. ¹⁶ Es hat sich länger gehalten: Der Inflationische Heiße Big Bang ist nach wie vor die vorherrschende Erklärung für den Ursprung des Universums. Aber wie lange noch?

Andere Hypothesen konkurrieren darum, das herrschende Modell entweder zu modifizieren oder es abzulösen. Liefern sie eine wissenschaftlich schlüssigere Erklärung für den Ursprung des Universums?

KAPITEL 5

WEITERE KOSMOLOGISCHE MUTMASSUNGEN

Eine Alternative [zum Modell der herrschenden kosmologischen Lehre] zu suchen, ist nichts anderes als richtig gute Wissenschaft. Die Wissenschaft kommt am schnellsten voran, wenn es zwei oder mehr konkurrierende Vorstellungen gibt.

Paul Steinhardt, 2004

Viele der heute aktiven Theoretiker scheint es nicht zu kümmern, dass sich ihre Hypothesen letztlich an objektiven Beobachtungen aus der realen Welt messen lassen müssen.

Michael Riordan, 2003

Anders als manche Päpste können sich einige Kosmologen nicht mit dem Gedanken anfreunden, dass das Universum explosionsartig aus dem Nichts heraus zu existieren begann. Sie finden die Vorstellung eines ewigen Universums weit ansprechender. Bei der Bewertung ihrer Ideen und anderer Alternativen zum herrschenden inflatorischen Big-Bang-Modell gibt es allerdings eine Schwierigkeit. Genauso wie die Literatur über Religion zumeist von Gläubigen irgendeiner dieser Religionen verfasst wird, stammt der größte Teil der Literatur über kosmologische Spekulationen von Autoren, die an eine dieser Spekulationen glauben. Wie ihre religiösen Gegenüber sind sie manchmal nicht ganz objektiv, wenn sie ihre Hypothesen vorstellen und angeblich stützende Beweise auswählen und interpretieren.

Ich habe diejenigen Vorstellungen ausgewählt, die ich für die maßgeblichen halte.

Grenzenloses Universum nach Hartle-Hawking

Um die erste der im vorigen Kapitel aufgeworfenen Fragen – ob das Universum einschließlich Zeit und Raum als Singularität begann, in der die bekannten physikalischen Gesetze versagen – abzuhandeln, untersuchte Stephen Hawking, welche Möglichkeiten es gibt, die Quantentheorie auf den Ausgangszustand des Universums anzuwenden. Indem er in seinen Gleichungen nicht zwischen

den drei Raumdimensionen und der einen Zeitdimension unterschied, konnte er eine imaginäre Zeit einführen. Das entsprach der in der Mathematik seit Langem akzeptierten Vorstellung von imaginären Zahlen. Wenn wir eine reelle Zahl wie 2 nehmen und sie mit sich selbst multiplizieren, erhalten wir eine positive Zahl, 4. Das gilt auch, wenn wir eine negative Zahl mit sich selbst multiplizieren: -2 mal -2 gleich 4. Eine imaginäre Zahl liegt vor, wenn sie bei Multiplikation mit sich selbst eine negative Zahl ergibt. Multipliziert man beispielsweise i mit sich selbst, ergibt das -1 , während $2i$ mit sich selbst multipliziert gleich -4 ist.

Aus Hawkings gemeinsamer Arbeit mit Jim Hartle, deren Ergebnisse 1983 publiziert wurden, ergab sich ein Universum, in dem Zeit und Raum endlich, aber ohne alle Grenzen sind.¹ Eine vereinfachte zweidimensionale Entsprechung zur vierdimensionalen Raumzeit von Hartle-Hawking ist die Erdoberfläche, die endlich ist, aber – wie in Abb. 5.1 ersichtlich – keine Grenzen hat.

