

UM ALLES IN DER
WELT

CHRISTOPHER LLOYD

UM ALLES IN DER
WELT

DIE GESCHICHTE DER ERDE, DES
LEBENS UND DER MENSCHEN VOM
URKNALL BIS ZUM 21. JAHRHUN-
DERT Aus dem Englischen von Sebastian Vogel



Berlin Verlag

Teil 1

Mutter Natur

13,7 Milliarden bis 7 Millionen v. Chr.

- 1. DER URKNALL 14** Wie ein unsichtbarer Punkt aus unendlicher Energie explodierte und unser Universum mit seinen Galaxien, Sternen, Planeten und einzigartigen, unveränderlichen physikalischen Gesetzen entstehen ließ **00:00:00**
- 2. ERSTE ZUCKUNGEN 21** Wie Kollisionen, Gesteinshagel und Vulkane auf die heiße, leblose Kruste der jungen Erde eindroschen und wie chemische Substanzen auf geheimnisvolle Weise begannen, sich als mikroskopisch kleine Lebensformen zu vermehren **05:19:48**
- 3. TEKTONISCHE TEAMARBEIT 29** Wie die ersten Lebensformen mit der Erde eine Partnerschaft eingingen und damit Voraussetzungen für das Gedeihen neuer, komplexerer Lebensformen geschaffen wurden **13:19:48**
- 4. FOSSILKRAM 34** Wie das Lebendige eine Fülle neuer Organismen hervorbrachte, von denen manche harte Gehäuse, Knochen und Zähne besaßen, sodass Fossilien ein zeitloses Museum des Lebens auf der Erde bilden konnten **20:48:00**
- 5. WUNDERWELT DER VORZEITLICHEN MEERE 43** Wie sich das prähistorische Leben in den Meeren entwickelte, bevor Lebewesen das Land eroberten, und wie einige Fische die Wirbelsäule entwickelten – und damit die ältesten Vorfahren der Menschen wurden **21:05:00**
- 6. FREUNDE DER ERDE 51** Wiesich aus den Landpflanzen hohe Bäume entwickelten, während der Boden von einer nährstoffreichen Schicht überzogen war, die von Insekten, Würmern und Pilzen gespeist wurde **21:51:36**
- 7. DER GROSSE EIERTANZ 62** Wie die unruhigen Platten der Erdkruste zusammenstießen und einen riesigen Superkontinent bildeten und wie sich dadurch neue Lebensformen entwickelten und unter den Landlebewesen das erste Massensterben ausgelöst wurde **22:24:00**
- 8. DINO-ZEIT 68** Wie eine Gruppe von Echsen die Herrschaft an Land übernahm und sich vom Nord- bis zum Südpol verbreitete, bis der Einschlag eines Himmelskörpers sie alle auslöschte **22:43:12**
- 9. BLUMEN, VÖGEL UND BIENEN 80** Wie die ersten Blumen der Erde blühten, Federn das Fliegen ermöglichten und neue Arten von Insekten die ersten Zivilisationen im Tierreich aufbauten **23:14:48**
- 10. DIE BESTE ZEIT 29** Wie eine unauffällige Familie kleiner Waldbewohner zu den kommenden Herrschern der Lebenswelt wurde, wie sie auf die auseinandertreibenden Kontinente ausschärmte und wiederum eine Fülle verschiedener Arten hervorbrachte **23:20:55**

Teil 2

Homo sapiens

7 Millionen bis 5000 v. Chr.

- 11. DER EISSCHRANK 106** Wie zyklische Schwankungen der Erddrehung für Klimaveränderungen sorgten und durch chaotische Bewegungen der tektonischen Platten weite Graslandschaften sowie bitterkalte polare Eiskappen entstanden **23:46:48**
- 12. NERVENNAHRUNG 112** Wie Menschenaffen von den Bäumen stiegen, den aufrechten Gang erlernten, Jagdwerkzeuge herstellten und sich zu Arten mit überdurchschnittlich großem Gehirn entwickelten **23:58:43**
- 13. MENSCHEN 117** Wie mehrere Frühmenschenarten sich an die eiszeitlichen Bedingungen anpassten, das Feuer beherrschen lernten, das Fleisch frisch gejagter Tiere kochten und sogar Musik machten, während sie sich über Afrika, Europa und Asien verbreiteten **23:59:21**
- 14. DER GROSSE SPRUNG NACH VORN 123** Wie eine Menschenart namens »sapiens« als Einzige überlebte, zuvor unbesiedelte Gebiete eroberte, sprechen lernte und mit neuen Wurfaffen auf die Jagd ging **23:59:57**
- 15. JÄGER UND SAMMLER 129** Wie die Menschen zu 99 Prozent ihrer Zeit auf der Erde ohne festen Wohnsitz, ohne Vollzeitarbeit und ohne Privateigentum lebten **23:59:59**
- 16. TÖDLICHES SPIEL 134** Wie das zufällige Zusammentreffen von Menschen und Klimaveränderungen das ökologische Gleichgewicht zuerst in Australien und später in Amerika durcheinanderbrachte und wie dieses zu einem dramatischen Massenaussterben vieler großer Säugetiere führte **23:59:59**
- 17. DIE NAHRUNG WIRD ANGEBAUT 139** Wie Männer und Frauen nach der letzten Eiszeit mit neuen Überlebensstrategien experimentierten und erstmals zum eigenen Nutzen in die Evolution eingriffen **23:59:59**

Sesshaft werden

5000 v. Chr. bis circa 570 n. Chr.

18. SCHRIFTLICHE BELEGE 150 Wie die Schreibkunst das Zeitalter der Geschichtsschreibung einleitete und wie Kaufleute, Herrscher, Handwerker, Bauern und Priester die ersten Hochkulturen aufbauten

23:59:59

19. GÖTTLICHE MENSCHHEIT 162 Wie der Reichtum der Natur manchen Herrschern die Möglichkeit schuf, sich zu Göttern auf Erden zu erklären, und wie diese bedingungslose Verehrung, unbedingten Gehorsam und uneingeschränkten Schutz verlangten – auch im Jenseits

23:59:59

20. MUTTERGÖTTINNEN 172 Wie die Verehrung der natürlichen Kreisläufe von Geburt, Leben und Tod zum Kennzeichen jener Kulturen wurde, in denen Fruchtbarkeit, Weiblichkeit und Gleichheit die höchsten Güter darstellten

23:59:59

21. DREIFACHER ÄRGER 183 Wie sich domestizierte Pferde, bronzezeitliche Wagen und Waffen über Asien, Europa und Nordafrika verbreiteten und Wellen der gewalttätigen Zerstörung, Eroberung und Ungerechtigkeit auslösten

23:59:59

22. DIE DRACHENHÖHLE 194 Wie sich im Fernen Osten eine mächtige, langlebige Hochkultur entwickelte, die ihre Existenz Reichtümern der Natur wie Reis, Seide und Eisen verdankte

23:59:59

23. SEELENFRIEDEN 209 Wie eine einzelne Hochkultur wiederentdeckte, dass Menschen im Einklang mit der Natur leben können, und wie sie sich bemühte, ihre Botschaft zu verbreiten

23:59:59

24. OST UND WEST 220 Wie Konflikte zwischen wandernden Nomaden und rivalisierenden Kulturen den Samen für einige der ältesten, bösartigsten und langlebigsten Streitigkeiten zwischen den Menschen legten

23:59:59

25. OLYMPIASIEGER 231 Wie sich in einer Ansammlung konkurrenzbewusster Stadtstaaten, die von den Früchten des Handels zu leben gelernt hatten, ein ganzes Spektrum neuer Lebensweisen entwickelte

23:59:59

26. WELTEROBERER 241 Wie neue Erkenntnisse über die Natur ihren Ausdruck in philosophischen Gedanken und Gesetzen fanden, die durch Eroberungen nach Osten und Westen verbreitet wurden

23:59:59

27. WIE EIN WIRBELSTURM 250 Wie sich ein Weltreich weit über seine natürlichen Grenzen hinaus in einer Zeit an die Macht klammerte, als ein Mann namens Jesus Christus geboren wurde, den man später den Messias nannte

23:59:59

28. TRAUMZEIT 266 Wie Menschen außerhalb des Einflussbereichs der Zivilisation lebten und sich als wandernde Viehhirten ihre Verehrung für die Natur, ihre natürlichen Ressourcen und ihr spirituelles Wohlergehen bewahrten

23:59:59

29. »MAIS«TERHAFTES AMERIKA 277 Wie die Menschen in der neuen Welt ihre eigenen Hochkulturen schufen, ohne etwas über die Kulturen Europas, Nordafrikas und Asiens zu wissen, und wie sich dabei der Mangel an großen Tieren als tödlicher Nachteil erwies

23:59:59

Die Welt wird global

Circa 570 bis 2008 n. Chr.

