

CALLUM ROBERTS

Der Mensch und das Meer

C A L L U M R O B E R T S

Der Mensch und das Meer

**Warum der größte Lebensraum der Erde
in Gefahr ist**

Aus dem Englischen von Sebastian Vogel

Deutsche Verlags-Anstalt

Die Originalausgabe erschien 2012 unter dem Titel *Ocean of Life. How our Seas are Changing* bei Allen Lane, einem Imprint von Penguin Books, London.



Verlagsgruppe Random House FSC® N001967
Das für dieses Buch verwendete FSC®-zertifizierte Papier
EOS liefert Salzer, St. Pölten.

1. Auflage

Copyright © 2012 by Callum Roberts

Copyright © 2013 der deutschsprachigen Ausgabe

Deutsche Verlags-Anstalt, München,

in der Verlagsgruppe Random House GmbH

Alle Rechte vorbehalten

Redaktion: Stephan Ditschke, Hamburg

Typografie und Satz: Brigitte Müller/DVA

Gesetzt aus der Minion

Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany

ISBN 978-3-421-04496-9

www.dva.de

Inhalt

Prolog 9

- 1 Viereinhalb Milliarden Jahre 21
- 2 Nahrung aus dem Meer 44
- 3 Weniger Fische im Meer 66
- 4 Wind und Strömungen 88
- 5 Leben auf Wanderschaft 119
- 6 Die Flut steigt 134
- 7 Das ätzende Meer 156
- 8 Tote Zonen und die größten Flüsse der Welt 176
- 9 Ungesundes Wasser 194
- 10 Das Plastikzeitalter 218
- 11 Die niemals schweigende Welt 240
- 12 Fremde, Eindringlinge und die Vereinheitlichung
des Lebendigen 263
- 13 Pest und Cholera 288
- 14 Mare incognitum 309
- 15 Ökosysteme zu Ihren Diensten 332
- 16 Meerwirtschaft 349
- 17 Das große Aufräumen 378
- 18 Abkühlung statt Erwärmung – aber wie? 392
- 19 Ein »New Deal« für die Meere 412
- 20 Das Leben sanieren 441
- 21 Die Riesen der Meere retten 458
- 22 Vorbereitung auf das Schlimmste 480

Epilog

Meere der Zukunft, Zukunft der Meere 499

Anhang 1

Lebensmittel aus dem Meer mit
gutem Gewissen genießen **504**

Anhang 2

Organisationen, die sich für den Schutz
des Lebens in den Ozeanen einsetzen **512**

Dank **525**

Anmerkungen **528**

Bildnachweis **574**

Register **576**

Zitatnachweise **588**

Tiefblauer Ocean, wälze deine Fluth,
Und schauke spielend Flotten hin und her!
Das Land zerstört der Mensch im Uebermuth –
Sein Machtwort schweigt, steht er an dir, o Meer!

Byron, *Harold's Pilgerfahrt*

Prolog

Das Wasser fühlt sich eisig an, als ich hinauswate, um das mitgenommene Ruderboot von seinem Liegeplatz zu holen. Sanft gleitet es über die glasklare Lagune zum Strand, wo Julie mit unserer Tauchausrüstung wartet. Wir sind seit einem Monat verheiratet, und ich habe sie zu einer ungewöhnlichen Hochzeitsreise überredet: Für zwei Monate wollen wir an diesem abgelegenen Stück des Großen Barriereriffs in Australien das Verhalten der Fische beobachten. Wir schreiben den Juni 1987. In Australien ist Winter, zu Hause Sommer. Zwei Reiher suchen entlang des Ufers nach Frühstück. Flatternd erheben sie sich in die Luft, als der Außenbordmotor zum Leben erwacht und wir Kurs auf eine Stelle nehmen, die rund eineinhalb Kilometer entfernt liegt, jenseits eines Labyrinths aus Korallen. Sie bilden ein so kompliziertes Gewirr, dass auch der fähigste Seemann ihnen ratlos gegenüberstehen würde.

Wir ankern an einer Geröllbank, die das offene Meer von der Lagune trennt. Es ist das erste Mal, dass wir hier tauchen, und unsere gespannte Erwartung wird durch einen Anflug von Angst gedämpft. Vor uns machen die gemütliche Grün- und Brauntöne des seichten Wassers über dem Riff dem dunklen Indigo des tieferen Meeres Platz. Große Korallenbänke fallen, durch tiefe Kanäle getrennt, als parallele Wände Hunderte von Metern in die Tiefe ab. Purpurrote Steinkorallen machen gelben Blätterkorallen ihren Platz streitig, vom Boden steigen große Hügel aus blauen und grünen Polypen in die Höhe.

Das Riff ist ein verwirrender Wirbel von Bewegungen, wie ein Hauptbahnhof im Berufsverkehr. Stämmige Doktorfische mit neonblauen Streifen schießen zielstrebig hin und her, lose

Gruppen farbenfroher Papageifische weichen ihnen aus. Darüber schweben Schwärme von Riff- und Fahnenbarschen, die unsichtbare Nahrungsteilchen aus dem Wasser angeln. Am Rand des Riffs zähle ich acht Karettschildkröten, eine auf jedem der sichtbaren Korallenhügel. Ein grauer Riffhai macht sich auf den Weg in unsere Richtung, aber als er vorüberschwimmt, schenkt er uns kaum Beachtung. Die ganze Szenerie wirkt zeitlos und urtümlich. Ich bin hingerissen.

Was hätte ich damals wohl gedacht, wenn uns bei unserer Rückkehr zur Küste ein griesgrämiger Weiser mit der Prophezeiung begrüßt hätte, dass dieses großartige Riff in hundert Jahren nur noch eine bröckelige Ruine sein würde, mit grünem Flaum anstelle der farbenfrohen Korallenteppiche und mit stark ausgedünnten Fischbeständen, an deren Stelle Schwärme von Quallen und glibberigem Plankton getreten sind? Vermutlich hätte ich ihn für verrückt erklärt. Nichts hätte sich weniger plausibel anhören können. Und doch sagen heute, noch nicht einmal 25 Jahre später, die meisten ernst zu nehmenden Meeresforscher den Riffen genau dieses Schicksal voraus. Dass es eintreten wird, können wir bereits heute sehen.

Elf Jahre nach unseren Tauch-Flitterwochen erlebten wir einen Vorgeschmack auf die wärmere Welt der Zukunft: Die Ozeane heizten sich so dramatisch auf, dass weltweit ein Viertel aller Korallen zugrunde ging. In großen Teilen des Indischen Ozeans starben zwischen siebzig und neunzig Prozent der Korallen, und auf ihrem Weg in den Untergang nahmen sie zahllose andere Lebewesen mit, die auf Korallen als Lebensraum oder Nahrung angewiesen waren. Wären in diesem Jahr drei Viertel unserer Wälder verdorrt und abgestorben, die Menschen hätten wissen wollen, warum, und man hätte umgehend Pläne für eine Wiederaufforstung entworfen. Hier dagegen blieb eine globale Katastrophe außerhalb der

Welt der Meeresforschung im Wesentlichen unsichtbar und unbemerkt.

In der Geschichte unserer Zivilisation war der Zustand der Weltmeere sehr stabil. Vor sechs- oder siebentausend Jahren, nach der letzten Eiszeit, stellte sich der Meeresspiegel auf seine heutige Höhe ein, und seitdem war das Meer weitestgehend berechenbar. Unter dem erbarmungslosen Einfluss von Brandung und Gezeiten haben sich zwar Küstenlinien vorwärts- und rückwärtsbewegt, aber die Ozeane selbst schienen unveränderlich zu sein. Ihre Beständigkeit stand im Gegensatz zu der Welt über Wasser, wo ein dramatischer Wandel stattfand, nachdem sich zuerst Landwirtschaft und Viehzucht ausbreiteten und später Großstädte und Industrie. Heute jedoch sind die Ozeane an der Reihe.

Dieses Buch handelt vom Wandel der Meere auf der ganzen Welt. Im letzten halben Jahrhundert hat die Herrschaft des Menschen über die Natur auch die Ozeane erreicht. Geschwindigkeit und Ausmaß der Veränderungen haben uns unvorbereitet getroffen. Das Meer ist lebensfeindlicher geworden, und das nicht nur für die Lebewesen, die unter den Wellen schwimmen, schweben oder kriechen, sondern auch für uns. Erst seit ungefähr zehn Jahren wird uns nach und nach klar, wie wir mit dem, was wir tun, auch die Ozeane umgestalten und was das für unser eigenes Wohlbefinden bedeutet.