Hier beginnt das Universum mit dem Big Bang und der Größe Null am Äquivalent des Nordpols, expandiert in imaginärer Zeit und erreicht am Äquivalent des Äquators seine maximale Größe; dann zieht es sich in der weiterlaufenden imaginären Zeit zusammen und endet schließlich in einem Big Crunch wiederum mit der Größe Null am Äquivalent des Südpols. Genauso, wie die Gesetze der Physik am realen Nordpol der Erde weiter gelten, so tun sie es auch am Nullpunkt der imaginären Zeit.

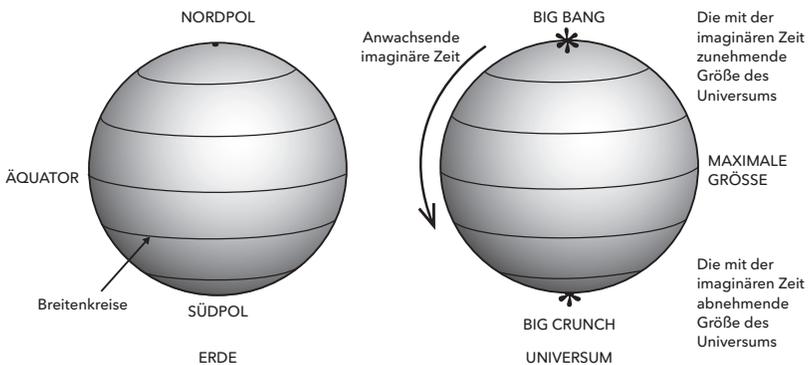


Abb. 5.1 Vereinfachte zweidimensionale Darstellung der Oberfläche des grenzenlosen Universums nach Hartle-Hawking im Vergleich zur Erdoberfläche

Diese Lösung beschreibt ein Universum, in dem es laut Hawking »keine Singularitäten [gäbe], an denen die Naturgesetze ihre Gültigkeit einbüßten, und keinen Raumzeitrand ... Die Grenzbedingung des Universums ist, dass es keine Grenze hat. [Es] wäre weder erschaffen noch zerstörbar. Es würde einfach SEIN.«

Wenn wir uns wieder der realen Zeit zuwenden, in der wir leben, so räumt Hawking ein, dass es dort scheinbar weiterhin Singularitäten geben wird, schlägt aber vor, dass das, was wir als imaginäre Zeit bezeichnen, eigentlich die reale Zeit sein könnte, während das, was wir reale Zeit nennen, nur ein Produkt unserer Einbildung wäre.

Dieser raffinierte Vorschlag löst viele Probleme des herrschenden kosmologischen Modells, unter denen die Entstehung aus nichts nicht das kleinste ist. Doch Roger Penrose, der zusammen mit Hawking den mathematischen Beweis geliefert hat, dass es beim Big Bang eine Singularität gegeben haben muss, falls die Allgemeine Relativitätstheorie korrekt ist,^{*} stellt das Modell als »cleveren Trick« dar, um konsistente Quantenfeldtheorien hervorzubringen, hat damit aber »große Probleme«, wenn es gemeinsam mit den Näherungswerten verwendet wird, die zur Lösung der Gleichungen notwendig sind.²

Um herauszufinden, ob das Modell die uns bekannte Welt beschreibt, muss es überprüft werden. Hawking behauptet, es mache zwei Vorhersagen, die mit den Beobachtungen übereinstimmen: die Amplitude und das Spektrum der Fluktuationen des kosmischen Mikrowellen-Hintergrunds. Doch wie im Fall der Inflation leiten sich die »Vorhersagen« aus einer willkürlichen Festlegung von Skalarfeldern ab, nicht aus tatsächlichen Vorhersagen des Keine-Grenzen-Modells selbst.

So attraktiv das Konzept auch ist – nach mehr als 30 Jahren hat Hawking viele theoretische Kosmologen immer noch nicht davon überzeugen können, dass seine mathematischen Konstruktionen brauchbar sind und dass seine imaginäre Zeit eigentlich die reale Zeit ist. Zudem hat das Modell keine eigenständigen Vorhersagen gemacht, die durch Beobachtungen gestützt werden.

* Siehe S. 69.

