

LAWRENCE M. KRAUSS

EIN UNIVERSUM AUS NICHTS



*...UND WARUM
DA TROTZDEM
ETWAS IST*

»Der Darwin der Kosmologie« *Richard Dawkins*

»Der Triumph der Physik über die Metaphysik« *A.C. Grayling*

KNAUS

Lawrence M. Krauss

Ein Universum aus Nichts

... und warum da trotzdem
etwas ist

Mit einem Nachwort
von Richard Dawkins

Aus dem Amerikanischen
von Helmut Reuter

Knaus

Der Inhalt dieses E-Books ist urheberrechtlich geschützt und enthält technische Sicherungsmaßnahmen gegen unbefugte Nutzung. Die Entfernung dieser Sicherung sowie die Nutzung durch unbefugte Verarbeitung, Vervielfältigung, Verbreitung oder öffentliche Zugänglichmachung, insbesondere in elektronischer Form, ist untersagt und kann straf- und zivilrechtliche Sanktionen nach sich ziehen.

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten, so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung, da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.

Das Original erschien 2012 unter dem Titel »A Universe from Nothing« bei Free Press, einem Imprint von Simon and Schuster Inc., New York.

1. Auflage

Copyright © 2012 by Lawrence M. Krauss

Copyright der deutschsprachigen Ausgabe © 2013

beim Albrecht Knaus Verlag, München,
in der Verlagsgruppe Random House GmbH,
Neumarkter Str. 28, 81673 München.

Lektorat: Wolfgang Gartmann

Gesetzt aus der Stempel Garamond von Uhl + Massopust, Aalen

ISBN 978-3-641-09114-9

V003

www.knaus-verlag.de

Inhalt

Vorbemerkung

1. Kapitel

Ein kosmisches Geheimnis – die Anfänge

2. Kapitel

Eine kosmische Detektivgeschichte – wir wiegen das Universum

3. Kapitel

Licht vom Anfang der Zeit

4. Kapitel

Viel Lärm um nichts

5. Kapitel

Das fliehende Universum

6. Kapitel

Die Gratismahlzeit am Ende des Universums

7. Kapitel

Unsere beklagenswerte Zukunft

8. Kapitel

Ein Riesenzufall?

9. Kapitel

Das Nichts ist etwas

10. Kapitel

Das Nichts ist instabil

11. Kapitel

Schöne neue Welten

Epilog

Nachwort

Über den Autor

Vorbemerkung

Traum oder Albtraum, unsere Erfahrung müssen wir leben, wie sie ist, und wir müssen sie im Wachzustand leben. Wir leben in einer Welt, die vollständig von Wissenschaft durchdrungen und sowohl ein Ganzes als auch real ist. Wir können das Leben nicht einfach dadurch in ein Spiel verwandeln, indem wir uns für eine Seite entscheiden.

Jacob Bronowski

Ich will von Anfang an mit offenen Karten spielen und bekennen, dass ich nichts mit der Vorstellung anfangen kann, die Schöpfung erfordere einen Schöpfer – eine Behauptung, welche die Grundlage aller Religionen der Welt bildet. Jeden Tag erscheinen plötzlich schöne und wundervolle Objekte – von Schneeflocken an einem kalten Wintermorgen bis zu strahlenden Regenbögen nach einem Sommerschauer am späten Nachmittag. Dennoch würde außer den glühendsten Fundamentalisten wohl niemand behaupten, dass jedes einzelne dieser Objekte liebevoll und sorgfältig und – was wichtiger ist – von einer göttlichen Intelligenz mit Absicht erschaffen wurde. Tatsächlich erfreuen sich viele Laien und auch Wissenschaftler daran, dass wir erklären können, wie Schneeflocken und Regenbögen spontan erscheinen können – auf der Grundlage einfacher und eleganter physikalischer Gesetze.

Natürlich kann man wie viele Menschen fragen, woher die Gesetze der Physik denn kommen, oder auch die Suggestivfrage stellen, wer diese Gesetze erschaffen habe. Selbst wenn man diese erste Frage beantworten kann, wird der Fragende dann häufig weiterbohren und wissen wollen, wo denn diese Gesetze herkommen oder wer sie in die Welt gebracht hat und so weiter.

Letztlich werden viele nachdenkliche Menschen von dem dringenden Bedürfnis nach einer Ersten Ursache angetrieben, wie Plato, Thomas von Aquin oder die moderne katholische Kirche das wohl ausdrücken würden. Sie unterstellen dabei irgendein göttliches Wesen – einen Schöpfer all dessen, was da ist und je da sein wird, jemanden oder etwas, das ewig ist und allgegenwärtig.

Doch wenn man eine Erste Ursache verkündet, bleibt weiterhin die Frage offen, wer den Schöpfer erschaffen hat. Denn worin besteht sonst der Unterschied zwischen der Behauptung eines ewig existierenden Schöpfers im Gegensatz zu einem ewig existierenden Universum ohne diesen?

Diese Argumente erinnern mich immer an die berühmte Geschichte eines Wissenschaftlers, der eine Vorlesung über die Ursprünge des Universums hält (manchmal wird der britische Philosoph Bertrand Russell genannt, manchmal der amerikanische Philosoph William James) und mit einer Frau konfrontiert ist, die behauptet, die Welt werde von einer riesigen Schildkröte getragen, die von einer weiteren Schildkröte getragen werde und diese dann von der folgenden ... mit Schildkröten »bis ganz hinunter«! Der unendliche Regress einer schöpferischen Kraft, die sich selbst hervorbringt (auch wenn man sich eine Kraft vorstellt, die größer ist als die Schildkröten), bringt uns keinen Schritt näher an das, was das Universum entstehen lässt. Dennoch könnte dieses Bild einer unendlichen Regression dem realen Prozess, dem das Universum seine Existenz verdankt, letztlich näherkommen, als es die Vorstellung von einem einzelnen Schöpfer zu erklären vermag.