Wie die Menschen das Land verändert haben, wissen wir schon seit Langem: Wir haben Landschaften so gestaltet, dass sie unseren Bedürfnissen dienen, und beeinflussen Flora und Fauna so schon seit Tausenden von Jahren – vielleicht sogar seit Zehntausenden, wenn man bedenkt, wie die australischen und amerikanischen Ureinwohner das Feuer nutzten, um Pflanzen zu roden und sich das Jagen und Sammeln einfacher zu machen. Aber bis

heute sind wir bei der Überzeugung geblieben, dass das Reich der Menschen am Ufer des Meeres endet, wie Lord Byron es formulierte. Dabei hatte das Leben der Menschen schon zu Byrons Zeit beträchtliche Auswirkungen auf das Meer. Der Riesenalk war nur noch zwei Jahrzehnte vom Aussterben entfernt, und der Atlantische Grauwal war bereits für immer verschwunden. Die Fischerei dezimierte die küstennahen Fischbestände und schädigte mit ihren Schleppnetzen die Lebensräume. Die Menschen errichteten Küstenschutzbauwerke, große Marsch- und Mündungsgebiete wurden für Häfen und Landwirtschaft genutzt. In bevölkerungsreichen Regionen füllten Flüsse die küstennahen Mündungsgebiete mit Erde, die Pflüge freigelegt hatten und die vom Wasser mitgespült worden war.

Seit jener Zeit ist unser Einfluss exponentiell gewachsen. In den letzten zweihundert Jahren wurden Lebensräume im Meer vernichtet oder bis zur Unkenntlichkeit verändert. Und durch unsere ständig zunehmenden Eingriffe haben sich die Ozeane in den letzten dreißig Jahren stärker gewandelt als in der gesamten bisherigen Menschheitsgeschichte. Als Fischerei und Jagd sich in Wellen über das Antlitz der Erde verbreiteten, haben die Meere in den meisten Regionen bis zu 75 Prozent ihrer Megafauna – Großtiere wie Wale, Delfine, Haie, Rochen und Schildkröten – verloren. Die Bestände mancher Arten sind um bis zu 99 Prozent geschrumpft; das gilt beispielsweise für den Weißspitzen-Hochseehai, die amerikanischen Sägerochen oder die Rochen in den nordeuropäischen Meeren. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts gab es fast keine Stelle mehr, die weniger als einen Kilometer tief war und von der kommerziellen Fischerei unberührt geblieben wäre; an manchen Orten wird heute in Tiefen bis zu drei Kilometern gefischt.

Jahrtausendlang waren die Ozeane unsere Handelswege. Heute sind sie die Autobahnen einer globalisierten Welt, und

das Dröhnen der Motoren ist in allen Winkeln der Meere zu hören, sogar unter dem Polareis. Zunehmend liefert das Meer auch Öl und Gas, und die zunehmende Knappheit hat uns dazu getrieben, uns immer weiter vor die Küste zu wagen. Vielleicht noch ein Jahrzehnt, dann beginnt der Tiefseebergbau. In der Schwärze der Abgründe, mehrere Tausend Meter tief, winken große Reichtümer. Dunkle Knollen aus kostbaren Metallen und seltenen Erden liegen verstreut am Meeresboden, unterseeische Berge tragen Krusten aus Kobalt, und Ablagerungen aus Gold, Silber oder Mangan, die von superheißen Quellen ausgespien wurden, liegen schon fast in Reichweite der Bergleute.

Warum herrscht trotz der allgemein sichtbaren Belege für die Einwirkung der Menschen noch heute vielfach der Glaube, die Ozeane seien fernab unserer Kontrolle und unserem Einfluss entzogen? Die Antwort liegt zu einem Teil im schleichenden Tempo des Wandels. Jede Generation macht sich ihr eigenes Bild vom Zustand der Umwelt. Jüngeren Menschen fällt der Wandel, den die Älteren noch wahrnehmen, in der Regel nicht mehr auf, sodass das Wissen über den Zustand früherer Zeiten nach und nach schwindet. Jüngere Generationen interessieren sich oftmals kaum für die Erzählungen der Älteren und lehnen ihre Geschichten zugunsten der Dinge ab, die sie selbst erlebt haben. Das Ergebnis ist ein Phänomen namens *shifting baseline syndrome*, das »Syndrom der verschobenen Basislinie«: Wir halten Dinge für selbstverständlich, die noch vor zwei Generationen unvorstellbar gewesen wären.

Ein aufschlussreiches Beispiel für derart verschobene Basislinien entdeckte Loren McClenachan in der Monroe County Library in Florida, wo sie als Doktorandin der Scripps Institution of Oceanography recherchierte.¹ Sie fand eine Fotoserie mit Bildern, die ein Charterunternehmen von Freizeitfischern und ihren Fängen zwischen den 1950er- und den 1980er-Jahren

gemacht hatte. Mit eigenen Aufnahmen, die sie Anfang des neuen Jahrtausends an derselben Anlegestelle machte, setzte sie die Reihe fort. In den 1950er-Jahren dominierten in den Fängen große Riesenzackenbarsche und Haie, viele von ihnen größer und dicker als die Angler. Im Laufe der Jahre wurden die Fische immer kleiner, und an die Stelle der Zackenbarsche und Haie traten kleinere Schnapper und Grunzer (siehe hierzu die Abb. 1–3 im Bildteil). Nur das Grinsen auf den Gesichtern der Angler war ebenso breit wie in den 1950er-Jahren. Die Touristen unserer Zeit haben keine Ahnung, dass sich etwas verändert hat.

Die Ozeane wandeln sich heute schneller als in fast jeder früheren Phase der Geschichte unseres Planeten, und die treibende Kraft dieses Wandels sind wir. Viele Veränderungen werden die Überlebensfähigkeit der Ozeanbewohner auf eine harte Probe stellen. Ebenso formen sie auch unsere eigene Beziehung zum Meer neu, und sie bedrohen viele Dinge, die wir schätzen und für selbstverständlich halten. Dass wir die schleichende Umweltzerstörung nicht bemerkt haben, beeinträchtigt nicht nur unsere Lebensqualität. Im Extremfall gefährdet es auch das Wohlergehen von Menschen. In der Geschichte gibt es viele Beispiele dafür, wie Zivilisationen durch Umweltkatastrophen, die sie unwissentlich selbst angerichtet hatten, zerstört wurden. Die Bewohner der Osterinsel holzten auf ihrem Eiland alle Bäume ab, um Statuen für ihre Götter zu errichten, und als dann der Boden austrocknete, verhungerten sie. In Mesopotamien entwickelten die Menschen eine Landwirtschaft mit raffinierten Bewässerungssystemen, aber durch die Methode enthielten die Felder am Ende so viel Salz, dass keine Nutzpflanzen mehr darauf wuchsen. Die Praxis der Maya, Landwirtschaft an Berghängen zu betreiben, beraubte die ganze Region ihres Mutterbodens, sodass eine lange Dürre zum Zusammenbruch dieser ungewöhnlichen Kultur führte. In diesen und vielen ähnlichen Fällen beschränkten

sich die Auswirkungen auf eine Insel oder eine begrenzte Region. Heute haben unsere Handlungen einen globalen Einfluss, und entsprechend müssen wir auch global handeln, um die Probleme, die wir bereits verursacht haben, rückgängig zu machen.

Zu Beginn meiner Berufslaufbahn studierte ich die Fische an Korallenriffen. Von dem Augenblick an, als ich zum ersten Mal an einem Riff im Roten Meer tauchte, war ich süchtig. (Meine Frau Julie war seit unseren Flitterwochen genauso süchtig und wurde ebenfalls Meeresbiologin.) Heute, dreißig Jahre später, stehen Fische immer noch im Mittelpunkt meines Interesses, aber meine Forschungsarbeiten haben eine weitere Perspektive: Sie beschäftigen sich mit dem Verhältnis von Menschen und Meer im Laufe der Geschichte. Dennoch hatte ich in der Zeit, als ich mit den Recherchen zu diesem Buch begann, von großen Teilen der Meeresforschung nur eine sehr vage Vorstellung. Wissenschaftler sind Spezialisten und widmen ihr Leben der Forschung in einem sehr engen Fachgebiet, das sich über die Jahre noch stärker einengt. Jeder von uns brütet über einem winzigen Teil der Welt und wendet dieses Mosaiksteinchen im Geist immer wieder hin und her. Maßnahmen gegen Umweltverschmutzung werden getrennt von der Bewirtschaftung der Fischbestände in den Blick genommen, und beide werden kaum einmal an derselben Stelle untersucht wie Schifffahrt oder Klimawandel. Entsprechend werden auch die Auswirkungen isoliert betrachtet – auf verschiedenen Konferenzen und von verschiedenen Menschen, die nie das Gesamtbild sehen. Das vorliegende Buch habe ich geschrieben, weil es nach meinem Eindruck dringend notwendig ist, diese verschiedenen Domänen zusammenzuführen. Was ich dabei herausfand, war eine Offenbarung für mich.

Wir fürchten den Wandel und stellen uns ihm entgegen. Vielleicht ist dieser Widerstand in unseren Genen angelegt: Das Vertraute erscheint uns sicherer als das Unbekannte. Viele Tiere

nehmen große Mühen auf sich, um an den Ort ihrer Geburt zurückzukehren und sich dort zu paaren, vermutlich weil der frühere Erfolg größere Aussichten auf zukünftige Erfolge eröffnet. Wir leben in einer dynamischen Welt, und manchmal bringt der Wandel etwas Gutes mit sich, aber manche Veränderungen – insbesondere solche, die die Widerstandskraft unseres Planeten untergraben – sind schädlich: Wenn die Widerstandskraft verbraucht ist, stehen in Zukunft alle Chancen gegen uns. Wie ich zeigen werde, drängen wir die Ökosysteme der Ozeane mit dem Weg, den wir heute eingeschlagen haben, an die Grenzen ihrer Überlebensfähigkeit. Ohne an die Folgen zu denken, fischen wir die Meere leer und füllen sie stattdessen mit Umweltgiften, und unser ungeplantes Experiment mit den Treibhausgasen macht sich allmählich bis in die Tiefsee bemerkbar.