Ewige chaotische Inflation

Falls der Big Bang auf eine Periode der Inflation folgte, wovon die meisten Kosmologen inzwischen überzeugt sind, wirft das die Frage auf, was ihr vorausging. Als Antwort entwickelte Linde 1986 sein Modell des »ewig existierenden, sich selbst reproduzierenden, chaotisch inflatorischen Universums«.³

Obwohl die Kosmologen, die in der nach 1965 herrschenden Kultur des Big Bang als einziger Kosmogonie ausgebildet wurden, das nur selten anerkennen (wenn überhaupt), hat dieses Modell viel mit der aktualisierten Version der Steady-State-Theorie gemeinsam, die als Kosmologie des Quasi-Steady-State bekannt ist.* Linde meint, die chaotische Inflation setze sich ewig fort und bringe dabei fortwährend neue Raumregionen mit unterschiedlichen Eigenschaften hervor. Manche dieser Regionen könnten so groß sein wie unser gesamtes beobachtbares Universum. »Mit ewiger Inflation wäre es tatsächlich überall ein und dasselbe Universum, doch seine Teile lägen so weit auseinander, dass man sie praktisch als verschiedene Universen bezeichnen könnte.«⁴

Das Modell sieht vor, dass diese Regionen, sobald sie sich erst ausgedehnt haben, zwangsläufig winzige Teile enthalten, die sich ihrerseits ausdehnen werden, und sobald das geschieht, werden auch sie wiederum winzige Bereiche enthalten, die sich ausdehnen. Damit würde der inflatorische Prozess sich ewig selbst reproduzieren.

Guth ist begeistert davon, weil »die fortwährende Inflation [...] die Frage erübrigt, in welchem Maße man dem Ausbruch einer Inflationsphase Glauben schenken kann«. Außerdem meint er:

falls [...] die Vorstellung von einer fortwährenden Inflation richtig ist, war der Urknall kein einmaliger Schöpfungsakt, sondern muss in Analogie zum biologischen Prozess der Zellteilung interpretiert werden. [...] Angesichts der hohen Plausibilität, die die Vorstellung einer fortwährenden Inflation in sich birgt, [glaube ich,] dass jede Theorie über das Universum, die nicht zu einer fortwährenden Inflation führt, als ebenso unglaublich empfunden werden wird wie die Behauptung, ein Stamm von Bakterien könne sich nicht weiter fortpflanzen.⁵

* Siehe S. 93.

Guth hat recht, wenn er diese Ansicht als Glaubensbekenntnis statt als wissenschaftliche Folgerung formuliert.

Prinzipiell beantwortet Lindes Mutmaßung die Frage nach dem Ursprung unserer Region, unserer Blase des Universums: Sie hatte einen Anfang und könnte ein Ende haben oder auch nicht, doch der gesamte Prozess wird nie enden. Was die Frage angeht, wie der Prozess überhaupt begann, ist sich Linde weniger sicher. 2001 schrieb er: »Es könnte durchaus sein, dass alle Teile des Universums gleichzeitig in einer ersten Big-Bang-Singularität entstanden sind. Allerdings versteht es sich nicht mehr von selbst, dass dies auch eine notwendige Annahme ist.«⁶

Sieben Jahre zuvor waren die Kosmologen Arvind Borde und Alexander Vilenkin zu einem eindeutigeren Ergebnis gelangt. Sie meinten, wenn man einige technische Annahmen voraussetze, müsse eine physikalisch vertretbare Raumzeit, die sich für alle Zukunft fortwährend ausdehnt, in einer Singularität begonnen haben.⁷

Das Gewicht der Argumente stützt eindeutig die Schlussfolgerung, dass die mutmaßlich »ewige« chaotische Inflation nicht ewig ist: Auch wenn die chaotische Inflation in Zukunft unbegrenzt weitergeht, hatte sie einen Anfang. Insofern lässt sich mit ihr nicht die fundamentale Frage beantworten, wo alles herkam, und ebenso wenig erübrigt sich durch sie die Frage, in welchem Maße man dem Ausbruch einer Inflationsphase Glauben schenken kann. Ihre zentrale Behauptung hat zudem das gleiche Problem der fehlenden Überprüfbarkeit, durch das auch andere Versionen der Inflationsidee aus dem Reich der Wissenschaft ins Reich philosophischer Vermutung verwiesen werden.

