

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.

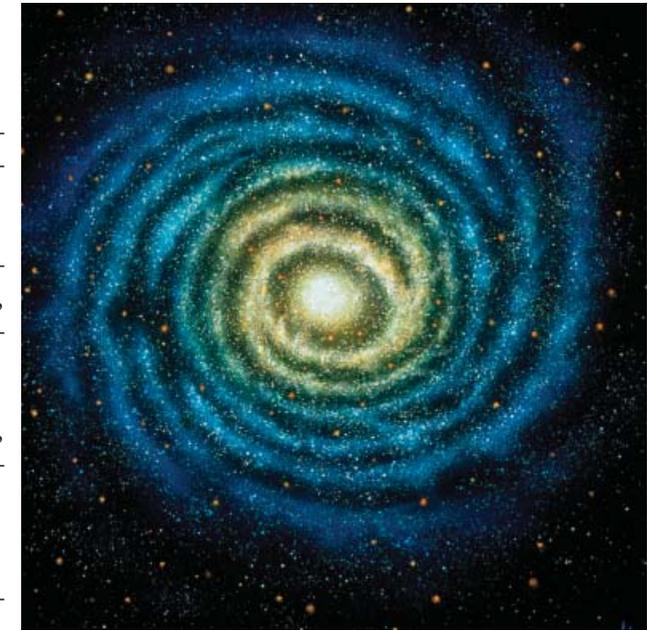
Er platzte.

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 Jahr-milliarden 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,

dass 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.

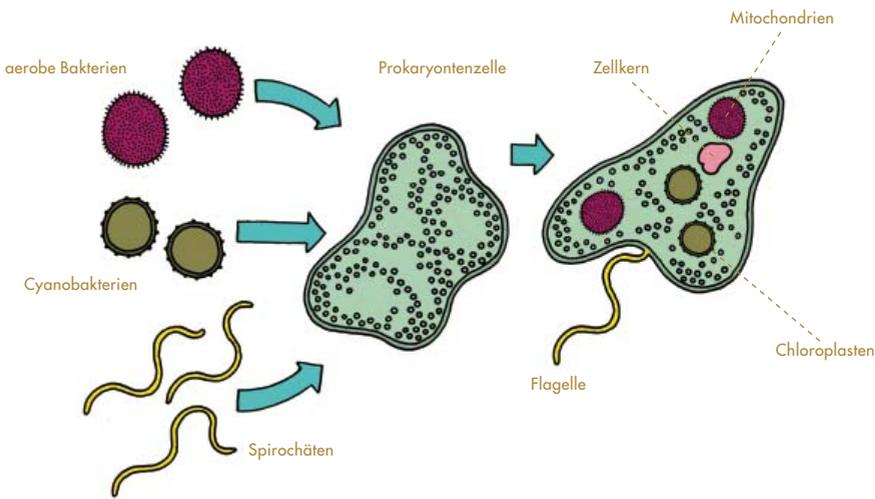
Vor rund zwei Milliarden Jahren schlich sich in der Natur eine weitere Mutation ein, die es einzelligen Bakterien ermöglichte, die sauerstoffreiche Atmosphäre zu nutzen. Da Sauerstoff eine starke Energiegewinnung ermöglicht, konnten diese Bakterien durch den neuen Vorgang, die Atmung, mehr als zehnmals 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 GEDEIHEN 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.

Aber im Verlauf dieses scheinbar so einfachen Prozesses entwickelte sich irgendwann in der Zeit vor 3,7 bis zwei Milliarden Jahren eine wichtige Partnerschaft zwischen der Erde und ihren Lebewesen.

Damit es regnen kann, müssen sich **Wolken** bilden. Die Moleküle im Wasserdampf können nur dann wieder zu Wasser kondensieren, wenn eine Oberfläche vorhanden ist, ein »Kondensationskern«, an dem sie sich zusammenlagern können. Glücklicherweise boten einige Gase, die von den ersten Bakterien als Abfallstoffe freigesetzt wurden, genau die richtigen Oberflächen, an denen der Dampf sich wieder in Wasser verwandeln und zu Regen werden konnte.¹ Bakterien tragen also zu einem der wichtigsten Lebenserhaltungssysteme der Natur bei, indem sie gewissermaßen die Samen für Wolken bilden. Außerdem bildet die Wolkendecke eine reflektierende Schicht, die einen großen Teil der sengend heißen Sonnenstrahlen in den Weltraum zurückwirft. Sie helfen also mit, unseren Planeten abzukühlen – auch das eine gewaltige Verbesserung der Voraussetzungen für das Leben.

Diese Zusammenarbeit ist nur ein Beispiel für die vielen partnerschaftlichen Beziehungen zwischen der Erde und ihren Lebewesen. Sie alle tragen zur Steuerung des Klimas bei und verhindern, dass übermäßig hohe Temperaturen dem Lebendigen schaden. Wie die vielen Lebenserhaltungssysteme der Erde tatsächlich funktionieren, ist wissenschaftlich noch nicht vollständig geklärt, aber ein weiteres Beispiel dafür, wie sie das Lebendige mit großer Sicherheit vor einer Katastrophe bewahrt haben, kennen wir. Es hat mit dem Salzgehalt der Meere zu tun.

Das **Salz** im Meer stammt aus Regenwasser, das an Land auf die Felsen fällt. Es löst dort Mineralstoffe, die dann durch Bäche und Flüsse ins Meer gespült werden. Große Salzengen, die unter der Erdoberfläche eingeschlossen sind, werden regelmäßig von Vulkanschlotten am Meeresboden freigesetzt. Diese Vorgänge gehören zum sogenannten Kreislauf der Gesteine.

Schon vor sehr langer Zeit entwickelte sich zwischen Erde und Natur eine partnerschaftliche Zusammenarbeit, durch die gewährleistet war, dass die Salzkonzentration im Meer nie zu stark ansteigt. Ist sie zu hoch, besteht für die Lebewesen im Meer Vergiftungsgefahr. Würde diese Konzentration nicht durch irgendeinen Mechanismus reguliert, wären die Lebewesen wahrscheinlich sehr schnell ausgestorben.

Wenn mikroskopisch kleine Lebewesen aus dem Meer absterben, sinken ihre Körper wie ein Regen aus winzigen Schneckengehäusen zum Meeresboden.² Dort hat sich totes Material im Laufe der Jahrtausende in dicken Schichten meterhoch angehäuft, sodass es heute gewaltige Sedimente bildet. Irgendwann wurden diese Ablagerungen durch ihr eigenes Gewicht zu einem Material zusammengedrückt, das wir heute als Kalkstein bezeichnen. Der Kalkstein, der sich auf dem Meeresboden aufhäufte, ließ in der Nähe der Küsten große Riffe entstehen. Diese Barrieren hielten das Meerwasser in Form stehender Gewässer oder Lagunen fest, sodass das Wasser in der Sonne verdunsten konnte. Übrig blieb eine feste, weiße Salzschiebe. Damit war das Salz aus dem Meer entfernt.³

Es ist, als würde die Erde ganz ähnlich für ihre eigene Entgiftung sorgen wie wir mit unserem Blut, das die von

lebenden Zellen produzierten Abfallstoffe abtransportiert. Je flacher die Riffe, Küsten und Strände sind, desto mehr Salz wird natürlich aus dem Meer genommen. Vielleicht war es nur ein glücklicher Zufall, aber vor etwa zwei Milliarden Jahren wuchs das Gewicht der Kalksteinriffe so stark an, dass die Erdkruste darunter absank, sich bog und schließlich brach. Anschließend verschwand sie in der tiefer liegenden flüssigen Lava, ein Phänomen, das man als Subduktion bezeichnet.

Damit begann der wohl bizarrste aller Lebenserhaltungsvorgänge auf der Erde, und der trug dazu bei, den Salzgehalt im Meer weiter zu vermindern. Man nennt ihn »**Plattentektonik**«. Während Sie diese Seite lesen, sitzen Sie auf einem Stück der **Erdkruste**, das wie ein gewaltiges Floß auf einem unterirdischen Meer aus kochend heißer Lava schwimmt.

Die Erdkruste gliedert sich in eine ganze Reihe schwimmender Platten, die ständig in Bewegung sind. Jede Platte treibt entweder von einer anderen weg oder auf eine andere zu.

Wenn zwei solche Platten zusammenstoßen, schieben sich gewaltige **Gebirge** in den Himmel. Treiben sie auseinander, bilden sich zwischen ihnen weite **Ozeane**. Im Gestein der Erde kann sich dabei so viel Druck aufbauen, dass die Bewegung der Platten Erdbeben und Vulkane, heiße Geysire und Tsunamis entstehen lässt. Und da die Erdkruste in mehrere Platten zerbrach, nahm die Zahl der Küsten und Strände, an denen das Salzwasser verdunsten konnte, drastisch zu.

Der gleiche Vorgang sorgt auch dafür, dass das Meersalz nach der Verdunstung des Wassers tief unter Gebirgsketten begraben wurde – unter den

Sonnenwärme lässt Meerwasser verdunsten. Zurück bleibt weißes, pulverförmiges Salz wie hier in den Salzebenen des Iran. Wegen solcher Prozesse stieg der Salzgehalt im Meer nie so stark an, dass Lebewesen nicht mehr gedeihen konnten.





Die heutige Anordnung der tektonischen Platten. An ihren Grenzen kommt es zu Erdbeben, Vulkanausbrüchen und der Entstehung neuer Gebirge.

europäischen Alpen und dem Himalaja liegen heute Millionen Tonnen Salz. Solange die Platten sich bewegen, werden immer neue Salzberge unter dem Gestein verschwinden, sodass die Salzkonzentration im Meer niedrig bleibt und das Leben weiterhin gedeihen kann.

Angeregt wurde die Theorie der Plattentektonik von dem deutschen Wissenschaftler **Alfred Wegener**, der bereits 1912 über die Verschiebung der Kontinente geschrieben hatte. Er kam auf diese verblüffende Idee, nachdem er Fossilien der gleichen vorzeitlichen Tierarten auf unterschiedlichen Kontinenten gefunden hatte (siehe Seite 69). Zwischen diesen uralten Tieren lagen Tausende von Kilometern, und niemand konnte erklären, wie sie auf verschiedene Kontinente gekommen waren – insbesondere weil es sich um Tiere handelte, die nicht schwimmen konnten.

Wegener besaß genügend Fantasie und malte sich aus, die Kontinente seien irgendwann einmal verbunden gewesen

wie ein großes Puzzlespiel. Aufmerksamkeit erregten seine Ideen seit den 1920er Jahren, als er eine überarbeitete Version seiner Theorie veröffentlichte, aber erst gegen Ende der 1960er Jahre setzte sich in der Wissenschaft die Erkenntnis durch, dass die großen Landmassen wie Amerika, Europa, Asien, Afrika und Australien im Laufe der Erdgeschichte mehrmals zusammengerückt sind und sich wieder getrennt haben. Auch heute bewegen sie sich noch. Europa und Amerika rücken beispielsweise jedes Jahr um ungefähr fünf Zentimeter weiter auseinander.

Die Platten sind schon seit Jahrmilliarden auf diese Weise unterwegs. Sie schwimmen auf der Oberfläche des geschmolzenen Gesteins, das man als Erdmantel bezeichnet und das seine gewaltige Wärme aus dem Erdkern bezieht – von dort stammen die ungeheuren Kräfte, die erforderlich sind, um Gebirge aufzutürmen und zu bewegen. Wie oft die Kontinente sich bereits zu

einem **Superkontinent** vereinigt haben, um dann wieder getrennte Landmassen zu bilden, weiß niemand genau. Offensichtlich ist es aber in der Erdgeschichte mindestens dreimal geschehen.

Der erste Superkontinent, Columbia genannt, entstand nach heutiger Kenntnis vor rund 1,5 Milliarden Jahren (das heißt ungefähr um 16 Uhr an unserem 24-Stunden-Tag).