Von den Einflüssen der Menschen auf die Ozeane, über die ich in diesem Buch berichten möchte, sind einige zwar schon seit Jahrhunderten wirksam, andere aber haben ihre Wirkung tatsächlich erst in den letzten fünfzig Jahren entfaltet. So betrachtet hat unser Einfluss rapide und fast augenblicklich zugenommen, nämlich in weniger als einem Tausendstel der rund 150 000 Jahre, in denen der Mensch in seiner heutigen Form existiert. Entsprechend muss auch die Antwort auf das, was wir hervorgerufen haben, plötzlich kommen und globale Ausmaße haben. Wie heikel unsere Lage wirklich ist, haben bisher nur die wenigsten begriffen.

In diesem Buch nehme ich Sie mit auf eine Reise unter die Wellen. Ich möchte Ihnen die Meere von einer Seite zeigen, die kaum jemand kennt, und deutlich machen, wie Menschen mit ihrer Tätigkeit schon seit Jahrhunderten das Netz des Lebens im Meer zerreißen. Bis vor Kurzem konnten wir die Schäden, die wir mit unserer rücksichtslosen Nutzung der Ozeane angerichtet haben,

zum größten Teil ignorieren. Aber nachdem Ausmaß und Intensität unseres Einflusses immer stärker gewachsen sind, hat sich der Wandel beschleunigt, und heute müssen wir uns mit den Folgen auseinandersetzen.

Um die Gegenwart zu verstehen, müssen wir erst einmal die Vergangenheit kennenlernen. Ich fange ganz am Anfang an: beim Abeginn der Welt. Dann greife ich unsere eigene Geschichte auf und berichte über das erste Auftauchen der Menschen auf der Erde. Für Zehntausende von Jahren bestand unsere einzige Einwirkung auf die Meere darin, dass wir ihnen Fische und Krustentiere entnahmen, also beginne ich mit einer kurzen Geschichte der Jagd und Fischerei einschließlich ihrer historischen Entwicklung. Mit der Industriellen Revolution traten die Menschen erstmals als Akteure eines weltweiten Wandels in Erscheinung; deshalb beschreibe ich als Nächstes, wie die Nutzung fossiler Brennstoffe sowie ihre Auswirkungen auf Strömungen und Klima die Meere auf eine Weise verändert, wie es seit Hunderttausenden oder sogar Millionen von Jahren nicht geschehen ist. Der Meeresspiegel steigt heute schneller, als es noch vor zwanzig Jahren selbst die höchsten Schätzungen vorhergesagt haben. Der Anstieg bedroht heute Dutzende Metropolen auf der ganzen Welt, und in fünfzig Jahren könnten riesige Teile unserer besten landwirtschaftlichen Nutzflächen unter Wasser stehen, was eine sichere Lebensmittelversorgung gefährden würde. Einer der am wenigsten bekannten, möglicherweise aber schädlichsten Effekte der Treibhausgasemissionen ist der Anstieg des Säuregehalts in den Meeren, der parallel zum Anstieg der Kohlendioxidkonzentration verläuft. Die Folgen könnten katastrophal sein. Für Tiere mit Gehäusen, darunter viele, die im Ozean die Nahrungsnetze und damit auch unsere Fischbestände aufrechterhalten, wird das Leben immer schwieriger. Seit 55 Millionen Jahren war in den Ozeanen keine Störung in ihrer Schwere mit dem Unglück ver-

gleichbar, das uns schon in hundert Jahren droht, wenn wir die Emissionen nicht schnell genug zurückfahren.

Da die Ozeane viel Wärme aufnehmen, haben sie uns bisher vor den schlimmsten Folgen der globalen Erwärmung bewahrt. Aber die Erwärmung der Meere hat die Lebewesen zum Wandern veranlasst; deshalb wird das Glück mancher Fischereinationen dahinschwinden, während andere gewinnen. Aber die Erwärmung wird noch viel umfangreichere Auswirkungen auf die Produktivität der Meere haben: Diese werden in manchen Regionen überschäumen, andere werden sich in ozeanische Wüsten verwandeln. Wären Klimawandel und Fischerei die einzigen Bedrohungen für das Leben im Meer, es wäre schon schlimm genug. Aber die Ozeane stehen auch von anderer Seite unter Druck, beispielsweise durch ihre Verschmutzung. Ich gebe einen Überblick über viele Ursachen der Umweltverschmutzung, von giftigen Chemikalien und dem heute allgegenwärtigen Plastik über Abwässer und Kunstdünger bis hin zu weniger bekannten Störungen durch Lärm und eingeschleppte Arten. Die Verschmutzungsproblematik hat sich im Laufe der Zeit immer weiter verschärft; das geht mittlerweile so weit, dass tote Zonen entstehen und sich ausbreiten, weil verwesendes Plankton dem Wasser den Sauerstoff entzieht. Der Cocktail der von Menschen ausgehenden Belastungen ist von Ort zu Ort unterschiedlich gemixt, aber das Ergebnis ist immer das gleiche: In ihrer Kombination sind sie viel schlimmer als einzeln. Wir verwandeln das Leben im Meer, und damit untergraben wir unsere eigene Existenzgrundlage.

Dieses Buch ist kein Katalog der zukünftigen, unvermeidbaren Katastrophen. Wir können viel tun, um den Kurs zu ändern – vorausgesetzt, wir ergreifen jetzt die Gelegenheit. Aber die Zeit ist von entscheidender Bedeutung. Je länger wir Probleme ignorieren oder Ausreden dafür finden, untätig zu

bleiben, desto weniger Spielraum bleibt uns, um das düsterste aller denkbaren Zukunftsszenarien zu vermeiden. Von hier an widme ich dieses Buch der Frage, wie wir einen neuen Weg zur Rettung der Ozeane und unserer selbst einschlagen können. Wie ich darlegen werde, brauchen wir einen ehrgeizigen Plan, um den Langzeittrend der Ausbeutung und Zerstörung umzukehren, den Wert der Ozeane für Menschen und Tiere mit neuem Kapital zu stärken und die Lebensqualität für alle zu verbessern, insbesondere aber für die Generationen, die nach uns kommen. Wir brauchen nicht hilflos zuzusehen, wie alles, was wir an den Meeren lieben, den Bach hinuntergeht. Der Wandel zum Guten steht in unserer Macht.

KAPITEL 1

Viereinhalb Milliarden Jahre

In einer abgelegenen Gegend Australiens gibt es eine Hügelkette, die im Laufe der Zeit so eingeebnet wurde, dass heute kaum mehr als ein paar Geländewellen übrig sind. Die Sommersonne erhitzt die rote Erde, und Bäume treiben tiefe Wurzeln, um ihren Durst zu stillen. Ganz in der Nähe geben durcheinandergewürfelte Felsplatten den Blick auf Streifen mit abgerundeten Kieselsteinen frei, die hier vor langer Zeit bei Überschwemmungen abgelagert wurden – vor sehr langer Zeit: Die Felsplatten der Jack Hills liegen hier schon seit drei Milliarden Jahren (Abb. 4). Eine von Land umgebene Wüste – dass hier eine Geschichte über die Ozeane beginnen soll, mag sich seltsam anhören, aber so unscheinbar diese Steine auch aussehen mögen, sie haben die Frühgeschichte unseres Planeten neu geschrieben.

Zirkone sind pyramidenförmige Kristalle, die sich in abkühlendem Magma zusammenfinden. Sie sind unglaublich widerstandsfähig und überleben auch mehrfaches Einschmelzen und Erhärten, wenn die Kruste unseres ruhelosen Planeten durch plattentektonische Bewegungen immer wieder recycelt wird. Zirkone bilden Mineralien in vielen verschiedenen Farbtönen. Der Name kommt vermutlich vom persischen *zargun*, was »golden« bedeutet – vielleicht eine Anspielung auf die durchscheinend-gelblichen Steine, die einst von Sri Lanka über Persien nach Europa und China verkauft wurden. Leuchtend himmelblaue Kristalle wurden von den Menschen, die im heutigen Kambodscha die Tempelstadt Angkor Wat erbauten, aus dem Schlamm der Flüsse gegraben.

Die Zirkone von den Jack Hills sind weniger farbenprächtig (Abb. 5). Außerdem sind sie so klein, dass man sie mit bloßem Auge kaum sehen kann. Mehr als hundert Kilo Gestein aus den Jack Hills braucht man, um einen Fingerhut voller Zirkone zu gewinnen.¹ Aber die Mühe lohnt sich. Wie man heute weiß, enthält jeder Kristall ein wenig Uran, das im Laufe der Zeit zu Blei zerfällt; damit stellt es einen geologischen Zeitmesser dar, der über die Erdzeitalter hinweg tickt. Misst man das Mengenverhältnis von Uran zu Blei, kann man den Zeitpunkt, zu dem der Kristall entstand, auf wenige Dutzend Millionen Jahre genau ermitteln. Der älteste Kristall aus den Jack Hills ist 4,4 Milliarden Jahre alt. Damit sind wir nur noch eine Haaresbreite von der Entstehung der Erde entfernt (nun ja, eine Haaresbreite von 170 Millionen Jahren, aber das ist nicht viel!). Werfen wir also einen Blick auf unseren Planeten in seiner Jugend.