Wer vorbringt, es laufe nun einmal schlicht auf Gott hinaus, und damit jedes Hinterfragen wegdefiniert, kann damit vielleicht das Problem des unendlichen Regresses umgehen, doch hier berufe ich mich auf mein Mantra: Das Universum ist, wie es ist – ob uns das

gefällt oder nicht. Ob es einen Schöpfer gibt oder nicht, hängt nicht von unseren Wünschen ab. Eine Welt ohne Gott oder Zweck mag einem hart oder sinnlos vorkommen, doch das allein ist noch keine Begründung für die Existenz Gottes.

In ähnlicher Weise ist unser Geist vielleicht nicht imstande, Unendlichkeiten leicht zu begreifen (obwohl die Mathematik, ein Produkt unseres Denkens, recht schön mit ihnen umgeht). Doch diese Unfähigkeit heißt eben nicht, dass es keine Unendlichkeiten gibt. Unser Universum könnte sich räumlich oder zeitlich ins Unendliche erstrecken. Oder die Gesetze der Physik könnten, wie Richard Feynman es einst formuliert hat, wie eine Zwiebel mit unendlich vielen Schalen aufgebaut sein, sodass neue Gesetze anwendbar werden, wenn wir neue Größenordnungen sondieren. *Wir wissen es einfach nicht!*

Mehr als 2000 Jahre hindurch ist die Frage, weshalb es statt nichts etwas gibt, als Prüfstein für die Feststellung präsentiert worden, dass unser Universum – dieser riesige Komplex von Sternen, Galaxien, Menschen und wer weiß was sonst noch alles – vielleicht ohne Planung, Absicht oder Zweck entstanden ist. Obwohl sie gewöhnlich den philosophischen oder religiösen Fragen zugeordnet wird, ist sie zuerst und vor allem eine Frage zur natürlichen Welt, weshalb der angemessene Ort für ihre Überprüfung und Lösung zuerst und vor allem die Naturwissenschaften sind.

Dieses Buch folgt einer einfachen Absicht. Ich möchte zeigen, wie die moderne Naturwissenschaft in unterschiedlichem Gewand die Frage angehen kann und tatsächlich angeht, weshalb es statt nichts überhaupt etwas gibt. Die Antworten, die wir erhalten haben – aus umwerfend schönen experimentellen Beobachtungen wie auch aus Theorien, die einem großen Teil der modernen Physik zugrunde liegen –, legen alle nahe, dass es kein Problem darstellt, aus nichts etwas zu erhalten. Tatsächlich ist es für die Entstehung des Universums vielleicht sogar

notwendig gewesen, dass etwas aus nichts hervorgegangen ist. Alle Hinweise lassen darauf schließen, dass unser Universum auf diese Weise entstanden sein *könnte*.

Das Wort »könnte« habe ich hier betont, weil wir möglicherweise nie über genügend empirische Informationen verfügen werden, um diese Frage eindeutig beantworten zu können. Doch die Tatsache, dass ein Universum aus dem Nichts überhaupt plausibel erscheint, ist sicherlich bemerkenswert – zumindest für mich. Ehe ich fortfahre, möchte ich dem Begriff des »Nichts« – ein Thema, das ich später ausführlicher behandeln werde – ein paar Worte widmen. Denn anlässlich der Diskussion dieser Frage in öffentlichen Foren habe ich die Erfahrung gemacht, dass Philosophen und Theologen, die anderer Meinung sind als ich, sich über nichts mehr erregen als über die Feststellung, ich als Wissenschaftler würde das »Nichts« nicht wirklich verstehen. (An dieser Stelle bin ich immer versucht zu erwidern, Theologen seien Fachleute für nichts.)

Sie bestehen darauf, das »Nichts« gehöre nicht zu den Dingen, die ich erörtere. Nichts sei »Nichtsein« in irgendeinem vagen und schlecht definierten Sinn. Das erinnert mich an meine eigenen Bemühungen, »Intelligent Design« zu definieren, als ich anfing, mit Kreationisten zu debattieren; dafür gibt es, wie sich zeigte, keine klare Definition, sondern nur die Aussage, was es nicht ist. »Intelligent Design« ist einfach nur ein Sammelbegriff dafür, dass man gegen die Evolutionslehre ist. In ähnlicher Weise definieren und redefinieren Philosophen das »Nichts« dahingehend, dass es mit keiner der Versionen des Nichts zu tun hat, die von Naturwissenschaftlern derzeit dargestellt werden.

Doch hier liegt meiner Meinung nach der intellektuelle Bankrott eines großen Teils der Theologie und eines Teils der modernen Philosophie. Denn »Nichts« ist gewiss in jeder Hinsicht so physikalisch wie

»Etwas«, besonders wenn es als »Abwesenheit von Etwas« definiert wird. Dann fällt uns nämlich die Aufgabe zu, exakt zu verstehen, was die physikalische Natur dieser beiden Größen genau ausmacht. Und ohne Wissenschaft ist jede Definition nichts weiter als eine Folge von Worten.

Hätte jemand vor einem Jahrhundert das »Nichts« als Bezeichnung für einen vollkommen leeren Raum dargestellt, der keinerlei reale materielle Eigenschaften besitzt, hätte er wohl kaum Widerspruch geerntet. Die Ergebnisse des vergangenen Jahrhunderts haben uns jedoch gelehrt, dass das Vakuum (der leere Raum) in Wahrheit bei Weitem nicht das ungreifbare Nichts ist, für das wir es hielten – ehe wir mehr darüber erfuhren, wie die Natur funktioniert. Inzwischen erzählen mir religiöse Kritiker, ich könne den leeren Raum nicht als Nichts bezeichnen, sondern müsse ihn vielmehr »Quantenvakuum« nennen, um ihn vom idealisierten »Nichts« der Philosophen oder Theologen zu unterscheiden.

