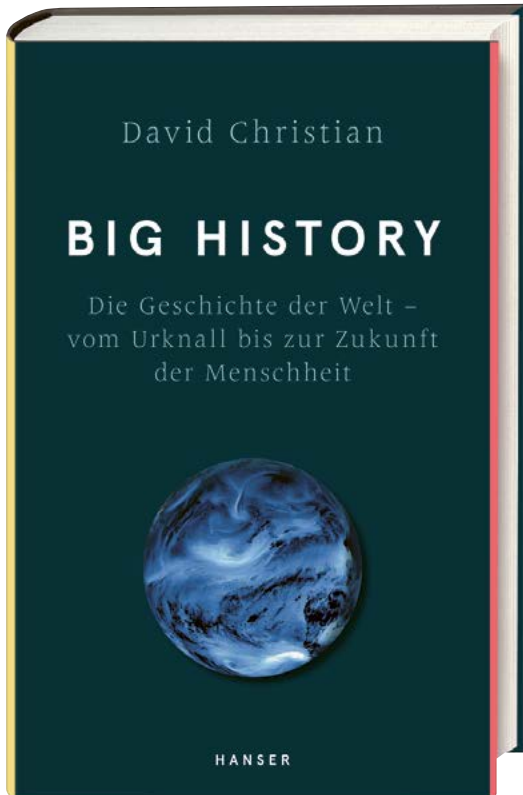


Leseprobe aus:

**Christian**

**Big History. Die Geschichte der Welt - Vom Urknall bis  
zur Zukunft der Menschheit**



Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf  
[www.hanser-literaturverlage.de](http://www.hanser-literaturverlage.de)

© Carl Hanser Verlag München 2018

HANSER





David Christian

# **BIG HISTORY**

Die Geschichte der Welt –  
vom Urknall bis zur Zukunft  
der Menschheit

Aus dem Englischen von  
Hainer Kober

Carl Hanser Verlag

Titel der Originalausgabe:  
*Origin Story: A Big History of Everything.*  
New York; Little, Brown and Company 2018

1. Auflage 2018

ISBN 978-3-446-25833-4  
Copyright © 2018 by David Christian  
Alle Rechte der deutschen Ausgabe:  
© 2018 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München  
Umschlag: Anzinger und Rasp, München  
Motiv: © Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Earth Observation Center  
Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell  
Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck  
Printed in Germany



MIX  
Papier aus verantwortungsvollen Quellen  
FSC® C014496

# INHALT

Vorwort .....	7
Einleitung .....	11
Zeitleiste .....	21

## TEIL I: KOSMOS

1 Am Anfang – Schwelle 1 .....	25
2 Die ersten Sterne und neue Elemente – Schwelle 2 und 3 .....	48
3 Moleküle und Monde – Schwelle 4 .....	67

## TEIL II: BIOSPHÄRE

4 Die Entstehung des Lebens – Schwelle 5 .....	87
5 Kleines Leben und die Biosphäre .....	114
6 Großes Leben und die Biosphäre .....	143

## TEIL III: WIR

7 Menschen – Schwelle 6 .....	179
8 Landwirtschaft – Schwelle 7 .....	214
9 Agrarzivilisationen .....	239
10 An der Schwelle zur heutigen Welt .....	267
11 Das Anthropozän – Schwelle 8 .....	292

## **TEIL IV: DIE ZUKUNFT**

12 Wohin führt das alles? .....	321
Danksagung .....	343

## **ANHANG**

Statistische Daten zur Menschheitsgeschichte .....	349
Glossar .....	351
Anmerkungen .....	362
Register .....	374

# VORWORT

Wir erzählen Geschichten, um den Dingen einen Sinn zu geben. Das liegt uns im Blut.

Lia Hills, »Return to the Heart«

Das Projekt einer modernen Ursprungsgeschichte liegt in der Luft. Für mich begann sie mit einem Kurs über die Geschichte von allem, den ich 1989 an der Macquarie University in Sydney zum ersten Mal gab. Damals lehrte und forschte ich über russische und sowjetische Geschichte. Aber ich befürchtete, ein weiterer Kurs über nationale oder imperiale Geschichte würde wieder nur die unterschwellige Botschaft vermitteln, die Menschheit sei hoffnungslos in rivalisierende Stämme zerstritten. War das eine hilfreiche Botschaft in einer Welt voller Kernwaffen? Mir ist noch lebhaft im Gedächtnis, dass ich als Schüler während der Kubakrise dachte, wir stünden am Rande einer Apokalypse und uns drohe eine totale Vernichtung. Ich weiß, dass ich mich fragte, ob die Jugendlichen »drüben« in der Sowjetunion genauso viel Angst hatten. Schließlich waren auch sie Menschen. Als Kind hatte ich in Nigeria gelebt. Das hatte mir das intensive Gefühl vermittelt, einer einzigen außerordentlich vielfältigen menschlichen Gemeinschaft anzugehören – ein Gefühl, das noch verstärkt wurde, als ich im Jugendalter das Atlantic College, eine internationale Schule in South Wales, besuchte.

Mehrere Jahrzehnte später, als Historiker, begann ich darüber nachzudenken, wie man eine einheitliche Geschichte der Menschheit erzählen könnte. Vermochte ich das gemeinsame Erbe aller Menschen zum



Gegenstand meiner Lehrveranstaltungen zu machen, um darüber so begeistert und ergriffen zu berichten wie über die Nationalgeschichten? Ich gewann die Überzeugung, dass wir eine Geschichte bräuchten, in der unsere paläolithischen Vorfahren und neolithische Bauern eine ebenso gewichtige Rolle spielten wie die Herrscher, Eroberer und Kaiser, die die Inhalte unseres Fachs bisher so nachhaltig beherrscht hatten.

Nach und nach begriff ich, dass das keine besonders originellen Ideen waren. 1986 vertrat der namhafte Welthistoriker William McNeill die Ansicht, die Beschäftigung mit den »Triumphen und Tragödien der Menschheit als Ganzer« sei »die moralische Pflicht der historischen Zunft in unserer Zeit«<sup>1</sup>. Noch früher verfasste H. G. Wells im gleichen Geist eine Geschichte der Menschheit als Reaktion auf das Blutbad des Ersten Weltkriegs.

Wie wir alle wissen, kann es heute keinen anderen Frieden als einen gemeinsamen und weltweiten Frieden, keinen anderen Wohlstand als einen allgemeinen Wohlstand geben. Aber es kann keinen gemeinsamen Frieden und Wohlstand geben ohne gemeinsame historische Ideen ... Mit nichts als nationalistischen Traditionen voller Engstirnigkeit, Selbstsucht und Feindseligkeit bleibt für die Rassen und Völker kein anderer Weg als der ins Verderben.<sup>2</sup>

Wells hat noch etwas anderes verstanden: Wenn man die Geschichte der Menschheit lehren möchte, muss man die Geschichte von allem lehren. Deshalb hat sich seine *Geschichte unserer Welt* in eine Geschichte des Universums verwandelt. Um die Geschichte der Menschheit zu verstehen, müssen wir begreifen, wie sich eine so seltsame Art entwickelte, das heißt, wir müssen etwas über die Entwicklung des Lebens auf dem Planeten Erde erfahren, das heißt, wir müssen etwas über die Entwicklung des Planeten Erde erfahren, das heißt, wir müssen etwas über die

Entwicklung von Sternen und Planeten erfahren, und das heißt letztlich, wir müssen etwas über die Entwicklung des Universums erfahren. Heute können wir diese Geschichte mit einer Genauigkeit und wissenschaftlichen Zuverlässigkeit erzählen, die zu der Zeit, als Wells schrieb, undenkbar war.

Wells bemühte sich um eine Vereinheitlichung des Wissens – ein Wissen, das sowohl die Disziplinen als auch die Menschen als Einheiten begriff. Alle Ursprungserzählungen vereinheitlichen Wissen, sogar diejenigen nationalistischer Geschichtsschreiber. Die umfassendsten von ihnen führen uns durch viele Zeiträume und konzentrische Kreise der Erkenntnis und der Identität – vom Selbst zur Familie und zur Sippe, zur Nation, zur Sprachgruppe oder Religionszugehörigkeit, zu den riesigen Kreisen der Menschheit und des Lebens und schließlich zu der Vorstellung, dass wir Teil eines ganzen Universums oder Kosmos sind.