30. WELCHE OFFENBARUNG! 294 Wie Mohammed, ein Mann aus Mekka, eine Reihe von Visionen hatte und den Islam als eine neue Lebensform begründete, die versprach, die Fehler der Menschheit zu korrigieren

23:59:59

31. PAPIER, PRESSE UND PULVERDAMPF

311 Wie sich wissenschaftliche Entdeckungen aus China mithilfe des Islam bis nach Europa verbreiteten, wobei ein Mongolenhäuptling Entwicklungshilfe leistete und dabei das größte Reich aller Zeiten schuf

23:59:59

32. MITTELALTERLICHE MISERE 327 Wie das christliche Europa, eingekreist von islamischen Kulturen, unüberwindlichen Wüsten und endlosen Ozeanen, durch Pest, Invasionen und Hungersnot im Elend versank

23:59:59

33. SCHATZSUCHE 344 Wie alle sesshaften Gesellschaften mit einer Mischung aus Handel, harter Arbeit und Diebstahl auf ihre eigene Weise das Glück suchten

23:59:59

34. »EINE SEEFAHRT, DIE IST ...« 358 Wie einige Seefahrer eine neue Welt entdeckten, wie sich ihre Ankunft für die dortigen alten Kulturen als tödlich erwies und wie es in Europa zu einem hitzigen Wettbewerb zwischen rivalisierenden Nationen kam

23:59:59

35. GIBT ES HIER EIN BIER? 378 Wie europäische Kaufleute und Religionsflüchtlinge in Übersee zu Pionieren einer neuen Lebensweise wurden und auf die Idee kamen, gewinnbringende Nutzpflanzen anzubauen, wobei wenige von ihnen sehr reich und viele andere sehr arm wurden

23:59:59

36. NEU-PANGÄA 394 Wie Nutzpflanzen abgeerntet und transportiert, Tiere gezüchtet und ausgebeutet wurden, alles um die Lauen einer einzigen, weltweit verbreiteten und meistens zivilisierten Spezies zu befriedigen

23:59:59

37. GEMISCHTE GEFÜHLE 406 Wie verschiedene Kulturen auf die Ankunft europäischer Geschäftsleute und Soldaten reagierten, die unbedingt einträglichen Handel betreiben wollten

23:59:59

38. ES LEBE DIE FREIHEIT! 418 Wie krasse Ungleichheit zwischen den Menschen zu Aufständen im Namen der Freiheit führten und wie wegen eines Gefühls, einer Fahne oder eines Liedes riesige Armeen aufgestellt wurden

23:59:59

39. AFFENKRAM 435 Wie sich die Spezies Mensch von natürlichen Einschränkungen befreite, indem sie eine eigene, unabhängige, transportable Energiequelle zu beherrschen lernte, und wie die menschliche Bevölkerung über jedes Maß hinaus anwuchs

23:59:59

40. DIE RASSE DES WEISSEN MANNES

450 Wie die Menschen aus dem Westen zu der Überzeugung gelangten, sie seien von Natur aus allen anderen Lebewesen überlegen, und wie sie daraus die Pflicht ableiteten, die ganze Welt ihrer Lebensweise unterzuordnen

23:59:59

41. ZURÜCK IN DIE ZUKUNFT 468 Wie manche Menschen sich der Ausbreitung der westlichen Zivilisation widersetzen und stattdessen zu einer vermeintlich natürlichen, traditionellen Ordnung zurückkehren wollten, und wie solche Versuche in den meisten Fällen katastrophale Folgen hatten

23:59:59

42. HEXENTANZ 483 Wie die ganze Welt, gestützt durch wissenschaftliche Anstrengungen, durch ein einziges, globales Finanz- und Handelssystem verbunden wurde. Können die Erde und ihre lebendigen Systeme den stetig wachsenden Anforderungen der Menschen noch gerecht werden?

24:00:00

Prolog

Die Geschichtsschreibung steckt in Schwierigkeiten. Sie wurde von Experten in verschiedene Themen aufgesplittet, und regelmäßig bedienen sich Regierungen ihrer, um sie je nach bildungspolitischem Gusto zurechtzuschneiden. Wohl auch deshalb wird Geschichte selten in einem großen Bogen, in einer umfassenden Chronologie dargestellt. Wie alt ist das Universum? Wann nahm das Leben auf der Erde seinen Anfang? Wer war der älteste Vorfahre der Menschen? Wie hat die altchinesische Wissenschaft unsere moderne Welt geprägt? Wann begann die Demokratie im antiken Griechenland? Sind die Menschen tatsächlich allen anderen Lebewesen überlegen? Was die Antworten auf ein derart breites Spektrum grundlegender Fragen angeht, sind viele Menschen heute verständlicherweise verwirrt: Sie haben in der Schule vielleicht ein paar Geschich-

ten über Könige und Königinnen gehört, besitzen ein paar Kenntnisse über die beiden Weltkriege und vielleicht auch noch einige über die Dinosaurier.

Unser Wissen über die Vergangenheit verteilt sich heute über viele verschiedene Fachgebiete und ist in zahllosen unterschiedlichen Büchern versteckt. Da ist es kein Wunder, dass die wenigsten Menschen Spaß an Geschichte haben, weil sie sich in der Beschäftigung mit ihr hoffnungslos verzetteln oder in eine Sackgasse geraten.

UM ALLES IN DER WELT ist der Bericht über eine Reise, die vor 13,7 Milliarden Jahren begann. In vier Teilen erzählt dieses Buch die Geschichte von allem: vom Ursprung des Universums und der Entwicklung des Lebens auf der Erde vor dem Zeitalter der Menschen (Teil 1 Mutter Natur); von der Evolution der Menschen in der Natur (Teil 2 Homo sapiens); von der Entwicklung verschiedener Hochkulturen (Teil 3 Sesshaft werden); und von der Verschmelzung dieser Kulturen und ihrer Vereinigung mit der Natur zu einem globalen Ganzen (Teil 4 Die ganze Welt).

Ich habe mich bemüht, dieses Buch auf ein möglichst breites Spektrum von Quellen zu stützen und die neuesten Erkenntnisse über das Universum, das Leben auf der Erde und die Menschheit einfließen zu lassen. Dabei war ich sehr darauf bedacht, Fehler zu vermeiden, aber angesichts einer so weit gespannten Geschichte weiß man nie, welche Irrtümer sich einschleichen. Ganz gleich, wie und wo sie ans Licht kommen: Ich habe sie natürlich allein zu verantworten.

Ich hoffe, dass sich hier eine auf einzigartige Weise verknüpfte, einheitliche Geschichte entfaltet, in der sich das Wachstum der Hochkulturen mit der Evolutionstheorie verbindet, die moderne Wissenschaft mit prähistorischer Kunst und der Aufstieg der Weltreligionen mit den unbezähmbaren Kräften von Mutter Natur.

Es war ein aufregendes Projekt, das mein Leben verändert hat – eine Reise, Milliarden von Jahren in die Vergangenheit und viele Male rund um die Welt. Es hat mich mehr als alles andere zu der Überzeugung gebracht, dass die Beschäftigung mit der Vergangenheit am besten mit einer chronologischen Darstellung beginnen sollte, die so geschrieben ist, dass jeder sie verstehen kann. Das war mein wichtigstes Anliegen. Ich hoffe, Ihnen werden beim Lesen immer wieder von neuem die Augen geöffnet, so wie sie auch mir immer wieder geöffnet wurden.

Christopher Lloyd
Juni 2008

Mutter Natur

13,7 Milliarden bis 7 Millionen v. Chr.

Der Widerhall der gewaltigen Explosion, die den Anbeginn unseres Universums bildete, ist noch heute, 13,7 Milliarden Jahre später, zu vernehmen. Wenige Mikrosekunden nach dem Urknall blähte sich das Universum auf einen Durchmesser von mehreren Milliarden Kilometern auf. Neue Sterne wurden geboren, alte brannten aus. Rund 9,2 Milliarden Jahre später begann unsere Sonne zu leuchten, hervorgegangen aus den Überresten eines früheren, ausgebrannten Sterns.

Angezogen von der Schwerkraft der Sonne, rangelten riesige heiße Staub- und Gaskugeln in dem neu gebildeten Sonnensystem um ihre Plätze. Bei einem gewaltigen Zusammenstoß zwischen der Erde und einem anderen Planeten namens Theia wurden so viele Trümmer losgeschlagen, dass daraus unser Mond entstehen konnte. Ein Hagel von Kometen, die von der gewaltigen Schwerkraft

des Jupiter durch das Sonnensystem geschleudert wurden, prasselte auf die Erde, verdampfte und wurde zu Regen. Heiße, im Erdinneren eingeschlossene Gase brachen durch Vulkane an die Oberfläche und bildeten die erste Atmosphäre unseres Planeten.