Veränderliche Lichtgeschwindigkeit

Der junge Kosmologe João Magueijo, damals Träger eines angesehenen Forschungsstipendiums der Royal Society, schlug eine Alternative zur Inflationsmutmaßung vor, die seiner Meinung nach in der amerikanischen Kosmologenzunft sakrosankt ist. Sein zentraler Gedanke besagt, dass die Lichtgeschwindigkeit im sehr frühen Universum um ein Vielfaches höher war als jetzt. Das löst alle Probleme, die auch die Inflationsmutmaßung löst, und während es keinen Beweis für ein Inflatonteilchen oder das entsprechende »Inflationsfeld« gibt, behauptet Magueijo, einige Beobachtungsdaten von sehr

jungen Sternen würden seine Hypothese einer variablen Lichtgeschwindigkeit stützen, die er zusammen mit Andreas Albrecht entwickelt hat (dieser hatte auch an einer der frühen modifizierten Versionen der Inflationsmutmaßung mitgearbeitet, s.S. 55). Natürlich verstößt dieser Gedanke gegen einen der Lehrsätze von Einsteins Relativitätstheorie, wonach nichts schneller unterwegs sein kann als das Licht, deshalb versucht Magueijo, Einsteins Gleichungen entsprechend umzuarbeiten.

Die Spekulation, dass die Lichtgeschwindigkeit in einem Zeitraum sehr kurz nach dem Big Bang (in dem Einsteins Relativitätstheorie versagt) tausendfach größer gewesen sein könnte als jetzt, scheint nicht abwegiger zu sein als die Spekulation, dass die Massenenergie eines Vakuums sich tausendfach schneller als das Licht ausgedehnt hat. Nichtsdestoweniger war es für Magueijo und Albrecht außerordentlich schwierig, ihren Aufsatz zu veröffentlichen – eine Erfahrung, die auch Hoyle und andere hatten machen müssen, deren Hypothesen von der herrschenden Lehre abwichen.

Magueijo berichtet in seinem Buch von ihren diversen Anläufen und den Reaktionen von Gutachtern auf ihren Aufsatz. Das viel gepriesene Peer-Review-Verfahren zeichnet er dabei als eine Kontrollinstanz von Hohepriestern der herrschenden Lehre, die reflexhaft häretische Ansichten ablehnen, welche die Vermutungen in Frage stellen, auf denen ihr eigenes Ansehen beruht. Es wirft ein trauriges Licht auf die Zeitschrift *Nature*, dass ich mir die amerikanische Ausgabe des Buches kaufen musste, um die vollständige Version lesen zu können: *Nature* hatte dem englischen Verlag juristische Schritte angedroht, falls er die erste Version nicht einstampfen ließe und eine gereinigte Fassung herausbringe. Magueijo behauptet unter anderem, in seinem Forschungsfeld bestehe Konsens darüber, dass der für Kosmologie zuständige Redakteur von *Nature* seiner Aufgabe nicht gewachsen sei; aus Angst um ihre Karriere würden seine Kollegen es jedoch nicht wagen, das auch auszusprechen. Er gebraucht heftige Worte, beispielsweise bezeichnet er den Redakteur als »Schwachkopf erster Güte« und »gescheiterten Wissenschaftler« mit Penisneid. Damit schadet er seiner Sache. Gleichwohl wäre den Idealen der Wissenschaft sicher besser gedient gewesen, wenn *Nature* sich nicht wie die Inquisition verhalten, sondern es den Lesern ermöglicht hätte, selbst zu entscheiden, inwiefern Magueijos Darstellung die eines unreifen, verirrtten Egomaneen ist oder ob er ein vernünftiger Mensch ist, den man zur Frustration getrieben hat.⁸

Die Arbeit von Magueijo und Albrecht wurde schließlich 1999 von *Physical Review* veröffentlicht. Ihre Mutmaßung könnte zu einer solideren Theorie

führen, wenn sich mit ihr Vorhersagen treffen lassen, die durch Beobachtungen überprüfbar sind; für ein Urteil darüber muss man aber abwarten, bis mehr theoretische Arbeiten und mehr Beobachtungsdaten vorliegen.