Doch in den letzten Jahrhunderten haben vermehrte interkulturelle Kontakte gezeigt, wie tief Ursprungsgeschichten und Religionen in lokalen Traditionen und Umwelten verwurzelt sind. Deshalb hat die Globalisierung und Verbreitung neuer Ideen den Glauben an traditionelles Wissen untergraben. Selbst wahre Gläubige begannen zu erkennen, dass es viele unterschiedliche Ursprungsgeschichten gibt. Gelegentlich reagierten die Menschen mit aggressiver, sogar gewalttätiger Verteidigung ihrer religiösen, tribalen oder nationalen Traditionen. Doch viele verloren einfach ihre Religion und Überzeugung und mit diesen ihre innere Orientierung, das Wissen um ihre Stellung im Universum. Dieser Verlust des Glaubens ist *eine* Erklärung für die weitverbreitete *Anomie*, das Gefühl von Ziel- und Sinnlosigkeit und sogar Verzweiflung, das im 20. Jahrhundert Literatur, Kunst, Philosophie und Geisteswissenschaft so nachhaltig prägte. Vielen bot der Nationalismus ein Gefühl der Zugehörigkeit, doch heute, im Zeichen einer global vernetzten Welt, ist unübersehbar, dass der Nationalismus die Menschheit trennt, mag er die Bürger eines bestimmten Landes auch vereinen.

Ich habe dieses Buch in der optimistischen Überzeugung geschrie-

ben, dass wir Menschen der Moderne nicht zu einem chronischen Zustand der Zersplitterung und Sinnlosigkeit verurteilt sind. Heute bildet sich eine neue, globale Ursprungsgeschichte heraus, die genauso sinnhaft, ehrfurchtgebietend und geheimnisvoll wie jede traditionelle Ursprungsgeschichte ist, sich dabei aber im Unterschied zu diesen auf viele moderne wissenschaftliche Erkenntnisse einer großen Zahl von Disziplinen stützt.<sup>3</sup> Diese Geschichte ist keineswegs vollständig und bedarf der Ergänzung durch ältere Ursprungsgeschichten, aus denen wir lernen können, wie man gut und nachhaltig lebt. Aber sie hat ihre Daseinsberechtigung, weil sie sich auf ein globales Erbe sorgfältig überprüfter Informationen und Erkenntnisse beruft und weil sie die erste Ursprungsgeschichte ist, die menschliche Gesellschaften und Kulturen unseres ganzen Planeten berücksichtigt. Sie ist ein kollektives und globales Projekt, eine Geschichte, die in Buenos Aires genauso wie in Peking, in Lagos genauso wie in London Gehör finden dürfte. Heute haben sich viele Wissenschaftler und Forscher der faszinierenden Aufgabe verschrieben, diese moderne Ursprungsgeschichte zu entwickeln und zu erzählen. Dabei bemühen sie sich, dass ihr Werk, wie alle anderen Ursprungsgeschichten, ein Gefühl der Orientierung und Gemeinsamkeit vermittelt, nur eben für die globalisierte Welt von heute.

Ab 1991 verwendete ich den Begriff *Big History*<sup>4</sup> – »Große Geschichte« oder Gesamtgeschichte. Erst als das Projekt allmählich Gestalt annahm und Nachahmer fand, wurde mir bewusst, dass ich versuchte, die Grundrisse einer globalen Ursprungsgeschichte herauszuarbeiten. Heute wird Gesamtgeschichte an Universitäten in vielen verschiedenen Teilen der Welt gelehrt, und durch das Big History Project mittlerweile auch an vielen Schulen unterrichtet.

Wir werden dieses neue Verständnis der Vergangenheit brauchen, um uns den enormen Herausforderungen und Chancen des 21. Jahrhunderts gewachsen zu zeigen. Das vorliegende Buch ist mein Versuch, eine aktualisierte Version dieser gewaltigen, komplexen, schönen und beflügelnden Geschichte zu erzählen.

# EINLEITUNG

Die Formen, die kommen und gehen – von denen euer Leib nur eine ist –, sind das Zucken meiner tanzenden Glieder. Erkenne mich in allem, und wovor sollst du dich fürchten?

Dem Hindugott Shiva zugeschriebene Worte

In: Joseph Campbell, *Der Heros in tausend Gestalten*<sup>1</sup>

Ungefragt kommen wir in dieses Universum, zu einer Zeit und an einen Ort, über die wir nicht entscheiden können. Einige kurze Augenblicke lang reisen wir mit anderen Menschen, mit unseren Schwestern und Brüdern, mit unseren Kindern, mit Freunden und Feinden. Wir sind auch mit anderen Lebensformen unterwegs, mit Bakterien und Bonobos, mit Felsen und Ozeanen und Morgenröten, mit Monden und Meteoren, Planeten und Sternen, mit Quarks und Photonen, Supernovae und Schwarzen Löchern und mit leeren Räumen unvorstellbaren Ausmaßes. Die Gesellschaft der Reisenden ist vielfältig, bunt, lärmend und geheimnisvoll, und obwohl wir Menschen sie irgendwann verlassen werden, wird sie weiterziehen. In einer fernen Zukunft werden sich ihr andere Reisende anschließen und sie wieder verlassen. Doch irgendwann wird sie ausdünnen. Nach Myriaden von Jahren wird sie sich verflüchtigen wie ein Gespenst in der Morgendämmerung, sich auflösen in dem Meer von Energie, aus dem sie einst entstand.

Was ist das für eine merkwürdige Menge, mit der wir reisen? Welche Stellung haben wir in ihr? Woher kommt sie, wohin zieht sie und wie wird sie schließlich verschwinden?

Heute können wir Menschen diese Geschichte besser erzählen als jemals zuvor. Wir vermögen mit bemerkenswerter Genauigkeit zu bestimmen, was sich dort draußen befindet, Milliarden von Lichtjahren von der Erde entfernt, und was sich vor Milliarden Jahren ereignet hat. Dazu sind wir in der Lage, weil unserem Erkenntnisdrang heute viel mehr Puzzleteile zur Verfügung stehen als früher, sodass wir uns eine viel bessere Vorstellung vom Gesamtbild machen können. Das ist eine erstaunliche und recht junge Errungenschaft. Viele Teile unserer Ursprungsgeschichte sind erst zu meinen Lebzeiten entdeckt worden.

Zum Teil verdanken wir es unseren großen Gehirnen, dass wir diese umfassenden Karten des Universums anlegen können, denn wie viele Organismen verwenden wir unsere Gehirne, um innere Karten von der Welt zu entwerfen. Diese Karten erzeugen eine Art virtueller Realität, mit deren Hilfe wir uns orientieren können. Nie können wir die Welt unmittelbar in allen ihren Einzelheiten sehen. Aber wir sind fähig, einfache Karten einer unfassbar komplizierten Wirklichkeit anzufertigen, und wir wissen, dass diese Karten wichtigen Aspekten der Wirklichkeit entsprechen. Das übliche Diagramm der Londoner U-Bahn lässt die meisten Kurven der Strecke außer Acht, hilft den meisten Reisenden aber trotzdem, ihren Weg durch die Stadt zu finden. Dieses Buch bietet eine Art U-Bahn-Karte des Universums.

Was den Menschen von allen anderen intelligenten Arten unterscheidet, ist die Sprache, ein Kommunikationswerkzeug, das so außerordentlich leistungsfähig ist, weil wir dank seiner unsere individuellen Weltkarten miteinander teilen und auf diese Weise Karten erzeugen und miteinander vergleichen konnten, die viel größer und detaillierter sind als die Erzeugnisse individueller Gehirne. Durch diesen Prozess kollektiven Lernens haben die Menschen während der zweihunderttausend Jahre ihrer Existenz als Spezies Pixel für Pixel immer komplexere Karten des Universums entwickelt. So kommt es, dass ein kleiner Teil des Universums beginnt, sich selbst zu betrachten. Es ist, als öffnete das Universum nach einem langen Schlaf ein Auge. Heute sieht dieses

Auge immer neue Einzelheiten, was einer Reihe von Faktoren zu verdanken ist: dem weltweiten Austausch von Ideen und Informationen; der Genauigkeit und Schlüssigkeit der modernen Naturwissenschaft; neuen Forschungstechniken, von hochenergetischen Teilchenbeschleunigern bis zu Weltraumteleskopen; und Computernetzen, die unvorstellbare Zahlenmengen verarbeiten können.

Der Geschichte dieser Karten verdanken wir die großartigste Erzählung, die Sie sich vorstellen können.

Als Kind konnte ich nichts verstehen, was ich nicht in irgendeine Karte einordnen konnte. Wie viele Menschen versuchte ich, die vielen Wissensgebiete zu verknüpfen, mit denen ich mich beschäftigte. Literatur hatte nichts mit Physik zu tun; zwischen Philosophie und Biologie konnte ich ebenso wenig einen Zusammenhang erkennen wie zwischen Religion und Mathematik oder zwischen Wirtschaftswissenschaft und Ethik. Ich suchte nach einem übergeordneten Bezugssystem, nach einer Art Weltkarte der verschiedenen Kontinente und Inseln menschlichen Wissens; ich wollte erkennen, wie das alles zusammenpasste. Traditionelle religiöse Erzählungen halfen mir wenig, denn da ich als Kind in Nigeria gelebt hatte, war mir schon sehr früh klar geworden, dass Religionen sich zu häufig widersprechen, um zu erklären, wie die Welt zu dem wurde, was sie ist.