Ein paar Hundert Millionen Jahre nach der feurigen Geburt der Erde begannen leblose chemische Substanzen, sich zu verdoppeln; so entstanden die ersten einzelligen Lebewesen, die wir heute als Bakterien bezeichnen. Bei ihren Kopiervorgängen schlichen sich manchmal Fehler ein – Varianten entstanden. Eine davon nutzte das Sonnenlicht zur Herstellung von Nährstoffen und gab dabei Sauerstoff ab. Im Laufe der nächsten 2,5 Milliarden Jahre erzeugten die einfachen Lebewesen immer mehr von dem Energie spendenden Gas, und eine neue Atmosphäre entstand. Erde, Umwelt und einfache Bakterien schufen durch ihr Zusammenwirken die Voraussetzungen für die Entstehung komplizierterer

Lebewesen. Bakterien verschmolzen zu komplexen Zellen, die sich dann zu den ersten Vielzellern zusammenlagerten.

Nachdem schließlich die sexuelle Fortpflanzung entstanden war, füllten sich die Meere mit exotischen Organismen, manche davon mit gestielten Augen, Fangarmen und anderen bizarren Körperanhängen. Zu einer Vielzahl von Schwämmen, Quallen und Korallen kamen Knochenfische, Skorpione und Trilobiten hinzu. An Land keimten Pflanzen sporen, Moose entwickelten sich im Laufe von Jahrmillionen zu Krautpflanzen und Laubbäumen, die auch weit weg vom Ufer eines Gewässers gedeihen konnten. Als der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre stieg, gingen Meereslebewesen an Land, um dort neue Nahrungsquellen und Behausungen zu erkunden. Rieseninsekten und Libellen dienten den Amphibien, die nun das

Land beherrschten, als Nahrung. Durch die Tätigkeit der Lebewesen überzog schon bald eine Decke aus nährstoffreichen Böden die Landflächen der Erde.

Als sich die Platten der Erdkruste zum Superkontinent Pangäa vereinigten, fanden Reptilien mit ihren hartschaligen Eiern ein Mittel, um sich auch im Landesinneren fortzupflanzen. Riesige Echsen, die Dinosaurier, wurden zu den Herrschern der Landflächen. Zusammen mit ihnen entwickelten sich die ersten Blütenpflanzen, Vögel und neue Insektenformen. Dann aber, vor 65,5 Millionen Jahren, erschütterte der Einschlag eines riesigen Meteoriten die ganze Erde. Die Folge war ein Massenaussterben. In das so entstandene Vakuum stieß eine Familie kleiner, nachtaktiver Tiere: Sie entwickelten sich zu einer Fülle großer und kleiner Arten, die nun die langsam auseinander treibenden Kontinente besiedelten.

DER UR- KNALL

WIE EIN UNSICHTBARER PUNKT AUS UNENDLICHER ENERGIE EXPLODIERTE UND UNSER UNIVERSUM MIT SEINEN GALAXIEN, STERNEN, PLANETEN UND EINZIGARTIGEN, UNVERÄNDERLICHEN PHYSIKALISCHEN GESETZEN ENTSTEHEN LIESS

Sehen wir uns einmal genau um. Anschließend stecken wir alles, was wir sehen, in eine imaginäre, aber ungeheuer starke Häckselmaschine. Pflanzen, Tiere, Bäume, Gebäude, unser ganzes Haus mit allem, was sich darin befindet, unsere Heimatstadt, das Land, in dem wir leben – alles wird pulverisiert und zu einer winzigen Kugel gepresst.

Nun kommt auch die ganze übrige Welt dazu. Dann die anderen Planeten unseres Sonnensystems und die Sonne, die ungefähr tausendmal größer ist als alle Planeten zusammen. Dann stecken wir unsere Galaxie hinein, die Milchstraße mit ungefähr 200 Milliarden weiteren Sonnen, und schließlich alle anderen Galaxien des Universums, von denen viele noch größer sind als unsere – von ihnen gibt es wiederum rund 125 Milliarden. Das alles pressen wir ungefähr auf die Größe eines Backsteins zusammen,

dann machen wir daraus einen Tennisball, dann eine Erbse – und schließlich ist alles kleiner als der Punkt auf dem Buchstaben i.

Alles verschwindet. Alle Sterne, Mond und Planeten verflüchtigen sich in einem einzigen, unsichtbaren Krümel von nichts. Genauso war es: Das Universum nahm seinen Anfang als unsichtbarer Punkt, als »Singularität«, wie die Wissenschaftler es nennen.

Dieser unsichtbare, schwere und sehr dichte Punkt war so heiß und stand durch die enorme Energie, die darin eingeschlossen war, unter so gewaltigem Druck, dass vor rund 13,7 Milliarden Jahren etwas wahrhaft Gigantisches geschah.

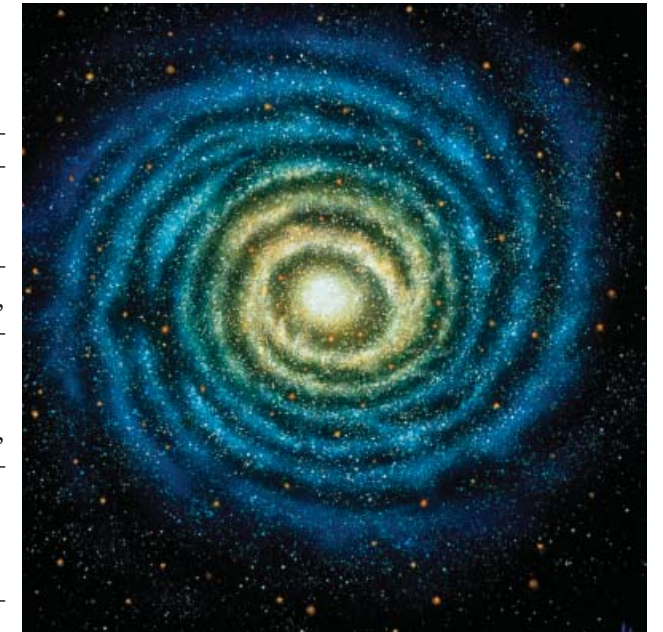
Er platzte.

Es war die größte Explosion aller Zeiten – heute bezeichnen wir sie als **Urknall** oder Big Bang. Noch verblüffender ist, was als Nächstes geschah. Es

entstand ein Riesendurcheinander, ein Chaos mit vielen Milliarden Kilometern Durchmesser. In Sekundenbruchteilen wuchs das **Universum** von einem unsichtbaren Stückchen Nichts zu etwas so Gewaltigem heran, dass es alles einschloss, was wir heute sehen können, unter anderem auch die gesamte Materie zum Aufbau von Erde, Sonne, Mond und Sternen.¹ Dazu noch eine ganze Menge, was wir nicht sehen können, weil unsere Teleskope nicht so weit reichen. Schließlich ist das Universum so groß, dass niemand genau weiß, welche Ausmaße es wirklich hat.

Warum sind die Experten überzeugt, dass ein solches unglaubliches Ereignis tatsächlich stattgefunden hat, insbesondere wo es doch vor so langer Zeit geschah, sodass niemand es beobachten konnte? Verständlicherweise sind viele Leute bis heute gegenüber der Idee vom Urknall misstrauisch. Unter Wissenschaftlern jedoch herrscht im Allgemeinen Einigkeit über die Vorgänge, denn die Belege dafür, so sagen sie, seien überall um uns herum zu sehen.

Der Franzose **George Lemaître** war so entsetzt über das Gemetzel, das er auf den Schlachtfeldern des Ersten Weltkrieges miterlebt hatte, dass er sein weiteres Leben zum größten Teil der Erforschung der Sterne widmete. Sein Interesse am Weltraum erwachte 1923 auf einer Reise, die ihn an die Universität Cambridge führte: Dort gab es eine Sternwarte, in der einige der größten Teleskope der Welt standen. Bereits 1927 hatte er sich dann als großer Mathematiker einen Namen gemacht; unter anderem entwickelte er eine neue Theorie von einem Universum, das sich ausdehnt und an dessen Anfang eine sehr große Explosion stand.



Nur zwei Jahre nachdem Lemaître seine Gedanken veröffentlicht hatte, behauptete **Edwin Hubble**, ein anderer Wissenschaftler, er könne durch ein starkes Teleskop erkennen, wie andere Galaxien sich von der Erde weg bewegten, und je weiter entfernt sie seien, desto höher sei ihre Geschwindigkeit. Damit hatte er einen sichtbaren Beleg, dass das Universum sich auch heute noch ausdehnt. Vor langer Zeit, so Hubbles Überlegung, muss irgendetwas die Sterne und Galaxien in Bewegung gesetzt haben – und bei diesem Etwas könnte es sich durchaus um Lemaîtres Urknall handeln.