Ein zyklisch pulsierendes Universum

Die Hypothese, der Big Bang sei aus dem Kollaps eines früheren Universums hervorgegangen, wurde schon 1934 von Richard Tolman am Caltech formuliert. Er begründete sie mit einer anderen Lösung der Einsteinschen Gleichungen zur Allgemeinen Relativität für das Universum, von dem er ebenfalls annahm, es sei isotrop und omnizentrisch, aber nicht flach, sondern geschlossen. Seine spezielle Lösung entwirft ein oszillierendes Universum, das sich ausdehnt und dann zu einem Big Crunch zusammenzieht, worauf es sich wieder ausdehnt und den Prozess unendlich fortsetzt. Als Tolman den Zweiten Satz der Thermodynamik auf das Modell anwandte, fand er heraus, dass jeder Zyklus des oszillierenden Universums größer wurde und länger dauerte als der vorige.⁹

Die Hypothese fiel aus mehreren Gründen in Ungnade, besonders als man zu der Auffassung gelangte, Beobachtungsdaten würden das Modell eines flachen Universums stützen. Wie wir gesehen haben, geriet dieses Modell jedoch in Konflikt mit anderen Beobachtungsdaten, sodass man es um die Inflationsvermutung sowie riesige Beträge unbekannter Dunkler Materie und unbekannter Dunkler Energie ergänzen musste.

Tolmans Hypothese scheint das Problem der Singularität zu vermeiden. Wenn aber jeder Zyklus des oszillierenden Universums größer wird und länger dauert, dann war jeder vorhergehende Zyklus kleiner und von kürzerer Dauer. Lässt man die Uhr rückwärts laufen, kommt man an einen Punkt, an dem der Zyklus zum Zeitpunkt null unendlich klein wird und unendliche Dichte erreicht – also genau die Bedingungen, die man für die Ausgangssingularität des Big Bang vermutet. Daher ist das Modell in Wahrheit nicht ewig, und es entkommt auch nicht dem grundlegenden Problem des Ursprungs: Wie und warum begann eine solche unendlich kleine und dichte Singularität zu existieren?

Darüber hinaus hat noch niemand eine Möglichkeit aufgezeigt, wie die physische Existenz irgendeines früheren Universums in diesem Zyklus beobachtet oder überprüft werden könnte. Solange das nicht geschieht, liegt auch diese Vermutung außerhalb des Reichs der Wissenschaft, wie wir sie verstehen.

Natürliche Selektion von Universen

Lee Smolin ist ein Theoretiker, der nicht nur bereit ist, außerhalb der Schubladen der herrschenden Lehre zu denken, sondern auch glaubt, dies sei geradezu notwendig, wenn die Physik vorankommen soll. Seine Vermutung, auch bei Universen gebe es eine Evolution durch natürliche Selektion, wurde von vielen in der Wissenschaft ernst genommen und hat es deshalb verdient, etwas näher untersucht zu werden.

John Wheeler spekulierte 1974, der Kollaps des Universums in einem Big Crunch könnte zu einem Großen Rückprall (»Big Bounce«) führen. Dabei würde das Universum zu einem neuen Universum verarbeitet, in dem die Gesetze der Physik unverändert blieben, während die physikalischen Parameter wie die Protonenmasse und die Elektronenladung, die nicht von diesen Gesetzen vorhergesagt werden, andere Werte hätten.