Heute entsteht in unserer globalisierten Welt ein neues Bezugssystem. Es wird von Tausenden von Menschen aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen und einer Vielzahl von Ländern kollektiv entworfen, entwickelt und publik gemacht. Wenn wir alle diese Einsichten zusammenfassen, können wir unter Umständen Dinge wahrnehmen, die innerhalb der Grenzen einer bestimmten Disziplin nicht zu erkennen sind. Wir betrachten die Welt von einem Berggipfel und nicht vom Boden aus. Wir sehen die Verbindungen zwischen verschiedenen wissenschaftlichen Landschaften, daher können wir gründlicher über allgemeine Themen nachdenken, etwa das Wesen von Komplexität, Leben

oder auch unsere eigene Art! Heute erforschen wir den Menschen aus dem Blickwinkel vieler verschiedener Disziplinen (Anthropologie, Biologie, Physiologie, Primatologie, Psychologie, Linguistik, Geschichte, Soziologie), aber die Spezialisierung erschwert es dem einzelnen Forscher erheblich, so viel Abstand zu gewinnen, dass er die Menschheit als Ganzes sieht.

Die Suche nach Ursprungsgeschichten, die verschiedene Wissensgebiete miteinander verbinden können, ist so alt wie die Menschheit. Ich stelle mir gern eine Gruppe von Menschen vor, die vor vierzigtausend Jahren bei Sonnenuntergang um ein Feuer herumsaß. Ich sehe sie am Südufer des Lake Mungo in der Willandra-Seenregion von New South Wales, wo die ältesten menschlichen Überreste Australiens gefunden wurden. Heute leben dort die Paakantji, Ngyiampaa und Mutthi Mutthi, aber wir wissen, dass seit mindestens fünfundvierzigtausend Jahren Menschen in dieser Region leben.

1992 wurden die 1968 von Archäologen entdeckten Überreste eines Vorfahren (des sogenannten Mungo 1) endlich an die lokale Aborigines-Gemeinschaft zurückgegeben. Es handelt sich um eine junge Frau, die teilweise verbrannte.<sup>2</sup> Einen halben Kilometer entfernt wurden die Überreste eines weiteren Menschen gefunden (Mungo 3), wahrscheinlich ein Mann, der mit ungefähr fünfzig Jahren starb. Er hatte an Arthritis gelitten und wies zahlreiche beschädigte Zähne auf, vermutlich weil er Pflanzenfasern durch seine Zähne gezogen hatte, um Netze oder Schnüre anzufertigen. Sein Körper war achtsam und ehrerbietig bestattet worden, nachdem man ihn aus einer Entfernung von zweihundert Kilometern herbeigeschafft und mit rotem Ockerpulver bestreut hatte. Beide Menschen starben vor rund vierzigtausend Jahren, als die heute ausgetrockneten Willandra-Seen noch voller Wasser, voll von Fischen und Schalentieren waren und eine Vielzahl von Vögeln und Tieren anlockten, die gejagt oder in Fallen gefangen werden konnten.<sup>3</sup>

Kehren wir zu den fiktiven Gesprächen in der Abenddämmerung am Feuer zurück. Dort finden wir Mädchen und Jungen, ältere Männer

und Frauen, Eltern und Großeltern, einige in Felle gewickelt und Babys wiegend. Kinder jagen sich am Seeufer, während die Erwachsenen ihre Mahlzeit aus gebratenen Wurzelknollen, Witchetty-Maden und Waransteaks beenden. Allmählich wendet sich das Gespräch ernsteren Themen zu und wird zunehmend von den älteren Leuten bestimmt. Wie an so vielen langen Sommertagen und Winternächten erzählen die Alten, was sie von ihren Vorfahren und Lehrern erfahren haben. Sie stellen die Art von Fragen, die mich seit jeher faszinieren: Wie hat die Landschaft mit ihren Hügeln und Seen, ihren Tälern und Schluchten Gestalt angenommen? Woher kommen die Sterne? Wann haben die ersten Menschen gelebt, und woher kamen sie? Oder waren wir schon immer da? Sind wir mit Waranen, Wallabys und Emus verwandt? (Auf letztere Frage antworten sowohl die Menschen vom Lake Mungo wie die moderne Wissenschaft mit einem entschiedenen »Ja!«) Die Erzähler lehren Geschichte. Sie berichten über mächtige Kräfte und Wesen, die in ferner Vergangenheit unsere Welt erschufen.

Diese Erzählungen erstrecken sich über viele Nächte und Tage und beschreiben die paradigmatischen Ideen und Mythen der Menschen am Lake Mungo. Das sind die Ideen mit langem Atem, die Ideen, die Jahrhunderte überdauern. Sie fügen sich zu einem riesigen Mosaik von Informationen über die Welt zusammen. Einige Kinder finden Teile der Geschichte zu schwierig, um sie beim ersten Mal zu verstehen. Aber sie hören die Geschichten oft und in unterschiedlichen Versionen, und sie gewöhnen sich an sie und ihren tieferen Sinn. Wenn die Kinder älter werden, verinnerlichen sie die Geschichten. Sie lernen sie besser kennen und wissen ihre Schönheiten, Feinheiten und Bedeutungen zu schätzen.

Wenn die Menschen über Sterne, Landschaften, Wombats und Wallabys oder über die Welt der Vorfahren sprechen, entwerfen die Lehrer eine gemeinsame Karte, die den Mitgliedern der Gemeinschaft das Verständnis erleichtert, die ihnen zeigt, wo ihr Platz in einem vielfältigen, schönen und manchmal schrecklichen Universum ist: *Dies* seid Ihr;



*dies* ist, woher ihr kommt; *dies* sind die, die es gab, bevor ihr geboren wurdet; *dies* ist das Ganze, von dem ihr ein kleiner Teil seid; *dies* sind die Pflichten und Aufgaben, die euch aus dem Leben in einer Gemeinschaft mit anderen wie euch selbst erwachsen. Die Geschichten haben große Macht über die Menschen, weil man ihnen vertraut. Sie *fühlen* sich wahr an, weil sie auf dem erprobten Wissen beruhen, das von den Vorfahren über viele Generationen weitergegeben wurde. Immer wieder wurde es auf Richtigkeit, Plausibilität und Schlüssigkeit überprüft, wobei man sich der reichen Erkenntnisse über Menschen, Sterne, Landschaften, Pflanzen und Tiere bediente, die die Mungogemeinschaft, ihre Vorfahren und ihre Nachbarn erworben hatten.

Wir können alle von den Karten profitieren, die unsere Vorfahren anlegten. Der französische Soziologe Émile Durkheim vertrat die Ansicht, dass die Karten, die sich in den Ursprungsgeschichten und Religionen verbergen, von entscheidender Bedeutung für unsere Selbstwahrnehmung sind. Ohne sie könnten wir von einem Gefühl der Verzweiflung und Sinnlosigkeit überwältigt werden, das gelegentlich in den Selbstmord führe. Kein Wunder, dass fast alle Gesellschaften, die wir kennen, die Ursprungsgeschichten in den Mittelpunkt ihrer Erziehung gestellt haben. In der Steinzeit lernten die Jungen die Ursprungserzählungen von den Älteren, so wie die Gelehrten später die zentralen Erzählungen des Christentums, Islams und Buddhismus an den Universitäten von Paris, Oxford, Bagdad und Nalanda studierten.

Doch merkwürdigerweise fehlt im modernen Bildungswesen eine überzeugende Ursprungsgeschichte, die alle Erkenntnisbereiche miteinander verbindet. Das könnte zumindest teilweise erklären, warum das von Durkheim beschriebene Gefühl der Orientierungslosigkeit und Vereinzelung heute überall auf der Erde spürbar ist, in Delhi oder Lima genauso wie in Lagos oder London. In einer global vernetzten Welt werben so viele lokale Herkunftserzählungen um das Vertrauen und die Aufmerksamkeit der Menschen, dass sich die Geschichten gegenseitig entwerten. Daher konzentriert sich das moderne Bildungswesen

überwiegend auf Teile der Geschichte, sodass die Schüler ihre Welt nur durch einzelne Disziplinen kennenlernen. Zum Lernstoff heutiger Schüler gehören Dinge, die unseren Vorfahren am Lake Mungo völlig fremd waren – von der Infinitesimalrechnung über moderne Geschichte bis zu Programmiersprachen. Doch im Unterschied zu den Menschen am Lake Mungo wird selten von uns verlangt, das Wissen zu einer einzigen, zusammenhängenden Erzählung zu vereinigen, ähnlich wie die Globen in altmodischen Klassenzimmern Tausende von lokalen Karten zu einer einzigen Weltkarte zusammenfassten.