Wenn es um die Geburt und Frühzeit der Erde geht, können wir nie in allen Einzelheiten sichere Aussagen machen. Niemand war dabei, niemand hat es gesehen, und wir können die Zeit auch nicht zurückdrehen, um nachzuschauen. Das Beste, was wir tun können, ist, auf der ganzen Welt nach alten Gesteinen und Fossilien zu suchen, um dann ihren Geheimnissen auf die Spur zu kommen. Wir denken uns Theorien aus, die zu den Belegen passen, und revidieren sie, wenn neue Daten es verlangen. Heutzutage werden in atemberaubendem Tempo immer neue Methoden entwickelt, um einen Blick in die Vergangenheit zu werfen, und so gewinnt das Bild allmählich an Schärfe. In der Geschichte, die ich in diesem Kapitel erzählen will, gibt es zwar noch viele Unsicherheiten, aber insgesamt ist der Ablauf der Ereignisse gut belegt.

Vor ungefähr 4,57 Milliarden Jahren kondensierte die Erde aus einer rotierenden Staub- und Geröllscheibe, die zu unserem Sonnensystem werden sollte.² Die Sonne ist ungefähr genauso

alt, also bildete sich unser Planet, als das Streichholz angezündet wurde, das unserem Sonnensystem sein Licht geben sollte. Als Trümmer den wachsenden Planeten in seine heutige Form pressten, wurde er immer heißer, und das Gestein schmolz. Aus der Dunkelheit des Alls betrachtet, muss unsere Welt geglimmt haben wie eine schwache Sonne. Ungefähr vor 4,53 Milliarden Jahren kollidierte ein Planet von der Größe des Mars mit dieser neuen Welt und sprengte Stücke ab, die zum Mond wurden. Der Einschlag war so gewaltig, dass er das Gestein verdampfen ließ; die urtümliche Welt war nun von einer dichten Atmosphäre aus verdampftem Gestein und anderen Gasen eingehüllt. Als sie sich abkühlte, kondensierten die Mineralien irgendwann, und zweitausend Jahre lang regnete es geschmolzenes Gestein auf einen Ozean aus Magma. Aber auch nach dieser Tausend-Grad-Sintflut war die Atmosphäre voller Dämpfe und Gase; der Luftdruck an der Oberfläche des feurigen Meeres dürfte hundertmal so groß gewesen sein wie heute.³

Diesem Zusammenstoß verdanken wir eine Menge. Er stellte die Rotationsachse der Erde schräg, sodass wir Jahreszeiten haben.⁴ In den gewaltigen Zeiträumen der Erdgeschichte verlangsamte und stabilisierte der Mond die Drehung der Erde, was uns längere Tage bescherte. Vor einer Milliarde Jahren hatte ein Tag nur 18 Stunden und das Jahr dauerte 480 Tage. Anfangs war der Mond dem Planeten viel näher und stand riesengroß am Himmel. Wegen seiner Gravitationsanziehung sind die Gezeiten noch heute viel stärker, als sie es durch die weit entfernte Sonne allein wären, und Ebbe und Flut waren an den damals kürzeren Tagen wesentlich heftiger, weil der Wasserstand schneller stieg und wieder sank.⁵

Die Zeit des sengend heißen Feuerballs namens Erde wird als Hadaikum oder auch Hadeum bezeichnet. Lange Zeit glaubte man, die höllischen Bedingungen hätten während der ersten

halben Milliarde Jahre der Erdgeschichte geherrscht, aber diese Ansicht hat sich kürzlich wegen eines Zirkons aus den Jack Hills geändert. Der 4,4 Milliarden Jahre alte Kristall und winzige darin eingeschlossene Partikel aus anderen Materialien bildeten sich bei Temperaturen, wie sie für fest werdenden Granit charakteristisch sind, der mit flüssigem Wasser in Kontakt kommt.⁶ Die Kontinente bestehen aus Granit – in dem unscheinbaren kleinen Brocken erkennen wir also die Spuren einer kühleren Welt mit Land und Wasser, und sie stammen aus einer Zeit, in der es eine solche Welt nach bisheriger Meinung noch lange nicht gab. Vermutlich war die Welt kein brodelnder Ozean aus Feuer, sondern ähnelte eher einer Dampfsauna.

Mit ihren flüssigen Ozeanen und Meeren ist die Erde in unserem Sonnensystem einzigartig. Woher kam das viele Wasser? Zwar gab es Wasser in der Scheibe aus Staub und Gasen, aus der sich das Sonnensystem bildete, aber nach Ansicht mancher Wissenschaftler war es im inneren Teil der Scheibe, in dem die Erde entstand, dafür zu heiß.⁷ Sie behaupten, Kometen und Asteroiden aus Eis hätten das Wasser erst lange nach der Entstehung der Erde aus den weiter entfernten Bereichen des Sonnensystems herantransportiert. Ein solches Trommelfeuer erleben wir auch heute noch: Alle paar Sekunden schmilzt in der äußeren Atmosphäre ein »Schneeball« von den Ausmaßen eines großen Lastwagens. Messungen der Isotopenzusammensetzung solcher Schneebälle lassen aber darauf schließen, dass sie zur gesamten Wassermenge auf der Erde nur wenige Prozent beigetragen haben.⁸ Der Rest, so nahm man an, stammte zum größten Teil aus Meteoriten, aber kürzlich fand man einen Kometen, dessen Wasser in seiner Isotopenzusammensetzung stark den Ozeanen auf der Erde ähnelt. Demnach könnten Kometen also einen größeren Anteil beigetragen haben, als man früher glaubte.⁹ Nach einer anderen Vorstellung blieben Wassermoleküle, die

im Weltraum trieben, an Staubteilchen hängen, sodass Gestein und Wasser sich zur gleichen Zeit zusammenfanden. Tatsächlich gibt es auf unserer Welt genug Wasser für fünf bis zehn Ozeane, vielleicht auch für noch mehr: Der größte Teil ist im Muttergestein eingeschlossen. Basaltgestein besteht zu einem halben Gewichtsprozent aus Wasser, das im Kristallgitter gefangen ist.¹⁰ Als die Erde sich in ihrer Frühzeit aufheizte und das Gestein schmolz, verdampfte das Wasser und gelangte in die Atmosphäre. Mehr als hundert Millionen Jahre lang hingen die Ozeane als dichte, wabernde Dampf Wolke über der glühenden Oberfläche unseres Planeten.

Als die Erde sich ein wenig abkühlte, fiel ein neuer Regen, dieses Mal aus kochendem Wasser. Der Wolkenbruch dauerte Jahrtausende und wiederholte sich während der nächsten halben Milliarde Jahre mehrere Male, als riesige Einschläge von Trümmern aus dem Weltraum die oberen Schichten der Meere zum Sieden brachten. Eine weitere halbe Milliarde Jahre wurde die Erde von Asteroiden bombardiert, weit größer als jener, der vor 65 Millionen Jahren die Dinosaurier hinwegfegte. Von diesen Einschlägen sind nur wenige Spuren zurückgeblieben, denn die Erdkruste wird ständig wieder ins Innere unseres Planeten befördert. Wie heftig sie waren, können wir aber am Mond ablesen: Seine Oberfläche mit ihren Kratern, die sich seit der Abkühlung nicht mehr bewegt haben, zeugt noch immer von dem Bombardement.