Wie wir im letzten Kapitel bei der Feinabstimmung kosmologischer Parameter gesehen haben, können sehr kleine Änderungen sehr unterschiedliche Universen hervorbringen. Wären beispielsweise Protonen auch nur um 0,2 Prozent schwerer, würden sich keine stabilen Atome bilden; das Universum bliebe ein Plasma, und komplexe Materie wie der Mensch könnte sich nie entwickeln.

Smolin führt diesen Gedanken weiter und vermutet, dass nicht nur der Kollaps eines Universums in einem Big Crunch durch einen Big Bounce ein Universum mit anderen Parametern hervorbringt, sondern dass auch der Kollaps eines Sterns zu einem Schwarzen Loch auf der anderen Seite des Schwarzen Loches ein anderes Universum mit unterschiedlichen Parametern erzeugt. Auf diese Weise würden Generationen von Universen aus einem Vorläufer-Universum mit zufallsbestimmten Parametern entstehen und eine natürliche Selektion nach dem Vorbild der biologischen Selektion* durchlaufen, bis schließlich solche Universen übrig blieben, die am besten zum Überleben geeignet sind und die Evolution von intelligentem Leben ermöglichen.¹⁰

* Der kumulative Effekt kleiner genetischer Veränderungen, die in aufeinanderfolgenden Generationen einer Art auftreten, führt zur Dominanz der Mitglieder, die durch ihre Mutationen am besten für den Wettbewerb und das Überleben geeignet sind. Die Mutationen bringen schließlich eine neue Art hervor, die mit den Mitgliedern der ursprünglichen Spezies keine Nachkommen mehr zeugt.

Acht Annahmen sollen diese Spekulation untermauern:

1. Wenn ein Universum in einem Big Crunch oder ein Stern in einem Schwarzen Loch kollabiert, verhindern Quanteneffekte das Entstehen einer Singularität, in der die Zeit beginnt oder endet. Damit läuft die Zeit in einer neuen Region der Raumzeit weiter, die nur im Moment ihres Entstehens noch mit dem Ursprungsuniversum verbunden ist.
2. Eine solche neue Region der Raumzeit, in der die Zeit nach dem Kollaps eines Sterns in einem Schwarzen Loch weiterläuft, ist für uns notwendigerweise unerreichbar, aber sie könnte »so groß und vielfältig [sein] wie unser sichtbares Universum«.
3. Weil unser eigenes sichtbares Universum eine ungeheure Zahl von Schwarzen Löchern enthält, »muss es eine riesige Anzahl dieser anderen Universen geben ... Doch [eigentlich] müssen wir noch von viel mehr Bereichen ausgehen, denn warum sollte nicht jedes dieser Universen wiederum Sterne haben, die zu Schwarzen Löchern kollabieren können und somit neue Universen hervorbringen?«
4. Die Parameter des ersten Universums sind so geartet, dass es mindestens ein Tochteruniversum hervorbringt.
5. Jedes nachfolgende Tochteruniversum erzeugt zumindest einen Nachkommen.
6. Die Parameter eines neuen, durch den Kollaps eines Universums oder Sterns entstandenen Universums unterscheiden sich geringfügig von denen des Mutteruniversums.
7. Es gelten die Regeln der natürlichen Selektion: Der kumulative Effekt kleiner zufälliger Mutationen in den Parametern der Tochteruniversen bringt schließlich Universen hervor, deren Parameter am besten dazu geeignet sind, viele Schwarze Löcher – und damit viele Nachkommen – zu erzeugen. Am Ende gelangen wir zu Universen wie dem unseren, das ungefähr 10^{18} Schwarze Löcher produziert.
8. Die Parameter von Universen wie dem unseren mit derart vielen Schwarzen Löchern sind so aufeinander abgestimmt, dass die Entwicklung intelligenten Lebens möglich ist.

Diese Annahmen verstehen sich keineswegs von selbst.

Annahme (1) teilt Smolin mit vielen anderen Theoretikern; ob sie aber mit der Realität übereinstimmt, hängt, wie er selbst einräumt, von den Details der Quantentheorie der Gravitation ab, die nicht vollständig ist.