Einverstanden. Was aber, wenn wir das »Nichts« dann als Abwesenheit von Raum und Zeit an sich darstellen wollen? Genügt das? Wieder habe ich den Verdacht, es hätte ausgereicht ... eine Zeit lang. Doch wir haben, wie ich noch darstellen werde, inzwischen erfahren, dass Raum und Zeit selbst spontan entstehen können, und so sagt man uns nun, sogar dieses »Nichts« sei nicht wirklich das Nichts, auf das es ankomme. Und man erklärt uns, das Entkommen aus dem Nichts erfordere ein göttliches Prinzip, wobei das willkürlich so definierte »Nichts« jenes sein soll, aus dem nur Gott etwas erschaffen könne.

Ich habe das Thema mit den unterschiedlichsten Personen diskutiert, von denen einige meinten, wenn das »Potenzial« vorhanden sei, etwas hervorzubringen, so handle es sich dabei nicht um einen wahren Zustand des Nichts. Und dass es Naturgesetze gebe, die ein solches

Potenzial ermöglichen, führe uns ganz sicher aus dem wahren Reich des Nichts hinaus. Wenn ich dann aber vorbringe, auch die Naturgesetze selbst seien möglicherweise spontan entstanden (was ich noch ausführen werde), so ist auch das nicht gut genug. Denn jedes System, in dem die Gesetze entstanden sein mögen, sei nicht identisch mit dem eigentlichen Nichts.

Schildkröten bis ganz nach unten? Das glaube ich nicht. Doch diese Schildkröten sprechen viele an, weil die Naturwissenschaft das Spielfeld auf eine Art wechselt, die den Menschen Unbehagen bereitet. Selbstverständlich ist das einer der Gründe für Wissenschaft – in früheren, sokratischen Zeiten mag man es als »Naturphilosophie« bezeichnet haben. Fehlendes Behagen heißt, wir stehen auf der Schwelle zu neuen Einsichten. Es ist sicherlich nur Ausdruck intellektueller Trägheit, wenn man »Gott« als eine Möglichkeit heranzieht, schwierige Fragen nach dem »Wie« zu vermeiden. Denn gäbe es kein Potenzial für eine Schöpfung, hätte Gott schließlich gar nichts erschaffen können. Es liefe auf semantischen Hokusfokus hinaus, wenn jemand zu behaupten versuchte, die Annahme einer potenziell unendlichen Regression sei unnötig, weil Gott außerhalb der Natur existiere und deshalb das »Potenzial« für die Existenz selbst kein Teil des Nichts sei, aus dem die Existenz hervorging.

Tatsächlich möchte ich hier zeigen, dass die Naturwissenschaft in der Tat das Spielfeld gewechselt *hat*. Damit wurden diese abstrakten und nutzlosen Debatten über die Natur des Nichts ersetzt durch zweckdienliche, praktische Bemühungen, mit denen beschrieben wird, wie unser Universum seinen Anfang genommen haben könnte. Darüber hinaus möchte ich erklären, was das möglicherweise für unsere Gegenwart und Zukunft bedeutet.

Darin spiegelt sich eine sehr wichtige Tatsache. Wenn es zu verstehen gilt, wie unser Universum sich entwickelt, sind Religion und Theologie

bestenfalls irrelevant. Oft vernebeln sie die Dinge, indem sie sich beispielsweise auf Fragen des Nichts konzentrieren, ohne irgendeine auf empirischen Belegen beruhende Definition des Begriffs zu liefern. Auch wenn wir den Ursprung unseres Universums noch nicht vollständig verstehen, gibt es keinen Grund zu der Annahme, die Dinge würden sich in dieser Hinsicht grundlegend ändern. Zudem rechne ich damit, dass das auch für unser Verständnis von Gebieten gelten wird, welche die Religion derzeit als ihr ureigenes Territorium betrachtet, etwa die menschliche Moral.

Die Wissenschaft hat unser Verständnis der Natur deshalb vorangebracht, weil das wissenschaftliche Ethos auf drei entscheidenden Grundsätzen beruht: (1) Man folge den Hinweisen, wohin sie auch führen. (2) Verfügt man über eine Theorie, muss man bereit sein, sie mit gleichem Nachdruck als falsch zu beweisen, wie man sich bemüht, ihre Richtigkeit zu belegen. (3) Entscheidend für die Wahrheit ist letztlich das Experiment, nicht die Genugtuung, die man aus seinen Überzeugungen *a priori* ableitet oder auch aus der Schönheit oder Eleganz, die man seinen theoretischen Modellen zuschreibt.

Die experimentellen Ergebnisse, die ich hier schildern möchte, kommen nicht nur zur rechten Zeit, sondern auch unerwartet. Der Wandteppich, den die Naturwissenschaft webt, wenn sie die Evolution unseres Universums darstellt, ist weit farbiger und faszinierender als alle Bilder aus Offenbarungen oder den phantasievollen Geschichten, die Menschen ausgeheckt haben. Die Natur hält Überraschungen bereit, die bei Weitem über das hinausgehen, was die menschliche Vorstellungskraft hervorbringen kann.

Im Verlauf der letzten zwei Jahrzehnte hat eine spannende Reihe von Entwicklungen in Kosmologie, Teilchen- und Gravitationstheorie dazu geführt, dass wir das Universum auf völlig neue Weise betrachten. Daraus folgen aufregende und tief reichende Implikationen für unser

Verständnis seiner Ursprünge wie seiner Zukunft. Demnach könnte es als Thema vielleicht nichts Interessanteres geben als Nichts – man möge mir das Wortspiel verzeihen.