Anfangs war die Erde zum größten Teil von Ozeanen bedeckt. Ihr Volumen dürfte doppelt so groß gewesen sein wie das der heutigen Meere.¹¹ Wo Blöcke der Erdkruste zusammenstießen, stiegen Inseln in die Höhe, und Vulkane häuften Asche- und Lavaberge auf, aber Kontinente gab es nicht. Die kamen erst später und entstanden sehr langsam. Die heutige Welt gliedert sich in Kontinente und Meere, weil die Erdkruste aus zweierlei

Gestein zusammengesetzt ist. Unter dem Meer besteht sie aus Basalt, und der ist geringfügig dichter als der Granit der Kontinente. Durch wiederholtes Schmelzen und Erhärten im Glutofen der jungen Erde trennte sich das leichtere Granitgestein, das heute die Kontinente bildet, vom schwereren Basalt. Beide Gesteine schwimmen auf einem Meer aus heißem, flüssigem Magma des unter ihnen liegenden Erdmantels, aber die Kontinente schwimmen höher. Es ist wie bei den Eisbergen: Wie viel man über Wasser sieht, hängt davon ab, wie viel ungesehen darunterliegt. Kontinente haben tiefe Wurzeln und schwimmen deshalb im Erdmantel höher als die ozeanische Kruste. Das ist der Grund, warum Land durchschnittlich 840 Meter über dem Meeresspiegel liegt, während die Meere durchschnittlich 3680 Meter tief sind; beides ist eine Folge der unterschiedlichen Dichte ihrer Gesteine.¹²

Auf uns wirken die Ozeane riesengroß. Sie erstrecken sich über 360 Millionen Quadratkilometer und haben ein Volumen von 1,33 Milliarden Kubikkilometern. Sich einen Kubikkilometer vorzustellen ist schwierig. Um den Central Park in New York bis zur Höhe eines dreißigstöckigen Gebäudes unter Wasser zu setzen, würde man ungefähr einen halben Kubikkilometer Wasser brauchen. 2,66 Milliarden Central Parks wären demnach notwendig, um die Ozeane zu füllen – ein fast unvorstellbares Volumen. Aber im Größenmaßstab unseres Planeten betrachtet, bilden die Ozeane dennoch nur eine Schicht, die so dünn ist wie die Schale eines Apfels.¹³

Das zähflüssige Magma des Erdmantels hält die Erdoberfläche ständig in Bewegung. An manchen Stellen steigt heißes Magma aus der Tiefe auf und bildet neue Krustenteile. Da die Erde nicht größer wird, steht dieser kreativen Kraft an anderen Orten die Zerstörung gegenüber: Die Erdkruste gleitet hinunter in den Erdmantel. Entsprechend gliedert sich die Erdoberfläche

in Blöcke, auch Platten genannt, die sich im Zeitlupentempo in einem geologischen Tanz bewegen. Auch hier ist der Dichteunterschied zwischen ozeanischer und kontinentaler Kruste von Bedeutung. Da die ozeanische Kruste dünn und dicht ist (vier bis zehn Kilometer dick im Vergleich zu den dreißig bis vierzig Kilometern des kontinentalen Granits), wird sie im Erdmantel schnell wiederverwertet – ungefähr zehnmal schneller als die Kontinente. (Kein Teil der ozeanischen Kruste ist älter als zweihundert Millionen Jahre, während sieben Prozent der Landflächen schon mehr als 2,5 Milliarden Jahre existieren.)¹⁴ Man kann sich die Kontinente wie den Schaum vorstellen, der unter einem Wasserfall auf dem Felsbecken tanzt. Das Wasser fließt darunter hinweg, der Schaum jedoch bleibt an seinem Ort.

Die Kontinente entstanden schon sehr frühzeitig. Anfangs, als es auf der Erde noch sehr heiß war, wurde die Kruste schnell umgewälzt, aber vor vier Milliarden Jahren, als der Planet sich abkühlte und das Meteoritenbombardement zu Ende ging, verlangsamte sich das Tempo. Die Kontinente wuchsen und erreichten vor rund 2,5 Milliarden Jahren ihre heutige Fläche. Seit jener Zeit werden sie ungefähr mit der gleichen Geschwindigkeit zerstört und wieder aufgebaut. Heute schleichen die Platten langsam hin und her; der Atlantik erweitert sich um etwa zweieinhalb Zentimeter im Jahr, ein wenig langsamer, als unsere Fingernägel wachsen.

Sieht man einmal von den Zirkonen ab, findet sich das älteste Gestein der Welt im Aufschluss des vier Milliarden Jahre alten Acasta-Gneises im Norden Kanadas. Er bildete sich jedoch tief unter der Erde und sagt deshalb kaum etwas darüber aus, was sich zu jener Zeit an der Oberfläche abspielte. Das älteste Oberflächengestein sind die stark metamorphen Isua-Sedimente im Süden Grönlands, die unter Wasser entstanden und deshalb das erste unmittelbare Indiz für Ozeane liefern.¹⁵ Bemerkenswer-

terweise lassen diese Ablagerungen darauf schließen, dass die Evolution des Lebens zur Zeit ihrer Entstehung bereits begonnen hatte. In den Isua-Sedimenten gibt es zwar keine Fossilien, aber die chemische Zusammensetzung des Kohlenstoffs in den Sedimenten ist für Lebewesen charakteristisch.

Die ersten Lebensformen entstanden im Archaikum, jener Periode von eineinhalb Milliarden Jahren, die auf das Hadaiikum folgte. Damals sah die Welt völlig anders aus als heute. Zunächst einmal gab es kaum freien Sauerstoff, und die Sonne schien um ein Viertel weniger hell.¹⁶ Irgendwann vor 4,1 bis 3,8 Milliarden Jahren entwickelten sich Mikroorganismen, die Methan produzierten, ein Treibhausgas, das 25-mal wirksamer ist als Kohlendioxid.¹⁷ Die Methankonzentration stieg, und auf der Erde wurde es wärmer.¹⁸ Mehr als eine Milliarde Jahre lang, mindestens bis vor 2,5 Milliarden Jahren, hielt die Treibhausgaswolke die Meere flüssig, und die Sonne erwärmte die Erde. Hätte es in der Atmosphäre nicht die dichte Gasdecke gegeben, die Ozeane wären eingefroren, und das Leben wäre nie in Gang gekommen oder schon früh wieder ausgelöscht worden.

Nach den ersten Funken des Lebens gibt es, abgesehen von chemischen Veränderungen, über Hunderte von Jahrmillionen keine Spur davon im Gestein.¹⁹ Spektakuläre Fortschritte der modernen Genetik und Informatik versetzen uns aber heute in die Lage, den Baum des Lebens von den Blättern bis zur Spitze der Wurzel, aus der er entsprang, zurückzuverfolgen. Alle Lebewesen, vom bescheidenen Virus bis zum riesigen Wal, tragen ein gemeinsames Erbe in sich, das in ihren Genen festgeschrieben ist. Aus dieser Ähnlichkeit können wir ableiten, was schon Charles Darwin voraussagte: Alle heutigen Lebewesen stammen vom allerersten Funken des Lebendigen ab. Die Gene, die verschiedene Stoffwechselfunktionen codieren, lassen sich auf dem Baum des Lebens so anordnen, dass man die Reihenfolge ihrer

Entstehung und einen Teil der zeitlichen Abläufe erkennt. Sie liefern Aufschluss darüber, wann das Leben entscheidende evolutionäre Meilensteine hinter sich ließ, und wir können an ihnen ablesen, wie sich die Umwelt gewandelt hat. In manchen Fällen mussten frühe Lebensformen sich auf globale Umwälzungen einstellen, aber oftmals sorgten sie auch selbst dafür, dass ihre Umwelt sich wandelte.

In der Tiefsee findet man heiße Quellen, die unter sehr hohem Druck stehen und überhitztes Wasser von dreihundert bis vierhundert Grad Celsius ausspucken. Dieses Wasser ist mit Mineralstoffen beladen, sodass seine Schwaden undurchsichtig sind, zumeist schwarz oder weiß. Sie lagern in ihrer Umgebung metallhaltige Verbindungen ab, die vermutlich wichtige chemische Reaktionen katalysieren. Heute bilden solche heißen Quellen die Lebensgrundlage für reichhaltige Lebensgemeinschaften, die ihre Energie ausschließlich aus chemischen Reaktionen besonderer Mikroorganismen beziehen. Hier lässt sich erahnen, wie die ersten Mikroorganismen für ihren Lebensunterhalt sorgten, und vielleicht war es sogar ein solcher Ort, an dem das Leben überhaupt entstand.

Mehr als drei Milliarden Jahre lang wurde unser Planet von Einzellern und Mikrobenschleim beherrscht. Zu begreifen, wie lang dieser Zeitraum war, ist schwierig. Stellen wir es uns einmal so vor: Hätte jedes Jahr nur eine Sekunde gedauert, wären 95 Jahre notwendig gewesen, bis die drei Milliarden Jahre vergangen waren. Die Evolution von Mikroorganismen geht schnell vonstatten, weil jede Generation nur kurz lebt. Selbst wenn man berücksichtigt, dass die Ozeane im Archaikum aller Wahrscheinlichkeit nach weniger produktiv waren als heute, reichte die Zeit aus, dass Hunderte Milliarden Generationen kommen und gehen konnten.²⁰ Jede neue Generation bot die Gelegenheit zu

Abweichungen, die das Rohmaterial evolutionärer Neuerungen bildeten. Es war eine Zeit des außerordentlichen Erfindungsreichtums; damals wurden die Grundlagen für fast alles gelegt, was die Lebewesen heute tun.

Schon frühzeitig entwickelte sich bei den Mikroorganismen die Fähigkeit, Schwefelwasserstoff – das Gas, das verfaulten Eiern ihren Geruch gibt und aus den heißen Quellen am Meeresboden quillt – zu Sulfaten umzusetzen und damit Energie zu gewinnen.²¹ Das war ein entscheidender Schritt. Einige Organismen entwickelten schließlich den komplizierten chemischen Apparat zur Energiegewinnung aus Sonnenlicht und vollzogen diese Umwandlung im flachen Wasser – womit die Fotosynthese geboren war. Mikroorganismen werden nicht ohne Weiteres zu Fossilien, aber sie können versteinern und bilden dann ein flintsteinähnliches Material, das als Hornstein oder Chert bezeichnet wird. Die ältesten Fossilien sind 3,45 Milliarden Jahre alte Ketten von Mikroorganismen, die in australischem Hornstein eingeschlossen sind, ihre Interpretation ist allerdings umstritten.²² Sie sehen aus wie Cyanobakterien, eine Organismengruppe, die auch heute weit verbreitet ist. Es waren diese Lebewesen, bei denen sich später die Fähigkeit zur Fotosynthese entwickelte, jene Methode zur Energiegewinnung aus Sonnenlicht, die heute die gesamte Primärproduktion beherrscht. Sie nutzten die Sonnenenergie, um aus Kohlendioxid und Wasser Kohlenstoffverbindungen – oder mit anderen Worten: Nahrung – herzustellen. Als Abfallprodukt fiel dabei Sauerstoff an.