Annahme (2) erscheint nicht vernünftig nachvollziehbar. Falls die aktuelle Theorie der Schwarzen Löcher zutrifft, weisen diese zwar eine ungeheure, wenn nicht unendliche Dichte auf, doch sie besitzen nur eine endliche Masse. Beispielsweise sollte beim gravitationsbedingten Kollaps eines Sterns mit mehr als der dreifachen Masse unserer Sonne ein Schwarzes Loch entstehen. Die Masse der bekannten leuchtenden und der hypothetischen Dunklen Materie des Universums wird auf ungefähr zehntausend Milliarden Milliarden Sonnen geschätzt. Selbst wenn man die Energie außer Acht lässt, die erforderlich wäre, um die Expansion des neuen Universums voranzutreiben, scheint es unlogisch anzunehmen, dass eine Masse von meinetwegen fünf Sonnen in einem Schwarzen Loch kollabiert und auf der anderen Seite als Masse von zehntausend Milliarden Milliarden Sonnen explodiert. Vermutlich folgt Smolin wie Guth und andere Theoretiker* Tolman, ist aber sozusagen weniger ehrgeizig und lässt ein neues Universum aus fünf Sonnenmassen statt aus nichts entstehen.

Wie Smolin in Hinblick auf Annahme (4) einräumt, würde dieses erste Universum, wenn seine Parameter zufallsbestimmt wären, sich »höchstwahrscheinlich« (mehr als wahrscheinlich trifft es wohl eher) binnen Mikrosekunden entweder zur völligen Leere ausdehnen oder kollabieren. Das heißt, der Evolutionsprozess begänne gar nicht erst. Um dem zu entgehen, nimmt Smolin an, dass die Parameter des ersten und der anschließenden Universen so abgestimmt sind, dass sie zumindest einen Rückprall erfahren. Seine einzige Rechtfertigung für diese Annahme ist jedoch, dass seine Spekulation ohne sie nicht funktioniert. Zudem erklärt sein spekulatives Modell nicht, wie ein solches Vorläufer-Universum überhaupt entstanden ist. Insofern kann es nicht nachvollziehbar für sich in Anspruch nehmen, größere Erklärungskraft zu besitzen als das inflatorische Big-Bang-Modell der herrschenden Lehre.

Annahme (8) impliziert, dass die Physik, welche eine maximale Zahl Schwarzer Löcher hervorbringt, auch die Physik ist, welche die Evolution des Lebens ermöglicht, doch Smolin bietet keine Begründung für diese Annahme.

Was die empirische Basis seiner Spekulation angeht, so setzt sie die Existenz einer ungeheuren Zahl anderer Universen voraus, die aber entweder verschwunden sind, oder zu denen wir, falls es sie noch gibt, keinen Kontakt aufnehmen können. Dennoch besteht Smolin darauf, dass seine Mutmaßung überprüfbar sei, denn sie sage voraus, dass die Parameter in den Gesetzen der

* Siehe S. 78; dort findet sich Guths Argument für die Nettoenergie null des Universums.

Elementarteilchenphysik nahe bei einem Wert lägen, der die Zahl der Schwarzen Löcher in unserem Universum maximiert. Dieses Argument ist ein Zirkelschluss. Smolins Spekulation ist also mit keiner der bekannten Methoden überprüfbar und daher eher eine philosophische Mutmaßung als Wissenschaft.

Schleifenquantengravitation

Bei einer Mehrheit der alternativen Hypothesen zum Big-Bang-Modell wird das Singularitätsproblem mit einer ähnlichen Spekulation wie bei Smolin aus der Welt geschafft – wenn man die Expansion des Universums rückwärts ablaufen lässt, würden Quanteneffekte die Entstehung einer Singularität verhindern, in der die Zeit beginnt oder endet. Diese Hypothesen versuchen die Quantentheorie mit der Relativitätstheorie zu vereinen, indem sie ein kollabierendes Universum auf der anderen Seite des Big Bang vorsehen, das durch einen Quantentunnel mit unserem verbunden ist. Wäre das der Fall, würde die zentrale Behauptung des Big-Bang-Modells hinfällig, wonach Raum und Zeit beim Big Bang explosionsartig aus nichts zu existieren begannen.