Mit diesem Buch verfolge ich nicht so sehr die Absicht, Mythen zu zerpfücken oder Glaubensinhalte anzugreifen, sondern es drückt den Wunsch aus, das Wissen zu rühmen und mit ihm das absolut überraschende und faszinierende Universum, als welches das unsere sich erwiesen hat.

Unsere Erkundung wird uns auf eine stürmische Tour zu den fernsten Gebieten unseres expandierenden Universums führen – von den frühesten Momenten des Big Bang bis in die ferne Zukunft – und die möglicherweise überraschendste physikalische Entdeckung des vergangenen Jahrhunderts einbeziehen.

Der unmittelbare Anstoß, dieses Buch gerade jetzt zu schreiben, ist in der Tat eine tief reichende Entdeckung über das Universum. Sie war der hauptsächliche Antrieb meiner eigenen wissenschaftlichen Forschung während der letzten drei Jahrzehnte und hat zu dem aufregenden Ergebnis geführt, dass der größte Teil der Energie des Universums in irgendeiner geheimnisvollen, bislang unerklärlichen Form existiert, die den gesamten leeren Raum durchdringt. Es ist keine Übertreibung, wenn man feststellt, dass diese Entdeckung das Gebiet der modernen Kosmologie verändert hat.

Denn erstens hat diese Entdeckung beachtliche neue Belege dafür hervorgebracht, dass unser Universum aus Nichts im genauen Sinn des Wortes entstanden ist. Zudem hat sie uns dazu gebracht, eine ganze Reihe von Annahmen zu überdenken, nämlich jene zu den Vorgängen, die seine Evolution lenken könnten, wie auch letztlich zu der Frage, ob die Gesetze der Natur selbst wirklich fundamental sind. Das alles führt nun tendenziell dazu, dass die Frage, warum es statt nichts überhaupt

etwas gibt, weniger imposant oder sogar auf einfache Weise lösbar erscheint, wie ich hoffe darlegen zu können.

Unmittelbar verknüpft ist die Entstehung dieses Buches mit der gleichnamigen Vorlesung, die ich im Oktober 2009 in Los Angeles hielt. Zu meiner nicht geringen Überraschung ist das von der Richard Dawkins Foundation zur Verfügung gestellte YouTube-Video der Vorlesung mit mehr als 1,5 Millionen Aufrufen inzwischen zu einer Art Sensation geworden. Teile des Videos wurden vielfach kopiert und von atheistischen wie von theistischen Gemeinschaften in deren Debatten verwendet.

Weil das Thema also eindeutig mit Interesse verfolgt wird und im Anschluss an meine Vorlesung zudem einige irreführende Kommentare im Web und in verschiedenen Medien erschienen sind, hielt ich es für angemessen, die von mir in der Vorlesung vorgetragenen Ideen in diesem Buch ausführlicher darzustellen. Hier bietet sich mir auch eine Gelegenheit, die damals vorgebrachten Argumente zu erweitern. Sie konzentrierten sich fast vollständig auf die jüngsten Revolutionen der Kosmologie, die unser Bild des Universums verändern und mit der Entdeckung der Energie und der Geometrie des Raums zu tun haben. Diese Fragen werde ich in den ersten zwei Dritteln dieses Buches erörtern.

In der Zwischenzeit habe ich viel mehr über die vielen Vorläufer und Ideen nachgedacht, die meiner Argumentation zugrunde liegen; ich habe sie mit anderen diskutiert, die mit ansteckender Begeisterung darauf reagiert haben, und ich habe insbesondere eingehender erkundet, wie sich Entwicklungen der Teilchenphysik im Hinblick auf das Thema Ursprung und Natur unseres Universums auswirken. Schließlich habe ich noch einige meiner Argumente Menschen vorgelegt, die nachdrücklich anderer Ansicht sind – dabei habe ich einige Einsichten

gewonnen, die mir geholfen haben, meine Argumente weiter auszubauen.

Während ich die Ideen, die ich letztlich hier darzustellen versuche, ausarbeitete, profitierte ich ungemein von Diskussionen mit einigen meiner äußerst kenntnisreichen Physikerkollegen. Ganz besonders danken möchte ich Alan Guth und Frank Wilczek, die sich die Zeit genommen haben, ausführlich mit mir zu diskutieren und zu korrespondieren, wodurch einige verworrene Vorstellungen in meinem eigenen Denken aufgelöst wurden; außerdem haben sie in bestimmten Fällen dabei geholfen, meine eigenen Interpretationen zu bestärken.

Ermutigt durch das Interesse von Leslie Meredith und Dominick Anfuso bei Free Press, Simon und Schuster, die ein Buch zu diesem Thema für möglich hielten, wandte ich mich an meinen Freund Christopher Hitchens, der einer der gebildetsten und brilliantesten Menschen war, die ich kenne. Ihn überzeugten einige der Argumente aus meiner Vorlesung so, dass er sie in seiner bemerkenswerten Diskussionsreihe über Wissenschaft und Religion verwendete. Trotz seiner angegriffenen Gesundheit erklärte Christopher sich freundlich, großzügig und tapfer dazu bereit, das Vorwort für dieses Buch zu verfassen. Für diesen Akt der Freundschaft und des Vertrauens werde ich ihm ewig dankbar sein. Leider setzte die Krankheit Christopher schließlich so sehr zu, dass es ihm trotz aller Bemühungen nicht mehr möglich war, das Vorwort zu vollenden. Immerhin hatte sich mein eloquenter, brillanter Freund, der renommierte Wissenschaftler und Autor Richard Dawkins, schon vorher bereit erklärt, ein Nachwort zu schreiben. Nachdem er den ersten Entwurf meines Textes gelesen hatte, lieferte er in kurzer Zeit einen Text, dessen Schönheit und Klarheit erstaunlich und zugleich beeindruckend sind. Ich verharre in Ehrfurcht. Christopher, Richard und all den oben Genannten danke ich für die Unterstützung und Ermutigung sowie dafür, dass sie mich ein weiteres

Mal dazu gebracht haben, an meinen Computer zurückzukehren und zu schreiben.