Bei einem Gewitter kann das Echo des Donners lange Zeit, manchmal über eine Minute lang, zwischen Bergen und Tälern widerhallen. Der Urknall war eine so gewaltige Explosion, dass die Wissenschaftler jahrzehntelang die Vermutung hegten, sein Echo müsse auch heute noch zu vernehmen sein.²

Die Ersten, die dieses Echo wirklich hörten, waren im Jahr 1964 zwei junge amerikanische Ingenieure in New Jersey. Die beiden – sie hießen **Arno Penzias**

Die Milchstraße besteht aus etwa 200 Milliarden Sternen. Jüngere Sterne wie unsere Sonne befinden sich in den Spiralarmen.



fast augenblicklich der Gedanke, Penzias und Wilson könnten das Echo des Urknalls gehört haben. Heute brauchen wir uns nicht mehr nur auf ihre Aussagen zu verlassen. Denn wenn wir das schwarz-weiße »Schneegestöber« auf einem nicht richtig eingestellten Fernseher betrachten, sehen wir bereits ein wenig vom Urknall. Einer unter hundert derartigen Flecken wird durch das Hintergrundecho des Urknalls verursacht.³

Nehmen wir also einmal an, dass unser Universum tatsächlich durch die Explosion eines unsichtbaren kleinen Pünktchens entstand. Aber wie kommen die Wissenschaftler darauf, dass dies vor 13,7 Milliarden Jahren geschah? Mit modernen Teleskopen konnte man auf Hubbles Beobachtungen aufbauen und war in der Lage zu berechnen, mit welcher Geschwindigkeit sich die Galaxien voneinander entfernen. Anhand solcher Daten kann man dann in die Vergangenheit zurückrechnen und den Zeitpunkt bestimmen, an dem sich alle Himmelskörper an demselben Ort befanden.

Kurz nach dem Urknall geschahen noch mehr rätselhafte Dinge. Eine ungeheure Energiemenge wurde freigesetzt. Sie verwandelte sich zuerst in die Schwerkraft, eine Art unsichtbaren Klebstoff, der dafür sorgt, dass alle Dinge im Universum einander anziehen. Dann ließ der Energiestoß unzählige Milliarden von winzigen Bausteinen entstehen. Alles, was heute existiert, besteht aus diesen Milliarden Teilchen, die im ersten Sekundenbruchteil nach dem Urknall entstanden.

Ungefähr 300 000 Jahre später hatte sich alles so weit abgekühlt, dass die Teilchen – die häufigsten unter ihnen sind Elektronen, Protonen und Neutronen – sich zu winzigen Klümpchen zusam-

Der weiteste Blick aller Zeiten ins Universum, aufgenommen 2004 vom Hubble-Weltraumteleskop. Jeder Lichtpunkt ist eine Galaxie. Manche von ihnen sind 13 Milliarden Jahre alt.

und **Robert Wilson** – wollten damals gerade die Konstruktion von Radioteleskopen verbessern. Aber ihr neues Gerät fing ständig ein rätselhaftes Rauschen auf. Ganz gleich, in welche Richtung sie es drehten, die seltsame Störung verschwand nicht. Zunächst hatten die beiden den Verdacht, ein Radiosender im nahe gelegenen New York könne das Problem verursachen. Dann stellten sie fest, dass viele Tauben auf der Antenne saßen, und sie mutmaßten, die Geräusche der Vögel könnten durch den Mast verstärkt werden. Die Tauben wurden verscheucht, die Antenne gereinigt, aber das rätselhafte Rauschen war immer noch da.

Nur 50 Kilometer von ihnen entfernt war ein anderes Wissenschaftlerteam unter der Leitung des Kosmologen Robert Dickie damit beschäftigt, ein hochempfindliches Weltraummikrofon zu entwickeln, um damit – so die Hoffnung – das Echo des Urknalls aufzufangen. Zufällig riefen Penzias und Wilson bei Dickie an und erkundigten sich, ob er oder einer seiner Mitarbeiter eine Ahnung hätten, wie man das Hintergrundgeräusch in ihrem neuen Teleskop beseitigen könne. Dickie kam

menlagern konnten, die wir als Atome bezeichnen. Mithilfe des allgemeinen Schwerkraftklebstoffs versammelten sich die Atome im weiteren Verlauf in riesigen Wolken aus sehr heißem Staub. Aus diesen Wolken entstanden die ersten Sterne, große Feuerkugeln, die mit der vom Urknall übrig gebliebenen Energie aufgeladen waren. Die Schwerkraft sorgte dafür, dass die feurigen Sterne sich in Gruppen von unterschiedlicher Form und Größe zusammenfanden – manche bildeten wirbelnde Spiralen, andere hatten die Form rotierender Platten. Solche Sternenhaufen nennen wir Galaxien. Unsere eigene Galaxie, die Milchstraße, entstand ungefähr 100 Millionen Jahre nach dem Urknall – also vor rund 13,6 Milliarden Jahren.⁴ Sie hat die Form einer großen Scheibe und rotiert mit der atemberaubenden Geschwindigkeit von rund 800 000 Stundenkilometern.

Neue Erkenntnisse über die Ursprünge unseres Universums sammelte die amerikanische **Wilkinson-Raumsonde** (auch Explorer 80 genannt), die 2001 gestartet wurde. Mit ihrer Hilfe konnte man das Echo des Urknalls und andere Bestandteile des Universums exakter vermessen als je zuvor.⁵ Die Raumsonde bestätigte auch, was Hubble bereits mit seinem Teleskop gesehen hatte: Das Universum dehnt sich immer noch aus. Aber es bleiben viele ungeklärte Fragen.

So weiß beispielsweise niemand, ob sich die Ausweitung des Universums verlangsamt. Wenn die Geschwindigkeit nachlässt, könnte die Schwerkraft vielleicht eines Tages alle Sterne und Galaxien wieder zusammenziehen, so, als würden sie an riesigen, unsichtbaren Gummibändern hängen. Demnach könnte das Universum eines Tages wie-

der zu einem winzigen, unsichtbaren Punkt zusammenschrumpfen. Und wenn sich in diesem Punkt ein immer höherer Druck aufbaut, hätte dies möglicherweise einen weiteren Urknall zur Folge. Manche Wissenschaftler glauben sogar, es habe schon früher viele – vielleicht Millionen – Urknall-Ereignisse gegeben, und unser derzeitiges Universum sei nur das bisher letzte in einer Folge. Es werde irgendwann wieder in sich zusammenfallen, sodass ein neuer Urknall stattfinden könne.

Ebenso wenig wissen wir, ob unser Universum das einzige Universum ist. In jüngerer Zeit vertritt eine wachsende Zahl von Physikern die Ansicht, es könne in Wirklichkeit eines von vielen sein – vielleicht ist ihre Zahl unendlich, und alle sind die Ergebnisse zahlreicher Urknall-Ereignisse. Der Unterschied zwischen den verschiedenen Universen läge demnach in ihren physikalischen Gesetzen, beispielsweise der Stärke der Schwerkraft oder den Kräften zwischen den Teilchen in einem Atom.

Eine solche **»Multiversumtheorie«** wäre eine Erklärung dafür, warum in unserem Universum offensichtlich genau die richtigen physikalischen Gesetze herrschen, die die Entstehung von Leben ermöglichen. Die Wahrscheinlichkeit, dass solche Gesetze sich durch Zufall ergeben, ist so unendlich klein, dass die Existenz anderer Universen mit abweichenden physikalischen Gesetzen so manchen Wissenschaftlern vernünftiger erscheint als die Vorstellung von einem intelligenten Schöpfer oder Gott.⁶

Galaxien sind riesengroß. Nehmen wir einmal ein Smartie-Bonbon und legen ihn mitten auf unseren Küchentisch.

Nun stellen wir uns vor, dies sei unsere Sonne. In welcher Entfernung müssten wir ein zweites Smartie ablegen, um die Entfernung zum nächsten Stern in unserer Galaxis richtig wiederzugeben? Einen Meter vielleicht? Oder zehn Meter? In Wirklichkeit wäre dieses Smartie, das im gleichen Maßstab den nächsten Stern repräsentiert, 145 Kilometer entfernt.⁷

Unsere **Sonne** ist ein recht junger Stern; nach heutiger Kenntnis wurde sie aus Gas und Staub geboren. Dies war von einem oder mehreren früheren Sternen übrig geblieben, nachdem diese ausgebrannt, unter ihrer eigenen Schwerkraft zusammengebrochen und dann explodiert waren. Solche riesigen Explosionen, Supernovae genannt, kommen im Weltraum recht häufig vor. Sie hinterlassen jene Materie – vorwiegend Gas und Sternenstaub –, aus der ständig neue Sterne geboren werden.

Vor ungefähr 4,6 Milliarden Jahren fielen übrig gebliebene Gas- und Staubwolken von früheren, ausgebrannten Sternen in sich zusammen und formten sich zu unserer Sonne. Demnach hat unser Zentralgestirn ungefähr ein Drittel des Alters unseres gesamten Universums. Für uns ist es ganz gut, dass sie noch relativ jung ist, denn die ersten Sterne hätten keine kreisenden Planeten wie die Erde hervorbringen können, auf denen Leben möglich ist. Die Sterne der ersten Generation bestanden ausschließlich aus einfachen Gasen wie Wasserstoff und Helium. Aber da Supernovae mit so gewaltiger Kraft explodieren, verbinden sich die von ihnen weggeschleuderten Atome zu schwereren, nützlichen Baumaterialien, die sich zu Gesteinsplaneten wie der Erde verbinden können. Solche Planeten enthalten Elemente wie

Eisen, Sauerstoff und Kohlenstoff, die unentbehrliche Bausteine für das Leben darstellen.