Wie Smolin und andere Kosmologen einräumen, besteht ein wesentliches Problem in der Tatsache, dass wir noch nicht über eine angemessene Theorie der Quantengravitation verfügen.

Quantengravitation — Die erhoffte Quantentheorie der Gravitation, die es ermöglichen würde, die Gravitationsenergie mit anderen Energieformen zu einem einzigen quantentheoretischen Rahmen zu vereinen.

Quantentheorie — Die Theorie, wonach Energie von Materie in winzigen, diskreten Beträgen emittiert und absorbiert wird. Diese sogenannten Quanten hängen mit der Strahlungsfrequenz der Energie zusammen und besitzen deshalb sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaft. Daraus ging die Quantenmechanik hervor. Der Begriff wird inzwischen allgemein gebraucht, um alle daraus folgenden theoretischen Entwicklungen zu bezeichnen.

Abhay Ashtekar stellt jedoch die kühne Behauptung auf, er und seine Kollegen am Penn State Institute of Gravitational Physics and Geometry hätten als Erste eine belastbare mathematische Darstellung geliefert, welche die Existenz eines früheren, längst kollabierten Universums systematisch begründet und mit der

sich bestimmte Eigenschaften der Raumzeit-Geometrie in diesem Universum ableiten lassen. Ashtekar und sein Team verwenden einen Ansatz namens Schleifenquantengravitation, mit dem sie angeblich nachweisen können, dass es anstelle eines klassischen Big Bang einen Quanten-Rückprall gibt, dem ein klassisches Universum wie das unsere gegenüberliegt.

Ashtekar schränkt das Modell insofern ein, als es auf der Annahme beruht, dass das Universum homogen und isotrop sei. »Es ist eine Näherung, mit der die Kosmologie hier arbeitet, auch wenn wir wissen, dass das Universum dem nicht exakt entspricht. Die Frage ist also, wie wir das Modell immer realistischer gestalten können. Und die Arbeit daran läuft.«¹¹

Der Prüfungsausschuss befasst sich mit dem mathematischen Modell, doch selbst wenn das Urteil »bewiesen« lautete, braucht die Wissenschaft zur Stützung mathematischer Beweise nun einmal physikalische Belege, und bisher hat noch niemand sagen können, woher die kommen sollten.

Kosmologie des Quasi-Steady-State

Aufgrund von Beobachtungsdaten modifizierten Fred Hoyle, Geoffrey Burbidge und Jayant Narlikar 1993 die Steady-State-Theorie und legten die sogenannte Quasi-Steady-State-Kosmologie (QSSC) vor. Demnach expandiert das Universum in dem längeren Zeitraum von 1000 Milliarden Jahren in einem Fließgleichgewicht; dies geschieht aber in 50 Milliarden Jahre dauernden Zyklen von Expansion und Kontraktion, wobei die Kontraktion niemals bei null oder einer Singularität ankommt.

Das Team aus Astronomen und Astrophysikern postuliert, dass ein universelles Erzeugungsfeld (»creation field« oder »C-field«) für die fortwährende Erzeugung von Materie und für die Expansion des Universums verantwortlich sei. Dieses Feld besitze negative Energie und erzeuge Materie in Form von Planck-Teilchen, den massivsten möglichen Elementarteilchen, denn ein Elementarteilchen mit einer größeren Masse würde von seiner eigenen Schwerkraft überwältigt und zu einem Schwarzen Loch kollabieren.*

Stark genug für die Produktion von Planck-Teilchen ist das Erzeugungsfeld nur in der Nähe sehr massereicher, kompakter und dichter Objekte, die von

* Eine ausführlichere Erklärung findet sich im Glossar unter *Planck-Masse*.