Zu einer späteren Zeit, vor 850 bis 630 Millionen Jahren in der Periode des Cryogenium, waren die Kontinente der Erde angeordnet wie auf einer Kette, die sich um den Äquator zog. Als diese riesige Landmasse in den wärmsten Regionen der Erde lag, war ein größerer Bereich als je zuvor dem tropischen Regen ausgesetzt. Das führte dazu, dass große Teile des Kohlendioxids aus der Atmosphäre sich im Regenwasser lösten, Kohlensäure bildeten und ins Meer gespült wurden. Als die Menge des Treibhausgases Kohlendioxid in der Atmosphäre abnahm, ging die Temperatur zurück und die Erde verfiel in einen tiefgefrorenen Zustand. Glaubt man den Vermutungen mancher Wissenschaftler, so bedeckte Eis damals

nahezu die gesamte Erdoberfläche, so dass unser Planet einem gewaltigen **Schneeball** ähnelte. Erst als die Erdkruste sich wieder bewegte und Vulkane neue Treibhausgase in die Atmosphäre entließen, ging die Jahrtausende andauernde Kälte zu Ende, die Erde erwärmte sich wieder und für das Leben begann eine neue Phase.⁴

Seit Jahrmilliarden sorgt der tektonische Kreislauf für einen Wandel der Erdoberfläche. Die Folgen sind vielfältig: Das Klima kann sich dramatisch ändern, gefährliche Salze und Mineralien werden in der Tiefe vergraben, Superkontinente entstehen und vergehen, und die Erdkruste schrumpft zusammen, als wäre sie eine dünne Folie. Das alles sind Lebenserhaltungsmechanismen, die auf der Erde dafür gesorgt haben, dass von der Zusammensetzung der Atmosphäre über die globalen Temperaturen bis zum Salzgehalt der Meere stets alle Voraussetzungen für weiteres Leben gegeben waren. Ohne diese Systeme wäre die Evolution komplexer Lebensformen, wie wir sie kennen, unmöglich gewesen.

FOSSIL- KRAM

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

Bis vor rund einer Milliarde Jahren gab es auf der Erde nur zweierlei Lebewesen: zum einen die urtümlichen, einfachen Bakterien, die Sauerstoff und Methan als Abfallprodukte produzierten, und zum anderen die neueren, zusammengesetzten Organismen, die sich an den immer größeren Sauerstoffmengen bedienten. Im Inneren dieser komplexeren Lebensformen (der Eukaryonten), die ursprünglich durch Verschmelzung mehrerer einfacher Zellen entstanden waren, bahnte sich eine kleine, aber wichtige Revolution an. Sie sollte den Weg zu einer explosionsartig zunehmenden Vielfalt von Lebewesen ebnen.

Mehrere Milliarden Jahre lang – vermutlich bis vor rund einer Milliarde Jahren (oder bis 18.30 Uhr an unserem 24-Stunden-Tag) – waren diese winzigen Organismen mit ihren immer raffinierteren Zellen die einzigen Lebewesen.

Dann löste irgendetwas eine spektakuläre, dramatische Beschleunigung des Evolutionstempos aus. Was genau geschah, ist schwer zu sagen: Wir haben heute keine Belege mehr dafür, wie das Leben aussah, bevor sich erstmals Gehäuse, Knochen und Zähne entwickelten, denn nur die werden zu Fossilien und hinterlassen Abdrücke im Gestein – ein Vorgang, der vor rund 545 Millionen Jahren begann.

Zu einer Zeit, als noch keine Fossilien entstehen konnten, entwickelte sich unter den Lebewesen eine radikal neue Form der Fortpflanzung.

Anfangs sahen Zellen, die auf dem Weg der ungeschlechtlichen Fortpflanzung als Kopien anderer Zellen entstanden waren, in der Regel genauso aus wie ihre Eltern: Sie waren »Klone«, und Abweichungen gab es nur, wenn sich einer der seltenen Kopierfehler ereignete.

Ein solcher Fehler konnte der neuen Zelle zum Vorteil gereichen (dann überlebte sie), oder er bedeutete einen Nachteil (dann starb sie). Dagegen waren Tochterzellen, die durch **geschlechtliche** oder **sexuelle Fortpflanzung** entstanden waren, stets anders als ihre Eltern. Normalerweise sind an dieser Form der Fortpflanzung zwei Eltern beteiligt, von denen einer männlich, der andere weiblich ist. Ihre Gene verschmelzen und schaffen ein neues Lebewesen, das Eigenschaften beider Eltern in sich vereinigt.¹

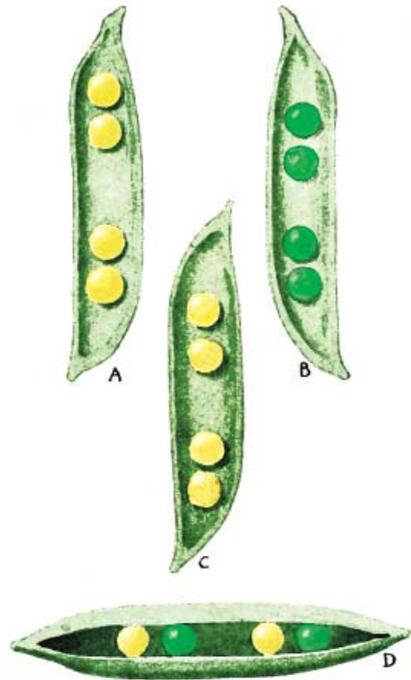
Oder anders ausgedrückt: Die neue Zelle besitzt immer eine einzigartige genetische Information, und das führte für das Leben auf der Erde insgesamt zu einer gewaltigen Zunahme der Vielfalt. Da die Information der Tochterzelle im Wesentlichen eine Mischung der Gene beider Eltern darstellt, kann diese Zelle auf dem Weg der **Vererbung** immer noch Eigenschaften ihrer Vorfahren weitergeben. Nützliche Abweichungen bei einem oder beiden Eltern werden auf das Kind vererbt und helfen ihm, besser zu überleben. Ebenso kann es unvorteilhafte Eigenschaften erben, oder bei seiner eigenen Entstehung ergeben sich neue Varianten; in solchen Fällen sterben die Nachkommen in der Regel aus, sodass das übrige Leben auf der Erde insgesamt gestärkt wird.

Wahrscheinlich entstand die Sexualität, als die DNA eines Organismus der einer anderen Zelle zum Opfer fiel, die Verdauung jedoch überlebte und sich an den Vorgängen im Zellkern des Räubers beteiligte. Bei der Fortpflanzung vermischte sich die DNA beider Zellen und wurde auf besondere Zellen (die sich später zu Samen- und Eizelle weiterentwickelten) verteilt, sodass sie sich

neu kombinieren konnten. Die so entstandene DNA enthielt die Information für das Überleben zweier ähnlicher, aber nicht genau gleicher Lebewesen.

Die geschlechtliche Fortpflanzung schuf die Voraussetzung, dass die Komplexität des Lebendigen rapide zunehmen konnte. Lebewesen kamen nun bereits nach wesentlich weniger Generationen gut mit schwierigen Lebensbedingungen zurecht. Bis sich einfache Typen mikroskopisch kleiner Lebewesen entwickelt hatten, mussten zweieinhalb Milliarden Jahre vergehen, aber es dauerte noch nicht einmal halb so lange, bis die ganze Vielfalt des Lebendigen entstanden war, wie wir sie heute kennen – von Fischen, Amphibien und Reptilien bis zu Bäumen, Vögeln, Säugetieren und Menschen.

Zu den Ersten, die solche Dinge erforschten, gehörte der Mönch **Gregor Mendel**. Er wurde 1822 geboren und lebte im österreichischen Teil von Schlesien. Nahezu während seines gesamten Lebens beschäftigte er sich mit der Natur – der Lieblingsort für seine Untersuchungen war der Gemüsegarten seines Klosters. Dort konnte er seinem Interesse nachgehen und Tausende von verschiedenen Erbsensorten heranzüchten. Bruder Mendel war von den Erbsen so fasziniert, dass er zwischen 1856 und 1863 mehr als 28000 einzelne Erbsenpflanzen untersuchte. Dabei fiel ihm etwas Interessantes auf: Wenn die geringfügig unterschiedlichen Pflanzen neue Keimlinge hervorbrachten, gingen deren Unterschiede (oder Eigenschaften) nach ganz bestimmten Gesetzmäßigkeiten auf die nächste Generation über. Vererbung ist kein Zufallsprozess, sondern läuft nach genauen Regeln ab. Seine neuen Erkenntnisse über die Ver-



sie im Allgemeinen in altem Gestein keine Spuren hinterlassen. Dass dies allerdings nicht immer galt, entdeckte ein australischer Geologe im 20. Jahrhundert.

Wie viele Männer seiner Generation, so wurde auch der 21-jährige **Reg Sprigg** während des Zweiten Weltkriegs zur Armee eingezogen. Dort übertrug man ihm die Aufgabe, für die australische Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) ein altes Uranbergwerk wieder in Betrieb zu nehmen. Uran ist ein Element, das im Gestein überall auf der Welt vorkommt. Zu jener Zeit hielt man es für äußerst selten, und überall wurde verzweifelt danach gesucht; es sollte als Ausgangsmaterial für eine verheerende neue Massenvernichtungswaffe dienen: die Atombombe.

Als Sprigg an einem Spätnachmittag im Jahr 1946 in alten Formationen nach Gestein suchte, das Uran enthalten könnte, blieb sein Blick an einem seltsam aussehenden Felsbrocken hängen, der an seiner Oberfläche flache Vertiefungen hatte. Er drehte ihn um.

Was er auf der Unterseite sah, ließ ihm den Atem stocken. Das hier war kein normaler Stein, sondern eine geologische Schatzkammer, eine exotische, natürliche Anhäufung sehr alter Fossilien. Die Kräfte der Natur hatten in langen Zeiträumen eine Fülle bizarrer, wunderschöner Formen in das australische Gestein geätzt. Heute werden Spriggs Fossilien nach ihrem Fundort in den südaustralischen Ediacara-Bergen als **Ediacara-Fauna** bezeichnet.

Es sind die ältesten Fossilien vielzelliger Lebewesen, die uns bekannt sind. Man erkennt vielgestaltige Meeresbe-

Durch Kreuzung von Erbsenpflanzen (A und B) fand Mendel heraus, wie manche Eigenschaften (zum Beispiel die Farbe der Erbsen) an spätere Generationen (C und D) weitergegeben werden. Die von ihm gefundenen Gesetze bilden die Grundlage der modernen Genetik.

erbung beschrieb Mendel erstmals 1865 in einem Vortrag mit dem Titel »Versuche über Pflanzenhybriden«, den er vor dem Naturforschenden Verein in Brünn hielt. Im weiteren Verlauf formulierte er Regeln, mit denen man voraussagen konnte, wie die Merkmale eines Lebewesens durch sexuelle Fortpflanzung von einer Generation zur nächsten weitergegeben werden. Mendel wurde zu Lebzeiten mit seinen Untersuchungen nie berühmt. Er starb 1884, nachdem er in seinen letzten Lebensjahren verbitterte Konflikte mit den lokalen Behörden ausgefochten hatte, die von den Mönchen höhere Steuerzahlungen verlangten.

Die sexuelle Fortpflanzung war für die Vielfalt der Lebewesen von großer Bedeutung. Da die Organismen bis vor etwa 545 Millionen Jahren jedoch weder Gehäuse noch Knochen besaßen, haben

wohner; manche dieser Formen erinnern an kleine Käfer, es gibt aber auch abgeflachte, in Abschnitte gegliederte, wurmähnliche Tiere, die bis zu einem Meter lang werden konnten.² Mittlerweile hat man mehr als hundert verschiedene derartige Tiere in verschiedenen Regionen der Erde entdeckt, unter anderem auch in Russland, Südwafrika und Nordwestkanada. Sie alle stammen aus der gleichen Epoche der Erdgeschichte.

Spriggs Entdeckung zeigt, dass sich das Lebendige vor ungefähr 600 Millionen Jahren bereits weit über die Bakterien hinaus entwickelt hatte. Während diese so klein sind, dass man sie mit bloßem Auge nicht erkennen kann, gab es nun bereits eine Fülle neuer, unterschiedlich großer Lebewesen. Manche davon waren nicht mehr als lebende Klumpen aus durchsichtigem Gelee, die auf dem Meeresboden lagen und sich von Mikroorganismen ernährten, die zufällig vorbeikamen. Andere hatten bereits kleine Beine, die sie zum Schwimmen oder zur Jagd auf Beutetiere verwenden konnten.

Diese Funde sind so bedeutsam, dass man die zugehörige Phase der Erdgeschichte nach der Region ihrer Entdeckung benannt hat. In der Ediacara-Epoche hatte sich das Leben vom Unsichtbaren zu einem exotischen Formenreichtum weiterentwickelt. Diese Phase begann definitionsgemäß vor 635 Millionen Jahren und endete ungefähr 39 Millionen Jahre später.

