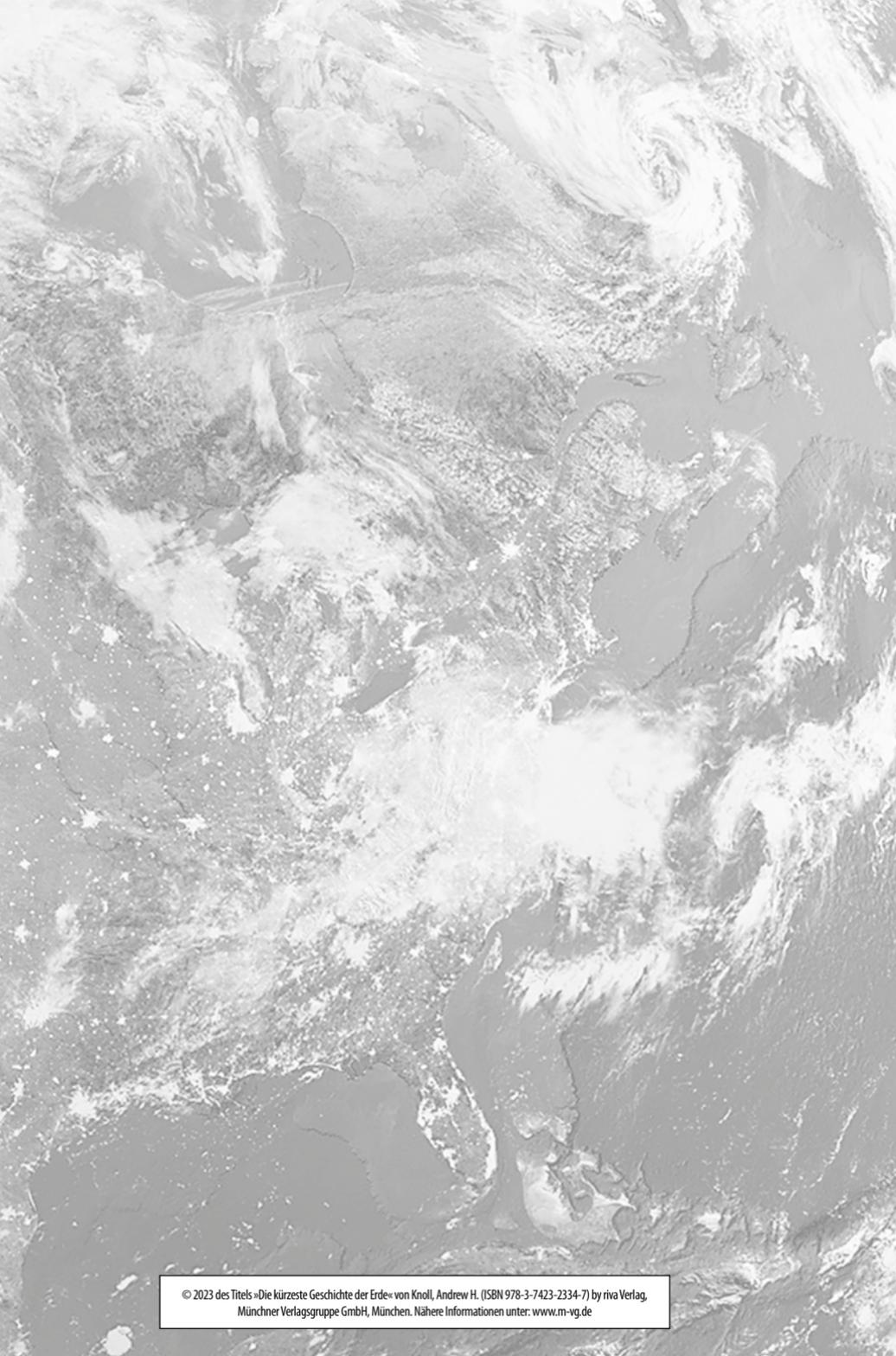


Andrew H. Knoll

Die  
kürzeste  
Geschichte  
der  
Erde

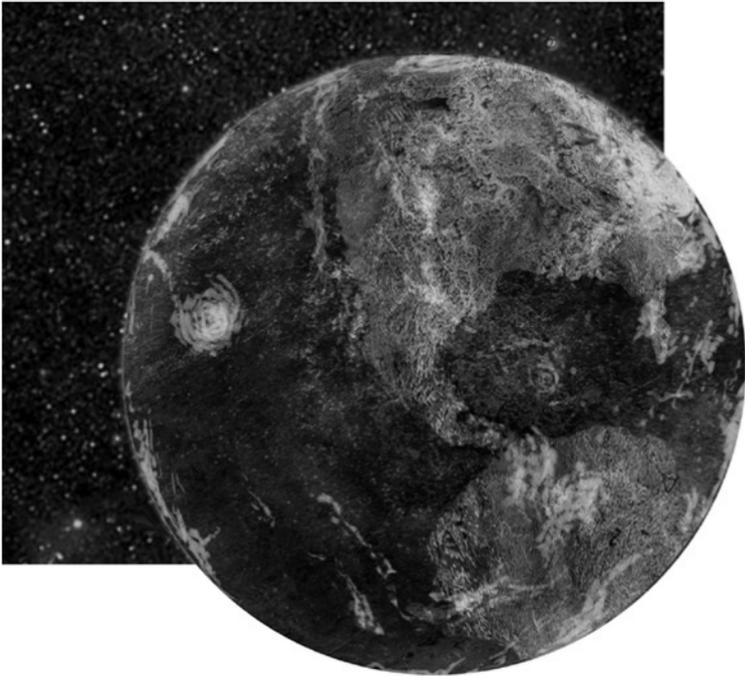
**riva**

© 2023 des Titels »Die kürzeste Geschichte der Erde« von Knoll, Andrew H. (ISBN 978-3-7423-2334-7) by riva Verlag,  
Münchner Verlagsgruppe GmbH, München. Nähere Informationen unter: [www.m-vg.de](http://www.m-vg.de)



# Vorwort

## EINE EINLADUNG



UNSER LEBEN LANG bindet uns die Schwerkraft an die Erde. Bei jedem Schritt haben wir Kontakt zum Erdboden, auch wenn er unter einer Schicht Asphalt oder Dielen verborgen liegt. Manchmal glauben wir, der Schwerkraft entkommen zu können, wenn wir in ein Flugzeug steigen, doch dieses Hochgefühl ist flüchtig, denn nach ein paar Stunden wird die Schwerkraft siegen und wir landen wieder auf der Terra Firma.

Unsere Verbindung mit der Erde geht weit über die Schwerkraft hinaus. Die Nahrung, die wir zu uns nehmen, besteht aus dem Kohlendioxid in der Atmosphäre oder den Ozeanen sowie aus Wasser und Nährstoffen aus dem Boden oder aus dem Meer. Bei jedem Atemzug saugen wir sauerstoffhaltige Luft in unsere Lunge, was uns dabei hilft, unsere Mahlzeiten in Energie umzuwandeln. Gleichzeitig verhindert das Kohlendioxid in der Atmosphäre, dass wir erfrieren. Darüber hinaus kommen der Stahl der Kühlschränktür, das Aluminium in den Blechdosen, das Kupfer im Kleingeld und die seltenen Erdmetalle im Smartphone aus der Erde. Es ist erstaunlich, wie wenig Menschen sich angesichts all dessen für diese großartige Kugel interessieren, die uns ernährt und – bei Erdbeben oder Wirbelstürmen – auch in große Gefahr bringt.

Wie können wir das Verhältnis der Erde zum Universum verstehen? Wie entstanden die Felsen, die Luft und das Wasser, die unsere Existenz definieren? Wie erklären wir unsere Kontinente, Berge und Täler, die Erdbeben und Vulkane? Was bestimmt die Zusammensetzung der Atmosphäre oder des Meeresswassers? Und was führte zu der immensen Vielfalt an Leben überall um uns herum? Die wichtigste Frage ist vielleicht die, wie unsere eigenen Handlungen die Erde und das Leben an sich beeinflussen. Diese Fragen betreffen teilweise einen laufenden Prozess, aber es sind auch geschichtliche Untersuchungen. Diese sollen den Rahmen dieses Buches bilden.

