

Über den Ursprung des Universums –  
und darüber hinaus – nachdenken

Bei Wissenschaft und Religion nach Erklärungen  
suchen

Mit der Kosmologie beginnen

Den momentanen Erkenntnisstand der kosmo-  
logischen Forschungen würdigen

# Kapitel 1

## Das frühe Universum erforschen

**N**ichts ist menschlicher, als über seine Herkunft nachzudenken. Schauen wir uns ein gewöhnliches dreijähriges Kind an: Es mag nichts lieber, als seine Eltern mit der Frage in Verlegenheit zu bringen, wo es hergekommen ist (und warum die Frau da drüben so ein komisches Kleid anhat).

In heranwachsenden Kindern sitzt das Sinnieren über die Geheimnisse des Universums ebenfalls tief. Wer kennt nicht das alte Kinderlied »Weißt du, wie viel Sternlein stehen« mit der einfachen, aber tiefsinnigen Zeile »Gott der Herr hat sie gezählet, dass ihm ja auch keines fehlet«. Und die ersten kindlichen Malversuche zeigen oft Bilder von Sonne und Mond – die natürlich besonders freundlich aussehen, wenn lächelnde Gesichter hineingemalt werden.

Es überrascht deshalb wenig, wenn die knapp Zehnjährigen nicht nur über technische Schaubilder zur menschlichen Fortpflanzung kichern, sondern gleichzeitig auch ernsthaftere Fragen über den Himmel stellen: Warum ist er blau? Warum scheinen die Sterne nur in der Nacht? Sind Sonne und Mond immer dieselben oder erscheint jeden Tag eine neue Himmelsleuchte? Filme wie *ET* und *Star Wars* tragen dazu bei, die Neugier noch mehr anzuregen.

Diese Neugier geht nicht mit der Jugend zu Ende. Auch im Erwachsenenalter denkt man plötzlich in einer besonders klaren dunklen Nacht über die Vielzahl der Sterne nach oder ist durch eine besonders schöne Mondsichel fasziniert. Wenn Ihnen so etwas bekannt vorkommt, dann ist *Der Ursprung des Universums für Dummies* gewiss ein Buch für Sie.

## Ansichten ändern sich – wissenschaftlich gesprochen

Stellen Sie sich einen Augenblick vor, Sie säßen als Schüler in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts in einer Klasse. Zu dieser Zeit war der berühmteste Wissenschaftler der Welt wahrscheinlich noch Sir Isaac Newton (in Kapitel 3 werden Sie mehr über Newton erfahren). Es mussten noch einige Jahre vergehen, bis der Name Albert Einstein jedem Schulkind spielend von den Lippen ging, und das berühmte Foto eines struppigen grauhaarigen Wissenschaftlers eines der bekanntesten Bilder der Welt wurde (in Kapitel 4 werden Sie mehr über Einstein erfahren).

Im frühen 20. Jahrhundert wurden im Physikunterricht den Schülern und Studenten folgende Fakten beigebracht:

- ✓ **Die newtonschen Bewegungsgleichungen:** Die mathematische Formel  $F = ma$  ist ganz wichtig, und man sollte alles über Wirkung und Gegenwirkung wissen (oder auf jeden Fall so tun, als wüsste man es).
- ✓ **Elektrizität und Magnetismus:** Diese beiden Kräfte waren zu Beginn des 20. Jahrhunderts sehr in Mode (und werden auch heute noch in der Schule behandelt). Sie kennen wohl noch das ohmsche Gesetz (das berühmte  $U = IR$ ). Sie wissen vielleicht auch, dass James Clerk Maxwell herausgefunden hat, dass Elektrizität und Magnetismus zwei Seiten der gleichen Medaille sind (siehe Kapitel 4 zu weiteren Einzelheiten über Maxwell).

Wenn diese Themen nicht allzu große Anforderungen an das Verständnis stellten, sah die Situation ein paar Jahre nach dem Ersten Weltkrieg ganz anders aus. Der wissenschaftliche Lehrplan wurde erweitert, und die Studenten wurden mit der Gleichung bekannt gemacht, die die berühmteste Gleichung aller Zeiten werden sollte –  $E = mc^2$ . (Eltern dieser Schüler, die mit Newtons Bewegungsgleichungen in der Schule aufgewachsen waren, fanden sich plötzlich beim Helfen bei den Hausaufgaben auf unsicherem Gelände!)