Damit sind wir an der Schwelle zu einer gewaltigen Veränderung gelangt. Auf unserer 24-Stunden-Tour durch die Erdgeschichte ist es mittlerweile 21 Uhr geworden. Die ganze restliche Geschichte spielt sich in den letzten drei Stunden ab. Immer noch gibt es kein Leben an Land, es existieren keine

Bäume, keine Blumen, keine Insekten, keine Vögel oder andere Tiere, von Menschen ganz zu schweigen. Die Erde ist sehr alt, die Menschheitsgeschichte ist es nicht. Im Vergleich zur alten Erde ist alles andere, was wir noch kennenlernen werden, entweder jung oder gerade erst entstanden. Und zu den jüngsten aller Phänomene gehört die Menschheit.

Spriggs Entdeckung erregte unter anderem deshalb so viel Aufsehen, weil die Fossilien so alt waren. Aber sie waren noch gar nichts im Vergleich zur Menge und Vielfalt der Lebensformen, die wenig später während der sogenannten Kambrischen Explosion entstanden. Die Epoche des Kambrium dauerte 54 Millionen Jahre – sie begann vor 542 und endete vor 488 Millionen Jahren. Für die Zeit vor rund 500 Millionen Jahren können wir erstmals ein vollständiges, deutliches Bild vom Leben auf der Erde zeichnen. Mit den ersten echten fossilen Funden hebt sich gewissermaßen der Theatervorhang und gibt eine Bühne frei, auf der sich eine große Zahl von Schauspielern bereits mitten im Drama befindet.

Fossilien sind für Wissenschaftler ein großartiges Hilfsmittel, wenn sie erfahren wollen, welche Lebewesen früher auf der Erde zu Hause waren. **Charles Doolittle Walcott** wurde 1850 in der Nähe von New York geboren. Als Junge fand er die Schule ziemlich langweilig. Es lag nicht daran, dass er sich für die Dinge nicht interessiert hätte, eher im Gegenteil. Er war so neugierig, dass er lieber hinausgehen und die Welt selbst erforschen wollte – insbesondere suchte er gern nach Mineralien, Steinen, Vogeleiern und Fossilien.

Bis 1909 hatte Walcott sich bereits als Fossilien Sammler einen Namen ge-

macht. Eines Tages veränderte ein seltsamer Zufall sein ganzes weiteres Leben. Er war gerade in einem hoch gelegenen Gebiet der kanadischen Rocky Mountains unterwegs, als sein Maultier ausrutschte und ein Hufeisen verlor. Dabei hatte sich ein glänzendes schwarzes Schieferstück umgedreht, ein Gestein, das aus zusammengepresstem Schlamm und Ton besteht. In der Regel ist Schiefer so dunkel, dass man Einzelheiten auf seiner Oberfläche nicht ohne weiteres erkennen kann, aber hier stand die Sonne zufällig gerade im richtigen Winkel, sodass sich eine Reihe seltsamer Umrisszeichnungen abzeichnete. Als Walcott stehen blieb und den Stein aufhob, erkannte er mehrere seltsame, abgeflachte, silbrige Fossilien. Es waren ausgezeichnet erhaltene Tiere aus dem Kambrium.

Wie sich herausstellte, war das Gebirge vor ungefähr 505 Millionen Jahren in sich zusammengebrochen und hatte dabei diese Tiere erschlagen. Sie wurden wie in einer Zeitkapsel begraben und blieben so der Nachwelt erhalten. Walcotts Entdeckung war einer der reichhaltigsten Fossilienfunde aller Zeiten. Die Fundstelle wird heute nach dem Mount Burgess, in dessen Nähe Walcott die Fossilien fand, als **Burgess-Schiefer** bezeichnet. Walcott selbst kehrte später noch häufig an die Stelle zurück, und seine Bücher über die Funde füllen ein ganzes Regalbrett. Insgesamt identifizierte er bis zu 140 verschiedene Arten früherer Lebewesen und vermittelte uns damit tiefe Einblicke in die Lebenswelt der Ozeane im Kambrium. Am Ende hatte er mehr als 60.000 Fossilien gesammelt. Es war ein wahrhaft bizarres Spektrum der unterschiedlichsten Lebewesen.

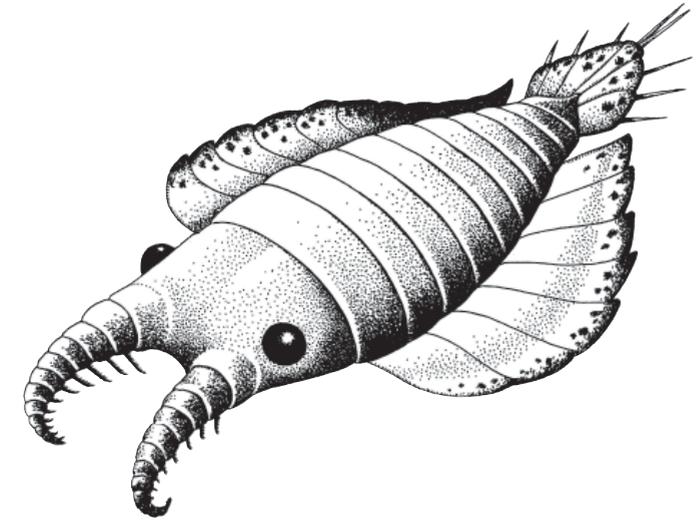
Eines davon ist der seltsam aussehende *Anomalocaris*. Er war im Meer

einer der größten Jäger seiner Zeit und konnte bis zu zwei Meter lang werden. Mit zwei Greifarmen fing er die zapfelnde Beute ein und hielt sie fest. Lange Zeit glaubte man, die Fossilien dieses ungewöhnlichen Lebewesens seien Teile dreier verschiedener Tiere. Der Körper wurde als Schwamm eingeordnet, die Greifarme als Krebse und der runde Mund als primitive Qualle.

Eine andere Art war die bemerkenswerte *Hallucigenia*. Dieses eigenartige, wurmförmliche Tier stellte Fossilienforscher und Wissenschaftler ebenfalls vor ein Rätsel. Zunächst waren alle überzeugt, es sei auf seinen stelenartigen Beinen gegangen und habe auf dem Rücken eine Reihe weicher Fangarme getragen, mit denen es vorüberkommende Nahrungsbrocken festhielt. Nachdem man aber in anderen Regionen der Erde (insbesondere in China) ähnliche Fossilien entdeckt hatte, setzte sich bei den Fachleuten die Vermutung durch, dass man das Tier auf den Kopf gestellt hatte. In Wirklichkeit ging es vermutlich auf paarweise angeordneten, tentakelähnlichen Beinen, und die Stacheln auf dem Rücken dienten ihm als eine Art Rüstung, mit der es sich vor dem Gefressenwerden schützte.

Aber auch ein Science-Fiction-Autor hätte sich in seinen wildesten Fantasien nicht ein Tier wie *Opabinia* ausmalen können. Dieses schwimmende Juwel hatte fünf gestielte Augen, einen fächerartigen Schwanz zur Fortbewegung und einen langen Greifarm zum Fressen. Mit seiner Länge von ungefähr vier Zentimetern war es kleiner als andere Raubtiere, und unter allen heute lebenden Arten gibt es keine, die ihm auch nur entfernt ähneln würde.

Zu den häufigsten Tieren jener Zeit, die auch unter den Fossilien aus dem



Fossilien des *Anomalocaris* wurden erstmals von Charles Walcott im Burgess-Schiefer entdeckt. Dieser ein Meter lange Meeresbewohner fing seine Beute mit zwei Greifarmen.

Burgess-Schiefer in der größten Zahl vertreten sind, gehörten die Trilobiten. Fossile Überreste dieser Gliederfüßer, die wie riesige Asseln aussehen, hat man auf der ganzen Welt gefunden. Sie hatten einen dicken, harten Außenpanzer, der sich ideal für die Fossilbildung eignete. Trilobiten waren vermutlich auch die ersten Lebewesen, die sehen konnten. Ihre Augen ähnelten denen der heutigen Fliegen: Sie bestanden aus Hunderten von Einzelementen, die ihnen eine Art Mosaikbild von der Unterwasserwelt vermittelten.

Wenn man sich ein realistisches Bild davon machen will, wie die Entwicklung des Lebens auf der Erde verlaufen ist, muss man die Zeiträume kennen, in denen die einzelnen Arten lebten und ausstarben. Nur so lassen sie sich in einer chronologischen Reihe anordnen. Dass wir heute wissen, wie man das macht, ist vor allem der genialen Leistung eines Mannes zu verdanken. **Charles Darwin** (1809–1882) formulierte als Erster die Vorstellung, dass alle Lebewesen sich nach einer auch heute noch gültigen Gesetzmäßigkeit entwickelt haben.

In seinem 1859 erschienenen Werk **DIE ENTSTEHUNG DER ARTEN** erläuterte

Darwin zum ersten Mal seine Theorie, wonach alle Lebewesen ursprünglich aus einem einzigen gemeinsamen Vorfahren hervorgegangen sind. Dieses Lebewesen, das in der heutigen Wissenschaft als **LUCA** (Last Common Ancestor, letzter gemeinsamer Vorfahre) bezeichnet wird, lebte nach heutiger Kenntnis vor rund 3,5 Milliarden Jahren. Seither hat sich das Lebendige zu einer riesigen Zahl und Vielfalt verschiedener Typen und Arten auseinanderentwickelt. Darwin konnte diesen Schluss ziehen, weil die Fossilienfunde zeigen, wie neue Lebewesen entstanden sind, während andere verschwanden. Demnach waren alle Lebewesen miteinander verwandt, aber nur diejenigen Arten, die am besten an die Umwelt ihrer Zeit angepasst waren, überlebten. Mit seiner Theorie versetzte Darwin die Wissenschaftler zum ersten Mal in die Lage, Fossilien in Gruppen einzuteilen und schließlich in einer ungefähren chronologischen Reihenfolge anzuordnen.

Insgesamt führte Darwins Theorie zu dem unvermeidlichen Schluss, dass auch der Mensch von einfacheren Lebensformen wie den Menschenaffen abstammen muss, und davor von Mäusen,



langen Zeiträumen auf irgendeine Weise aus dem Wasser erhoben haben musste. Auf den Galapagosinseln weit draußen vor der südamerikanischen Pazifikküste fiel ihm auf, dass es auf jeder Insel des Archipels eine eigene Finkenart gab. Außerdem fand er verschiedene Arten von Riesenschildkröten, an denen von einer Insel zur anderen ebenfalls geringfügige Unterschiede zu erkennen waren. So kam er zu dem Schluss, dass alle diese Tiere ganz offensichtlich von einem einzigen Vorfahren abstammten, sich aber jeweils an die unterschiedlichen Umweltverhältnisse der einzelnen Inseln angepasst hatten.

Trilobiten hatten ein hartes Gehäuse, das leicht zum Fossil werden konnte. Deshalb wissen wir genau über diese ausgestorbenen Tiere Bescheid, die einst die Vettern der heutigen Gliederfüßer (Krebse, Insekten und Spinnen) waren.

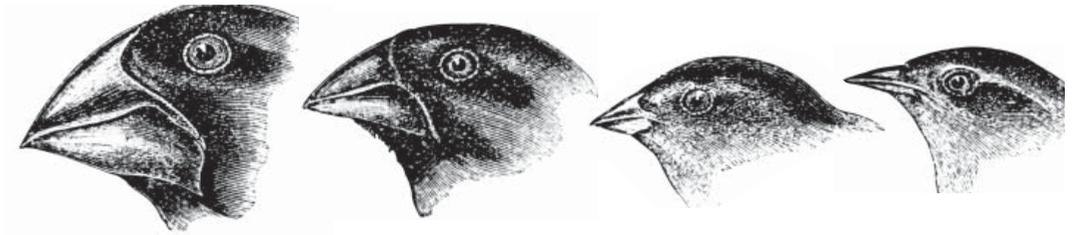
Reptilien, Fischen und letztlich von den Bakterien, mit denen das Leben auf der Erde begann. Und wie fand Darwin das heraus? Die Antwort: Er untersuchte Fossilien. Viele Fossilien.

Charles Darwin war ein wissenschaftliches Superhirn. Als junger Mann ging er auf eine abenteuerliche Weltreise, um nach den Ursprüngen des Lebens zu suchen. Im Jahr 1831 stach er mit der *HMS Beagle* in See, einem kleinen Vermessungsschiff der britischen Marine, dessen Kapitän Robert FitzRoy die ersten Landkarten der südamerikanischen Küste zeichnen sollte. Darwin fuhr als Gesellschafter des Kapitäns mit. Er sammelte auf der fünfjährigen Reise Tausende von Fossilien, litt entsetzlich unter der Seekrankheit und erlebte in Chile ein Erdbeben mit.