1. Kapitel

Ein kosmisches Geheimnis – die Anfänge

*Das eigentliche Geheimnis, das jede Reise begleitet:
Wie kam der Reisende überhaupt an den Ausgangspunkt?*

Louise Bogan, *Journey Around My Room*

Es war eine finstere, stürmische Nacht ...

Anfang 1916 hatte Albert Einstein die großartigste Arbeit seines Lebens abgeschlossen – eine Jahrzehnte dauernde, intensive geistige Auseinandersetzung, in der er eine neue Theorie der Gravitation entwickelte und diese als Allgemeine Theorie der Relativität bezeichnete. Dabei handelte es sich jedoch nicht nur um eine neue Theorie der Schwerkraft, sondern auch um eine neue Theorie von Raum und Zeit. Und es war die erste wissenschaftliche Theorie, die nicht nur erklären konnte, wie Objekte sich durch das Universum bewegen, sondern auch, wie das Universum selbst sich möglicherweise entwickeln würde.

Die Sache hatte jedoch einen Haken. Als Einstein begann, seine Theorie auf die Darstellung des Universums insgesamt anzuwenden, wurde deutlich, dass sie nicht das Universum schilderte, in dem wir offensichtlich leben.

Jetzt, fast 100 Jahre später, kann man sich kaum wirklich vorstellen, wie sehr sich das Bild unseres Universums in der Zeit eines Menschenlebens verändert hat. Was die wissenschaftliche Gemeinde im Jahr 1917 anging, galt das Universum als statisch und ewig, bestand aus einer einzigen Galaxie, unserer Milchstraße, und war umgeben von einem weitläufigen, unendlichen, finsternen und leeren Raum. Genau

das, was man vermuten musste, wenn man mit bloßem Auge oder einem kleinen Fernrohr zum Nachthimmel aufschaute, und damals gab es kaum einen Grund, etwas anderes zu unterstellen.

Wie in Newtons Theorie der Schwerkraft ist die Gravitation auch in Einsteins Theorie eine ausschließlich anziehende Kraft zwischen allen Objekten. Das heißt, es ist unmöglich, eine Anordnung von Massen im Weltraum für alle Zeiten an Ort und Stelle zu halten. Ihre wechselseitige Anziehung aufgrund der Schwerkraft wird letztlich dafür sorgen, dass sie ineinanderfallen, was eindeutig im Widerspruch zu einem scheinbar statischen Universum steht.

Für Einstein war die Tatsache, dass seine Theorie der Allgemeinen Relativität offensichtlich nicht mit dem damals gültigen Bild des Universums übereinstimmte, ein größerer Schlag, als man heute vielleicht glaubt. Die tiefer liegenden Gründe erlauben es mir, mit einem Mythos über Einstein und die Allgemeine Relativität aufzuräumen, der mich immer gestört hat. Gewöhnlich geht man davon aus, dass Einstein jahrelang zurückgezogen in einer Art Elfenbeinturm arbeitete und mithilfe von reinem Denken und Vernunft zu seiner schönen, von der Wirklichkeit unabhängigen Theorie kam. (Vielleicht in der Art mancher Stringtheoretiker unserer Zeit.) Doch nichts könnte weiter von der Wahrheit entfernt sein.

Einstein ließ sich im Grunde immer von Experimenten und Beobachtungen leiten. Während er im Geist viele »Gedankenexperimente« durchspielte und mehr als ein Jahrzehnt lang hart arbeitete, erlernte er neue mathematische Verfahren und folgte dabei vielen falschen theoretischen Hinweisen, ehe er schließlich eine Theorie hervorbrachte, die tatsächlich von mathematischer Schönheit war. Der wichtigste Moment für die Entwicklung seiner Liebesbeziehung zur Allgemeinen Relativität hatte jedoch mit Beobachtungen zu tun. Während der letzten hektischen Wochen, in

denen er seine Theorie im Wettstreit mit dem deutschen Mathematiker David Hilbert vollendete, berechnete er mithilfe seiner Gleichungen eine Vorhersage, die ansonsten vielleicht eher als obskures astronomisches Resultat gegolten hätte: eine geringfügige Präzession im Perihel (dem Punkt der engsten Annäherung) der Umlaufbahn des Merkur um die Sonne.

Astronomen hatten schon seit Langem bemerkt, dass die Umlaufbahn des Merkur ein wenig von der abwich, die Newton vorhergesagt hatte. Diese Umlaufbahn war nämlich keine makellose Ellipse, die in sich selbst zurückführte, sondern wies eine geringfügige Präzession auf.¹ Deren Betrag ist mit 43 Bogensekunden (etwa 1/100 eines Grades) pro Jahrhundert unglaublich klein.

Als Einstein diese Berechnung mithilfe seiner Theorie der Allgemeinen Relativität ausführte, erhielt er genau die richtige Zahl. Abraham Pais, ein Biograf Einsteins, drückt es so aus: »Diese Entdeckung war, wie ich glaube, bei Weitem das stärkste emotionale Erlebnis in Einsteins wissenschaftlichem und möglicherweise in seinem gesamten Leben.« Er erklärte, Herzklopfen verspürt zu haben, als sei in seinem Inneren »etwas gesprungen«. Einen Monat später, als er im Gespräch mit einem Freund seiner Theorie »unvergleichliche Schönheit« attestierte, war seine Freude über die mathematische Form in der Tat sehr ausgeprägt, doch vom Herzklopfen war keine Rede mehr.