Die ersten chemischen Spuren von Fotosynthese und Sauerstoffproduktion fand man in 2,7 Milliarden Jahre altem Schiefergestein, das reich an organischem Material war.²³ Dieser Innovation haben wir es zu verdanken, dass unsere Welt heute so und nicht anders funktioniert, denn praktisch der gesamte Sauerstoff, der uns heute umgibt, ist durch Fotosynthese entstanden.

Hunderte von Jahrmillionen dauerte es, bis so viel Sauerstoff vorhanden war, dass wir seine Spuren nachweisen können. Die ersten Anhaltspunkte für Sauerstoff liefert dunkler Schiefer vom Mount McRae in Westaustralien, der vor 2,5 Milliarden Jahren abgelagert wurde.²⁴

Wenig später (jedenfalls nach erdgeschichtlichen Maßstäben, denn immerhin dauerte es nochmals rund fünfzig Millionen Jahre) findet sich Sauerstoff in Gesteinen auf der ganzen Welt. Die nächsten 150 Millionen Jahre sind bei Geologen als »Große Sauerstoffkatastrophe« bekannt: Sie kündigen die Entstehung unserer heutigen Atmosphäre an. Der Sauerstoff war zunächst alles andere als ein Segen (dazu wurde er erst später), sondern er stürzte die Erde in eine Krise. Wenn Sauerstoff und Methan aufeinandertreffen, entstehen Kohlendioxid und Wasser. Kohlendioxid ist als Treibhausgas 25-mal weniger wirksam als Methan; die Folge: Die wärmende Hülle der Erde wurde dünner und der Planet froh ein.

Es war nach Ansicht mancher Wissenschaftler eine derart heftige Eiszeit, dass die Meere und Kontinente bis hinunter in die Tropen vereisten.²⁵ Wenn Eis sich in geografischen Breiten unterhalb von dreißig Grad bildet, reflektiert es so viel Wärme in den Weltraum, dass die Vereisung zum Selbstläufer wird. Manche Simulationen legen die Vermutung nahe, dass die Ozeane in einer solchen Welt bis in eine Tiefe von tausend Metern gefroren waren. Zurückgezogen hätte sich das Eis demnach erst, nachdem Vulkantätigkeit über Jahrmillionen hinweg so viel Kohlendioxid in die Atmosphäre freisetzt hätte, dass die Erde sich wieder erwärmt hätte und die Eisschicht abgetaut wäre. Wie das Leben diese Phase des »Schneeballs Erde« überleben konnte, ist schwer zu erkennen; manche meinen, die Schrägstellung der Erdachse relativ zur Sonne müsse zu jener Zeit eine andere gewesen sein, sodass es an den Polen wärmer war als in den Tropen und an

manchen Stellen auch in der Phase der größten Kälte noch eisfreie Bedingungen herrschten.²⁶ Andererseits wäre auch denkbar, dass Wettersysteme manche Bereiche der Ozeane eisfrei hielten.

Die Ozeane der Vergangenheit waren keine Gewässer, in denen man gern geschwommen wäre. Im Hadaikum und Archaikum enthielten sie nach heutiger Kenntnis viel gelöstes Eisen, aber keinen Sauerstoff. Das Eisen stammte aus heißen Quellen am Meeresboden und aus verwittertem Gestein. In Abwesenheit von Sauerstoff löst Eisen sich leicht und wird ins Meer gespült; ist dagegen Sauerstoff vorhanden, wird es oxidiert und bleibt, wo es ist. Die Mikroorganismen der Frühzeit machten sich das Eisen zunutze. Sie entwickelten Methoden, um freies Eisen mithilfe der Energie aus dem Sonnenlicht zu oxidieren und Nährstoffe aus Kohlendioxid und Wasser herzustellen. Das Eisen fiel am Boden der Meere aus und bildete dicke Ablagerungen, die heute als Bändererz bezeichnet werden.²⁷

Eine dünne Scheibe eines 2,5 Milliarden Jahre alten Meeresbodens steht bei mir zu Hause im Regal. Sie ist nur einen Zentimeter dick, aber erstaunlich schwer. Quer durch die Platte wechseln sich wellenförmige Schichten aus rostbraunem, gelbem und orangefarbenem Siliziumoxid mit schwarzen und grauen Streifen aus Magnetit ab. An Stellen, wo das Gestein später unter Druck verdreht und verformt wurde, füllen dickere Schichten aus glänzendem Tigerauge die Lücken. Es ist wunderschön (Abb. 6). Ich finde es faszinierend, mit dem Finger über dieses Bruchstück unseres Urozeans zu streichen. Die meisten Bändererzformationen sind im Zuge der Wiederverwertung längst in den Erdmantel zurückgekehrt, aber kleine Stücke des uralten Meeresbodens finden sich noch vereinzelt in Felsformationen in Australien, Kanada, Russland und an anderen Orten. Sie sind eine der reichhaltigsten Quellen für Eisen auf der ganzen Welt.

Bändererzformationen findet man fast ausschließlich in Gestein, das älter als 2,4 Milliarden Jahre ist. Während der anschließenden vierhundert Millionen Jahre verschwinden sie aus den Gesteinsschichten. Lange Zeit glaubte man, der von den Cyanobakterien produzierte Sauerstoff habe sich im Ozean gelöst und dort das Eisen beseitigt, aber die chemischen Eigenschaften der Gesteinsablagerungen machen heute eine andere Interpretation wahrscheinlicher. Der in Dänemark tätige Geobiologe und Universalgelehrte Donald Canfield ist überzeugt, dass es unterhalb einer dünnen Schicht an der Oberfläche des Meeres noch über Hunderte von Jahrmillionen, nachdem erstmals Sauerstoff in die Erdatmosphäre aufgestiegen war, keinen Sauerstoff gab. Nach seiner Vorstellung reagierte der Sauerstoff an Land mit Sulfiden im Gestein, von wo sie als Sulfate ins Meer gespült wurden. Demnach hätte nicht der Sauerstoff, sondern das Sulfat den Meeren ihr Eisen entzogen. Die Große Sauerstoffkatastrophe wäre demnach erst eine Milliarde Jahre später in die Tiefsee vorgedrungen.

Warum aber dauerte es so lange, bis die Tiefsee durchlüftet war? Die Atmosphäre hatte immer noch einen sehr geringen Sauerstoffgehalt – er betrug nicht mehr als ein Prozent des heutigen Wertes. Menschen wären darin innerhalb kürzester Zeit erstickt. Sauerstoff wird in die Tiefsee transportiert, wenn Oberflächenwasser absinkt; dabei wird er aber für den Abbau organischer Stoffe – oder anders gesagt: toter Mikroorganismen – verbraucht, die ebenfalls von der Oberfläche in die Tiefe sinken. Es muss nicht viel absinkende organische Materie abgebaut werden, damit der Sauerstoff in tieferen Schichten schneller verschwindet, als er nachgeliefert werden kann. Dennoch ist nur schwer zu erklären, wie das Tiefenwasser nach dem Aufschwung der Sauerstoff produzierenden Fotosynthese über einen so ungeheuer langen Zeitraum hinweg sauerstofffrei bleiben konnte. Die ersten Sauerstoffproduzenten lebten in seichtem, sonnendurchflutetem

Wasser. Wie heutige Lebewesen brauchten sie jedoch neben dem Licht auch Nährstoffe, um ihr Wachstum voranzutreiben. Da die meisten Nährstoffe in Form toter Mikroorganismen in die Tiefe sanken, mussten sie mithilfe aufsteigenden Tiefenwassers dem Recycling zugeführt werden. Nach einer faszinierenden neuen Theorie gelangte das sauerstofffreie, schwefelwasserstoffreiche Wasser bis in die unteren lichtdurchfluteten Schichten und traf dort auf Fotosynthese betreibende Organismen;²⁸ diese verbrauchten den Schwefelwasserstoff, ohne aber Sauerstoff zu produzieren, und fingen damit einen großen Teil der Nährstoffe ab, bevor sie die Lebewesen erreichen konnten, die dichter an der Oberfläche Sauerstoff produzierten.²⁹

Die Geschichte der Nährstoffe hat noch einen weiteren Dreh. Schon sehr früh bauten Lebewesen die Spurenelemente Eisen und Molybdän in Enzyme ein, die Stickstoff fixieren und damit dem Leben einen seiner wichtigsten Nährstoffe verschaffen. Die schwefelwasserstoffhaltigen Meere enthielten diese beiden Metalle nur in sehr geringen Mengen, weil beide mit dem Schwefelwasserstoff reagierten und sich dann am Meeresboden ablagerten. Offenbar sorgten also die Besonderheiten von Meer und Nährstoffversorgung dafür, dass die Sättigung unseres Planeten mit Sauerstoff sich um eine kleine Ewigkeit verzögerte.