Das Fazit? Unsere wissenschaftliche Erziehung ist einem ständigen Wandel unterworfen, weil sich die Wissenschaft selbst ständig ändert.

200 Jahre lang dachte jedermann, dass Newtons Vorstellungen über das Universum niemals verbessert werden könnten, und fast alle Wissenschaftler waren der Meinung, dass seine Gleichungen das Universum in seiner Gesamtheit beschreiben. Aber dann tauchte Einstein mit seinen seltsamen Gedanken zur Relativität auf und seiner Idee, dass Masse und Energie vertauscht werden könnten. Alles änderte sich. Aber diese Änderung war kein plötzlicher Prozess. Einstein veröffentlichte seine spezielle

Relativitätstheorie im Jahre 1905, aber es vergingen Jahre, bis die Wissenschaftler sie allgemein akzeptierten.

Die Wissenschaft beruht auf dem Konsens. Eine allgemein anerkannte Ansicht, wie Dinge im Universum aufgebaut sind, mag jahrelang existieren – sogar Jahrhunderte – und dann kommt jemand und sagt: »Aha. Und was haltet ihr von dieser neuen Idee?« Diese neue Idee mag anfangs abgelehnt werden, aber wenn andere Wissenschaftler die Korrektheit dieser neuen Vorstellungen bestätigen, kann sich der Konsens ändern. Aus diesem Grund glaubt man heute, dass Einsteins Theorien das Universum besser beschreiben als diejenigen von Newton.



Die Wissenschaft ist niemals ein abgeschlossener Vorgang. Während Sie dieses Buch lesen, sitzt vielleicht ein Wissenschaftler irgendwo und hat ein Aha-Erlebnis, vielleicht erkennt er, dass Einsteins Theorien nicht alles erklären. Vielleicht fängt er oder sie an einzusehen, dass die augenblicklichen Theorien über den Ursprung des Universums, wie sie in diesem Buch beschrieben sind, einer Verbesserung bedürfen. Dieser Wissenschaftler mag dann Mühe haben, die Tausende anderer Wissenschaftler und Studenten zu überzeugen, die vollkommen an Einstein glauben. Wenn die neue Theorie jedoch ihre Vorzüge hat, wird sich ein neuer Konsens einstellen. Wenn dies der Fall sein sollte, dann werden die Schulkinder von morgen etwas anderes lernen. Und Sie werden als Elternteil Schwierigkeiten haben, die Hausaufgaben Ihrer Kinder zu verstehen.

## Wissenschaft und Religion im Gegensatz

Wissenschaft ist eine Sache – Religion ist ganz gewiss eine andere.

In den meisten Gesellschaften werden den Kindern religiöse Gedanken beigebracht. Manchmal stehen religiöse und wissenschaftliche Ideen in direktem Gegensatz, manchmal nicht.

- ✓ Manche Menschen akzeptieren einen religiösen Gesichtspunkt und lehnen jegliche wissenschaftliche Erkenntnisse ab, die ihm widersprechen.
- ✓ Andere kommen zu dem Schluss, dass die Wissenschaft die glaubwürdigsten Antworten gibt, und lehnen jegliche religiöse Vorstellungen ab.
- ✓ Viele gehen durchs Leben, indem sie beides vermischen – sie akzeptieren Ideen wie den Aufstieg und den Untergang der Dinosaurier vor Millionen von Jahren, während sie daran glauben, dass Gott (oder ein Gott) die Welt erschaffen hat.

Heranwachsende Kinder – und auch wissbegierige Erwachsene – haben oft die Schwierigkeit herauszufinden, wer recht hat: die Wissenschaft oder die Religion.



In gewisser Weise sind Leute, die Wissenschaft und Religion lehren, gleich beschaffen. Beide verlangen von ihren Anhängern, spektakuläre Glaubenssprünge zu vollführen. Man verlangt von Christen, dass sie an die Wundertaten von Jesus glauben, während von den Anhängern der Wissenschaft verlangt wird, an die Bewegung der Erde um die Sonne zu glauben, obwohl augenscheinlich das Gegenteil der Fall ist. Sowohl Prediger als auch Wissenschaftler behaupten, dass es Beweise für ihre eigene Sicht der Dinge in dieser Welt gibt.