## Eine moderne Ursprungsgeschichte

Und doch ... stückweise bildet sich eine moderne Ursprungsgeschichte heraus. Wie die Geschichten, die am Lake Mungo erzählt wurden, ist auch unsere moderne Ursprungserzählung von unseren Vorfahren entworfen und dann im Laufe vieler Generationen und Jahrtausende immer wieder kritisch betrachtet und überprüft worden.

Natürlich unterscheidet sie sich von den meisten traditionellen Ursprungserzählungen. Was zum Teil daran liegt, dass sie nicht einer bestimmten Region oder Kultur zu verdanken ist, sondern einer globalen Gemeinschaft von mehr als sieben Milliarden Menschen, daher bezieht sie ihr Wissen aus allen Teilen der Welt. Sie ist eine Ursprungserzählung für alle modernen Menschen, und sie stützt sich auf die globalen Traditionen der modernen Naturwissenschaft.

Anders als viele traditionelle Ursprungserzählungen weist die moderne Version keinen Schöpfergott auf, obwohl ihre Energien und Teilchen nicht weniger übernatürlich erscheinen als viele traditionelle Ursprungsgeschichten. Wie in den Erzählungen des Konfuzianismus oder des frühen Buddhismus geht es in der modernen Ursprungsgeschichte auch um ein Universum, das einfach ist. Jeder darüber hinausgehende Sinn oder Zweck wird ihm von uns Menschen zugeschrieben.

»Was ist der Sinn des Universums?« fragt Joseph Campbell, ein Mythenforscher und Religionswissenschaftler. »Was ist der Sinn eines Flohs? Er ist einfach da, das ist es; und das ist auch sein Sinn, einfach da zu sein.«<sup>4</sup>

Die Welt der modernen Ursprungserzählung ist instabiler, unruhi- ger und weit größer als die Welten vieler traditioneller Ursprungsgeschichten. Diese Eigenschaften verweisen auf die Grenzen der moder- nen Ursprungsgeschichte. Obwohl von globaler Geltung, ist sie noch sehr jung, gewissermaßen im Rohzustand, mit einigen blinden Flecken der Jugend. Sie entwickelte sich zu einer ganz bestimmten Zeit in der menschlichen Geschichte, daher ist sie von den dynamischen und mög- licherweise destabilisierenden Traditionen des modernen Kapitalismus geprägt. Das erklärt, warum sie in vielerlei Hinsicht die nötige Sensi- bilität für die Biosphäre vermissen lässt, die wir von den Ursprungsgeschichten indigener Völker überall auf der Erde kennen.

Das Universum der modernen Geschichte ist ruhelos, dynamisch, in Bewegung und riesig. Der Geologe Walter Alvarez erinnert uns daran, indem er fragt, wie viele Sterne es enthält. Die meisten Galaxien umfas- sen etwa 100 Milliarden Sterne, und es gibt mindestens ebenso viele Galaxien im Universum. Daraus folgt, dass es (tief Atem holen!) min- destens 10 000 000 000 000 000 000 000 (10<sup>22</sup>) Sterne im Universum gibt.<sup>5</sup> Ende 2016 haben neuere Beobachtungen gezeigt, dass es wohl sehr viel mehr Galaxien im Universum gibt – Sie dürfen also gern noch ein paar Nullen an diese Zahl dranhängen. Unsere Sonne ist nur ein ganz gewöhnliches Mitglied dieser riesigen Gruppe.

Die moderne Ursprungsgeschichte ist keineswegs vollständig. Sie befindet sich noch im Bau. Neue Abschnitte müssen hinzugefügt, be- reits vorhandene Teile überprüft und abgeändert, Gerüste und Abfall- haufen entfernt werden. Und es gibt noch immer Lücken in der Ge- schichte, daher wird sie – wie alle Ursprungserzählungen – niemals den Nimbus des Geheimnisses und der Erhabenheit verlieren. Doch in den letzten Jahrzehnten haben wir das Universum, in dem wir leben, sehr

viel besser kennengelernt, ohne dass es sein Geheimnis verloren hätte, ganz im Gegenteil. Bei Blaise Pascal lesen wir: »Wissen ist wie eine Kugel. Je größer das Volumen, desto stärker der Kontakt mit dem Unbekannten.«<sup>6</sup> Die moderne Ursprungsgeschichte berichtet von dem Erbe aller Menschen und kann uns daher auf die großen Herausforderungen und Chancen vorbereiten, denen wir uns alle an diesem entscheidenden Punkt in der Geschichte des Planeten Erde gegenübersehen.

Im Zentrum der modernen Ursprungsgeschichte steht die Idee wachsender Komplexität. Wie entstand unser Universum, in dem wir mitreisen, und wie brachte es zunächst Elemente und irgendwann Schnabeltiere hervor? Wir wissen nicht wirklich, woraus sich das Universum gebildet hat und ob es vor ihm schon irgendetwas gab. Aber wir wissen, dass unser Universum, als es aus einem riesigen Energieschaum hervorging, außerordentlich einfach war. Und Einfachheit bleibt auch seine Grundbedingung. Schließlich ist es größtenteils ein kalter, dunkler und leerer Raum. Trotzdem herrschten in speziellen und ungewöhnlichen Umwelten, wie auf unserem Planeten, vollkommene Goldilocks-Bedingungen, die wie der Brei in der gleichnamigen angelsächsischen Kindergeschichte sind: nicht zu warm und nicht zu kalt, nicht zu dick und nicht zu dünn, sondern genau richtig für die Entwicklung von Komplexität.<sup>7</sup> In diesen Goldilocks-Umwelten sind im Laufe von vielen Milliarden Jahren immer komplexere Phänomene in Erscheinung getreten, mit mehr beweglichen Teilen und unübersichtlicheren inneren Beziehungen.

Komplexere Phänomene traten an entscheidenden Übergangspunkten auf, und die wichtigsten von ihnen werde ich als *Schwellen* bezeichnen. Die Schwellen geben dem komplizierten Narrativ der modernen Ursprungsgeschichte eine Struktur. Sie verweisen auf wichtige Wendepunkte, an denen bereits vorhandene Dinge neu angeordnet oder auf andere Weise verändert wurden, sodass etwas Neues mit »emergenten« Eigenschaften entstand – Besonderheiten, die es vorher noch nie gab. Das frühe Universum hatte keine Sterne, keine Planeten und keine

lebenden Organismen. Dann wurden aus Wasserstoff- und Heliumatomen Sterne gebildet, im Inneren sterbender Sterne entstanden neue chemische Elemente, Planeten und Monde bildeten sich mit Hilfe dieser neuen chemischen Elemente aus Eis- und Staubklumpen, und die ersten lebenden Zellen entwickelten sich in den vielfältigen Umwelten felsiger Planeten. Wir Menschen gehören unmittelbar zu dieser Geschichte, denn wir sind Produkte der Evolution und Diversifizierung des Lebens auf dem Planeten Erde. Doch im Laufe unserer kurzen, aber bemerkenswerten Geschichte haben wir so viele vollkommen neue Formen der Komplexität geschaffen, dass wir heute die Veränderung auf unserem Heimatplaneten zu beherrschen scheinen. Das Auftreten von neuen Phänomenen, die komplexer sind als das, was vorher war, von Phänomenen mit emergenten Eigenschaften, wirkt stets so wundervoll wie die Geburt eines Kindes, weil das Universum im Allgemeinen die Tendenz hat, weniger komplex und ordentlich zu werden. Schließlich wird diese Neigung zu wachsender Unordnung, zu Entropie, die Oberhand gewinnen. Das Universum wird in zufälligem Durcheinander ohne Muster oder Struktur versinken. Doch bis dahin ist es noch ein sehr, sehr weiter Weg.

Derzeit scheinen wir in einem kraftstrotzenden, jungen Universum voller Kreativität zu leben. Die Geburt des Universums – unsere erste Schwelle – ist so wundervoll wie alle anderen Schwellen unserer modernen Ursprungsgeschichte.

## ZEITLEISTE

Diese Zeitleiste liefert einige fundamentale Daten für die moderne Ursprungsgeschichte, teils in absoluten Daten, teils in umgerechneten Werten, als sei das Universum nicht vor 13,8 Milliarden Jahren, sondern vor 13,8 Jahren entstanden. Dieser Kunstgriff erleichtert es uns, ein Gefühl für die chronologische Struktur der Geschichte zu bekommen.