Lange Zeit glaubte man, die Erde sei der Mittelpunkt des Universums. Heute dagegen wissen wir, dass sich unser **Sonnensystem** im sogenannten Orion-Arm befindet, einem der äußeren Spiralarme unserer Milchstraße. Derzeit wandert das Sonnensystem durch einen öden, relativ einsamen Teil der Galaxie, den man »lokale Blase« getauft hat. In unserer Nachbarschaft gibt es nur wenige andere Sterne, und deshalb bezeichnen Astronomen die Region auch liebevoll als Local Fluff (»lokales Stäubchen«).

Zum Sonnensystem gehören neben unserem Stern (der Sonne) alle Objekte, die sie umkreisen. Die wichtigsten unter ihnen sind die **Planeten**. Diese großen Kugeln aus Gestein und Gas entstanden ungefähr zur gleichen Zeit wie die Sonne und ebenso aus den gleichen Staub- und Gaswolken, die von früheren, ausgebrannten Sternen übrig geblieben waren. In seiner Anfangszeit dürfte unser Sonnensystem bis zu 25 Planeten umfasst haben. Die Gaskugeln entfernten sich allmählich immer weiter von der Sonne und bildeten die Riesenplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Die anderen enthielten schwerere, nützlichere Baustoffe, die der Sonnenwärme widerstehen konnten. Sie bildeten die »Gesteinsplaneten« Merkur, Venus, Erde und Mars, die zum inneren Sonnensystem gehören. Mehrere Millionen Jahre lang kreisten diese riesigen, glühenden Gebilde auf wackeligen, unregelmäßigen Wegen um die Sonne, bis sie schließlich in dem neu entstandenen System eine stabile Bahn gefunden hatten.

In seiner Frühzeit war das Sonnensystem ein ausgesprochen unangenehmer Ort – für Leben war es völlig ungeeignet. Ein unsichtbarer Regen aus winzigen, elektrisch stark geladenen Teilchen strömte aus dem heißen, feurigen Brutofen der Sonne wie eine Flut rasiermesserscharfer Dolche. Diese Teilchen durchdrangen nahezu alles. Noch heute feuert die Sonne jeden Tag ungefähr 20 Milliarden Tonnen von ihnen ab. Man bezeichnet sie als »Sonnenwind«, und sie dringen sogar durch die widerstandsfähigsten Raumanzüge und Helme der Astronauten.⁸ Selbst wenn irgendeine Lebensform zu jener Zeit die entsetzliche Hitze vertragen hätte, wäre sie vom »Sonnenwind« sofort abgetötet worden.

Auf der Erde war die Hölle los. Eine halb geschmolzene Kruste aus klebriger Vulkanlava blubberte auf der Oberfläche unseres Planeten wie glühend heißer Sirup. Es gab keinen festen Boden, kein Wasser und definitiv kein Leben. Die Erde war noch instabil und rotierte so schnell um ihre Achse, dass jeder Tag nur ungefähr vier Stunden dauerte.

Als Nächstes geschah etwas Verrücktes. Zwei junge Planeten wanderten auf der gleichen Umlaufbahn um die Sonne, aber mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Der eine war die Erde, der andere ein früher Planet namens **Theia**. Ungefähr 34 Millionen Jahre nachdem die Sonne zu glühen begonnen hatte, krachten diese beiden Planeten

Wiedergeburt im Weltall: Sternenstaub, der Überrest von Supernovae-Explosionen ausgebrannter Sterne, ist der Stoff, aus dem ständig neue Sterne wie unsere Sonne geboren werden.



zusammen. Die Erde stürzte mit einem gewaltigen Ruck zur Seite, geriet außer Kontrolle und wurde zu einem verstümmelten, unberechenbaren, schwankenden Wrack.

Nach der Kollision brachen Tausende von Vulkanen aus. Gewaltige Gas-mengen, die zuvor im Kern der Erde eingeschlossen waren, schossen durch die Oberfläche nach außen und bildeten die erste Atmosphäre unseres Planeten.

Die äußeren Schichten von Theia verdampften zu Milliarden von winzigen Teilchen. Überall flogen Trümmer herum und umgaben die Erde mit einer ungeheuer dicken Schicht aus heißem Staub, Granit und anderem Gestein. Von der Schwerkraft der Erde festgehalten, wirbelte dieser Nebel aus Gesteinsbrocken durch den Himmel, sodass es auf der Erdoberfläche dunkel wurde. Monatlang konnte nicht einmal das hellste Sonnenlicht die dicken Staubschichten durchdringen, die einst der Planet Theia gewesen waren. Sein schwerer Kern aus geschmolzenem Eisen drang bis zum Mittelpunkt der Erde vor und verursachte eine ungeheure Stoßwelle, durch die sich die beiden Planetkerne zu einer einzigen, schweren, mehrere tausend Grad heißen Metallkugel verbanden.⁹

Auch diese ungeheure Kollision sollte sich für das Leben auf der Erde als etwas Gutes erweisen. Der Metallkern des Planeten ließ einen magnetischen Schutzschild entstehen, der die schädlichen Wirkungen des Sonnenwindes von seiner Oberfläche fernhält. Außerdem verhindert der Schild, dass der Sonnenwind das Wasser (H₂O) in Wasserstoff- und Sauerstoffatome zerlegt.

Damit blieben der Erde lebenswichtige Substanzen erhalten, die sich ansonsten in den Weltraum verflüchtigen würden. Ohne diesen Schutzschild hätte sich das Leben auf der Erde niemals entwickeln können. Auf anderen Planeten wie Mars und Venus, die keinen Kern aus Eisen besitzen, ist offenbar nie etwas Lebendiges entstanden.

Einen greifbaren Beleg, etwa einen Krater, für die Kollision mit Theia gibt es auf der Erde nicht. Der Zusammenstoß muss so stark gewesen sein, dass die gesamten Außenschichten unseres Planeten verdampften und in den Weltraum entwichen. Aber es gibt einen sichtbaren Beleg. Dieser befindet sich zwar nicht auf der Erde, ist aber doch ganz in unserer Nähe. Der Staub und Granit, die sich um die Erde legten, hefteten sich mithilfe des Schwerkraftklebstoffs schon bald wieder zusammen und bildeten einen riesigen Staubball. Nur rund ein Jahr nach dem riesigen Zusammenstoß hatte die Erde einen neuen Begleiter: unseren großen, leuchtenden **Mond**. Schon wenig später entfaltete der Mond eine wichtige, stabilisierende Wirkung. Mit seiner Schwerkraft verhinderte er, dass die Erde nach der gewaltigen Kollision mit Theia unkontrolliert schwankte. Außerdem verlangsamte sich durch die Schwerkraft des Mondes die Rotation der Erde, sodass aus dem Vierstundentag im Laufe eines sehr langen Zeitraums ein Tag von 24 Stunden wurde. Seit Jahrmilliarden führen unsere Erde und ihr Mond ihren gemeinsamen Tanz um die Sonne auf wie zwei elegante Eiskunstläufer, die sich gegenseitig im Gleichgewicht halten, während sie in Kreisen über die Eisbahn wirbeln.

ERSTE ZUCKUNGEN

WIE KOLLISIONEN, GESTEINSHAGEL UND VULKANE AUF DIE HEISSE, LEBLOSE KRUSTE DER JUNGEN ERDE EINDROSCHEN UND WIE CHEMISCHE SUBSTANZEN AUF GEHEIMNISVOLLE WEISE BEGANNEN, SICH ALS MIKROSKOPISCH KLEINE LEBENSFORMEN ZU VERMEHREN

Ein warmer, sonniger Nachmittag im Herbst 1951. Professor Harold Urey begibt sich gemütlich in seinen Hörsaal an der Universität Chicago. Der Raum ist voller Studenten, und alle wollen hören, wie der große Wissenschaftler über sein Lieblingsthema spricht: die Entstehung des Lebens auf der Erde.

Seit über 150 Jahren schlugen die Wissenschaftler sich schon damit herum, glaubhafte Theorien für den Anbeginn des Lebens zu formulieren. Urey wusste ganz genau, wo das Problem lag: Bisher hatte niemand wirklich beweisen können, wie das Leben aus einem Durcheinander primitiver »Ursubstanzen« entstehen konnte, die auf der unwirtlichen Erde in ihrer Frühzeit vorhanden waren.

Fast 100 Jahre waren vergangen, seit der französische Wissenschaftler Louis Pasteur nachgewiesen hatte, dass Substanzen, die keine Lebewesen enthalten,

auch immer unbelebt bleiben, wenn man sie einfach liegen lässt. Demnach konnten offenbar auch die einfachsten Lebensformen auf einer öden, leblosen Erde nicht von selbst entstehen. Was war stattdessen geschehen? Wer oder was hatte den ersten magischen Funken überspringen lassen, der zum Beginn des Lebendigen führte?