Zu seinen Beobachtungen machte sich Darwin stets umfangreiche, detaillierte Notizen. Als er an Land riesige, hoch über dem Meer gelegene, gestufte Ebenen voller Muschelschalen sah, wurde ihm klar, dass sich dieses Land in

Den Schlüssel für Darwins Erkenntnis über die **Evolution** lieferten Fossilien von heute ausgestorbenen Arten. Als Darwin sie untersuchte und mit heutigen Lebewesen verglich, erkannte er, dass alle Arten sich nach einem Prinzip, das er als »natürliche Selektion« bezeichnete, an ihre Umwelt angepasst hatten. Im Laufe vieler Generationen hatten diejenigen Organismen überlebt, die sich am besten auf ihre Umwelt einstellen konnten, sie hatten die Vorherrschaft gewonnen; andere, die sich weniger gut für die jeweiligen Verhältnisse eigneten, waren ausgestorben.

Über die Folgerungen, die sich aus Darwins Theorie ergaben, waren viele Menschen empört. Die Vorstellung, dass die Menschen von Tieren – genauer: von Affen – abstammen, war eine Bedrohung für die allgemein verbreitete Ansicht, Menschen seien etwas Besonderes und allen anderen Lebewesen überlegen. Ebenso wenig nachvollziehbar erschien vielen der Gedanke, Menschen seien nur eine natürliche Spezies wie alle anderen und müssten wie diese eines Tages aussterben.



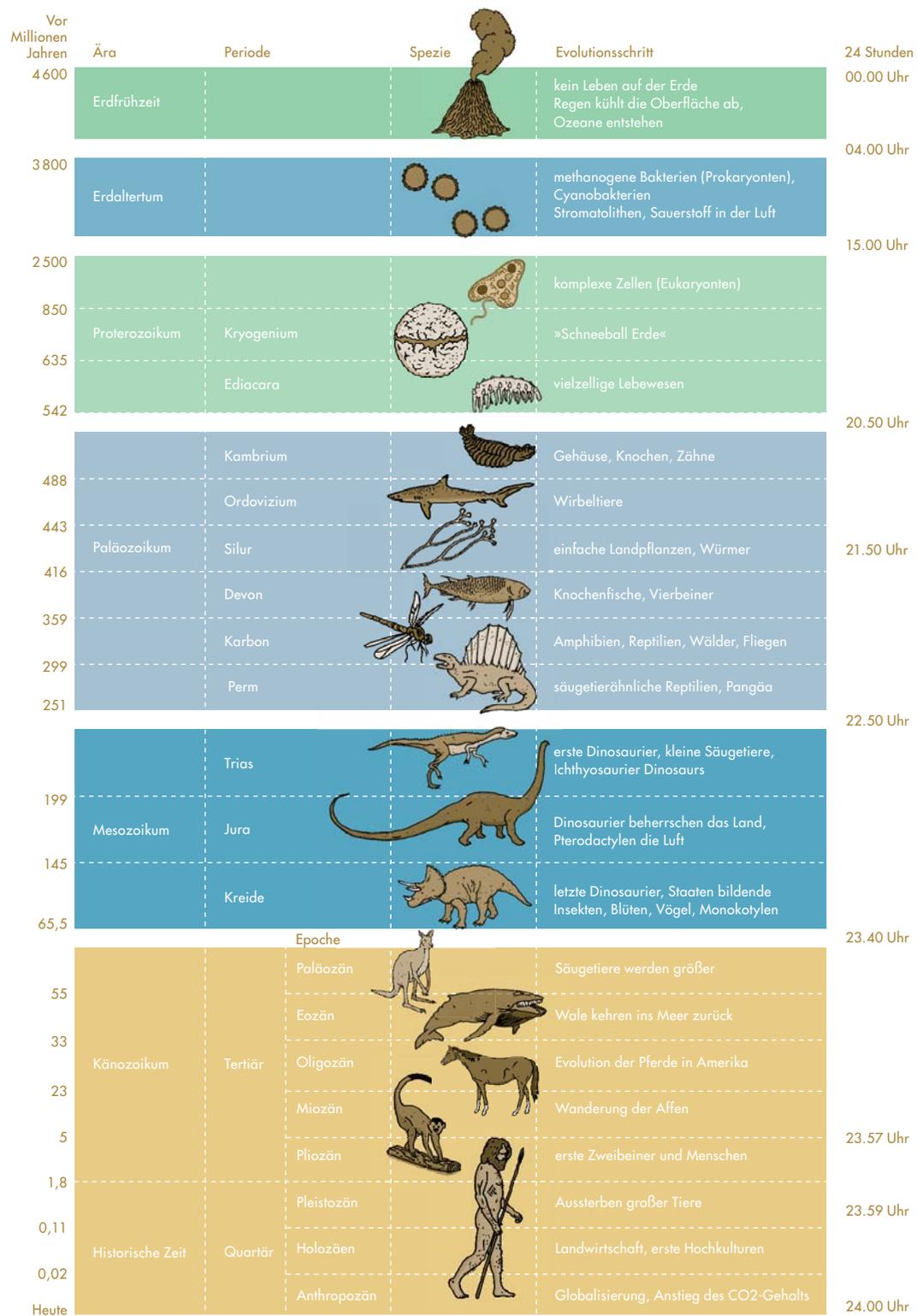
Auf seiner fünfjährigen Reise erlebte Darwin hautnah menschliche Gräueltaten: Er sah, unter welchen entsetzlichen Bedingungen die Sklaven in Südamerika lebten und wie brutal die europäischen Siedler in Australien und Neuseeland mit den Ureinwohnern umgingen (siehe Seite 452). Nicht zuletzt solche Erfahrungen trugen dazu bei, dass er in den Fossilien im Gestein einen Sinn erkennen konnte. Dass der Mensch von Tieren abstammt, stand für ihn außer Zweifel. In einem seiner wichtigsten Bücher, dem 1871 erschienenen Werk *DIE ABSTAMMUNG DES MENSCHEN*, gelangte Darwin zu dem Schluss, der Mensch trage »mit allen diesen hohen Kräften doch noch in seinem Körper den unauslöschlichen Stempel eines niederen Ursprungs«.

Damals wie heute glaubten viele religiöse Menschen, der Mensch unterscheide sich vom Tier, weil er eine Seele besäße. Und nun behauptete Darwin, die Menschen stammten von Tieren ab – sprach er damit den Menschen ihre Seele ab? Wenn der Mensch keine Seele hat, wie kann er dann erlöst werden? Manche glaubten, Darwin wolle sich mit seinen Theorien über die christliche Religion lustig machen. Ihm selbst jedoch bereitete die Frage, wie seine Theorie aufgenommen werden würde, so viele Sorgen, dass er ihre Veröffentlichung fast dreißig Jahre hinauszögerte.

Heute kennt man in der Wissenschaft leistungsfähige neue Methoden, um das Alter von Gestein und Fossilien zu ermitteln. Damit konnte man Darwins Theorie über die Evolution der Lebewesen bestätigen. Wie man mittlerweile weiß, stellen manche chemische Elemente – darunter Uran, Kalium und eine Form des Kohlenstoffs, die als Kohlenstoff-14 bezeichnet wird – natürliche Uhren dar. Diese Elemente verwandeln sich im Laufe der Zeit durch radioaktiven Zerfall in etwas anderes. Wenn man weiß, wie schnell dieser Zerfall abläuft, kann man mithilfe der Elemente das Gestein datieren, in dem sie sich befinden. Mit solchen Verfahren lässt sich genau nachzeichnen, wie sich das Leben auf der Erde seit der »**Kambrischen Explosion**« vor etwa 530 Millionen Jahren verändert hat. Außerdem stellten die Wissenschaftler eine »geologische Zeittafel« auf, die sich in verschiedene Zeitalter gliedert.

Der Burgess-Schiefer und die ältesten Fossilien gehören in die Ära des Paläozoikum (griechisch für »altes Leben«), als sich die ersten Tiere mit einem Gehäuse entwickelten. Die Zeitalter unterteilt man jeweils in mehrere Perioden. Das Paläozoikum begann vor etwa 542 Millionen Jahren mit dem Kambrium und endete 291 Millionen Jahre später mit dem Perm. Es war, wie wir bald noch genauer erfahren werden, ein äußerst dramatisches Finale.

Finken, gezeichnet von Charles Darwin auf seiner Weltreise. Nach seiner Theorie entstanden die geringfügigen Unterschiede der Schnabelform, weil die Vögel auf verschiedenen Inseln lebten und sich unterschiedlich ernährten. Er gelangte zu dem Erkenntnis, dass diese Vögel alle von einem gemeinsamen Vorfahren abstammten.



KAPITEL 5

WUNDERWELT DER VORZEITLICHEN MEERE

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

Wenn wir eine Vorstellung davon gewinnen wollen, wie das Leben vor einigen Hundert Millionen Jahren aussah, begeben wir uns in unserer Fantasie am besten einmal zum Meeresboden. Auf unserem Weg schwimmen wir dann an ein paar prähistorischen Fischen vorbei, und schließlich gehen wir an Land, wo wir durch die urtümlichen Wälder der Erde streifen. Dabei halten wir die Augen nach den ersten Kriechern und Krabblern offen. Als Nächstes beobachten wir, wie vierbeinige Tiere aus dem Meer an Land gehen und dort die Herrschaft übernehmen. Am Ende stehen die Herrschaft der Dinosaurier und ein katastrophales Ereignis, das sie vor 65,5 Millionen Jahren auslöschte.

Auf unserem Weg werden wir auch herausfinden, woher wir Menschen – der Homo sapiens, um den wissenschaft-

lich korrekten Namen zu verwenden – eigentlich stammen. Darwin entdeckte, dass alle Lebewesen gemeinsame Vorfahren haben. Welche Lebewesen waren unsere prähistorischen Verwandten? Wer waren vor 200 Millionen Generationen unsere Ururur...großeltern?

Aber bevor wir die Reise beginnen, noch ein kurzes Wort zu der Frage, wie Wissenschaftler der besseren Übersicht halber die Lebewesen einteilen. Sich darauf zu einigen, welche Lebewesen in welche Kategorie gehören, ist bis heute eine der schwierigsten Aufgaben in der Wissenschaft.

Carl von Linné (1707–1778) machte es zu seiner Lebensaufgabe, ein schlüssiges System zu entwickeln, mit dem sich die Lebewesen in verschiedenen Familien oder Gruppen einteilen ließen. In den Dreißiger- und Vierzigerjahren des

18. Jahrhunderts reiste Linné quer durch seine schwedische Heimat, um die Natur zu studieren. Dabei entwickelte er ein System, mit dem sich alle lebenden Bestandteile der Natur klassifizieren ließen.

Das Ergebnis seiner Arbeit veröffentlichte Linné in einem Buch mit dem Titel *SYSTEMA NATURAE*, das 1735 erschien. Bis 1758 hatte er 4400 Tierarten und mehr als 7700 Pflanzenarten klassifiziert. Sein System ähnelt einem Baum: Von wenigen großen Stämmen ragen Zweige in Hunderte von verschiedenen Richtungen. Die Hauptstämme bezeichnete Linné als Reiche, von ihnen gab es drei: Tiere, Pflanzen und Mineralien. Diese großen Gruppen unterteilte er dann in verschiedene kleinere Kategorien bis hin zur einzelnen Art – diese

wurde später als Familie von Lebewesen definiert, die sich untereinander kreuzen und fruchtbare Nachkommen hervorbringen können.

Das einzige Kriterium, nach dem Linné die Lebewesen in seine Gruppen einordnen konnte, war das äußere Erscheinungsbild. Seine Einteilung der Menschen hört sich heute geradezu rassistisch an. Der *Homo americanus*, so schrieb er, sei »rötlich, widerspenstig und leicht zu verärgern«; den *Homo africanus* beschrieb er als »schwarz, lässig und gleichgültig«, der *Homo asiaticus* war in seinen Augen »blass, habgierig und leicht abzulenken«, den *Homo europaeus* dagegen hielt er für »weiß, sanftmütig und erfindungsreich ...«.¹

Solche Unterteilungen und Zuschreibungen, die unter dem Begriff »wissen-



Der Umschlag eines frühen, 1729 entstandenen Manuskripts des schwedischen Naturforschers Carl von Linné. Er teilte Tausende von Tieren und Pflanzen in verschiedene Reiche, Familien und Arten ein.

schaftlicher Rassismus« bekannt sind, hielten sich bis ins 20. Jahrhundert hinein (mehr über den wissenschaftlichen Rassismus auf Seite 452).