An diesem Punkt werden Sie denken: »He, Augenblick. Habe ich aus Versehen *Religionen der Welt für Dummies* oder *Philosophie für Dummies* in die Hand genommen?« Ein rascher Blick auf den Buchdeckel zeigt, dass dem nicht so ist, aber es ist nicht möglich, über den Ursprung des Universums zu reden, ohne zumindest einen kurzen Blick in den Bereich der Religion und Philosophie geworfen zu haben.

Wenn Sie nach Mitternacht ein Studentenwohnheim betreten und dem Duft starken Kaffees folgen, werden Sie sehr bald in genau solche Diskussionen verwickelt sein. Wenn es ein unveränderliches Gesetz im Kosmos gibt, dann ist es nicht dasjenige, dass alles von der Schwerkraft beeinflusst wird oder dass Energie weder erzeugt noch vernichtet werden kann – es ist das Gesetz, dass junge Studenten sich darüber Gedanken machen, wie alles begann, genau so, wie sie es auf einem niedrigeren Niveau taten, als sie gerade drei Jahre alt waren.

In diesem Buch versuchen wir, einige dieser schwierigen Fragen zu beantworten. (Unglücklicherweise ist die Antwort der Wissenschaftler in vielen Fällen, dass wir das immer noch nicht wirklich wissen.) Wir haben die folgenden Kapitel aber nicht nur für philosophierende Studenten geschrieben. Wir schrieben sie, um alle anzusprechen, die sich jemals Gedanken darüber gemacht haben, woher alles gekommen ist.

## Das Wort Kosmologie

*Kosmologie* beschreibt das Studium der Entwicklung des Universums – ein kleines Wort, ein großes Arbeitsgebiet! Sie versucht, Antworten auf die Fragen zu geben, wie sich das Universum zum heutigen Zustand entwickelt hat und wie es sich weiter entwickeln wird.

Die große Herausforderung der Kosmologie und der Astronomie – sie beschäftigt sich mit dem Studium all der Dinge draußen im Weltraum – ist, dass sie beide nicht mit den meisten anderen Wissenschaften verglichen werden können. In der Chemie

mischen wir beispielsweise zwei Chemikalien in einem Reagenzglas, das wir in Händen halten. In der Biologie können wir einen Käfer unter dem Mikroskop legen und sezieren.

Kosmologie und Astronomie sind anders. Die Menschheit ist bislang nur bis zum Mond vorgestoßen – eine Entfernung von weniger als 400.000 Kilometern. Obwohl das wie eine weite Strecke erscheint, ist es im Vergleich zur Größe des Universums nichts. Der nächste Stern, unsere Sonne, ist 150 Millionen Kilometer entfernt – 360-mal weiter, als je ein Mensch gereist ist. Wie kann die Menschheit jemals hoffen, das Universum zu verstehen, wenn sie so wenig davon erforscht hat? Die Antwort heißt: durch die Kosmologie.



Das Wort *Kosmologie* hat griechische Wurzeln – *kósmos* bedeutet Welt oder Universum und *logos* Wort oder Erforschung. Das Wort kam jedoch erst lange Zeit nach den alten Griechen in Gebrauch. Es wurde wohl zuerst im 18. Jahrhundert verwendet, als die Naturphilosophen (wie manche Wissenschaftler damals bezeichnet wurden) Newtons Weltbild untersuchten und feststellten, dass es die Sicht des Menschen auf das Universum völlig veränderte.



Kosmologie und Astronomie sind eng verwandt, aber während die Astronomen alles im Universum untersuchen (Sterne, Galaxien und so weiter), studieren die Kosmologen das Universum als Ganzes und darüber hinaus seine Entwicklung. Aus diesem Grund müssen die Kosmologen über Astronomie und Physik Bescheid wissen – sowohl die traditionelle Physik als auch die moderneren Gebiete, beispielsweise die Quantenmechanik.

Also, wie wird man ein Kosmologe? Jeder, der über den Ursprung des Universums nachdenkt, ist ein Amateurkosmologe. Und der Zweck dieses Buches besteht darin, einige dieser schwierigen Fragen zu beantworten.