Über diese Frage wurde hitzig diskutiert. Die einen glaubten, das Leben sei von einem überirdischen Architekten – Gott – erschaffen worden, vielleicht sogar genau so, wie es in der Bibel berichtet wird. Nach ihrer Ansicht konnte naturwissenschaftliche Forschung niemals die Frage nach dem Anbeginn des Lebens beantworten, weil Gottes Macht die Verständnisfähigkeit der Menschen übersteige. Andere glaubten, das Leben sei aus dem Weltraum gekommen. Immerhin sei das Universum so riesengroß,

das es dort zumindest mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit irgendwo auch andere intelligente Lebensformen geben müsse. Vielleicht sei das Leben auf der Erde ja das Ergebnis eines biologischen Experiments, das außerirdische Wesen vor Milliarden Jahren in Gang gesetzt hätten.

Urey war überzeugt, dass man irgendwann mit naturwissenschaftlichen Methoden eine Antwort finden würde. Er wollte zeigen, wie die **Aminosäuren** – chemische Substanzen, die als Bausteine des Lebendigen unentbehrlich sind – in der Frühzeit der Erde entstanden waren. Nach seiner Überzeugung konnten sich über ausreichend lange Zeit hinweg einfache, einzellige Lebensformen von selbst zu der komplexen, wunderschönen Welt weiterentwickeln, die wir heute kennen – ja vielleicht war eine solche Entwicklung sogar unvermeidlich.

Deshalb träumte Urey davon, die Verhältnisse auf der frühen Erde in einem Laborexperiment nachzuvollziehen und damit zu zeigen, wie das Leben aus einem unbelebten Durcheinander entstehen konnte. Unter seinen Zuhörern befand sich ein Student, der von Ureys Worten völlig hingerissen war. **Stanley Miller** hatte auf seiner Reise quer durch Amerika gerade in Chicago haltgemacht. Er war auf der Suche nach einem Forschungsprojekt, mit dem er seine Ausbildung als Naturwissenschaftler abschließen konnte.

Je länger Urey sprach, desto stärker wuchs die Aufregung des 21-jährigen Miller. Nach dem Vortrag ging er zu dem Professor und durfte anschließend bei Urey an einem Projekt mitarbeiten: Die beiden wollten im Labor aus einem Gemisch chemischer Einzelbestandteile neues Leben erzeugen.

Heimlich gingen Urey und Miller an die Arbeit. Zunächst entwarfen sie eine raffinierte Glasapparatur mit einem großen Gefäß in der Mitte; dieses sollte alle Substanzen enthalten, die nach Ansicht der beiden Wissenschaftler in der Frühzeit der Erde vorhanden waren, darunter auch Gase wie Wasserstoff, Methan und Ammoniak, die vorwiegend aus Vulkanausbrüchen stammten. Durch ein Rohr, das mit einer Flasche voller kochendem Wasser verbunden war, wurde Dampf in das große Glasgefäß geleitet. Außerdem befanden sich in dem Gefäß zwei Metallstäbe als Elektroden. An diese wurde elektrische Hochspannung angelegt, so dass Funken entstanden – womit in verkleinerter Form die heftigen Gewitter nachgeahmt waren, die auf der frühen Erde fast ständig tobten. Die ganze Apparatur war darauf angelegt, die Verhältnisse in der Frühzeit der Atmosphäre nachzuvollziehen.

Zu Beginn des Experiments brachte Miller das Wasser in der Flasche zum Kochen. Dampf stieg auf und strömte durch das Verbindungsrohr in das große Glasgefäß, wo er sich mit den urtümlichen Gasen vermischte. Als Nächstes schaltete Miller den Strom ein. Eine Spannung von 60 000 Volt schoss in die Elektroden und sorgte für eine stetige Folge elektrischer Entladungen.

Zu seiner großen Enttäuschung geschah nichts. Abends verließ Miller niedergeschlagen das Labor – er war überzeugt, seine Bemühungen seien umsonst gewesen.

Als Miller aber am nächsten Morgen wieder ins Institut kam, war er verblüfft: Das Wasser in der Flasche hatte sich rosa gefärbt – dort musste also eine chemische Reaktion abgelaufen sein. Er ließ das Experiment eine Woche weiterlaufen,

und nun stellten sich unverkennbar die Ergebnisse ein, auf die er gehofft hatte: Das anfangs klare Wasser hatte einen kräftigen Rotton angenommen. Es enthielt jetzt Aminosäuren, jene unentbehrlichen Bausteine des Lebendigen, die in allen Pflanzen und Tieren (auch bei uns Menschen) zum Aufbau lebender Zellen dienen. Das musste der Beweis sein, an den Urey so fest geglaubt hatte. Das Leben, so Ureys und Millers Schlussfolgerung, war unter den höllischen Bedingungen, die auf der Erde für 3,7 Milliarden Jahre herrschten, durch Zufall entstanden – damals waren schlicht die richtigen Ausgangsbedingungen gegeben.

Das Experiment von Miller und Urey stellte für die wissenschaftliche Erforschung der Frage nach dem Beginn des Lebens einen Wendepunkt dar. Es wurde seither viele Male wiederholt, wobei man das Substanzgemisch geringfügig abwandelte, weil man mittlerweile andere Theorien darüber hatte, welche chemischen Verbindungen in welchen Mengen auf der frühen Erde vorhanden waren. Aber Urey und Miller hatten eigentlich in ihrem Glasgefäß nichts Lebendiges hergestellt, sondern sie hatten nur die Zutaten geschaffen. Bis heute ist es niemandem gelungen, im Labor tatsächlich aus unbelebten Chemikalien eine lebende Zelle herzustellen. Die Debatte über die ersten Augenblicke des Lebendigen tobt deshalb immer noch.

Manche Wissenschaftler vermuten, das Leben könne in der Frühzeit unseres Planeten durch ein anderes dramatisches Ereignis entstanden sein. Demnach lag der Ausgangspunkt in dem **»großen Bombenhagel«** von Kometen, wie er genannt wird – eine Episode, die vor rund 3,7 Milliarden Jahren mit dem roten Riesenplaneten Jupiter begann.



Im Jahr 1687 entdeckte der berühmte britische Wissenschaftler Isaac Newton, dass alle Gegenstände sich gegenseitig anziehen; je größer ein Gegenstand ist, desto größer ist auch diese Anziehungskraft. Jupiter, der größte Planet unseres Sonnensystems, hat gewaltige Ausmaße – unsere Erde würde ungefähr 1300-mal in ihn hineinpassen. Deshalb hat er auch eine sehr starke Schwerkraft. Normalerweise würde man annehmen, dass selbst eine derart große Kraft sich auf andere Planeten wie die Erde nicht auswirkt – immerhin ist Jupiter rund 630 Millionen Kilometer von uns entfernt. Aber nach astronomischen Maßstäben ist dies eine sehr geringe Entfernung. Zur richtigen Jahreszeit kann man in klaren Nächten den Jupiter tatsächlich hell am Nachthimmel scheinen sehen, und schon mit einem kleinen Teleskop erkennt man mindestens vier seiner mehr als sechzig Monde. Es mag sich verblüffend anhören, aber möglicherweise liegt dort oben der Ursprung des Lebens.

Nach der Entstehung der Planeten blieben Hunderttausende von kleinen Felsbrocken übrig. Ein besonders großer Schwarm von ihnen kreiste vor rund 3,7 Milliarden Jahren in der Nähe des Jupiter um die Sonne, wobei er von der

Stanley Miller, ein Student des Nobelpreisträgers Harold Urey. Hier zusammen mit der Apparatur, mit der er zum ersten Mal im Experiment die chemischen Verhältnisse auf der frühen Erde nachahmte.



würde bedeuten, dass das Leben auf der Erde nicht ganz bei null anfangen musste. Vielleicht wurde eine Art Baukasten bereits aus dem Weltraum angeliefert?

Weitere Belege stammen vom Mond. Sein pockennarbiges Aussehen ist schon mit einem einfachen Fernglas zu erkennen. Die Mondoberfläche trägt Millionen Einschlagkrater. Da der Mond nicht durch eine Atmosphäre geschützt ist und da auch keine Lebewesen die Schäden verdecken können, stellt er heute den besten historischen Beleg für jenes brutale Zeitalter der riesigen Kometeneinschläge dar, die sich vor Jahrmilliarden ereigneten.

Solche Kometen könnten neben den Aminosäuren auch andere kostbare Geschenke mitgebracht haben. Wenige Sekunden bevor die Kometenschwärme auf die Oberfläche der frühen Erde krachten, begannen sie zu schmelzen: Ihr Eis wurde durch die Reibung der Erdatmosphäre aufgeheizt. Es wäre ein spektakulärer Anblick gewesen: Millionen Kometen zogen über den Himmel wie riesige Schneebälle, und während sie dann auf die Erde stürzten, zog jeder von ihnen einen langen, gebogenen Schweif aus glühend heißem Dampf hinter sich her. Der Dampf kondensierte zu **Wasser**, und dann geschah – vielleicht zum ersten Mal – etwas, das für uns heute völlig selbstverständlich ist: Es regnete. Und es regnete heftig. Nach Ansicht mancher Fachleute stammt das Wasser in unseren Seen, Flüssen und Ozeanen möglicherweise zum größten Teil von Kometen, die vor Milliarden Jahren auf der Erde einschlugen.