Linnés **biologische Systematik** wurde insbesondere vor dem Hintergrund der Evolutionstheorie, die Charles Darwin achtzig Jahre nach Linnés Tod veröffentlichte, in weiten Teilen umgearbeitet. Heute ordnet man die Lebewesen nicht nur anhand ihres sichtbaren Äußeren ein, sondern auch in der Reihenfolge, in der nach heutiger Kenntnis eine Art während der Evolution aus der anderen hervorgegangen ist. Dabei berücksichtigt man auch den inneren Aufbau der Lebewesen sowie die in ihren Genen gespeicherten Erbinformationen.

Unsere heutigen Kenntnisse über die Evolution führten dazu, dass dem System eine neue Ebene hinzugefügt wurde, die der **Stämme**. Das gesamte Tierreich gliedert sich in 35 Stämme, die meisten Arten gehören allerdings zu nur neun dieser großen Gruppen. In den Meeren der Vorzeit entwickelten sich unter anderem folgende wichtige Stämme:

Schwämme

Die Schwämme gehörten zu den einfachsten Tieren, die in den Meeren des frühen Kambriums zu Hause waren. Auch heute kommen sie noch in vielen verschiedenen Formen vor – bisher hat man rund 5000 Arten entdeckt. Sie heften sich am Meeresboden an steinigen Oberflächen fest. Dass wir uns mit Schwämmen waschen, liegt an den vielen Löchern in ihrem Körper, mit denen sie Wasser aufnehmen können. Lebende Schwämme treiben mit winzigen Haaren, die man Flagellen nennt, das Meerwasser durch diese Löcher und entziehen ihm mikroskopisch kleine Nährstoffteilchen.

Lange hielt man die Schwämme für Pflanzen, weil sie am Meeresboden festgewurzelt sind und sich offensichtlich nicht bewegen. In Wirklichkeit aber sind sie entfernte Verwandte der Menschen. Mit einem Schwamm sind wir viel enger verwandt als beispielsweise mit einem Löwenzahn. Fossilien von Schwämmen kennt man aus verschiedenen Zeiträumen bis hin zu den Anfängen des Kambriums. Eine berühmte Stelle, an der man sie finden kann, sind die »Sponge Gravel« in Farringdon in der englischen Grafschaft Oxfordshire.

Korallen

Von Korallenriffen hat fast jeder schon einmal gehört, aber viele Menschen wissen vermutlich nicht, dass diese riesigen Bauwerke im Laufe Hunderttausender von Jahren von winzigen Tieren errichtet wurden, die ihr Haus jeweils auf den toten Skeletten ihrer Vorfahren errichtet haben.

Wenn die Korallentiere abgestorben sind, türmen sich ihre Kalkskelette unter Wasser zu riesigen Gebirgen auf, die ein ideales Umfeld für zukünftige Korallengenerationen und andere Meereslebewesen darstellen. Nach heutiger Kenntnis sind bis zu 30 Prozent aller biologischen Arten, die in den Ozeanen der Welt leben, im weitläufigsten aller Korallenriffe zu Hause, dem Großen Barriereriff vor der Nordostküste Australiens. Dieses gewaltige Gebilde, das aus über 1000 Inseln besteht, erstreckt sich über mehr als 1600 Kilometer.

Die Meere des Kambriums waren voller Korallenriffe, in denen es wie heute am Großen Barriereriff von Lebewesen wimmelte. Riffe bieten Meerestieren ein ausgezeichnetes Umfeld, weil es dort unzählige Ritzen und Winkel

gibt. Höhlen und Felsspalten eignen sich hervorragend zum Ablegen von Eiern, als Versteck vor natürlichen Feinden oder einfach zum Ausruhen. Die Korallentiere brauchen Sonnenlicht zum Leben. Mit jeder Generation, die abstirbt, wird das Unterwassergebirge größer, sodass die Oberseite des Riffs nie weit von der sonnenbeschiedenen Wasseroberfläche entfernt ist. Viele Riffe sind auch durch die Oberfläche gestoßen und zu beliebten Touristenzielen geworden, wie die Inselgruppen der Seychellen oder Malediven im Indischen Ozean. Heute sind sie allerdings durch die globale Erwärmung und den zunehmenden Säuregehalt der Ozeane gefährdet (siehe Seite 492).

Korallenriffe stellen eine Umwelt dar, die offensichtlich ein erstaunlich starkes Vertrauen zwischen verschiedenen biologischen Arten begünstigt. Häufig kann man zum Beispiel beobachten, wie kleinere Fische ihre größeren Vettern säubern und dabei sogar in ihr Maul eindringen, um ihnen die Zähne zu putzen. Ganze Schwärme solcher kleinen Fische betreiben regelrechte »Waschstationen«, die von größeren Fischen aufgesucht werden, wenn sie sich ausruhen und entspannen wollen. Auch die Korallen in den Meeren des Kambriums waren vermutlich ein Musterbeispiel für natürliche Kooperation und Gemeinschaftssinn.

Quallen

Quallen gehören zur gleichen Gruppe wie die Korallentiere, sind aber bei weitem nicht so angenehm. Der ganze Tierstamm wird als Nesseltiere oder Cnidaria bezeichnet. Wie die Schwämme sind sie einfach gebaut, allerdings können sie durch Pumpbewegungen ihres glockenförmigen Kopfes schwimmen. Quallen haben ein sehr einfaches Nervensystem,

keine Sinnesorgane und nur eine einzige Körperöffnung, die Mund und After zugleich ist. Sie waren in den Meeren des Kambriums weit verbreitet, und manche von ihnen konnten auf eine Weise zuschnappen, die eines Löwen würdig gewesen wäre.

Die Würfelqualle, die heute vor der australischen Küste zu Hause ist, gehört zu den giftigsten Lebewesen der Erde. An ihren Tentakeln trägt sie eine Sammlung tödlicher Harpunen. In jedem dieser Organe befindet sich ein aufgewickelter Schlauch, der bei der geringsten Berührung wie ein Pfeil in den Körper des Opfers geschossen wird und ihm ein lähmendes Gift injiziert. Und das ansehnliche, schwer bewaffnete Tier produziert auch ständig neue Harpunen nach.²

Quallen gehen im Rudel auf die Jagd. In den Meeren des Kambriums hätte man große Quallenschwärme beobachten können, die nachts an die Oberfläche kamen und Grünalgen fraßen. Tagsüber suchten sie größere Tiefen auf, wo sie nicht von Tintenfischen und anderen Tieren gefressen wurden. Diese Lebewesen sind mit uns Menschen bereits enger verwandt als die Schwämme, denn sie gehörten zu den ersten Organismen, die Gewebe aus unterschiedlichen Zellen besaßen. Aus den Geweben entwickelten sich im weiteren Verlauf spezialisierte Organe und Körperteile wie Herz und Lunge.

Ammoniten

Diese Tiere sind schon seit Jahrmillionen ausgestorben, aber jeder Fossilien-sammler kennt sie. Sie verschwanden zusammen mit vielen anderen Arten ungefähr zur gleichen Zeit wie die Dinosaurier, das heißt vor 65,5 Millionen Jahren (siehe Seite 75). Ihre charakteris-

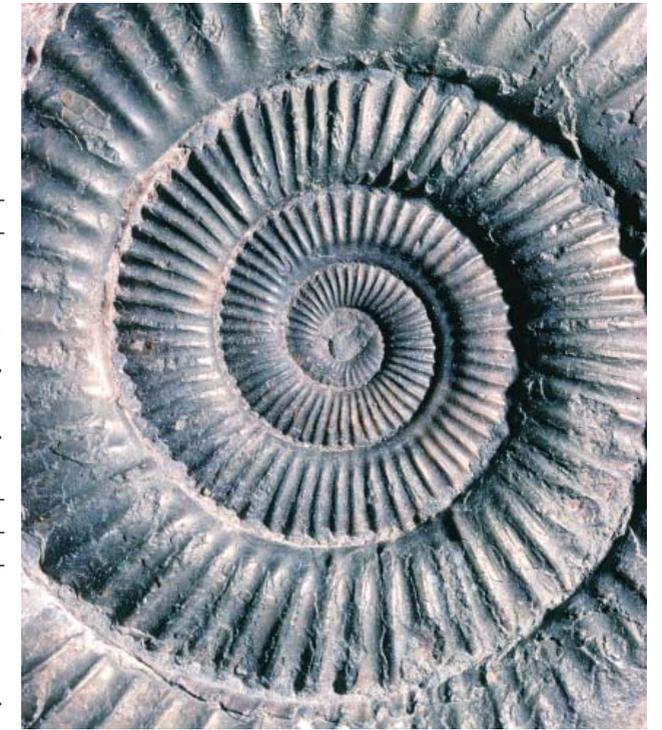
tischen, spiralförmigen Fossilien findet man an vielen Stellen. Sie sehen zwar auf den ersten Blick wie Schnecken aus, ihre engsten Verwandten sind aber die Kopffüßer, jene Gruppe, zu der auch die heutigen Tintenfische gehören.

Die ersten Ammoniten erschienen vor rund 400 Millionen Jahren, in der Epoche des Devon, auf der Bildfläche. Das eigentliche Tier lebte in der letzten und größten Kammer seines Gehäuses. Die harte Schale war ein idealer Schutz gegen die scharfen Zähne von Raubtieren. Man hat Ammonitenfossilien gefunden, an denen Zahnsuren zu erkennen sind, Andenken an unangenehme Angriffe.

Ammoniten konnten sich über lange Zeiträume in ihrem Gehäuse verkriechen. Wenn sie angegriffen wurden, verschlossen sie die Öffnung, als würden sie eine Tür verschließen. Außerdem konnten sie recht groß werden. Ein in Südengland gefundenes Fossil weist einen Durchmesser von mehr als 60 Zentimetern auf, ein anderes aus Deutschland misst sogar fast zwei Meter. Die Gehäuse geben außerordentlich gute Fossilien ab und sind bei Sammlern schon seit Jahrhunderten beliebt.

Seescheiden

Diese Tiere sehen wie große, am Meeresboden verankerte Säcke aus. Sie nehmen Tag für Tag ein großes Wasservolumen in sich auf, filtern die Nahrung heraus und entlassen das Wasser wieder ins Meer. Auf den ersten Blick scheinen sie Schwämmen zu ähneln, in Wirklichkeit sind sie aber wesentlich komplizierter aufgebaut. Seescheiden waren nicht nur am Boden der prähistorischen Meere ein vertrauter Anblick, sondern ihre Evolution war auch von großer Bedeutung



für alle Lebewesen, die sich in späteren Zeiten auf der Erde entwickelten – einschließlich des Menschen.

Die Jungen der Seescheiden schwimmen umher wie Kaulquappen. Zur Fortbewegung dient ihnen ein spezialisierter Schwanz, der durch das Notochord verstärkt wird, ein sehr einfach gebautes Rückgrat. Bei den Nachkommen der Seescheiden hat sich das Notochord zu Wirbeln weiterentwickelt, jenen Knochen, die unsere Wirbelsäule bilden. Sämtliche Tiere, die ein solches Rückgrat oder eine Wirbelsäule besitzen, bilden die Gruppe der Chordatiere – zu ihnen gehören alle Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere. Junge Seescheiden sind die einfachsten Chordatiere aller Zeiten und stellen deshalb die ersten Urahnen der Menschen dar.

Unsere intelligentesten Vorfahren sind sie allerdings nicht. Sobald eine schwimmende Seescheide einen harten, steinigen Untergrund findet, heftet

Ammoniten waren Meeresbewohner mit schneckenähnlichem Gehäuse. Sie zählen zu den Verwandten der heutigen Tintenfische. Vor 65,5 Millionen Jahren, zur gleichen Zeit wie die Dinosaurier, starben sie aus.

sie sich daran fest und frisst dann alle Körperteile, die sie zum Schwimmen gebraucht hat, auf – sie werden jetzt nicht mehr benötigt. Dazu gehört auch der kostbare Nervenstrang, der sich bei anderen Arten zu Wirbelsäule und Gehirn weiterentwickelt hat.

Lanzettfischchen

Die ersten Fische waren nicht sehr groß, aber sie sind sehr alt. Ein Tier, das den heutigen Lanzettfischchen ähnelte, entwickelte sich bereits vor rund 560 Millionen Jahren. Es entstand offenbar durch einige Kopierfehler aus jungen Seescheiden, die sich vielleicht nicht mehr richtig am Meeresboden festheften konnten.