Die auf Schwefel basierende Fotosynthese findet sich auch heute noch an manchen Orten. Das Schwarze Meer ist ein nahezu abgeschlossenes Gewässer und von einer warmen, sonnenbeschienenen Oberflächenschicht bedeckt, die eine geringere Dichte hat als das kühle Wasser der tieferen Schichten. Der Sauerstoff in der warmen Oberflächenschicht vermischt sich kaum mit dem Tiefenwasser; deshalb gibt es im Schwarzen Meer seit Jahrtausenden in Tiefen unter 150 Metern keinen Sauerstoff. Eine Wasserprobe, die man aus dieser Tiefe an die Oberfläche

holt, stinkt genau wie die urzeitlichen Ozeane nach faulen Eiern. Nähert man sich im sauerstofffreien Wasser der Oberfläche, produzieren grüne und purpurfarbene Schwefelbakterien mithilfe des Sonnenlichts Nährstoffe und Energie, genau wie ihre Vorfahren es vor vielen Erdzeitaltern taten.

Ob früher alle Ozeane auf der Erde so viel Schwefelwasserstoff enthielten wie heute das Schwarze Meer, lässt sich kaum feststellen. Die meisten Gesteine, an denen wir es ablesen könnten, sind längst wieder im Erdmantel verschwunden, sodass wir heute nur an wenigen Stellen nach Anhaltspunkten suchen können. Allerdings wissen wir, dass die Verhältnisse sich vor neunhundert bis achthundert Millionen Jahren allmählich veränderten. Damals ging die »langweilige Milliarde Jahre«, wie die Paläontologen sie nennen, zu Ende. In dieser Phase näherten sich die Ozeane in ihrer chemischen Zusammensetzung den heutigen Verhältnissen an. Da ungefähr zu jener Zeit auch zahlreiche neue Gebirge entstanden, könnte sich die Zufuhr der Spurenelemente zum Oberflächenwasser verstärkt haben, sodass die Sauerstoffproduzenten besser gediehen. Mit dem Anstieg des Sauerstoffgehalts in der Atmosphäre wurde das Meer auch bis unterhalb der sonendurchfluteten Schichten mit Sauerstoff angereichert; damit endete die Vorherrschaft der Schwefelbakterien, sodass für die Sauerstoffproduzenten mehr Nährstoffe zur Verfügung standen. Diese positive Rückkopplung führte dazu, dass der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre unwiderruflich anstieg. Damit waren alle Voraussetzungen für die nächste große Erneuerung des Lebens gegeben: die Entstehung der Vielzelligkeit.

Als Charles Darwin sein Hauptwerk *Die Entstehung der Arten* schrieb, sah es so aus, als würden die Fossilfunde am Anfang der großen kambrischen Explosion versiegen, jener Zeit, in der es erstmals Lebewesen mit harten Körperteilen gab, die leicht zu

Fossilien werden. Davor gab es nichts: Das Gestein schien leer zu sein. Es war, als hätte ein Schöpfer damals eine Ansammlung primitiver Lebensformen erschaffen, aus denen sich alle späteren Lebewesen entwickelten. Eine eingehende, 150-jährige Suche war notwendig, bis man die rätselhaften Schatten früherer Lebensformen fand. Viele davon waren Mikroorganismen, aber es gibt sie. Darwin wäre über das, was wir heute wissen, begeistert gewesen.

Die Anreicherung der Erdatmosphäre mit Sauerstoff war ein Schlüsselereignis in der Geschichte des Lebens. Ein Stoffwechsel auf der Basis der Sauerstoffatmung erzeugt 16-mal so viel Energie wie entsprechende sauerstofffreie Reaktionswege. Als freier Sauerstoff zur Verfügung stand, eröffneten sich ungeheure Möglichkeiten, die auch schon bald genutzt wurden. Um die ersten Enzyme ausfindig zu machen, die Sauerstoff nutzten, verfolgte man die Evolution von Proteinen mithilfe der neuesten Gensequenzbibliotheken und leistungsfähiger Computerverfahren zurück in die Vergangenheit. Aus der Zeit vor dem Kambrium gibt es zwar nur sehr wenige Fossilien, aber in gewisser Weise trägt jeder von uns eine Bibliothek fossiler Gene in sich, die bis ins Archaikum zurückreicht, also in die Zeit vor einigen Milliarden Jahren. Die Entwicklungsgeschichte der Proteinformen verschafft uns eine molekulare Uhr, an der wir die Entstehungszeit evolutionärer Neuerungen ablesen können. Die ersten zögernden Schritte zur Nutzung des freien Sauerstoffs wurden anscheinend vor 2,9 Milliarden Jahren vollzogen, vierhundert Millionen Jahre bevor am Gestein die ersten eindeutigen Belege für freien Sauerstoff zu erkennen sind.³⁰ Während der Großen Sauerstoffkatastrophe nahm die Zahl der Enzyme, die am Sauerstoffwechsel mitwirkten, schnell zu. Vor etwa 1,2 Milliarden Jahren setzte dann eine zweite Welle evolutionärer Neuerungen ein, die sich bis zur kambrischen Explosion fortsetzte. Zu Beginn des

Kambriums vor 542 Millionen Jahren war der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre bereits auf knapp zwölf Prozent des heutigen Wertes angestiegen.

Sauerstoff entsteht durch Fotosynthese bei der Produktion organischer Materie und wird sowohl durch Atmung als auch bei der Zersetzung organischen Materials verbraucht. Wären beide Seiten dieser Gleichung tatsächlich ausgewogen, würde sich in der Atmosphäre kein Sauerstoff anreichern. In Wirklichkeit wird jedoch ein Teil der organischen Substanzen am Meeresboden, aber auch in Sümpfen und Seen begraben. Im späten Präkambrium, als der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre stieg, muss der organische Kohlenstoff immer schneller »begraben« worden sein. Freier Sauerstoff entsteht außerdem, wenn Sulfat sich mit Eisen zu Eisensulfit (Pyrit oder auch Narrengold) verbindet. Wenn also mehr Pyrit begraben wurde, konnte die Welt sich stärker mit Sauerstoff anreichern. Warum das Pyrit schneller aus der Umwelt verschwand, wissen wir nicht genau, aber nach heutiger Kenntnis spielte die Sauerstoffanreicherung in den Ozeanen dabei eine Schlüsselrolle.

Was auch immer die Ursache war, nach Ansicht vieler Fachleute ebnete der Anstieg der Sauerstoffmenge den Weg für die explosionsartige Entwicklung des Lebens. Beide Vorgänge gingen Hand in Hand. Große Tiere, die Sauerstoff verbrauchen, benötigen viel davon zur Versorgung ihres Gewebes. Dass es sie in den vorangegangenen drei Milliarden Jahren nicht gab, könnte einfach daran gelegen haben, dass die Sauerstoffmenge erst danach ausreichte, um derart große Organismen zu versorgen.

Das Kambrium war eine Zeit atemberaubender evolutionärer Kreativität. Wie wir am Gestein ablesen können, erschienen in einem Zeitraum von nur zwanzig Millionen Jahren praktisch alle heutigen großen Tiergruppen auf der Bildfläche. Wenn

erdgeschichtliche Phasen durch ihre erfolgreichsten Lebewesen charakterisiert sind, war dies das Zeitalter der Gliederfüßer, zu erkennen am Außenskelett und den gegliederten Beinen mit ihren Gelenken. Ihre heute lebenden Nachfahren sind die Insekten, Krebse, Hummer, Tausendfüßer, Spinnen und so weiter. Besser als jede andere Gruppe definieren aber die heute ausgestorbenen Trilobiten das Kambrium. Die Meere des Kambriums waren bevölkert von einem verblüffenden Durcheinander dieser einfach gebauten, hin und her flitzenden Lebewesen. Sie trugen einen Panzer aus beweglichen Platten, einen Helm, der manchmal auffällig mit Stacheln und Spitzen verziert war, und Augen mit kristalliner Linse. Die Trilobiten hatten allen Grund, sich zu schützen, denn Raubtiere gab es in Hülle und Fülle. Einer Erklärung zufolge war die kambrische Explosion eine Art Wettrüsten: Manche Tiere bemühten sich, natürlichen Feinden zu entkommen oder sie abzuwehren, andere entwickelten immer bessere Mittel, um Beute zu fangen. Grasen und räuberisches Verhalten sind Hunderte von Jahrmillionen älter, aber erst im Kambrium entwickelte sich endgültig die Fähigkeit, auch größere Beuteorganismen zu verschlingen. Die Grundlagen für die heutigen Nahrungsnetze wurden in den Meeren des Kambriums gelegt, also in einer Phase, die vor 488 Millionen Jahren zu Ende ging.