Aber letztlich fanden auch die klügsten Köpfe mit allen ihren wissenschaftlichen und technischen Mitteln bisher keine abschließende Antwort

Die Schwerkraft des Gasriesen Jupiter trieb nach heutiger Kenntnis Kometenschwärme in Richtung der jungen Erde. Sie brachten Wasser und möglicherweise auch die ersten für das Leben erforderlichen Moleküle mit.

gewaltigen Schwerkraft des riesigen Planeten festgehalten wurde. Zu jener Zeit war das Sonnensystem noch so instabil, dass die Umlaufbahnen der großen Planeten – Jupiter, Saturn und Neptun – sich hin und wieder ein wenig verschoben. Während einer solchen Verschiebung, so die Vermutung, trieb ihre Schwerkraft die kleinen Kometen und Asteroiden wie Fußbälle quer durch das Sonnensystem. Ein Teil von ihnen flog in die Richtung der frühen Erde und prasselte wie eine gewaltige Salve aus seltsam geformten Kanonenkugeln auf sie herab.

Belege für diesen Bombenhagel sammelten Wissenschaftler am Space Flight Center der NASA in Houston (Texas). Sie untersuchten einen alten Kometen namens LINEAR, der kürzlich in die Nähe der Sonne geriet und durch ihre Hitze zu einer Wolke aus Staub und Gas verdampfte. Als er auseinanderfiel, beobachteten ihn die Wissenschaftler der NASA durch ihre hoch entwickelten Teleskope: Sie wollten wissen, was für Substanzen sich im Inneren des Kometen befanden. Die Ergebnisse ihrer Beobachtungen legen die Vermutung nahe, dass die Aminosäuren, die Bausteine des Lebendigen, aus ähnlichen Kometen stammen könnten. Das

auf die eigentliche Frage: Wie verwandelten sich die chemischen Substanzen, die Stanley Miller und Harold Urey im Labor neu erschaffen hatten, in lebende Zellen, in die Bausteine, aus denen wir alle bestehen?

Die magische Eigenschaft der lebenden Zellen ist ihre Fähigkeit, sich fortzupflanzen. Sie können Knospen bilden, Babys zur Welt bringen, Nachkommen produzieren, Kopien von sich selbst herstellen. Einzelne Zellen bringen in der Regel genaue Kopien ihrer selbst hervor – das kann man an Viren und Bakterien beobachten. Manchmal schleicht sich dabei allerdings ein Kopierfehler ein, und dann entsteht eine mutierte Zelle. Die Vermehrungsfähigkeit ist das entscheidende Merkmal, durch das sich lebendige Gebilde so vollständig von allem anderen unterscheiden, was man im Universum kennt. Kein unbelebtes Objekt kann sich auf ähnliche Weise vervielfältigen.

Häufen wir einmal am Rand eines Esstellers einen Teelöffel Salz auf. Dann wenden wir den Blick für ein paar Sekunden ab. Wenn wir das nächste Mal hinschauen, stellen wir uns vor, das Salz hätte sich über den ganzen Teller und dann auch unkontrollierbar auf dem ganzen Tisch ausgebreitet. Das ist – ein wenig beschleunigt – der Vorgang, der das Lebendige kennzeichnet. Salz ist dazu nicht in der Lage, denn es lebt nicht. Auch die Aminosäuren, jene Bausteine, die Urey und Miller neu schufen, können es nicht. Hefe kann es, Schimmelpilze können es, Bakterien können es. Irgendetwas versetzt diese Objekte in einen Zustand, in dem sie sich plötzlich verdoppeln. Alles, was sich seither abgespielt hat, gehört zur Geschichte des Lebendigen auf der Erde.

Als das Kometenbombardement nachließ, kühlte sich die Erdoberfläche so weit ab, dass die geschmolzene Lava einen festen Untergrund bilden konnte. Wasser fiel vom Himmel und bildete die ersten Ozeane, die für eine weitere Abkühlung der Oberfläche sorgten. Geschmolzene Lava und Gase, die nun unter der Erdkruste eingeschlossen waren, mussten hin und wieder ganz buchstäblich Dampf ablassen. Überall brachen Vulkane aus. Gewaltige Feuerberge spuckten auf dem ganzen Planeten kochend heiße Lava und Gase aus, und die auf diese Weise freigesetzten Gase bildeten eine erste Atmosphäre aus Stickstoff, Methan, Ammoniak, Sauerstoff und Kohlendioxid – den Bestandteilen, die auch Miller und Urey in ihrem Labor gemischt hatten, um den Grundstoff des Lebendigen zu erzeugen. Der **Sauerstoff**, der nun in die Erdatmosphäre gelangte, verband sich mit einem anderen Gas, das von der Explosion bei der Entstehung von Sonne und Sonnensystem übrig geblieben war: dem **Wasserstoff**. Dabei entstand wiederum Wasser (H₂O), und die Überschwemmungen, die mit den Kometen begonnen hatten, wurden noch größer; am Ende waren fast 70 Prozent der Erdoberfläche von Wasser bedeckt.

Tief in diesen ersten Ozeanen vollzog sich nach Ansicht mancher Fachleute der magische Sprung von den Lebewesen spendenden Aminosäuren zu den ersten lebenden, einzelligen Organismen. Die **Methanogenen** entwickelten sich in den Tiefen der Meere, wo sie vor den tödlichen Wirkungen des Sonnenwindes geschützt waren. Sie gediehen in der Nähe von Vulkanschloten, die als »Schwarze Raucher« bezeichnet werden, weil sie am Meeresboden dicken, schwar-

zen, ätzenden Dampf ausstoßen und damit sowohl Wärme als auch chemische Substanzen als Nährstoffe liefern.

Die zweite grundlegende einzellige Lebensform entwickelte sich vermutlich durch einen Kopierfehler, als Nahrung gerade einmal knapp war. Durch diesen Fehler passte sich das Lebendige an eine völlig neue Energiequelle an: das Sonnenlicht. Mit seiner Hilfe spaltete es Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O), um daraus Nahrung herzustellen. Diese einfache, aber geniale Form der Ernährung bezeichnen wir heute als **Photosynthese**.

Im Gegensatz zu den Methanogenen mussten die so entstandenen **Cyanobakterien** so dicht unter der Meeresoberfläche leben, dass sie das ins Wasser fallende Sonnenlicht aufnehmen konnten. Durch die Photosynthese veränderte sich die Atmosphäre, denn ihr Abfallprodukt ist Sauerstoff.¹ Im Laufe mehrerer Milliarden Jahre sorgten die Cyanobakterien dafür, dass sich in der Luft immer mehr Sauerstoff anreicherte.²

In der Wildnis Westaustraliens, ungefähr 650 Kilometer von Perth entfernt, liegt eine Bucht namens **Shark Bay**. Hier sieht es wahrhaft urtümlich aus. Nicht weit von der Küste befinden sich einige der ältesten Felsen, die man auf der Erde kennt. Im Wasser neben ihnen liegen Tausende von seltsamen Hügeln, die ungefähr einen halben Meter hoch sind und an übermäßig stark ausgestopfte Kissen erinnern. Nach Lebewesen sehen sie eigentlich nicht aus, aber diese eigenartigen Gebilde – man nennt sie Stromatolithen – enthalten Milliarden Cyanobakterien. Heute ragen sie nur noch an wenigen Stellen in Westaustralien, Mexiko und Kanada aus flachen

Lagunen, und es gibt sie auch noch in der Tiefe des Karibischen Meeres. In der Frühzeit der Erde jedoch waren Stromatolithen allgegenwärtig.

Anfangs verband sich der von den Stromatolithen produzierte Sauerstoff am Meeresboden mit dem Eisen, das nach der gewaltigen Kollision mit dem Planeten Theia übrig geblieben war. Das Eisen wurde zu Eisenoxid, einem rostroten Mineral.³ Als alle Substanzen, mit denen sich der Sauerstoff verbinden konnte, aufgebraucht waren, entwich er einfach in die Luft – und dabei ist es bis heute geblieben. Derzeit macht Sauerstoff ungefähr 21 Prozent unserer Atemluft aus. Der Rest besteht vorwiegend aus Stickstoff (71 Prozent), und dazu kommen noch Wasserdampf sowie mehrere andere Gase, darunter auch das Kohlendioxid, mit Anteilen von jeweils weniger als einem Prozent hinzu.