Wenn es schon eine Weile her ist, seit Sie sich mit der Wissenschaft beschäftigen, wäre es nicht schlecht, wenn Sie einen Blick in den Anhang werfen. Darin werden die speziellen Methoden behandelt, mit denen die Wissenschaftler Zahlen schreiben, und die Maßeinheiten, die manchmal schwer zu verstehen sind.

## Der Blick zum Anfang des Universums

Die Kenntnis vom Ursprung des Universums kann sehr hilfreich sein, wenn man verstehen will, warum das Universum so ist, wie es ist.

Auf welche Art können die Kosmologen den Anfang des Universums sehen? Die kurze Antwort auf diese Frage ist: Sie können es gar nicht – nicht direkt jedenfalls. Tut uns leid. Wenn Sie eine einfache, definitive Antwort erwartet haben – wie Douglas Adams' Behauptung in *Per Anhalter durch die Galaxis*, dass die Antwort auf alle Fragen des Universums 42 ist –, werden Sie von der Kosmologie enttäuscht sein.



## Wann ist jetzt?

Eines der großen Probleme der Kosmologie ist die Definition des Jetzt. Jetzt ist eine sehr subjektive Vorstellung.

Stellen Sie sich vor, eine Freundin stünde auf der anderen Seite eines großen Feldes, und sie hält einen großen roten Ballon. Sie haben mit ihr abgesprochen, dass beim Jetzt, genau zur Mittagszeit, sie den Ballon platzen lässt.

Definieren Sie den Augenblick des Jetzt als

- ✓ den Zeitpunkt, wenn Ihre synchronisierte Uhr zwölf Uhr Mittag anzeigt?
- ✓ den Zeitpunkt, wenn Sie sehen, dass Ihre Freundin den Ballon platzen lässt?
- ✓ den Zeitpunkt, zu dem Sie das Platzen des Ballons hören?

Ihre Freundin wird darauf bestehen, dass alle drei Dinge zur gleichen Zeit passieren, aber Ihre Sinne sagen Ihnen, dass zuerst Ihre Uhr Mittag anzeigt, einen winzigen Sekundenbruchteil später sehen Sie den Ballon platzen, und erst Sekunden später hören Sie den Knall.

Im Universum ist es genauso. Wenn Wissenschaftler den Himmel erforschen, sehen sie nur eine erdgebundene Version des Himmels. Wenn irgendjemand den Ballon auf der Oberfläche eines Planeten platzen ließe, der den (in galaktischen Maßstäben) nahen Stern Proxima Centauri umkreist, und Sie würden das Platzen des Ballons mit einem Teleskop beobachten wollen, würde es mehr als vier Jahre dauern, bis das Licht von Proxima Centauri die Erde erreicht.

Die entferntesten Galaxien im Universum haben ihr Licht vor etwa zwölf Milliarden Jahren abgestrahlt. In der dazwischenliegenden Zeit kann der ein oder andere Stern in einer dieser weit entfernten Galaxien explodiert sein. Außerirdische Lebewesen, die einen Planeten bei einem dieser Sterne bewohnen, würden sicherlich Widerspruch gegen ein bezüglich der Erde definiertes Jetzt einlegen.

Aber das soll nicht besagen, dass es keine Möglichkeit gibt, etwas über die Vergangenheit des Universums herauszufinden. Das liegt daran, dass »Zeit« kein so einfacher Begriff ist, wie die Uhr an der Wand es uns suggerieren möchte. Diese Fremdartigkeit hilft sogar bei unserem Studium der Kosmologie.

Wenn Sie sich beispielsweise am Nachthimmel umschauen, sehen Sie das Universum in verschiedenen Stadien seiner Entwicklung. Wenn Sie eine Galaxie beobachten, die so weit entfernt ist, dass ihr Licht zwölf Milliarden Jahre lang bis zu Ihnen unterwegs war, sehen Sie in Wirklichkeit eine Galaxie, die gerade erst entstanden ist. Wenn Kosmologen herausfinden, wie sich diese frühe Galaxie gebildet hat, wissen sie, wie das Universum kurz vor der Bildung dieser Galaxie beschaffen war. Wenn Wissenschaftler derartige Schritte immer weiter in die Vergangenheit unternehmen, kommen sie dem Anfangspunkt des Universums immer näher. Schauen Sie sich den Kasten »Wann ist jetzt?« an, um mehr atemberaubende Informationen über die Natur der Zeit zu erhalten.