Die meisten der Daten von Ereignissen, die länger als ein paar Tausend Jahre zurückliegen, sind erst in den letzten fünfzig Jahren mit Hilfe moderner chronometrischer Techniken, vor allem der radiometrischen Datierung, ermittelt worden.

EREIGNIS	Ungefähres absolutes Datum	Datum, geteilt durch 1 Milliarde
Schwelle 1: Urknall: Ursprung unseres Universums	vor 13,8 Milliarden Jahren	vor 13 Jahren, 10 Monaten
Schwelle 2: Die ersten Sterne beginnen zu glühen	Vor 13,2 Milliarden Jahren	vor 13 Jahren, 2 Monaten
Schwelle 3: Neue Elemente werden in großen sterbenden Sternen gebrannt	fortlaufend von Schwelle 2 bis heute	fortlaufend von Schwelle 2 bis heute
Schwelle 4: Bildung unserer Sonne und unseres Sonnensystems	vor 4,5 Milliarden Jahren	vor 4 Jahren, 6 Monaten
Schwelle 5: Frühestes Leben auf der Erde	vor 3,8 Milliarden Jahren	vor 3 Jahren, 10 Monaten

Die ersten größeren Organismen auf der Erde	vor 600 Millionen Jahren	vor 7 Monaten
Ein Asteroid löscht die Dinosaurier aus	vor 65 Millionen Jahren	vor 24 Tagen
Die Abstammungslinie der Hominiden trennt sich von der der Schimpansen	vor 7 Millionen Jahren	vor 2,5 Tagen
<i>Homo erectus</i>	vor 2 Millionen Jahren	vor 17 Stunden
Schwelle 6: Erste Hinweise auf unsere Art, <i>Homo sapiens</i>	vor 200 000 Jahren	vor 100 Minuten
Schwelle 7: Ende der letzten Eiszeit, Beginn des Holozäns, früheste Anzeichen für Landwirtschaft	vor 10 000 Jahren	vor 5 Minuten
Erste Belege für Städte, Staaten, Agrarzivilisationen	vor 5000 Jahren	vor 2,5 Minuten
Blütezeit von Römischen Reich und Han-Dynastie	vor 2000 Jahren	vor 1 Minute
Weltzonen beginnen Verbindungen aufzunehmen	vor 500 Jahren	vor 15 Sekunden
Schwelle 8: Die Nutzung der fossilen Brennstoffe beginnt	vor 200 Jahren	vor 6 Sekunden
Die große Beschleunigung; Menschen landen auf dem Mond	vor 50 Jahren	vor 1,5 Sekunden
Schwelle 9 (?): eine nachhaltige Weltordnung	100 Jahre in der Zukunft?	in 3 Sekunden
Die Sonne stirbt	4,5 Milliarden Jahre in der Zukunft	in 4 Jahren, 6 Monaten
Das Universum verschwindet in Dunkelheit, die Entropie gewinnt die Oberhand	Äonen in der Zukunft	in Abermilliarden Jahren

Teil I

**KOSMOS**





## Kapitel 1

# AM ANFANG – SCHWELLE 1

Sollten wir uns in den Kopf setzen, einen Apfelkuchen von Grund auf selber zu machen, müßten wir erst das Universum erfinden.

Carl Sagan, *Unser Kosmos*<sup>1</sup>

### Ein Universum aus Nichts

*Bootstrapping* ist der aussichtslos erscheinende Versuch, sich in die Luft zu ziehen, indem man *mit aller Kraft*, an den *bootstraps* – den Stiefelschlaufen – zieht. Das Wort hat Eingang in den Computerjargon gefunden. Man sagt *booten* oder *rebooten*, um zu beschreiben, wie Computer von den Toten erwachen und dann Befehle laden, die ihnen sagen, was sie als nächstes zu tun haben. Wörtlich genommen ist Bootstrapping natürlich unmöglich, weil wir, um etwas zu heben, einen Hebelansatz brauchen. »Gebt mir einen festen Punkt«, sagte der griechische Philosoph Archimedes, »und ich hebe die Welt aus den Angeln.« Aber wo muss man den Hebel ansetzen, um ein neues Universum zu erschaffen?

Das Bootstrappen von Ursprungsgeschichten ist fast so schwierig wie das von Universen. Eine Möglichkeit besteht darin, das Problem wegzuzaubern, indem man erklärt, das Universum sei schon immer da gewesen. Viele Ursprungsgeschichten wählen diesen Weg. Gleiches gilt für viele moderne Astronomen, unter anderem die Vertreter der

Steady-State-Theorie Mitte des 20. Jahrhunderts. Ihr liegt die Idee zugrunde, dass das Universum, in großem Maßstab betrachtet, schon immer weitgehend so ausgesehen hat wie heute. Ähnlich, aber etwas anders ist der Gedanke, dass es einen Schöpfungs Augenblick gegeben hat, als mächtige Kräfte oder Wesen das Universum durchstreiften und es weitgehend in seiner heutigen Gestalt erschufen. Vermutlich war das die Vorstellung der Ältesten vom Lake Mungo – eine Welt, die von ihren Vorfahren mehr oder weniger in ihrer gegenwärtigen Form aus der Taufe gehoben wurde. Für Isaac Newton war Gott die »erste Ursache« von allem und allgegenwärtig im gesamten Raum. Deshalb glaubte Newton, das Universum als Ganzes verändere sich nicht sonderlich. Im Universum, heißt es bei ihm, sei »ein unkörperliches, lebendiges, intelligentes und allgegenwärtiges Wesen«.<sup>2</sup> Anfang des 20. Jahrhunderts war sich Einstein so sicher, dass das Universum (in großem Maßstab) unveränderlich sei, dass er seine Relativitätstheorie durch eine spezielle Konstante ergänzte, die ein statisches Universum vorhersagte.

Ist die Idee eines ewigen oder unveränderlichen Universums befriedigend? Nicht wirklich, besonders dann nicht, wenn man einen Schöpfer einschmuggelt, der den Prozess in Gang setzt: »Am Anfang war nichts, dann schuf Gott ...« Der logische Fehler ist eklatant, obwohl selbst kluge Köpfe längere Zeit brauchten, um ihn deutlich zu erkennen. Mit achtzehn Jahren gab Bertrand Russell die Vorstellung eines Schöpfergottes auf, nachdem er den folgenden Abschnitt in John Stuart Mills Autobiographie gelesen hatte: »Mein Vater lehrte mich, dass es auf die Frage ›Wer hat mich erschaffen?‹ keine Antwort gibt, da diese sofort die weitere Frage nahelegt: ›Wer hat Gott erschaffen?‹«<sup>3</sup>

Es gibt noch ein weiteres Rätsel. Wenn Gott mächtig genug ist, um ein Universum zu schaffen, muss er natürlich komplexer sein als das Universum. Wer also einen Schöpfergott voraussetzt, erklärt ein ungeheuer komplexes Universum, indem er sich eine noch komplexere Entität ausdenkt, die ... das Universum gerade geschaffen hat. Manch einer könnte es für Schummelei halten.

Die altindischen Veden gehen auf Nummer sicher: »Damals gab es weder Nichtexistenz noch Existenz, weder den Bereich des Raumes noch jenseits seiner den Himmel.«<sup>4</sup> Vielleicht entstand alles aus einer Art Urspannung zwischen Sein und Nichtsein, einer Trübheit, die noch nicht ganz etwas war, aber etwas *werden* konnte. Unter Umständen trifft es eine Redensart der australischen Aborigines am besten: »Nichts ist *vollkommen* nichts.«<sup>5</sup> Ein vertrackter Gedanke, den man leicht als verschwommen und versponnen abtun könnte, wenn er nicht so auffällige Parallelen zu den modernen Theorien der Quantenmechanik aufwiese, die uns sagt, dass der Raum nie *vollkommen* leer ist, sondern voller Möglichkeiten steckt.