Auch das Lanzettfischchen – das allerdings nicht zu den Fischen gezählt wird – ist einer unserer entfernten Verwandten, denn es hat wie wir einen stützenden Strang, der längs durch den Körper verläuft. Aber damit sind die Ähnlichkeiten auch schon ziemlich zu Ende. Im Gegensatz zu uns kann man es noch nicht als echtes Wirbeltier bezeichnen, denn der Stützstrang war nicht von Knochen umgeben. Das Lanzettfischchen besitzt kein Gehirn, es trägt an den Körperseiten jedoch kleine Kiemen, durch die Meerwasser ein- und auströmt. Mit ihrer Hilfe filtert es kleine Nahrungsteilchen aus dem Wasser. Vor natürlichen Feinden schützen sich die Lanzettfischchen, indem sie sich am Meeresboden im Sand eingraben.

Plattenhäuter

Zu den furchterregendsten Tieren der vorzeitlichen Meere gehörten die heute ausgestorbenen Plattenhäuter oder Panzerfische. Sie gehörten zu den ersten Fischen, die Kiefer und Zähne besaßen, Körperteile, die vermutlich durch An-

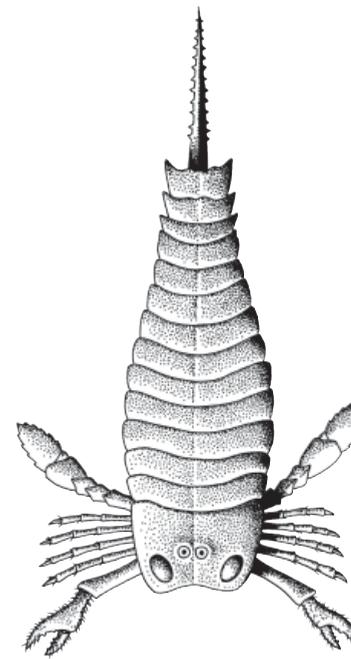
passung aus Kiemen entstanden waren. Wie neuere Forschungsarbeiten zeigen, verfügten manche Arten von Plattenhäutern über die größte Beißkraft, die jemals ein Tier besaß. Ihre Zähne konnten einen Hai mit einem einzigen Biss zerteilen.³ Manche Plattenhäuter wurden bis zu zehn Meter lang und wogen über vier Tonnen. Sie waren wie Panzer gebaut: Kopf und Hals waren durch schwere, gegliederte Panzerplatten geschützt und den Körper bedeckten dicke Schuppen. Selbst die Flossen waren in gepanzerten Röhren eingeschlossen.

Die Plattenhäuter bildeten eine der ersten Gruppen echter Wirbeltiere. Ihr Rückenmark war wie bei uns durch eine Reihe von Knochensegmenten geschützt. So hässlich sie auch waren, sie waren unsere Vettern. Im späten Devon, bei einem der großen Massenaussterben der Erdgeschichte, verschwanden sie (siehe Seite 66).

Seeskorpione

Die Plattenhäuter und andere Fische hatten einen guten Grund, sich mit einem derart hoch entwickelten Panzer zu schützen. Die heute ebenfalls ausgestorbenen Seeskorpione (mit wissenschaftlichem Namen Eurypteriden genannt) waren respektable Gegner. Sie besaßen einen langen, mit einem Stachel versehenen Schwanz, mit dem sie ihrer Beute einen tödlichen, giftigen Stich versetzen konnten. Manche Seeskorpione wurden über zwei Meter lang und gehörten damit zu den größten Gliederfüßern aller Zeiten.

Die Gliederfüßer bilden einen eigenen Tierstamm, zu dem auch die asselähnlichen Trilobiten gehören. Dieser Stamm ist der größte von allen: Er umfasst sämtliche Insekten, Spinnen und



Krebstiere. Mehr als 80 Prozent aller heutigen Tierarten sind Gliederfüßer. Man findet sie tatsächlich überall – im Meer, an Land und in der Luft. Gliederfüßer haben einen segmentierten Körper und schützen sich mit einem harten Außenskelett.

Die Seeskorpione verschwanden zusammen mit vielen anderen Arten vor 252 Millionen Jahren von der Bildfläche, im Massenaussterben am Ende des Perm (siehe Seite 66). Bisher hat man über 200 Fossilien dieser furchteinflößenden Tiere entdeckt. Kürzlich fand man vor der schottischen Küste fossile Fußspuren, die von einem 1,60 Meter langen Seeskorpion stammen.⁴

Hechte

Die Vorfahren der heutigen Hechte entwickelten in den Meeren der Vorzeit zwei bemerkenswerte Eigenschaften, die entscheidend zu ihrem Erfolg beitrugen und die auch von anderen Tieren übernommen wurden. Erstens lernten sie, sich bei der Jagd zu tarnen. Sie gingen weniger mit Schnelligkeit und brutaler

Gewalt zu Werke, sondern schwammen ganz leise hinter ihrer Beute her und blieben im Wasser völlig bewegungslos, um dann plötzlich zuzuschlagen; auf diese Weise hatte ihr überraschtes Opfer kaum noch eine Chance zu entkommen.

Dass die Hechte dazu in der Lage waren, hatte einen besonderen Grund: Anders als beispielsweise die Haie, die ständig schwimmen müssen, um nicht in die Tiefe zu sinken, können die Hechte völlig unbeweglich im Wasser schweben. Zu diesem Zweck nutzen sie eine luftgefüllte Schwimmblase. Das war die zweite Besonderheit. Wenn der Fisch nach unten sinken will, nimmt sein Blut einen Teil der Luft aus der Blase auf, will er dagegen steigen, wird umgekehrt wieder Luft in die Schwimmblase abgegeben. Deshalb können sich solche Fische im Meer immer in der gleichen Tiefe halten, ohne sich bewegen zu müssen. Das Ganze ähnelt ein wenig der Funktionsweise eines U-Boots – wie ja letztlich viele Erfindungen der Menschen Phänomene nachempfunden sind, die es in der Natur bereits gibt.

Die Schwimmblase hat noch eine weitere Funktion, die ebenfalls die Vorfahren der heutigen Hechte entwickelten: Mit ihrer Hilfe können die Fische hören, was in ihrer Umgebung los ist. Hechte und andere mit ihnen verwandte Fische, die zur Gruppe der Eigentlichen Knochenfische oder Teleostei gehören, waren die ersten Tiere, die hören konnten. Die Schallwellen, die durch das Wasser wandern und auf die Schwimmblase treffen, versetzen die Luft in der Schwimmblase in Schwingung. Winzige Knochen, die stark denen in unseren eigenen Ohren ähneln, senden diese Schwingungen zum Gehirn, das sie dann als Geräusche interpretiert.

Seeskorpione (Eurypteriden) konnten über zwei Meter lang werden und gehörten mit ihrem Giftstachel am Schwanz zu den gefährlichsten Bewohnern der prähistorischen Meere.

Lungenfische

Stellen wir uns einmal einen mittelgroßen Fisch vor, der im gewalttätigen, gefährlichen Umfeld der prähistorischen Meere ums Überleben kämpft. Wie schön wäre es für ihn, wenn er den Ozean einfach verlassen und an Land gehen könnte, um dort ein völlig neues Leben zu beginnen. Zu den ersten Tieren, die eine Art »Notausstieg« aus den prähistorischen Meeren fanden, gehörten die Vorfahren der heutigen Lungenfische: Ihre Kiemen entwickelten sich zu primitiven Atmungsorganen weiter. Heute gibt es auf der Welt nur sechs Arten von Lungenfischen, aber eine Form, die eng mit ihnen verwandt war, entwickelte sich bereits in den Ozeanen vor rund 417 Millionen Jahren.

Entdeckt wurden die Lungenfische erst 1879 vor der Küste des australischen Bundesstaates Queensland. In der Nähe der Stelle, an der sie auftauchten, fand man auch rund 200 Millionen Jahre alte Fossilien ihrer Vorfahren. Diese Fische sahen fast genauso aus wie ihre modernen

Vettern, weshalb viele Wissenschaftler die Lungenfische als »lebende Fossilien« bezeichnen – solche Tiere gleichen fast vollständig ihren vorzeitlichen Urahnen.

Lungenfische erinnern an kräftige, lange Aale. Sie vergraben sich im Schlamm und überleben mit ihrer Lunge auch Trockenzeiten. (Einen solchen Vorgang nennt man Übersommerung – die Tiere ruhen nicht wie bei der Überwinterung in der kalten Jahreszeit, sondern wenn es heiß ist.) Sie lebten früher in Flussmündungsgebieten und lernten dort, durch das Atmen von Luft auch jene Perioden zu überstehen, in denen die Flüsse ausgetrocknet waren. Mit weiteren Eigenschaften konnten sie schließlich das Land erobern – sie besaßen irgendwann gut entwickelte, kräftige Flossen, mit denen sie über harte, trockene Oberflächen »gehen« konnten. Solche Hilfsmittel schufen die Voraussetzungen für das Überleben in einem völlig anderen Umfeld.

Und damit ist es an der Zeit, dass wir uns an Land umsehen.



Der Süd-amerikanische Lungenfisch ist eine von nur sechs Lungenfischarten, die man heute kennt. Bei seinen Vorfahren war im Lauf der Evolution eine Lunge entstanden, mit der sie Luft atmen konnten. Diese Anpassung führte schließlich zu den ersten landlebenden Wirbeltieren, den Amphibien und Reptilien.

FREUNDE DER ERDE

WIE SICH AUS DEN LANDPFLANZEN HOHE BÄUME ENTWICKELTEN, WÄHREND DER BODEN VON EINER NÄHRSTOFFREICHEN SCHICHT ÜBERZOGEN WAR, DIE VON INSEKTEN, WÜRMERN UND PILZEN GESPEIST WURDE

Viele Millionen Jahre lang fiel ein starker Regen auf die öden Landflächen der Erde und verwandelte den Untergrund in leblosen Schlamm. Dass der Regen zu jener Zeit sauer war, lag an dem hohen Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre; er verstärkte die Erosion und Verwitterung des Gesteins. Die ersten Pflanzen waren glitschige Lebewesen, die wie kleine Seetangranken und grüne Moose aussahen. Es waren Nachkommen der ersten Sauerstoff produzierenden Cyanobakterien aus den Stromatolithen, und sie hefteten sich an Stränden sowie am Ufer von Flüssen und Bächen fest.

Bis aus diesen kleinen, vom Wasser durchweichten Moosklumpen die riesigen, eleganten Bäume wurden, die Tausende von Kilometern vom Meer entfernt überleben konnten, musste die Natur einige technische Herausforderungen bewältigen.

Machen wir uns einmal klar, wie schwierig die Konstruktion eines groß gewachsenen Baumes ist. Zunächst einmal muss er aufrecht stehen bleiben. Ein 40 Meter hoher Baum sollte im Idealfall auch einen Sturm der Stärke 10 überstehen, ohne umzufallen. Außerdem muss er ununterbrochen mit Wasser und Nährstoffen versorgt werden. Die Teile, die der Nährstoffproduktion dienen – die Blätter der Baumkronen –, müssen sich so weit wie möglich der Sonne entgegenstrecken; in einem dichten, dunklen Wald bedeutet das, dass der Baum groß genug sein muss, damit seine Nachbarn ihm nicht das Licht wegnehmen. Für einen solchen großen Baum jedoch ist die Wasserquelle im Boden schon ziemlich weit entfernt. Und wenn dazu auch noch zukünftige Generationen der Baumnachkommen gedeihen sollen, muss er in der Lage sein, sich erfolgreich fortzupflanzen. Dazu

wiedermum reicht es nicht aus, einfach Samen auf den Boden fallen zu lassen, denn junge Bäume gedeihen nicht, wenn sie mit ihren Eltern um Sonne, Nährstoffe und Wasser konkurrieren müssen. Die Samen müssen in einem größeren Umkreis verbreitet werden. Wie ist das möglich, wo Bäume doch weder gehen noch schwimmen können (abgesehen von einer Ausnahme, siehe Seite 83)?

Einem Baum das Überleben zu sichern ist also nicht ganz einfach. Das ist wahrscheinlich auch der Grund, warum die ersten Pflanzen – **Moose, Lebermoose** und **Hornmoose** (die ganze Gruppe wird als Bryophyten bezeichnet) – genau dort blieben, wo sie sich am wohlsten fühlten: in der Nähe des Wassers. Sie gediehen nur an Meeresarmen und Buchten, Flussmündungen und Bächen. Außerdem besaßen sie nicht den Ehrgeiz, besonders groß zu werden. Ihre Strategie bestand darin, mit ihrer geringen Größe dem Wind zu trotzen und sich immer in der Nähe des Wassers zu halten, um so das Austrocknen zu verhindern.