## Der Luxuslimousinen-Effekt

Bloß immer weiter in den Weltraum zu schauen, um die Vergangenheit zu erkennen, reicht nicht aus, um den Ursprung des Universums zu ergründen. Selbst mit immer größeren Teleskopen, die es den Kosmologen ermöglichen, immer weiter in Raum und Zeit zu blicken, erreichen die Wissenschaftler einen Punkt, über den hinaus sie nicht schauen können.

Zu einem lange zurückliegenden Zeitpunkt bestand das Universum nicht aus chemischen Elementen wie Wasserstoff- und Heliumgas, so wie das heute der Fall ist. Das Universum bestand damals aus kleineren Dingen – einzelnen Teilchen wie Elektronen, Protonen und Neutronen. (In Kapitel 9 findet sich mehr darüber.) Zu dieser frühen Zeit bewegten sich die Teilchen frei herum und emittierten und absorbierten Strahlung.

Diese Ära, von der die Wissenschaftler annehmen, dass sie 380.000 Jahre nach dem Urknall zu Ende ging, wirkt wie das dunkel getönte Glas einer Luxuslimousine. Wie gewaltig auch die Teleskope sind, die die Menschen erfinden, den Wissenschaftlern wird es nie gelingen, durch dieses Rauchglasfenster zu sehen.

Diese scheinbare Barriere hat die Wissenschaftler jedoch nicht davon abgehalten, das Problem weiter zu untersuchen. In der Tat haben die Kosmologen ein schwaches Leuchten entdeckt, das aus diesem Rauchglas dringt und das als der *kosmische Mikrowellenhintergrund* bezeichnet wird (siehe Kapitel 6). Durch die Untersuchung dieses Leuchtens, das im Laufe der Jahrtausende auf eine Temperatur von wenigen Graden über dem absoluten Nullpunkt heruntergekühlt ist, hoffen die Kosmologen, eine Vorstellung dessen zu bekommen, was sich im Innern dieses Bereichs abgespielt hat.

Wie jeder, der schon einmal versucht hat, durch die Fenster einer Luxuslimousine zu spähen, Ihnen sagen wird, ist es fast unmöglich festzustellen, was sich im Innern befindet. Aber was Wissenschaftler bislang über das Leuchten hinter dem Rauchglas des Universums herausgefunden haben, ist ein starker Hinweis darauf, dass das Uni-

versum durch etwas entstand, was man als den *Urknall* bezeichnet. In Kapitel 6 werden wir diesen erstaunlichen Prozess genauer betrachten, durch den ein unendlich kleiner Punkt sich zum heutigen Universum ausgedehnt hat.

## Der Anfang

Wenn Menschen nicht durch das Rauchglas hindurch den Urknall anschauen können, welche Aussicht gibt es dann, dass die Kosmologen den Ursprung des Universums verstehen können? Glücklicherweise haben die Wissenschaftler andere Wege gefunden, den Ursprung des Universums zu erforschen.

Sie werden vielleicht schon einmal von Orten wie dem CERN bei Genf in der Schweiz oder Fermilab bei Chicago, Illinois gehört oder gelesen haben – faszinierende unterirdische Laboratorien mit Maschinen und Geräten, deren Betrieb unwahrscheinlich teuer ist. Diese und andere Laboratorien liefern eine Alternative zu dem Versuch, durch das Rauchglas zu schauen. Die Begründung dieser kostspieligen Unternehmungen ist die folgende: Wenn die Wissenschaftler schon nicht hinter das Rauchglas sehen können, warum sollten sie nicht versuchen, die Bedingungen wiederherzustellen, die vermutlich während der ersten Augenblicke des Universums geherrscht haben?

Die Wissenschaftler am CERN, beim Fermilab und in anderen Forschungslabors haben bislang herausgefunden, dass das ganz frühe Universum aus einer Riesensmenge von herumschwirrenden Teilchen bestand. Alle hatten eine unglaublich hohe Energie oder Temperatur. Wenn man in *Teilchenbeschleunigern* Teilchen wie Elektronen und Protonen (zwei der elementaren Bausteine des Universums) zusammenprallen lässt und beobachtet, was passiert, kann man sich ein Bild des sehr frühen Universums machen.