Gibt es eine Art Energiemeer oder -potenzial, aus dem bestimmte Formen wie Wellen oder Tsunamis auftauchen? Das ist ein so vertrauter Begriff, dass man fast glauben möchte, unsere Vorstellungen von den Uranfängen stammten aus unserer eigenen Erfahrung. Morgen für Morgen erlebt jeder von uns, wie sich eine bewusste Welt mit Formen, Empfindungen und Strukturen aus einer chaotischen, unbewussten Welt erhebt. Joseph Campbell schreibt: »Wie das Bewusstsein des Individuums auf einem nächtlichen Meer ruht, in das es im Schlummer hinabsteigt und aus dem es geheimnisvoll wieder aufwacht, so ragt in der Bilderwelt des Mythos das Universum aus einem zeitlosen Fundament, auf dem es ruht und in das es wieder zurückgeht.«<sup>6</sup>

Aber vielleicht ist das zu metaphysisch. Möglicherweise ist die Schwierigkeit logischer Natur. So meint der berühmteste Astrophysiker der Erde, Stephen Hawking, der bedauerlicherweise kurz vor Druck dieses Buches verstarb, die Frage nach dem Anfang sei einfach falsch gestellt. Wenn die Geometrie der Raumzeit kugelförmig sei wie die Oberfläche der Erde, nur in mehr Dimensionen, dann gleiche die Frage, was vor dem Universum existiert habe, dem Versuch, einen Anfangspunkt auf der Oberfläche eines Tennisballs zu bestimmen. Das funktioniert nicht. Es gibt keinen Anfang der Zeit, »keine Grenze und keinen Rand« – so wie die Oberfläche der Erde keinen Rand hat.<sup>7</sup> Heute sind

einige Kosmologen von einer Reihe anderer Konzepte fasziniert, die uns wieder zur Vorstellung eines Universums ohne Anfang und Ende zurückführen. Vielleicht ist unser Universum Teil eines unendlichen Multiversums, in dem ständig neue Universen aus Urknallen geboren werden. Das könnte stimmen, aber gegenwärtig haben wir keine schlüssigen Beweise für irgendetwas, das vor unserem eigenen, lokalen Urknall war. Es hat den Anschein, als sei die Schöpfung unseres Universums so gewaltsam gewesen, dass jede Information über die Ereignisse, die ihr vorausgegangen sein könnten, ausgelöscht wurde. Falls es andere kosmologische Dörfer gibt, können wir sie noch nicht sehen.

Ehrlich gesagt, haben wir heute keine besseren Antworten auf die Frage nach den allerersten Anfängen als frühere menschliche Gesellschaften. Das Bootstrapping eines Universums sieht noch immer wie ein logisches und metaphysisches Paradox aus. Wir wissen nicht, welche Goldilocks-Bedingungen die Entstehung des Universums ermöglichen, und wir können sie noch immer nicht besser erklären als der Schriftsteller Terry Pratchett, als er schrieb: »Der gegenwärtige Stand des Wissens lässt sich wie folgt zusammenfassen: Am Anfang war ein Nichts, das explodierte.«<sup>8</sup>

Der *Bootstrap* der allgemein akzeptierten Erzählung von den allerersten Anfängen ist ein Urknall. Er ist eines der wichtigsten Paradigmen der modernen Naturwissenschaften, vergleichbar mit der natürlichen Selektion in der Biologie oder der Plattentektonik in der Geologie.<sup>9</sup>

Erst Anfang der 1960er Jahre kristallisierten sich die entscheidenden Teile der Urknall-Erzählung heraus. Damals entdeckten Astronomen die kosmische Hintergrundstrahlung – Energie, die vom Urknall übrig geblieben und überall im heutigen Universum zugegen ist. Obwohl die Kosmologen sich noch immer bemühen, den Augenblick zu verstehen, als das Universum entstand, können sie eine abwechslungsreiche Geschichte erzählen, die ungefähr ein Milliardstel von einem Milliardstel von einem Milliardstel einer Sekunde nach Erscheinen des Universums beginnt.

Im Wesentlichen spielte sich die Geschichte wie folgt ab: Unser Universum begann als ein Punkt, der kleiner als ein Atom war. Wie klein ist das? Die Evolution stattete unsere Art mit einem Verstand aus, der uns ermöglicht, mit Dingen von menschlicher Größenordnung umzugehen. Daher haben wir Schwierigkeiten, uns so winzige Objekte vorzustellen. Vielleicht ist es einfacher, wenn wir uns klarmachen, dass man eine Million Atome in den Punkt am Ende dieses Satzes zwingen kann.<sup>10</sup> Im Augenblick des Urknalls war das ganze Universum kleiner als ein Atom. Doch schon zu diesem Zeitpunkt war die ganze Energie und Materie des heutigen Universums dort hineingepresst. Ganz und gar. Das ist eine schwindelerregende Vorstellung, die einem zunächst vollkommen verrückt vorkommen mag. Doch alle Anhaltspunkte, die wir gegenwärtig haben, erzählen uns, dass dieses seltsame, winzige und phantastisch anmutende heiße Objekt vor etwa 13,82 Milliarden Jahren tatsächlich existierte.

Wir wissen noch nicht, wie und warum es entstand. Doch die Quantenphysik sagt uns, und die Teilchenbeschleuniger – die subatomare Teilchen mittels elektrischer und elektromagnetischer Felder auf sehr hohe Geschwindigkeiten beschleunigen – *zeigen* uns, dass in einem Vakuum aus Nichts etwas Reales entstehen kann, obwohl es, um zu begreifen, was das bedeutet, eines vertieften Verständnisses des *Nichts* bedarf. In der modernen Quantenphysik ist es unmöglich, gleichzeitig den Aufenthaltsort und die Geschwindigkeit eines subatomaren Teilchens exakt zu bestimmen. Daraus folgt, dass man niemals mit Sicherheit behaupten kann, eine bestimmte Region des Raums sei leer, mit anderen Worten, die Leere enthält die Möglichkeit, dass dort etwas entstehen kann.<sup>11</sup>

Heute bezeichnen wir den ersten Augenblick des Universums als »Urknall«. Diese Bezeichnung wurde 1949 von dem englischen Astronomen Fred Hoyle geprägt, der die Theorie für lächerlich hielt. Anfang der 1930er Jahre, als das Konzept des Urknalls erstmals ins Spiel gebracht wurde, bezeichnete der belgische Astronom (und katholische

Priester) Georges Lemaître das neugeborene Universum als »kosmisches Ei« oder »Uratom«. Den wenigen Wissenschaftlern, die die Idee ernst nahmen, war klar, dass das Uratom angesichts der gewaltigen Energie, die in diesem winzigen Gebilde zusammengepresst war, unvorstellbar heiß sein musste und sich von diesem Druck nur durch rasende Ausdehnung befreien konnte. Die Expansion hält bis heute an.

Vieles passierte in den ersten Sekunden und Minuten nach dem Urknall. Vor allem aber tauchten die ersten Strukturen oder Energien von eindeutig *nicht*zufälligen Formen und Eigenschaften auf. Die Emergenz von etwas mit unzweifelhaft neuen Eigenschaften hat immer magischen Charakter. Wir werden sehen, dass genau das immer und immer wieder geschieht, obwohl Phänomene, die uns zunächst magisch erscheinen, diesen Charakter unter Umständen einbüßen, sobald wir erkennen, dass das neue Phänomen und seine neuen Eigenschaften nicht aus und von nichts entstehen. Neue Phänomene mit neuen Eigenschaften entwickeln sich aus bereits existierenden Phänomenen und Kräften, die auf neue Weise angeordnet werden. Diese neue Konstellation ist für die neuen Eigenschaften verantwortlich – so wie Fliesen, die anders angeordnet ein neues Muster ergeben können. Oder nehmen wir ein Beispiel aus der Chemie. Normalerweise halten wir Wasserstoff und Sauerstoff für farblose Gase. Aber wenn sich zwei Wasserstoffatome mit einem Sauerstoffatom verbinden, entsteht ein Wassermolekül. Bringt man nun viele solcher Moleküle zusammen, ergibt sich eine vollkommen neue Eigenschaft, die wir als »Wässrigkeit« bezeichnen. Wenn wir eine neue Form oder Struktur mit neuen Eigenschaften sehen, erblicken wir in Wirklichkeit neue Anordnungen von Dingen, die es bereits gibt. Innovation ist Emergenz. Wenn wir Emergenz als eine der handelnden Personen in unserer Geschichte betrachten, dann ist sie der elegante, geheimnisvolle und unberechenbare Fremde, der meist unerwartet aus der Dunkelheit auftaucht und der Handlung neue und überraschende Richtungen gibt.

Die ersten Strukturen und Muster im Universum entstanden genau

auf die Weise – als Objekte und Kräfte, die aus dem Urknall auftauchten und zu neuen Konfigurationen angeordnet wurden.

Zum frühesten Zeitpunkt, über den wir Daten haben, dem Bruchteil einer Sekunde nach dem Urknall, bestand das Universum aus reiner, zufälliger Energie, die undifferenziert und gestaltlos war. Energie können wir uns vorstellen als das *Potenzial, dass etwas geschieht*, die Fähigkeit, Dinge zu *tun* oder zu *verändern*. Die Energien im Inneren des Uratoms waren unfassbar; sie lagen mehrere Billionen Grad über dem absoluten Nullpunkt. Dann setzte eine kurze Periode *superschneller* Expansion ein, die sogenannte *Inflation*. Die Expansion war so rasch, dass große Teile des Universums weit über alle Regionen hinausgedrängt wurden, die wir jemals erblicken werden. Das hat zur Folge, dass wir heute wahrscheinlich nur einen winzigen Teil des gesamten Universums sehen.