Das Leben auf der Erde wäre auch ohne Sauerstoff weitergegangen, aber vermutlich hätte es sich nie über Ketten aus klebrigen, mikroskopisch kleinen Bakterien hinaus entwickelt. Menschen hätten nicht entstehen können, denn Sauerstoff ist ein energiereiches Gas und deshalb für alle höher entwickelten tierischen Lebensformen unentbehrlich. Außerdem bildet der Sauerstoff in Form des Ozons hoch oben in der Atmosphäre eine Schutzschicht, die das ultraviolette Licht der Sonne von den an Land lebenden Organismen fernhält.⁴

Da die Cyanobakterien das Kohlendioxid aus der Luft aufnahmen, trugen sie auch dazu bei, dass die Temperaturen in der Frühzeit der Erde sanken. Als die Atmosphäre immer weniger von dem Hitze speichernden »Treibhausgas« enthielt, wurde es kühler. Irgendwann verbanden sich die einzelligen Bakterien



(Prokaryonten) und wuchsen zu komplizierteren, raffinierter gebauten Lebewesen heran.

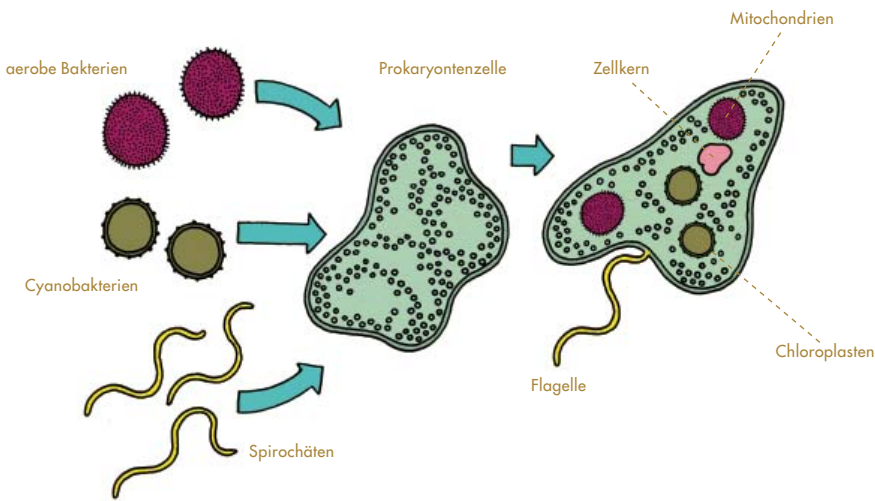
Vor rund zwei Milliarden Jahren schlich sich in der Natur eine weitere Mutation ein, die es einzelligen Bakterien ermöglichte, die sauerstoffreiche Atmosphäre zu nutzen. Da Sauerstoff eine starke Energiegewinnung ermöglicht, konnten diese Bakterien durch den neuen Vorgang, die Atmung, mehr als zehnmals so viel Energie erzeugen wie andere Lebewesen. Schon bald waren die Ozeane angefüllt mit energiereichen, mikroskopisch kleinen Zellen, die den im Wasser gelösten Sauerstoff verbrauchten.

Diese Zellen waren so mit Energie aufgeladen, dass sich manche von ihnen in andere, größere Zellen hineinbohrten und mit diesen einen Handel auf Gegenseitigkeit abschlossen. Die größere Zelle ernährte sich von den Abfallprodukten der kleineren und nutzte die überschüssige Energie, die diese durch ihre Atmung erzeugte.⁵ Mit einer solchen Zusammenarbeit, der Endosymbiose,

waren die größeren Zellen viel besser in der Lage, in einer Umwelt mit ihrem weiter wachsenden Sauerstoffgehalt zu überleben.

Die durch diesen Zusammenschluss entstandenen, komplexeren Zellen (Eukaryonten) erwarben sich eine Reihe besonderer Fähigkeiten. Manche ihrer Teile spezialisierten sich darauf, Energie aus Nährstoffen zu gewinnen (Mitochondrien). Andere konnten Kohlendioxid und andere giftige Abfallprodukte besonders gut ausscheiden (Chloroplasten). Wieder andere entwickelten sich zu einer Art Bibliothekaren: Ihre Aufgabe war es, alle erforderlichen Informationen zu speichern, mit denen eine genau gleiche Zelle neu aufgebaut werden konnte. Solche Bibliothekare bezeichnen wir als Gene: Das Wort kommt vom griechischen »genos«, das »Geburt« bedeutet. Die Gene liegen in einem abgegrenzten Teil der Zelle, dem Zellkern, und bestehen aus einer chemischen Substanz namens Desoxyribonukleinsäure oder DNA.

Stromatolithen in der Shark Bay in Westaustralien. Solche Gebilde trugen früher überall auf der Erde zur Entstehung der sauerstoffreichen Atmosphäre bei.



Was zunächst wie altruistische Teamarbeit aussieht, entwickelte sich aber jetzt zu einer grausameren Lebensweise: Manche dieser energiereichen, komplexen Zellen stellten fest, dass sie sich Zugang zu einer neuen, ergiebigen Nahrungsquelle verschaffen konnten, wenn sie andere lebende Bakterien im Ganzen in sich aufnahmen. Der erste Mund der Welt war schlicht ein zahnloses, mikroskopisch kleines Loch, aber er stand am Anfang einer neuen, wirkungsvollen Räuber-Beute-Beziehung zwischen den Lebewesen. Die Organismen entwickelten sich nun immer schneller weiter und traten in einen Rüstungswettlauf ein, um sich vor dem Gefressenwerden besser zu schützen oder selbst besser fressen zu können.

Als beste Strategie stellte sich in den meisten Fällen heraus, sich zusammenzutun. Zellen bildeten Gruppen und ließen die ersten **vielzelligen Lebewesen** der Welt entstehen. Manche dieser Organismen wurden zu den Vorfahren aller

Tiere, andere stellten die Urahnen aller heutigen Pflanzen dar.

Damit haben wir seit der Entstehung der Erde bereits den atemberaubenden Zeitraum von drei Milliarden Jahren hinter uns gebracht. Wenn wir uns die Geschichte als Tag von 24 Stunden vorstellen, ist es nun bereits vier Uhr nachmittags. Uns bleiben nur noch acht Stunden für die gesamte weitere Entwicklung des Lebendigen und für die Menschheitsgeschichte bis zum heutigen Tag. Erstaunliche Spuren des Lebendigen sind in Form kompliziert gebauter, mikroskopisch kleiner Bakterien bereits auf der Bildfläche erschienen, aber noch müssen viele Hundert Millionen Jahre vergehen, bevor die ersten Fische, Landtiere, Kräuter und Bäume auftauchen.

Dass sie das überhaupt schafften, liegt an einem weiteren erstaunlichen Fall von Zusammenarbeit, der auf unserem Planeten die Voraussetzungen für einen noch dramatischeren Wandel des Lebendigen schuf.

Als die Menge des Energie liefernden Sauerstoffs zunahm, siedelten sich einige zuvor frei lebende Bakterien im Inneren anderer Zellen an und machten sie komplizierter – ein Vorgang, den man Endosymbiose nennt.

TEKTONISCHE TEAM-ARBEIT

WIE DIE ERSTEN LEBENSFORMEN MIT DER ERDE EINE PARTNERSCHAFT EINGINGEN UND DAMIT VORAUSSETZUNGEN FÜR DAS GEDEIHN NEUER, KOMPLEXERER LEBENSFORMEN GESCHAFFEN WURDEN

Wenn ein Mensch in Lebensgefahr schwebt, ist die Priorität für die Notärzte immer die gleiche: Die lebenswichtigen Organe des Körpers müssen geschützt werden. Befördert das innere Transportsystem eines Patienten – der Blutkreislauf – den Sauerstoff aus der Lunge und die Nährstoffe aus dem Magen nicht mehr zu den Körperzellen, stirbt die betroffene Person sehr schnell. Und wenn Abfallprodukte wie Kohlendioxid oder giftige Säuren nicht mehr beseitigt werden und im Körper verbleiben, folgt die Vergiftung fast ebenso schnell.

Auch in der Erdgeschichte entwickelte sich jetzt ein globales **Lebenserhaltungssystem**, das ganz ähnlich funktioniert wie die Atmungsorgane eines Menschen. Ohne diesen Mechanismus hätten sich die mikroskopisch kleinen Bakterien, die es vor zwei Milliarden Jahren bereits gab, niemals zu Pflanzen,

Tieren und Menschen weiterentwickeln können.

Der erste, einfachste Teil dieses Systems ist allgemein bekannt. Es ist der **Kreislauf des Wassers**. Wenn Sonnenlicht auf die Erdoberfläche fällt, erwärmen sich die Meere, und ein Teil des Wassers verdunstet – es wird zu Wasserdampf. In der Luft kühlt sich der Dampf ab und bildet Wolken, die vom Wind um die ganze Erde geweht werden und irgendwann als Regen wieder zu Boden fallen. Ohne diesen ständigen Süßwassernachschub würden die meisten Lebewesen an Land und im Meer mit ziemlicher Sicherheit zugrunde gehen. Keine Rohrleitungen, keine Pumpen, kein Bedarf für Kraftwerke, keine Menschen zur Bedienung der Maschinen – das Wasser kreist ganz einfach jeden Tag und ist das wertvollste aller kostenlosen Geschenke der Natur.