Diese Pflanzen hatten weder richtige Wurzeln noch Blätter oder innere Leitungsbahnen für den Nährstoff- und Wassertransport. Aber damit Bäume und andere Pflanzen die gewaltigen öden Landflächen besiedeln konnten, war ein solch halbherziger Versuch, dem Meer zu entkommen, noch keine langfristige Lösung. Einen anderen Weg schlugen vor rund 420 Millionen Jahren die »**Gefäßpflanzen**« ein. Von ihnen stammen letztlich alle Bäume und Wälder der Erde ab.

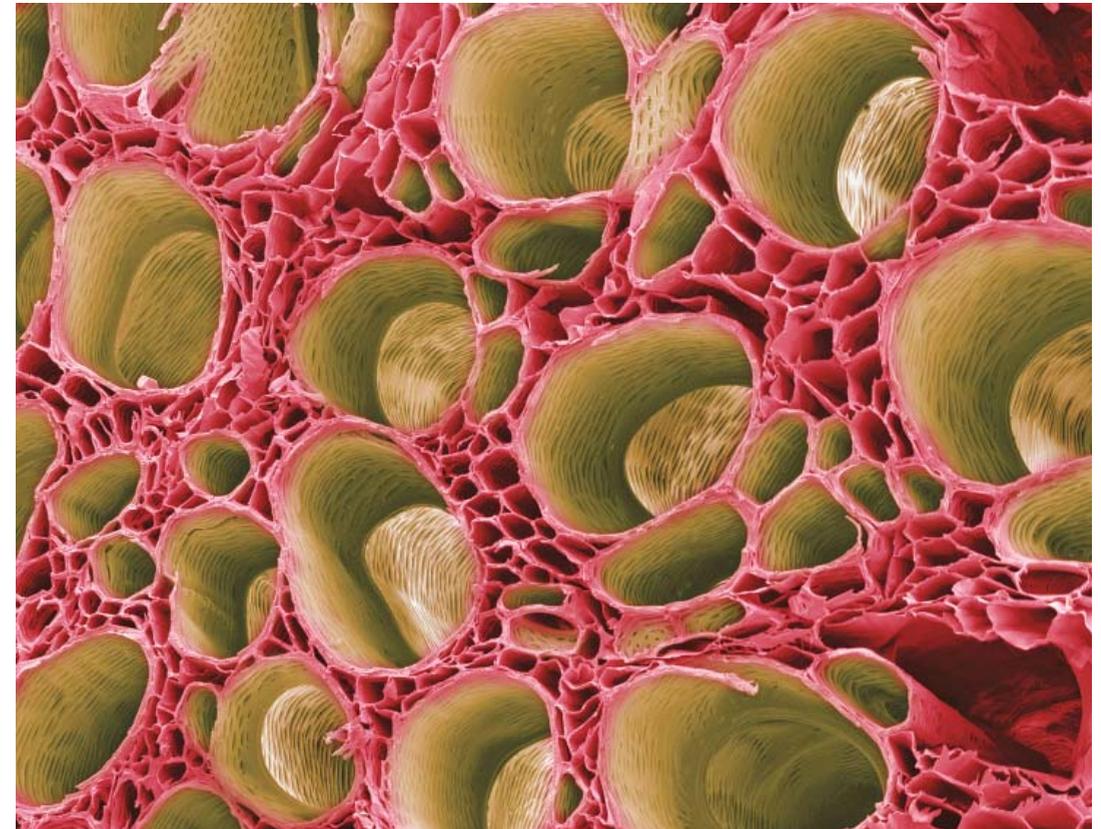
Die ersten Gefäßpflanzen jedoch waren alles andere als ein spektakulärer Anblick. Sie bestanden aus kleinen Schösslingen von höchstens 50 Zentime-

tern Höhe mit dickem Stamm und harten, stacheligen Blättern. Dass wir über diese Pflanzen Bescheid wissen, verdanken wir einer bizarren Entdeckung in **Rhynie**, einem kleinen schottischen Dorf etwa 40 Kilometer nordöstlich von Aberdeen. Als dort der Arzt und Amateurgeologe William Mackie 1912 ein Grundstück untersuchte, fand er etwas Außergewöhnliches. Nachdem er die Erde an verschiedenen Stellen umgegraben hatte, stieß er auf ausgezeichnete, versteinerte Pflanzen.

Vor rund 400 Millionen Jahren befand sich an der Stelle des heutigen Rhynie ein Hexenkessel aus kochend heißen, blubbernden Schlammflöchern. Hin und wieder spie ein gewaltiger Geyser eine riesige Fontäne aus siedendem, siliziumhaltigem Grundwasser in die Luft. Silizium ist eines der Elemente, aus denen Sand und Gestein bestehen. Wenn das siliziumhaltige Wasser auf den Pflanzen niederging, tötete es sie sofort ab, ließ sie beim Abkühlen versteinern und verwandelte sie damit in ausgezeichnete Fossilien.

Die Fossilien von Rhynie sind so gut erhalten, dass man genau erkennen kann, woraus die Pflanzen bestanden und wie sie funktionierten. Diese Gefäßpflanzen hatten bereits das **Lignin** erfunden, eine chemische Substanz, die die Wände ihrer Zellen widerstandsfähiger macht. Pflanzen, die kein Lignin besitzen, bleiben klein und weich wie Kräuter oder Blumen. Die Stängel solcher Pflanzen fühlen sich zwar unter Umständen fest an, sie werden aber nur durch das in ihnen gespeicherte Wasser aufrecht gehalten. Werden sie nicht ausreichend mit Wasser versorgt, welkt die Pflanze.

Ligninhaltige Pflanzen dagegen bleiben auch bei Trockenheit aufrecht stehen.



Die durch das Lignin verstärkten Zellen sind in exakt aufgebauten Schichten übereinandergestapelt und verbunden. In dieser Form bilden sie das Holz – den magischen Baustoff der Bäume. Durch das Lignin entstehen außerdem Röhren, durch die Mineralstoffe und Wasser in einem Baum nach oben und in die Äste transportiert werden können.

Die ältesten Spuren von Lignin kennt man aus Pflanzen, die nach ihrem ersten Fundort in Schottland als Rhyniophyten bezeichnet werden. Sie sind heute ausgestorben, aber ihre Nachkommen umgeben uns immer noch – alle Pflanzen, die Holz enthalten, stammen letztlich von diesen ersten Landbewohnenden Pionieren ab. Natürlich brauchte es eine gewisse Zeit, bis die kleinen Pflanzen mit verstärktem Stängel zu großen, eleganten Bäumen her-

anwachsen. Genauer gesagt, dauerte es mindestens 40 Millionen Jahre.

Zu Beginn des Karbonzeitalters (das heißt, vor 360 Millionen Jahren) gediehen Bäume bereits in gewaltiger Zahl. Die Ersten von ihnen, Lycophyten genannt, waren relativ einfach gebaut. Sie hatten Wurzeln und Y-förmig gebelte Äste.¹ Sie konnten aber bereits sehr groß werden: Manche Exemplare, beispielsweise die Bäume namens Lepidodendron, erreichten einen Stammdurchmesser von zwei Metern und waren so hoch wie ein zwölfstöckiges Haus.

Abgesehen vom Wind, hier und da einem Kratzgeräusch in einem hohlen Baumstamm oder einem leisen Summen in den Zweigen, war es in dieser vorzeitlichen Welt gespenstisch still. Tiere gab es kaum und Vögel überhaupt nicht – für sie war es noch viel zu früh. Die Land-

Gefäßgewebe im Elektronenmikroskop. Die winzigen Röhren des Xylems transportieren Wasser und Nährstoffe durch die Pflanze, und die dicken Wände aus Lignin dienen als Stütze.



kollektoren zu erfinden, die sich an den Spitzen der dünnsten Zweige befanden. Es waren die Euphyllophyten – wörtlich übersetzt »Pflanzen mit guten Blättern«. Von ihnen stammen die meisten der heutigen Bäume ab. Die Euphyllophyten entwickelten sich schnell auseinander und brachten unterschiedliche Formen hervor, darunter auch Farne und Schachtelhalme.

Hätte es die Lycophyten, Farne und Schachtelhalme nicht gegeben, würde unser Leben heute ganz anders aussehen. Diese ersten Bäume besiedelten zu Millionen das Land. Wenn sie abstarben, versanken die meisten in Sümpfen, wo sie im Laufe der Jahrtausende zusammengedrückt wurden, aushärteten und sich durch Hitze und Druck chemisch verwandelten, bis sie schließlich zu **Kohle** wurden. In dieser Form waren sie schließlich die entscheidende Energiequelle für die industrielle Revolution im 19. Jahrhundert (siehe Seite 438).

Mit dem Lignin wurden die Bäume also kräftig, und ihre Blätter fingen die Sonnenenergie zur Nährstoffproduktion ein. Nun standen die Bäume noch vor der Herausforderung, sich stetig und zuverlässig mit Wasser zu versorgen, das zusätzlich nach ganz oben in die Baumkronen transportiert werden musste. Dieser Aufgabe wurden sie auf zweierlei Weise gerecht. Erstens züchteten sie sich eine ganze Armee von Freunden und Helfern heran. Und zweitens bedienten sie sich einer klugen Konstruktion, um an das Wasser zu gelangen, das ja häufig viele Meter unter der Erde verteilt war.

Baumwurzeln wachsen auf der Suche nach Wasser in die Tiefe. Als Helfer nutzen sie dabei häufig eine andere Gruppe höchst vielseitiger Lebewesen:

Der Lepidodendron-Baum ist heute ausgestorben. In der Karbonzeit vor 360 Millionen Jahren wuchs er in riesiger Zahl. Manche Exemplare waren 40 Meter hoch, aber richtige Blätter trugen sie nicht.

schaft sah in allen Richtungen mehr oder weniger gleich aus – sie war ein endloser, dichter, dunkel grünlich braun gefärbter Wald aus mehr oder weniger gleichförmigen Bäumen. Es gab damals nur wenig verschiedene Formen, und ebenso fehlten die Blumen. Bevor die ersten Blüten zu sehen waren, musste die Erde noch mindestens 150 Millionen Jahre warten. Im Vergleich zu den Bäumen sind Blumen eine relativ neue Mode.

Den Lycophytenbäumen, die in den ersten Wäldern dominierten, fehlte ein wichtiges Merkmal – was schließlich auch vor rund 270 Millionen Jahren zu ihrem ehrenvollen Abgang führte. Sie besaßen keine richtigen Blätter. Photosynthese betrieben sie stattdessen mit Schuppen auf dem Stamm und einer Art Blätter an den Zweigen. Einem Verwandten der Gefäßpflanzen, der ebenfalls in Rhynie gefunden wurde, blieb es überlassen, die kleinen grünen Sonnen-

die **Pilze**. Pilze sind weder Tier noch Pflanze (lange Zeit wurden sie allerdings bei den Pflanzen eingruppiert), sondern bilden ein eigenes, nahezu unsichtbares unterirdisches Reich.

Die Pilze kamen aus dem Meer an Land, weil ihre winzigen, leichten Sporen vom Wind schnell verweht wurden. Sie gelangten ungefähr zur gleichen Zeit an die Küsten wie die ersten Pflanzen und begannen dort zu wachsen. Seither hat sich auch bei den Pilzen eine große Formenvielfalt entwickelt, wobei das Spektrum von den kleinsten bis zu den größten Lebewesen der Erde reicht. Kleine Pilze bestehen nur aus einer Zelle – ein Beispiel ist die Hefe, die in den Backstuben der ganzen Welt zum Brot- und Kuchenbacken dient. Hefe kann ihre Energie durch einen Vorgang gewinnen, den man als Gärung bezeichnet; dabei wird Zucker in Alkohol und Kohlendioxid umgewandelt.

Die meisten Pilze leben unter der Erde. Sie verfügen über ein ausgedehntes Netz aus Hyphen, dünnen Fäden, die sich zum Myzel zusammenballen. Ein Champignon oder Steinpilz – also das, was man sich normalerweise unter einem »Pilz« vorstellt – ist nichts anderes als die Frucht des Myzels, die hin und wieder durch den Erdboden bricht, Sporen verstreut und sich auf diese Weise fortpflanzt.

Manche Pilze haben ein riesengroßes Myzel. Deshalb ist auch das größte Lebewesen, das heute auf der Erde existiert, ein Pilz. Dieser Riese wurde kürzlich im US-Bundesstaat Michigan gefunden: Er erstreckt sich mit seinem Myzel über mehr als fünf Kilometer, und sein Gewicht wird auf mehr als zehn Tonnen geschätzt. Außerdem ist er auch einer der ältesten noch lebenden Organismen: Er existiert schon seit über 1 500 Jahren.²

Heute stammen unsere Energierohstoffe zu einem großen Teil von Bäumen wie diesen aus der Karbonzeit. Sie versanken in Sümpfen und wurden allmählich zu Kohle zusammengedrückt.