Die offensichtliche Unstimmigkeit zwischen der Allgemeinen Relativität und dem beobachteten »statischen« Universum bestand jedoch nicht lange – obwohl sie Einstein dazu veranlasste, eine Modifikation in seine Theorie einzubauen, die er später als seinen größten Fehler bezeichnete. Doch dazu weiter unten mehr. Inzwischen weiß jeder (mit Ausnahme gewisser Schulämter in den USA), dass das Universum nicht statisch ist, sondern sich ausdehnt, und dass diese

Expansion vor etwa 13,7 Milliarden Jahren in einem unfassbar heißen, dichten Urknall begann. Ebenso bedeutend ist die Erkenntnis, dass unsere Galaxie nur eine von mehr als 100 Milliarden Galaxien im beobachtbaren Universum ist. Es geht uns hier wie den ersten Kartografen der Erde – wir fangen gerade an, das Universum in seinen größten Maßstäben zu erfassen. Da muss es einen natürlich nicht wundern, dass unser Bild des Universums in den letzten Jahrzehnten revolutionäre Wandlungen erfahren hat.

Die Entdeckung, dass das Universum nicht statisch ist, sondern vielmehr expandiert, hat tiefe philosophische und religiöse Bedeutung, weil sie nahelegt, dass unser Universum einen Anfang hat. Ein Anfang schließt Schöpfung ein, und Schöpfung rührt Emotionen auf. Während es nach der Entdeckung des expandierenden Universums im Jahr 1929 mehrere Jahrzehnte dauerte, bis die Vorstellung eines Urknalls unabhängige wissenschaftliche Bestätigung erhielt, verkündete Papst Pius XII. bereits 1951, dieser Befund sei ein Beleg für die Schöpfung. Er führte aus:

... es scheint, als sei es der heutigen Wissenschaft mit einem einzigen Streich über die Jahrhunderte zurück gelungen, Zeugnis abzulegen von dem erhabenen Augenblick des ersten Fiat Lux (Es werde Licht), als zusammen mit der Materie aus dem Nichts ein Meer aus Licht und Strahlung hervorbrach und sich aufteilte und sich zu Millionen Galaxien formte. Demnach hat [die Wissenschaft] mit der für wissenschaftliche Beweise charakteristischen Konkretion die Kontingenz des Universums bestätigt und dazu die wohlbegründete Deduktion der Epoche, in der die Welt aus der Hand des Schöpfers hervorging. Daher hat die Schöpfung stattgefunden. Wir sagen: Deshalb gibt es einen Schöpfer. Folglich gibt es Gott!

Dabei ist die komplette Geschichte ein wenig interessanter. Tatsächlich war es ein belgischer Priester und Physiker namens Georges Lemaître, der als Erster einen Big Bang in Erwägung zog. Lemaître verfügte über eine bemerkenswerte Kombination von Fähigkeiten. Er begann seine Studien mit dem Fach Ingenieurwissenschaften, war im Ersten Weltkrieg ein hochdekoriertes Artillerist und wandte sich dann der Mathematik zu, während er Anfang der 1920er Jahre für das Priesteramt studierte. Dann befasste er sich mit Kosmologie und studierte zunächst bei dem berühmten britischen Astrophysiker Sir Arthur Stanley Eddington, ehe er nach Harvard ging und schließlich vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) einen zweiten Dokortitel in Physik erhielt.

Ehe Lemaître 1927 seinen zweiten Dokortitel bekam, hatte er Einsteins Gleichungen für die Allgemeine Relativität gelöst und gezeigt, dass die Theorie ein nicht statisches Universum vorhersagt und tatsächlich nahelegt, dass das Universum, in dem wir leben, expandiert. Diese Feststellung erschien so ungeheuerlich, dass Einstein selbst energisch einwandte: »Ihre Mathematik ist korrekt, doch Ihre Physik ist abscheulich.«

Lemaître machte dennoch weiter – 1930 ging er außerdem davon aus, unser expandierendes Universum habe eigentlich als unendlich kleiner Punkt begonnen, den er als »Uratom« bezeichnete, wobei dieser Anfang »ein Tag ohne Gestern« sei (was vielleicht als Anspielung auf die Schöpfungsgeschichte gemeint war).

Die Vorstellung eines Urknalls, die Papst Pius so laut verkündete, war also zuerst von einem Priester entwickelt worden. Man könnte vielleicht annehmen, dass Lemaître über diese päpstliche Einschätzung begeistert war, doch er selbst hatte die Idee schon aufgegeben, dass diese wissenschaftliche Theorie theologische Konsequenzen haben

könnte, und im Entwurf seines 1931 erschienenen Aufsatzes über den Urknall einen Absatz zu dieser Frage gestrichen.

Tatsächlich widersprach Lemaître später der vom Papst 1951 verkündeten Behauptung, der Urknall sei ein Schöpfungsbeweis.² Zu dieser Zeit war er in die vatikanische Pontifikalakademie gewählt worden, deren Präsident er später werden sollte. Er drückte es so aus: »Soweit ich das erkennen kann, bleibt eine solche Theorie vollständig außerhalb jeder metaphysischen oder religiösen Fragestellung.« Der Papst kam später nie mehr öffentlich auf diese Behauptung zurück.

Daraus lässt sich eine wertvolle Lehre ziehen. Wie Lemaître erkannte, ist es eine wissenschaftliche und keine theologische Frage, ob der Urknall tatsächlich stattgefunden hat oder nicht. Mehr noch – auch wenn es den Urknall gegeben hat (was mittlerweile von allen Belegen in überwältigender Weise gestützt wird), stünde es jedem frei, ihn je nach seinen religiösen oder metaphysischen Vorlieben unterschiedlich zu interpretieren. Man kann sich dafür entscheiden, den Urknall als Anhaltspunkt für einen Schöpfer zu sehen, wenn man das Bedürfnis verspürt, oder stattdessen argumentieren, dass die Evolution des Universums bis zurück zu seinem Beginn durch die Mathematik der Allgemeinen Relativität ohne das Eingreifen einer Gottheit erklärt werde. Eine solche metaphysische Spekulation ist aber nicht von der physikalischen Gültigkeit des Urknalls selbst abhängig und für unser Verständnis dieses Ereignisses belanglos. Sobald wir über die bloße Existenz eines expandierenden Universums hinausgehen, um die physikalischen Prinzipien zu verstehen, die möglicherweise seinen Ursprung betreffen, kann die Wissenschaft diese Spekulation selbstverständlich weiter erhellen – wozu sie, wie ich noch zeigen werde, auch in der Lage ist.