Während das Leben immer vielfältiger wurde, kappte eine Reihe von Umweltkrisen immer wieder Zweige, die aus der üppigen Krone des Lebensstammbaumes ragten. Gerade als die Atmosphäre sich besser zum Atmen eignete, ging der Sauerstoffgehalt in den Ozeanen zurück, und die Schwefelmeere erlebten ein Comeback.³¹ Offensichtlich stieg dabei sauerstofffreies Wasser aus der Tiefe – vielleicht mit einem Anstieg des Meeresspiegels – bis zu den Kontinentalsockeln auf, wo es viele Trilobiten und andere Tiere auslöschte. Paradoxerweise dürften solche Krisen den Sauerstoffgehalt der Atmosphäre weiter nach oben

getrieben haben. Ein geringer Sauerstoffgehalt der Ozeane im Kambrium trat zusammen mit einer höheren Produktivität dicht unter der Oberfläche und einem schnelleren Verschwinden von organischem Kohlenstoff auf. Exkrememente sowie abgestorbene Pflanzen und Tiere sanken schneller aus den sonnenbeschiene- nen Oberflächenschichten in die Tiefe als die Mikroorganismen früherer Zeiten; deshalb wurde insbesondere dem sauerstoff- armen Wasser, in dem der Abbau nur langsam vorstättenging, mehr Kohlenstoff entzogen. Die Menge des freien Sauerstoffs wuchs schlagartig an.

Auch der nächste große Schritt zum Aufbau der heutigen Ozeanökosysteme wird mit dem steigenden Sauerstoffgehalt in Verbindung gebracht. Es mag sich überraschend anhören, aber dass es heute Haie gibt, verdanken wir der Evolution der Gefäß- pflanzen an Land.³² Bei diesen Pflanzen entwickelten sich erst- mals differenzierte Organe wie Blätter, Wurzeln und Stängel, und ein kompliziertes Geflecht von Leitungsbahnen diente in ihrem Inneren dem Transport von Wasser und Nährstoffen. Zu dieser Pflanzengruppe gehören Farne, Bärlappgewächse, Nadelbäume und Blütenpflanzen – Letztere entstanden allerdings erst viel später. Die ersten Gefäßpflanzen erschienen vor rund 420 Mil- lionen Jahren auf der Bildfläche; nach 30 Millionen Jahren besa- ßen sie bereits Wurzeln, mit denen sie dem Boden Nährstoffe entziehen und größere Wuchsformen stabilisieren konnten. Vor 370 Millionen Jahren hatten Pflanzen die Kontinente bereits mit einer üppig grünen Decke überzogen.

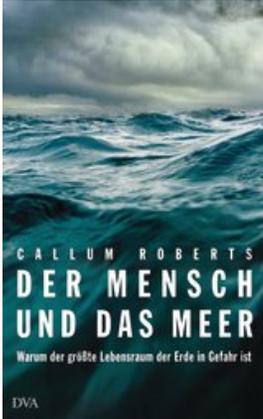
Nun fragt sich sicher manch einer: Was hat das alles mit den Haien zu tun? Die Wurzeln und andere Anpassungen zum Zweck der Nährstoffgewinnung sorgten dafür, dass Phos- phat, ein lebenswichtiger Pflanzennährstoff, schneller aus dem Boden ausgewaschen und ins Meer gespült wurde; deshalb nahm die Produktivität im Meer zu, was längere Nahrungs-

ketten und größere Raubtiere möglich machte. Gleichzeitig wuchs durch die Landpflanzen die Menge an organischem Kohlenstoff, die in Sümpfen begraben wurde, und durch die ausgewaschenen Stoffe nahm sie auch in den Meeressedimenten zu. Dadurch stieg der Sauerstoffgehalt auf ein Niveau, das dem heutigen ähnelt (21 Prozent der Luft); auf dieser Höhe befindet er sich bei Abweichungen von nicht mehr als fünf Prozent seit mindestens 350 Millionen Jahren. Nachdem die Beschränkung durch den niedrigen Sauerstoffgehalt weggefallen war, herrschten geeignete Bedingungen für große Raubtiere mit hohem Sauerstoffbedarf.

In den Meeren des späten Präkambriums, vor 580 Millionen Jahren, gab es bereits Tiere von einem Meter Länge. Vermutlich handelte es sich dabei um sesshafte Weidetiere oder Abfallfresser. Achtzig Millionen Jahre später herrschte eine größere Vielfalt, und es entwickelten sich Jäger von der Größe eines Kleinkindes. Nochmals hundert Millionen Jahre später füllten sich die Meere mit primitiven Fischen, darunter die kräftig gepanzerten Plattenhäuter. Manche Tiere aus dieser Gruppe waren vor 370 Millionen Jahren zu Furcht einflößenden Bestien von der Größe eines Omnibusses geworden. Eine räuberische Megafauna hatte sich gebildet. Im Laufe der nächsten 120 Millionen Jahre kamen die Haie hinzu, aber auch Reptilien wie Ichthyosaurier, Plesiosaurier und Schildkröten. Die Vielfalt der Raubtiere erreichte ihren Höhepunkt erst vor recht kurzer Zeit, nach erdgeschichtlichen Maßstäben eigentlich erst gestern. Im Miozän, der Zeit vor 23 bis 5 Millionen Jahren, trieben sich Riesenhaie mit den Ausmaßen großer Wale in den Meeren herum, und Wale fraßen Wale. Es gab gewaltige Pottwale von der Länge ihrer heutigen Verwandten, aber mit dreimal so großen Zähnen. Sie wurden nach Herman Melvilles mythischem weißen Wal auf den Namen *Livyatan melvillei* getauft.³³

Die riesigen Räuber legen die Vermutung nahe, dass die Meere zu jener Zeit produktiver waren als heute. Tatsächlich ging es mit den Ozeanen und ihren Lebewesen in den letzten fünfhundert Millionen Jahren viele Male auf und ab. Die Vielfalt der Lebewesen nahm allmählich zu, aber es war kein stetiger Anstieg, und er ergab sich auch nicht einfach dadurch, dass neue Arten das bestehende Repertoire ergänzten. Die große Mehrzahl aller Arten, die jemals auf der Erde gelebt haben, ist verschwunden. Fünf Ereignisse des Massenaussterbens folgten auf mehrere Krisen; im Kambrium starben die meisten Trilobiten aus, vermutlich durch den Rückgang der Sauerstoffmenge im Ozean.³⁴ Die größte Auslöschung von allen ereignete sich vor 251 Millionen Jahren am Ende der Permzeit. Danach sind die Fossilien von mehr als neunzig Prozent aller Arten von Meeresbewohnern und zwei Dritteln der landlebenden Arten im Gestein nicht mehr zu finden. Vor dem Massensterben im Perm waren die Ablagerungen am Meeresboden voller lebhafter, grabender Tiere, die das Sediment immer wieder umwälzten. Danach war es in den Sedimenten fast völlig ruhig.

Die Frage nach der Ursache dieser großen Katastrophe ist bis heute Gegenstand hitziger Diskussionen; nach der plausibelsten Erklärung wurde sie durch eine Phase starker Vulkantätigkeit ausgelöst, die eine halbe Million Jahre dauerte und zwei Millionen Kubikkilometer Basalt auf dem Gebiet des heutigen Sibirien verstreute.³⁵ Die Lava überflutete eine Fläche von 1,6 Millionen Quadratkilometern und erreichte Tiefen von bis zu dreitausend Metern. Sie fraß sich durch Schichten aus Carbonatgestein und Kohle, wobei gewaltige Kohlendioxidmengen in die Atmosphäre gelangten. Davor war der Kohlendioxidgehalt der Luft seit dem Kambrium auf weniger als ein Zehntel des früheren Wertes gesunken, und der Rückgang des Treibhausgases hatte die Welt in eine Eiszeit gestürzt, die mehr als sechzig Millionen Jahre andauerte.



Callum Roberts

Der Mensch und das Meer

Warum der größte Lebensraum der Erde in Gefahr ist

Gebundenes Buch mit Schutzumschlag, 592 Seiten, 13,5 x 21,5 cm
ISBN: 978-3-421-04496-9

DVA Sachbuch

Erscheinungstermin: April 2013

Der Wandel eines faszinierenden, bedrohten Lebensraums

Die Ozeane sind nicht nur der größte Lebensraum der Erde, sondern auch der am wenigsten erforschte. Die unermessliche Vielfalt dieses Ökosystems beginnen wir erst jetzt bis in die letzten Winkel zu begreifen – auch wie wichtig das Meer für unser Leben ist. Im letzten Jahrhundert hat jedoch die Herrschaft des Menschen über die Natur auch die Ozeane erreicht: Wir fischen die Meere leer und füllen sie stattdessen mit Umweltgiften. Tiefseebergbau droht den Lebensraum unzähliger Pflanzen und Tiere bis zur Unkenntlichkeit zu verändern. Die Klimaerwärmung ließ bereits ein Viertel aller Korallen zugrunde gehen. In seinem aufrüttelnden Buch beschreibt der Meeresbiologe und –schützer Callum Roberts den großen Reichtum der Ozeane und ihren Wandel, und er ruft dazu auf, der Zerstörung der Meere endlich Einhalt zu gebieten, denn noch ist es nicht zu spät.