Pilze sind die ökologische Müllabfuhr. Sie verarbeiten und verdauen abgestorbenes und verwesendes Material. Der Hausmüll, den unsere menschliche Müllabfuhr abholt, wird in der Regel entweder verbrannt oder auf eine Müllkippe geworfen. Die Pilze dagegen, die Müllmänner der Natur, lassen die toten Überbleibsel des Lebens nicht einfach nur verwesen, sondern verwandeln sie in nährstoffreiches Material, das die Pflanzen düngt und ihnen beim Wachsen hilft. Deshalb sind die Pilze ein unverzichtbares Bindeglied im ständigen Erneuerungskreislauf der Erde – im Kreislauf aus Leben und Tod.

Wie so häufig in der Natur, so tun sich auch in diesem Fall Lebewesen verschiedener Gruppen zum gegenseitigen Nutzen zusammen. Der Pilz gibt einen Teil der Nährstoffe und des Wassers, die er gesammelt hat, an den Baum weiter, und im Gegenzug versorgt der Baum den Pilz mit Zuckermolekülen, die er in seinen Blättern produziert hat. Auf diese Weise kann der Baum wesentlich besser Wasser und Nährstoffe aufnehmen, und der Pilz wird gefüttert. Manchmal verbindet sich ein einziger, unterirdisch lebender Pilz mit vielen Bäumen, die dann untereinander verbunden sind und eine Kette bilden. Eine solche Verbindung bezeichnet man als Mykorrhiza. Nach Schätzungen gehen 80 Prozent aller heutigen Blütenpflanzen mit unterirdisch lebenden Pilzen irgendeine Verbindung ein, die beiden Seiten nützt.³

Wenn das Wasser sich in den Wurzeln befindet, müssen die Bäume es durch den Stamm aufwärts bis zu den Blättern transportieren, denn dort werden die Nährstoffe hergestellt. In manchen Bäumen muss das Wasser also einen langen Weg zurücklegen. Früher wusste

man nicht genau, wie die Bäume das schaffen, denn schließlich besitzen sie kein Herz oder andere bewegliche Teile, die als Pumpen dienen könnten. Man glaubte, der äußere Luftdruck würde dafür sorgen, dass das Wasser aufwärts fließt – ein ähnlicher Effekt wie beim Trinken durch einen Strohhalm. Heute wissen wir jedoch, dass der Luftdruck nicht ausreicht, um das Wasser bis in die Spitze eines 30 Meter hohen Baumes zu treiben. Die Antwort liegt vielmehr in der raffinierten Konstruktion der Blätter: In ihrer Oberfläche befinden sich Millionen winziger Löcher, die man Spaltöffnungen oder Stomata nennt. Diese kann der Baum je nach den Wetterverhältnissen und sonstigen Bedingungen öffnen oder schließen. Wenn es heiß ist, verdunstet das Wasser durch die Spaltöffnungen, sodass der Pflanzensaft im Baumstamm stärker konzentriert ist. Dadurch wird Wasser durch den Stamm nach oben und in die Blätter gezogen. Den ganzen Vorgang nennt man **Transpiration**.

Und schließlich hat der Baum noch die Aufgabe, seine Nachkommen zu verbreiten, ohne sich dabei selbst bewegen zu können. Die Sporen der ältesten Pflanzenarten wurden ganz ähnlich wie die der Pilze vom Wind transportiert. Dabei stellt sich nur das Problem, dass Sporen zum Keimen ganz bestimmte Bedingungen brauchen: In der Regel müssen sie an feuchten Orten niedergehen, beispielsweise in Marschen oder Sümpfen. Wo ein trockenes Klima herrscht, wird es schwierig. Vor rund 360 Millionen Jahren fanden die Bäume dann eine viel bessere Lösung: Sie produzierten **Samen**.

Samen enthalten im Gegensatz zu Sporen bereits einen teilweise entwickelten Embryo und einen Nährstoffvor-

rat aus Zucker, Protein und Fett. Der Embryo wird dann mitsamt dem Nährstoffvorrat in eine Hülle eingeschlossen und ist nun bereit für seine Reise. Dafür stehen verschiedene Transportmittel zur Verfügung (siehe Seite 82).

Die Chancen, dass sich ein Baum erfolgreich fortpflanzt, steigen durch die Samen dramatisch an. Samen sind widerstandsfähiger als Sporen, können Trockenperioden überleben, haben ihren eigenen Proviant bei sich und können in manchen Fällen sogar schwimmen. Die ersten Samen tragenden Bäume waren die Cycadeen, die sich bis in die Zeit vor rund 270 Millionen Jahren zurückverfolgen lassen – ungefähr in diesem Zeitraum erschienen auch die ersten Dinosaurier auf der Bühne des Lebens. Heute existieren rund 130 Cycadeenarten, viele davon sind allerdings wegen der Zerstörung ihrer Lebensräume vom Aussterben bedroht. Diese Bäume beherrschten die geschlechtliche Fort-

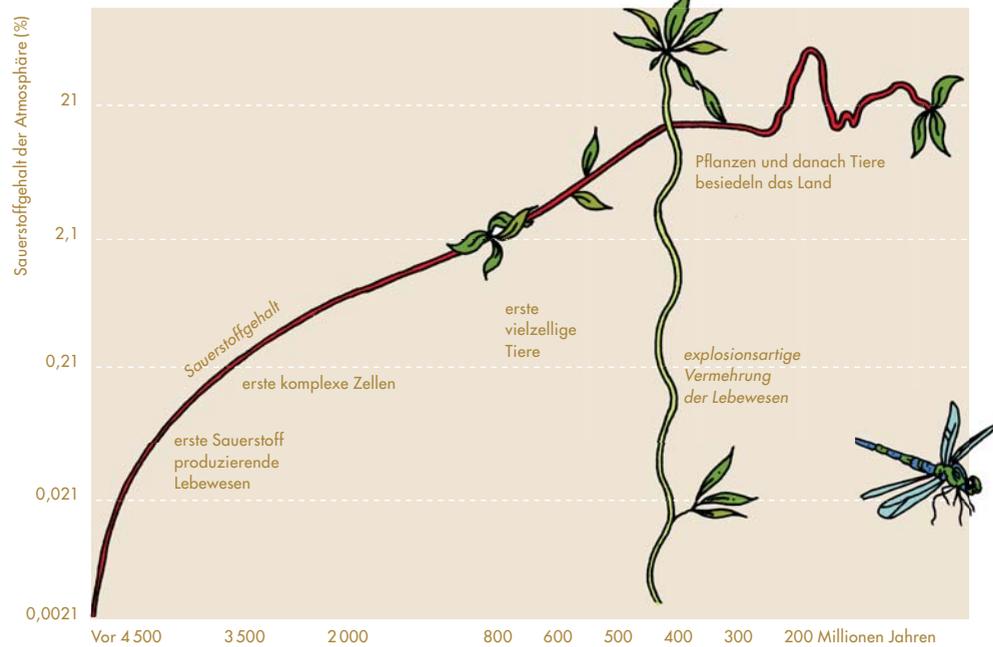
pflanzung, das heißt, zur Entstehung eines Samens müssen sich gewöhnlich die Gene zweier Bäume vermischen (siehe Seite 35). Damit stellt sich aber wiederum eine scheinbar unüberwindliche Schwierigkeit: Wie können zwei Bäume ihre Gene vereinigen, wenn beide ganz buchstäblich im Boden verwurzelt sind?

Die Lösung brachten andere Lebensformen, die ebenfalls vom Meer an Land gegangen waren. Vor rund 420 Millionen Jahren, zur gleichen Zeit wie die ersten Pflanzen und Moose, krochen auch einige kleine, wurmförmige Tiere aus dem Meer. Sie ähnelten ein wenig den heutigen Stummelfüßern. Dass das trockene Land sie anlockte, lag an den steigenden Sauerstoffmengen in der Luft. Der **Sauerstoffgehalt** der Atmosphäre war über mehrere Millionen Jahre hinweg stetig angestiegen, bis er schließlich vor etwa 500 Millionen Jahren, zu Beginn des Kambriums, eine Sättigungsgrenze erreicht hatte. Dann, vor



Eine Spaltöffnung in einem Blatt bei 425-facher Vergrößerung. Durch diese winzigen Öffnungen verdunstet das Wasser, sodass neues Wasser aus dem Boden nach oben gezogen wird. Die Verdunstung lässt auch Regen entstehen.

Anstieg des Sauerstoffgehalts



400 bis 200 Millionen Jahren, schoss er noch einmal steil in die Höhe.

Die Ursache des Anstiegs waren die üppig grünen Wälder, die mittlerweile die Landflächen bedeckten. Bäume und andere Pflanzen setzten immer mehr Sauerstoff frei. Es war ein wenig so, als hätte man Süßigkeiten an den Küsten ausgelegt. Die Lebewesen im Meer konnten der Versuchung einfach nicht widerstehen. Den ersten Meeresbewohnern, die an den Strand krochen, fiel die Umstellung nicht allzu schwer – der Sauerstoff in der Luft gab ihnen einen gewaltigen Schub. Heute besteht die Luft, die wir atmen, zu 21 Prozent aus Sauerstoff. Vor 350 Millionen Jahren jedoch, als die Wälder der Karbonzeit sich ausbreiteten, dürfte der Anteil auf bis zu 35 Prozent angestiegen sein.⁴

Der hohe Sauerstoffgehalt war wahrscheinlich auch der Grund, warum

Stan Wood, ein aufmerksamer kommerzieller Fossiliensammler aus Schottland, so viel Glück hatte. Er hatte 1984 neben dem Fußballplatz einer Schule eine verfallene alte Mauer aus Kalkstein aufgefunden gemacht. Die Steine, so glaubte er, könnten interessante Fossilien enthalten; also kaufte er die Mauer für 25 Pfund von der Immobilienfirma, die sie gerade abreißen wollte.

Die Fossilien, die Wood in dem Kalkstein fand, waren von ungeheurer Bedeutung, und am Ende konnte er sie für mehr als 50000 Pfund verkaufen. Mit einem Teil des Geldes erwarb er den aufgegebenen alten Steinbruch in East Kirkton, aus dem der Kalkstein der Mauer ursprünglich stammte. Nachdem er dort mit schwerem Gerät an die Arbeit gegangen war, machte er eine Reihe weiterer faszinierender Entdeckungen. Unter anderem fand er das Fossil eines riesigen, mindestens 30 Zentimeter langen Skor-

Als Moose, Bäume und andere Pflanzen das Land besiedelten, nahm der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre zu. Dies erleichterte es den Lebewesen, das Meer zu verlassen.

pions, der Luft atmete und sowohl einen gefährlich aussehenden Stachelschwanz als auch ein mächtiges, schützendes Außenskelett besaß. Das Tier aus der Gruppe der Seeskorpione konnte vermutlich über zwei Meter lang werden.

Wegen des höheren Sauerstoffgehalts der Luft konnten viele Tiere zu jener Zeit wesentlich größer werden als ihre heute lebenden Nachkommen. Stan Woods Skorpion ist schätzungsweise 335 Millionen Jahre alt, und an ihm ist gut zu erkennen, wie er zwei wichtige Schwierigkeiten meisterte, die der Übergang vom Meer ans Land aufwarf. Zum Atmen besaß er eine primitive Lunge, die sich von den Kiemen ableitete und durch die Taschen der widerstandsfähigen Außenhaut geschützt war. Außerdem verfügte der Riesenskorpion über

mehrere Beinpaare, mit denen er laufen konnte.

Ungefähr zur gleichen Zeit entstanden auch die ersten Insekten. Am auffälligsten waren die **Libellen**. Wie sie fliegen lernten, ist bis heute ein Rätsel. Vermutlich stand dieser Entwicklungsschritt im Zusammenhang mit der Entstehung der ersten Pflanzen. Für **Insekten** war es natürlich sinnvoll, wenn sie durch Sprünge oder im Gleitflug von einem Baum zum anderen gelangen konnten, statt bis zum Boden hinabzu- steigen und an einem anderen Baum wieder in die Höhe zu klettern.

Die Flügel der ersten Libellen entstanden aus den gleichen harten Taschen der Außenhaut, die man auch bei dem Riesenskorpion findet. Anfangs waren es vielleicht nur Hautlappen, mit denen

Solche Komplexaugen aus bis zu 36 000 Facetten verschafften den Libellen einen mosaikartigen Rundumblick auf ihre prähistorische Welt.