Einen Sekundenbruchteil später verlangsamte sich die Expansionsrate wieder. Die Turbulenzen des Urknalls legten sich, und als das Universum weiterhin expandierte, verteilten und verdünnten sich die Energien. Die Durchschnittstemperaturen fielen – ein Prozess, der sich unaufhaltsam fortsetzte, sodass das Universum überwiegend eine Temperatur von 2,76 Grad über dem absoluten Nullpunkt aufweist. Wir spüren die Kälte genauso wenig wie die anderen Organismen auf dem Planeten Erde, weil wir uns alle am Lagerfeuer unserer Sonne wärmen.

In den extremen Temperaturen des Urknalls war fast alles möglich. Aber als die Temperaturen fielen, schrumpften auch die Möglichkeiten. Die Umrisse erster Strukturen begannen sich wie Geister in dem chaotischen Nebel des abkühlenden Universums abzuzeichnen – Strukturen, die sich nicht im gewalttätigen Hexenkessel des Urknalls hatten bilden können. Diese Veränderungen von Form und Struktur werden *Phasenveränderungen* genannt. Solche Phasenveränderungen sehen wir im Alltag, wenn Dampf seine Energie verliert und sich in Wasser verwandelt (dessen Moleküle sich weit weniger bewegen als die Dampf-moleküle) oder wenn sich Wasser in Eis verwandelt (das so wenig Ener-



gie besitzt, dass seine Moleküle nur noch ein wenig an Ort und Stelle hin und her zucken). Wasser und Eis können nur in einem sehr schmalen Spektrum niedriger Temperaturen existieren.

Binnen eines Milliardstel eines Milliardstel eines Milliardstel eines Milliardstel einer Sekunde nach dem Urknall wurde die Energie selbst einer Phasenveränderung unterworfen. Sie teilte sich in vier verschiedene Arten auf. Wir bezeichnen sie heute als Gravitation, elektromagnetische Kraft, starke und schwache Kernkraft. Da sie unser Universum prägen, müssen wir uns mit ihren verschiedenen Persönlichkeiten vertraut machen. Die Gravitation ist schwach, aber sie hat eine große Reichweite und wirkt immer anziehend, daher ist ihre Kraft kumulativ. Langfristig bewirkt sie, dass das Universum klumpiger wird. Elektromagnetische Energie kann negativ und positiv sein, so kommt es, dass sie sich häufig selbst aufhebt. Obwohl schwächlich, sorgt die Gravitation für die großräumige Struktur des Universums. Dagegen herrscht der Elektromagnetismus auf der chemischen und biologischen Ebene vor – er hält unseren Körper zusammen. Etwas einfallslos werden die dritte und die vierte Fundamentalkraft als starke und schwache Kernkraft bezeichnet. Sie wirken nur über kurze Abstände, daher spielen sie lediglich auf subatomarer Ebene eine Rolle. Von uns Menschen können sie nicht direkt erfahren werden, doch sie wirken auf jeden Aspekt unserer Welt ein, weil sie festlegen, was tief im Inneren der Atome geschieht.

Vielleicht gibt es noch andere Energiearten. In den 1990er Jahren zeigten neuere Messungen der Expansionsrate des Universums, dass die Ausdehnungsgeschwindigkeit zunimmt. In Anlehnung an eine ursprünglich von Einstein vorgeschlagene Hypothese vertreten heute viele Physiker und Astronomen die Ansicht, dass es eine im gesamten Raum vorhandene Form der Antigravitation geben könnte, deren Kraft in dem Maße zunimmt, wie das Universum expandiert. Heute könnte die Masse dieser Energie mehr als 70 Prozent der Gesamtmasse des Universums ausmachen. Doch auch wenn sie allmählich die Vorherrschaft

in unserem Universum antritt, verstehen wir noch nicht, was das für eine Energie ist und wie sie wirkt, deshalb nennen die Physiker sie *Dunkle Energie*. Der Begriff ist ein Platzhalter. Behalten Sie ihn im Auge, denn die Erforschung der Dunklen Energie ist eine der großen Herausforderungen der zeitgenössischen Naturwissenschaft.

Materie bildete sich in der ersten Sekunde nach dem Urknall. Materie ist der Stoff, der von Energie umherbewegt wird. Noch vor gut einem Jahrhundert nahmen Wissenschaftler und Philosophen an, dass Materie und Energie unterschiedlich seien. Heute wissen wir, dass Materie nur eine hochkomprimierte Form von Energie ist. Das wies der junge Albert Einstein in einem berühmten Artikel von 1905 nach. Die dort entwickelte Formel – Energie (E) ist gleich der Masse (m) mal der Lichtgeschwindigkeit (c) zum Quadrat oder  $E = mc^2$  – teilt uns mit, wie viel Energie in einer gegebenen Menge Materie vorhanden ist. Um zu errechnen, wie viel Energie in einem Stückchen Materie zusammengesprengt ist, müssen wir die Masse nicht mit der Lichtgeschwindigkeit multiplizieren (die mehr als eine Milliarde Kilometer pro Stunde beträgt), sondern mit der Lichtgeschwindigkeit *mal sich selbst*. Das ist eine ungeheure Zahl. Wenn sie also ein winziges Stückchen Materie dekomprimieren, wird eine unvorstellbare Energiemenge entfesselt. Das geschieht, wenn eine Wasserstoffbombe explodiert. Im frühen Universum lief der umgekehrte Prozess ab. Riesige Energiemengen wurden zu winzigen Materiemengen komprimiert, die dann wie Staubkörner in einem riesigen Energienebel trieben. Bemerkenswerterweise ist es uns Menschen gelungen, solche Energien künstlich in unseren Teilchenbeschleunigern zu erzeugen, etwa in dem Large Hadron Collider unweit von Genf. In diesem kochenden Energiemeer beginnen sich also erste Teilchen zu bilden.

Und wir sind immer noch in der ersten Sekunde.

## Chaos und Struktur – die Betriebsregeln des Universums

Innerhalb des chaotischen Energieebels tauchten kurz nach dem Urknall konkrete Formen und Strukturen auf. Obwohl der Energieebels noch immer vorhanden ist, verleihen die Strukturen, die sich aus ihm bildeten, unserer Ursprungserzählung eine Struktur und einen Handlungsstrang. Einige Strukturen oder Muster werden Jahrmilliarden bestehen bleiben, andere nur den Bruchteil einer Sekunde, doch nicht eine auf Dauer. Sie sind vergänglich wie die Wellen auf der Oberfläche des Meeres. Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik erklärt uns, dass das Energiemeer immer vorhanden ist – es wird erhalten. Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik sagt uns, dass sich alle auftauchenden Formen am Ende wieder im Energiemeer auflösen. Die Formen bleiben, wie die Bewegungen eines Tanzes, *nicht* erhalten.

Innerhalb einer Sekunde nach dem Urknall tauchten erkennbare Strukturen und Formen auf. Warum? Warum ist das Universum nicht einfach ein zufälliger Energiefluss? Das ist eine grundlegende Frage.

Hätte unsere Geschichte einen Schöpfergott, ließen sich die Strukturen leicht erklären. Nach dem Muster vieler Ursprungserzählungen könnten wir von der Annahme ausgehen, dass Gott die Struktur dem Chaos vorzog. Doch die meisten Versionen der modernen Ursprungserzählung akzeptieren das Konzept eines Schöpfergottes nicht mehr, weil die modernen Naturwissenschaften keinen direkten Beweis für einen Gott finden können.