Jedenfalls ließ sich die Welt der Wissenschaft weder durch Lemaître noch durch Papst Pius davon überzeugen, dass das Universum sich

ausdehnt. Wie bei jeder guten wissenschaftlichen Erkenntnis ergaben sich die Beweise eher aus sorgfältigen Beobachtungen, in diesem Fall zusammengetragen von Edwin Hubble, der mir weiterhin großes Zutrauen in die Menschheit vermittelt, weil er als Anwalt begann und dann Astronom wurde. Vorher hatte Hubble im Jahr 1925 einen bedeutenden Durchbruch mit dem Hooker-Teleskop auf dem Mount Wilson erzielt – mit 2,45 Meter Spiegeldurchmesser damals das größte weltweit.³ Bis dahin konnten Astronomen mit den verfügbaren Teleskopen verschwommene Bilder von Objekten unterscheiden, bei denen es sich nicht um einfache Sterne unserer Milchstraße handelte. Sie bezeichneten sie als Nebel. Außerdem diskutierten sie darüber, ob diese Objekte sich innerhalb oder außerhalb unserer Galaxis befanden. Da das Universum zu dieser Zeit nach vorherrschender Meinung allein aus unserer Milchstraße bestand, fanden sich die meisten Astronomen im Lager der »Innerhalb unserer Galaxis«-Gruppe – angeführt von dem berühmten Astronomen Harlow Shapley in Harvard. Shapley hatte die Schule in der fünften Klasse geschmissen und später auf eigene Faust studiert; schließlich war er nach Princeton gegangen. Er entschied sich für Astronomie als Studienfach, weil es das Fach war, das im Lehrplan an erster Stelle stand. In grundlegenden Arbeiten zeigte er, dass die Milchstraße weit größer ist als ursprünglich angenommen, und auch, dass die Sonne nicht in deren Zentrum, sondern einfach in einer abgelegenen, uninteressanten Ecke liegt. In der Astronomie war er eine überragende Gestalt, weshalb seine Ansichten zur Natur der Nebel beträchtlichen Einfluss hatten.

Am Neujahrstag 1925 veröffentlichte Hubble die Ergebnisse seiner zweijährigen Studien sogenannter Spiralnebel. Damit war er in der Lage, in diesen Nebeln einschließlich der inzwischen als Andromeda bekannten Galaxie einen bestimmten Typ von variablen Sternen zu bestimmen, die als Cepheiden bezeichnet werden.

Bei den 1784 erstmals beobachteten variablen Sternen des Cepheidentyps variiert die Helligkeit in bestimmten regelmäßigen Perioden. 1908 wurde am Observatorium des Harvard College Henrietta Swan Leavitt, eine unbekannte und damals nicht gewürdigte Möchtegern-Astronomin, als »Auswerterin« beschäftigt.⁴ Leavitt, Tochter eines von den Pilgervätern abstammenden Gemeindepastors, machte eine erstaunliche Entdeckung, die sie 1912 näher erforschte: Sie bemerkte, dass es zwischen der Helligkeit von Cepheiden und der Periode ihrer Schwankungen einen regelmäßigen Zusammenhang gab. Wenn man also die Entfernung zu einem einzelnen solchen Stern mit bekannter Periode (die anschließend, 1913, bestimmt wurde) ermitteln konnte, dann würde man mit der Messung der Helligkeit anderer Cepheiden mit derselben Periode die Entfernung zu diesen anderen Sternen feststellen können!

Da die beobachtete Helligkeit von Sternen mit dem Kehrwert des Quadrats der Entfernung zu dem jeweiligen Stern schwächer wird⁵, war es immer die zentrale Herausforderung der Astronomie gewesen, den Abstand weit entfernter Sterne zu bestimmen. Leavitts Entdeckung revolutionierte das Gebiet.⁶ In der Königlichen Akademie Schwedens hatte man bereits die Formalitäten eingeleitet, Leavitt für den Nobelpreis 1924 zu nominieren, als bekannt wurde, dass sie drei Jahre zuvor an Krebs gestorben war. Dank seiner starken Persönlichkeit, seiner Begabung zur Selbstdarstellung und seiner Fähigkeiten als Beobachter wurde Hubbles Name allgemein bekannt, während Leavitt leider nur den Liebhabern des Gebiets geläufig ist.

Mithilfe seiner Messungen von Cepheiden und Leavitts Relation von Periode und Lichtstärke konnte Hubble eindeutig beweisen, dass die Cepheiden in Andromeda und mehreren anderen Nebeln viel zu weit entfernt waren und deshalb nicht innerhalb der Milchstraße liegen konnten. Man fand heraus, dass Andromeda eine weitere Insel im

Universum war, eine mit unserer Milchstraße fast identische Spiralgalaxie und eine der mehr als 100 Milliarden Galaxien, die es nach heutigem Wissen in unserem beobachtbaren Universum gibt. Hubbles Resultate waren eindeutig genug, weshalb die astronomische Gemeinschaft – einschließlich Shapley, der zu dieser Zeit übrigens Leiter des Observatoriums am Harvard College geworden war, wo Leavitt ihre bahnbrechende Arbeit geleistet hatte – rasch akzeptierte, dass die Milchstraße nicht alles ist, was uns umgibt. Mit einem Mal hatte sich die Größe des bekannten Universums um einen weit größeren Betrag als in den Jahrhunderten zuvor erweitert! Auch seine Natur hatte sich wie fast alles andere verändert.