Aufgrund ihrer Untersuchungen glauben die Wissenschaftler, dass sich damals etwas sehr Seltsames abgespielt hat. Nach der Kollision zweier Autos findet man immer wieder zwei Autos – vielleicht ziemlich lädiert, aber immerhin als Autos wiederzuerkennen. Wenn jedoch Elementarteilchen zusammenprallen, findet man danach nicht mehr die gleichen Dinge. Man kann mit zwei Protonen anfangen und hat am Ende einen riesigen Schauer exotischer Teilchen, die durch die Energie der Kollision entstanden sind.



Einsteins Arbeit (siehe Kapitel 4) ist wesentlich, um diesen scheinbaren Widerspruch zu verstehen. Genau genommen hilft Einsteins Erkenntnis, dass Masse und Energie vertauschbar sind, bei der Erklärung, warum Elementarteilchen sich bei der Kollision in exotischere Teilchen verwandeln können. Wissenschaftler an Orten wie dem CERN und Fermilab untersuchen diese exotischen Teilchen und versuchen herauszufinden, was hinter diesem Rauchglas des frühen Universums passiert ist.

Kosmologie ist nicht nur etwas für Wissenschaftler, die Zugang zu den mächtigsten (und teuersten) Teleskopen und Teilchenbeschleunigern haben. Jeder mit genügend Interesse kann mal Furore machen. Beispielsweise haben drei Studenten der North Carolina School of Science and Mathematics öffentlich zugängliche Daten des Chandra-Röntgenteleskops der NASA analysiert und einen Pulsar entdeckt, einen rasch rotierenden Stern, der ein charakteristisches Signal abstrahlt. Wer weiß, vielleicht ist dieses Buch Ihr erster Schritt zur Entdeckung einer neuen Sache oder zur Erklärung dessen, was bisher unerklärlich schien?

## Warum die Jetztzeit so aufregend ist

Obwohl Wissenschaftler zu dem Schluss gekommen sein mögen, dass das »Jetzt« ein veraltetes Konzept ist, ist die Zeit, in der wir leben, eine für Amateur- wie für professionelle Kosmologen sehr aufregende Zeit. Die moderne Kosmologie steckt in ihren Kinderschuhen:

- ✓ Vor etwas mehr als einem Jahrhundert fand Einstein seine welterschütternden Einsichten.
- ✓ Vor etwas mehr als 80 Jahren zeigte der Astronom Edwin Hubble (über den wir in Kapitel 5 berichten werden), dass andere Galaxien außerhalb unserer Milchstraße existieren. Und als ob das noch nicht genug wäre, zeigte Hubble auch, dass das Universum expandiert, was darauf hindeutet, dass das Universum in einem Urknall begann.
- ✓ In den Zwanzigerjahren des 20. Jahrhunderts entstand die *Teilchenphysik* – die Physik der kleinsten Teilchen, aus denen die Materie im Weltall besteht. Wie wir in Teil III darlegen werden, liefert das Verständnis der Wechselwirkung dieser kleinsten Materieteilchen einen tiefen Einblick in den Ursprung des Universums.
- ✓ In den letzten zwei Jahrzehnten wurden gezielt kosmologische Weltraumexperimente – beispielsweise durch den COBE, den WMAP- und den Planck-Satelliten – durchgeführt. Wissenschaftler versuchen immer noch, genau herauszufinden, was sich durch die Messdaten dieser Satelliten über die großen Strukturen und Vorgänge im Kosmos aussagen lässt.

In den nächsten Jahrzehnten werden die Wissenschaftler sicherlich noch mehr über das Universum, in dem wir leben, herausfinden und wie es entstand. Dass dies geschehen wird, dafür sorgt schon die menschliche Neugierde.

Wenn Sie diese Neugierde mit uns teilen wollen, laden wir Sie jetzt zu einer Achterbahnfahrt durch den Kosmos ein. Bitte einsteigen!

die Probleme gemäß dem Feigenbaum-Form Nach Graustufen konvertieren