Daher muss die moderne Ursprungsgeschichte andere Möglichkeiten finden, um die Emergenz von Strukturen und Formen zu erklären. Das ist nicht leicht, weil wir aus dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik wissen, dass alle Strukturen sich früher oder später auflösen werden. In diesem Zusammenhang schrieb der österreichische Physiker Erwin Schrödinger: »Wir erkennen nun in diesem fundamentalen Gesetz der Physik gerade das natürliche Streben der Dinge, sich dem

chaotischen Zustand anzunähern (das gleiche Streben, das auch die Bücher einer Bibliothek oder die Papierstöße und Manuskripte auf dem Schreibtisch zeigen), wenn wir ihm nicht zuvorkommen.«<sup>12</sup>

Wenn es einen Schurken in der modernen Ursprungsgeschichte gibt, dann ist es sicherlich die Entropie, die scheinbar universelle Tendenz aller Strukturen, sich im Zufall aufzulösen. Entropie ist der treue Diener des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Wenn wir also die Entropie als eine handelnde Person in unserer Geschichte betrachten, dann müssen wir uns einen verkommenen, hinterhältigen Charakter vorstellen, der niemandem in die Augen blicken kann und dem der Schmerz und das Leiden anderer gleichgültig ist. Außerdem ist die Entropie äußerst gefährlich – am Ende kriegt sie uns alle. In allen Ursprungsgeschichten bildet die Entropie den Schluss. Sie zersetzt alle Strukturen, alle Formen, jede Galaxie und jede lebende Zelle. Mit dichterischem Einfühlungsvermögen beschreibt Joseph Campbell in seinem Buch über Mythologie die Rolle der Entropie: »... die Welt, wie wir sie kennen und wie wir sie gesehen haben, lässt nur ein Ende zu: Tod, Zerfall, Zerstücklung und Kreuzigung unseres Herzens durchs Vergehen der Formen, die wir geliebt haben.«<sup>13</sup>

Die moderne Wissenschaft erklärt die Rolle der Entropie in der nüchternen Sprache der Statistik. Unter den unzähligen Arten, wie Dinge angeordnet werden können, ist die überwältigende Mehrheit unstrukturiert, zufällig, ungeordnet. Die meisten Veränderungen gleichen dem Versuch, in einem Stapel mit  $10^{80}$  Karten (einer 10 gefolgt von 80 Nullen, was ungefähr der Zahl der Atome im Universum entspricht) dafür zu sorgen, dass alle Asse nebeneinanderliegen, indem Sie die Karten immer und immer wieder mischen. Das ist ein unvorstellbar seltenes Muster, so selten, dass Sie es wahrscheinlich auch dann nicht zu Gesicht bekommen, wenn Sie das Mischen über einen Zeitraum fortsetzen, der dem mehrfachen Alter des Universums entspricht. Meist werden Sie kaum oder gar keine Struktur erhalten. Wenn Sie in eine Baustelle voller Ziegel, Mörtel, Kabel und Farbe eine Bombe werfen,

wie groß ist dann die Chance, dass Sie, sobald sich der Staub gelegt hat, vor einem fertigen Apartmenthaus stehen, das verkabelt, gestrichen und einzugsfertig ist? Die magische Welt braucht sich um die Entropie nicht zu kümmern, unsere Welt muss es. Deshalb fehlt es dem größten Teil des Universums, besonders den riesigen Leerräumen zwischen den Galaxien, an Form und Struktur.

Wenn man bedenkt, welche Macht die Entropie besitzt, dann ist nicht leicht zu begreifen, wie Strukturen überhaupt entstehen konnten. Aber wir wissen, dass es der Fall war. Und sie scheinen dazu die Erlaubnis der Entropie gehabt zu haben. Allerdings sieht es so aus, als hätten die Strukturen für die Genehmigung, immer komplexere Formen zu bilden, eine Art Komplexitätssteuer in Form von Energie an die Entropie leisten müssen. Wie sich zeigen wird, hat die Entropie viele Arten von Komplexitätssteuern verlangt – nicht unähnlich Peter dem Großen, der eine eigene Behörde einrichtete, die sich neue Steuern einfal- len lassen musste –, durch deren Bezahlung sie noch mehr Chaos schaf- fen kann. Auch wir alle zahlen in jeder Sekunde unseres Lebens Entro- piesteuern. Damit werden wir erst am Tage unseres Todes aufhören.

Bleibt die Frage, wie sich die ersten Strukturen bildeten. Das ist ein Problem, das die Wissenschaft bis jetzt noch nicht vollständig lösen kann, obwohl es viele vielversprechende Ansätze gibt.

Neben Energie und Materie ergaben sich aus dem Urknall auch einige Betriebsregeln. Wie grundlegend diese Regeln waren, begann man erst mit der wissenschaftlichen Revolution im 17. Jahrhundert zu begreifen. Heute bezeichnen wir diese Regeln als die Fundamental- gesetze der Physik. Sie erklären, warum die wilden und chaotischen Energien des Uratoms nicht vollkommen richtungslos waren – die Gesetze der Physik gaben der Veränderung Wege vor und blockierten eine fast unendliche Zahl anderer Möglichkeiten. Die physikalischen Gesetze filterten alle die Zustände des Universums heraus, die mit ihnen nicht zu vereinbaren waren, daher existierte das Universum zu jedem gegebenen Zeitpunkt in einem der viele Zustände, die seinen

Betriebsregeln entsprachen. Diese neuen Zustände erzeugten ihrerseits noch mehr Regeln, die die Veränderung auf bestimmte Wege lenkte.

Das ständige Aussortieren unmöglicher Zustände garantierte ein Minimum an Struktur. Wir wissen nicht, warum sie diese Form annahmen und keine andere. Wir wissen noch nicht einmal, ob diese Regeln unvermeidlich waren. Vielleicht gibt es andere Universen mit etwas anderen Regeln. Möglicherweise ist die Gravitation in einigen Universen stärker oder der Elektromagnetismus schwächer. Wenn es sich so verhält, werden die Bewohner dieser Universen (wenn es denn welche gibt) andere Ursprungsgeschichten erzählen. Vielleicht existierten einige Universen nur eine millionstel Sekunde lang, während andere schon viel länger bestehen als das unsere. Es könnte sein, dass einige Universen viele exotische Lebensformen hervorgebracht haben, während andere biologische Friedhöfe sind. Wenn unser Universum tatsächlich in einem Multiversum existiert, können wir uns die Erschaffung unseres Universums als einen Würfelwurf vorstellen, der festlegt, dass es in diesem Universum Gravitation und Elektromagnetismus geben und der Elektromagnetismus  $10^{36}$ -mal so stark sein wird wie die Gravitation. Die Existenz dieser Regeln garantiert, dass unser Universum nie ganz chaotisch ist – und dass sich zuweilen komplexe Phänomene entwickeln können.

Es gab Strukturen und Muster, sobald Energie in bestimmten Formen auftrat. Als die Energie sich in den ersten Materieteilchen konkretisierte, unterlagen auch diese speziellen Regeln. Neutronen, Protonen und Elektronen, die fundamentalen Bestandteile von Atomen, bildeten sich wenige Sekunden nach dem Urknall. Das Gleiche galt für die Antiteilchen der Protonen und Elektronen (das heißt, für negativ geladene Protonen und positiv geladene Elektronen). So entstand das, was Physiker *Materie* und *Antimaterie* nennen. Als die Temperaturen des Universums so weit fielen, dass Materie und Antimaterie nicht mehr mühelos entstehen konnten, fand in allen Regionen des Universums eine gewaltige Vernichtungsorgie statt, in der sich Materie und Antimaterie

gegenseitig annihilierten (zerstrahlten) und dabei ungeheure Mengen an Energie freisetzten. Zum Glück für uns überlebte ein winziger Materieüberschuss die Katastrophe. Die übrig gebliebenen Materieteilchen blieben erhalten, weil die Temperaturen schon bald zu niedrig waren, um sie wieder in reine Energie zurückzuverwandeln. Diese Restmaterie ist der Stoff, aus dem unser Universum ist.

Als die Temperaturen weiter fielen, unterlagen Elektronen und Neutrinos dem Elektromagnetismus und der schwachen Kernkraft. Die Protonen und Neutronen, die den Atomkern bilden, setzen sich jeweils aus drei seltsamen Teilchen zusammen, den Quarks, die durch die starke Kernkraft aneinander gebunden sind. Elektronen, Neutronen, Quarks, Protonen, Neutrinos ... schon wenige Sekunden nach dem Urknall enthielt unser rasch abkühlendes Universum einige klar umrissene Strukturen, alle mit ihren speziellen unverkennbaren Eigenschaften. In dem Maße, wie sich der Hurrikan des Urknalls abschwächte, verschwanden auch die extremen Energien, die erforderlich gewesen wären, um diese Urstrukturen wieder aufzubrechen. Daher erscheinen uns die verschiedenen Formen von Energien und Teilchen – wie etwa Protonen und Elektronen – mehr oder minder unsterblich.

Auf diese Weise arbeiteten Zufall und Notwendigkeit Hand in Hand, um die ersten einfachen Strukturen hervorzubringen. Die physikalischen Gesetze hatten viele Möglichkeiten herausgefiltert – das war die Rolle der Notwendigkeit. Der Zufall hat dann die Dinge aus den verbleibenden Möglichkeiten beliebig angeordnet. So entwickelte sich unser Universum. Hören wir den Nanophysiker Peter Hoffmann: »Gebändigt vom physikalischen Gesetz, das ein Quäntchen Notwendigkeit beisteuert, wird der Zufall zur kreativen Kraft, zum maßgeblichen Einfluss unseres Universums. Alle Schönheit, die wir um uns herum erblicken, von den Galaxien bis zu den Sonnenblumen, ist das Ergebnis dieser schöpferischen Zusammenarbeit von Chaos und Notwendigkeit.«<sup>14</sup>