Nach dieser dramatischen Entdeckung hätte Hubble sich auf seinen Lorbeeren ausruhen können, doch ihm stand der Sinn nach Größerem, nämlich nach größeren Galaxien. Er maß immer schwächere Cepheiden in immer entfernteren Galaxien, was ihn in die Lage versetzte, das Universum in zunehmend größeren Maßstäben zu kartografieren. Dabei entdeckte er jedoch etwas, was noch bemerkenswerter war: Das Universum dehnt sich aus!

Zu diesem Ergebnis kam Hubble, als er die von ihm gemessenen Entfernungen von Galaxien mit einem Satz von Messungen verglich, die ein anderer amerikanischer Astronom namens Vesto Slipher vorgenommen hatte – er hatte die Spektren des Lichts untersucht, das von diesen Galaxien stammte. Will man verstehen, worum es sich bei diesen Spektren handelt, ist es notwendig, bis an den Anfang der modernen Astronomie zurückzugehen.

Eine der bedeutendsten Entdeckungen der Astronomie war, dass Sterne und Erde weitgehend aus denselben Stoffen zusammengesetzt sind. Wie so vieles in der modernen Astronomie begann es mit Isaac Newton. 1665 verdunkelte Newton als junger Wissenschaftler seinen Arbeitsraum, indem er den Fensterladen schloss. Ein kleines Loch ließ

einen schmalen Streifen Sonnenlicht durch, den er durch ein Prisma leitete. Nun sah er, dass das Sonnenlicht sich in die vertrauten Farben des Regenbogens zerlegt hatte. Er kam zu dem Schluss, dass das weiße Licht der Sonne all diese Farben enthielt, und damit lag er richtig.

150 Jahre später untersuchte ein anderer Wissenschaftler das zerlegte Licht genauer und entdeckte inmitten der Farben dunkle Banden (Streifen). Er folgerte, dass sie auf Materialien in der äußeren Sonnenatmosphäre zurückzuführen sind, die Licht bestimmter Farben oder Wellenlängen absorbieren. Diese als »Absorptionslinien« bekannt gewordenen Streifen konnte man mit Wellenlängen von Licht in Einklang bringen, von denen man wusste, dass sie von bekannten Stoffen auf der Erde absorbiert wurden – darunter Wasserstoff, Sauerstoff, Eisen, Natrium und Kalzium.

1868 beobachtete ein weiterer Wissenschaftler zwei neue Absorptionslinien im gelben Anteil des Sonnenspektrums, die keinem bekannten Element der Erde entsprachen. Er entschied, dass sie einem neuen Element zu verdanken sein mussten, das er Helium nannte. Eine Generation später wurde Helium auf der Erde entdeckt.

Beobachtet man das Spektrum der von anderen Sternen stammenden Strahlung, erhält man ein wichtiges wissenschaftliches Werkzeug zum Verständnis ihrer Zusammensetzung, Temperatur und Entwicklung. Von 1912 an beobachtete Slipher die Spektren des kombinierten Lichts verschiedener Spiralnebel und fand heraus, dass diese Spektren denen von Sternen in der Nähe glichen – abgesehen davon, dass die Wellenlängen der Absorptionslinien alle um den gleichen Betrag verschoben waren.

Damals verstand man dieses Phänomen als eine Folge des bekannten Doppler-Effekts, benannt nach dem österreichischen Physiker Christian Doppler, der 1842 erklärt hatte, die von einer bewegten Quelle stammenden Wellen würden gedehnt, wenn die Quelle ihren

Abstand zum Beobachter vergrößerte, und komprimiert, wenn die Quelle auf ihn zukam. Darin zeigt sich ein Phänomen, das uns allen vertraut ist und das mich gewöhnlich an einen Cartoon von Sidney Harris erinnert. Dort sitzen zwei Cowboys draußen in der Prärie auf ihren Pferden und blicken auf einen entfernten Zug, und einer sagt zum anderen: »Ich liebe es, dieses einsame Heulen der Lokomotive zu hören, wenn die Frequenzgröße sich dank des Doppler-Effekts verändert!« Tatsächlich wird der Ton einer Lokomotivpfeife oder eines Krankenwagens zunehmend höher, wenn Zug oder Krankenwagen näher kommen, und tiefer, wenn sie sich von einem entfernen.

Wie sich zeigte, tritt dieses Phänomen bei Lichtwellen ebenso auf wie bei Schallwellen, wenn auch aus jeweils ein wenig anderen Gründen. Die von einer sich entfernenden Lichtquelle (entweder aufgrund ihrer lokalen Bewegung im Raum oder wegen der dort wirkenden Expansion des Raums) zu uns kommenden Wellen werden gedehnt, weshalb sie intensiver rot erscheinen als normal, da Rot dem langwelligen Ende des sichtbaren Spektrums entspricht. Wellen von einer näher kommenden Quelle werden dagegen komprimiert und erscheinen nach Blau hin verschoben.

Wie Slipher 1912 beobachtete, waren die Absorptionslinien des von allen Spiralnebeln kommenden Lichts fast alle systematisch zu längeren Wellenlängen hin verschoben.² Er kam zu dem korrekten Schluss, dass die meisten dieser Objekte sich mit beträchtlichen Geschwindigkeiten von uns entfernen.

Hubble konnte die von ihm beobachteten Entfernungen dieser Galaxien (als die man sie inzwischen erkannt hatte) mit Sliphers Messungen der Geschwindigkeiten vergleichen, mit denen sie sich entfernten. Unterstützt durch Milton Humason, einem Mitarbeiter am Mount Wilson, dessen technische Begabung so groß war, dass er vom Observatorium fest angestellt wurde, obwohl er nicht einmal einen