Es ist die Geschichte unserer Heimat, der Erde, und der Organismen, die sich auf ihrer Oberfläche befinden. Alles an der Erde ist dynamisch und ständig in Veränderung, trotz des allgemeinen, aber falschen Einindrucks von Beständigkeit. In Boston in den USA herrscht zum Beispiel ein gemäßigtes Klima mit warmen Sommern und kalten Wintern sowie moderaten Niederschlagsmengen, die sich mehr oder weniger gleichmäßig über das Jahr verteilen. Die Jahreszeiten sind vorhersehbar, und wenn man wie ich schon seit ein paar Jahrzehnten dabei ist, bekommt man das Gefühl, alles schon einmal gesehen zu haben. Die Meteorologen werden einem hingegen erzählen, dass die jährliche mittlere Temperatur in Boston während der Lebensspanne der älteren Bewohner um über 0,6 Grad Celsius angestiegen ist. Wir wissen auch, dass die Menge an Kohlendioxid in der Atmosphäre – die maßgeblich zur Regulierung der Oberflächentemperatur beiträgt – seit den 1950er-Jahren um etwa ein Drittel gestiegen ist. Außerdem weisen Messungen nach, dass der Meeresspiegel weltweit ansteigt und dass der Sauerstoffgehalt der Meere seit dem kometenhaften Aufstieg der Beatles um etwa 3 Prozent gesunken ist.

Mit der Zeit summieren sich die kleinen Veränderungen. Ein Flug von Boston nach London wird jedes Jahr um 2,5 Zentimeter länger, da ein neuer Meeresboden Nordamerika und Europa langsam auseinandertreibt. Könnten wir das Band rückwärts abspielen, würden wir sehen, dass Neuengland im Nordosten der USA und Großbritannien vor 200 Millionen Jahren Teile eines einzigen Kontinents waren, der von tiefen tektonischen Tälern durchzogen war, wie man sie jetzt im östlichen Afrika sieht, wo sie ein Meeresbecken zu bilden beginnen. Auf der längsten Zeitschiene gemessen, sind die Veränderungen auf der Erde wirklich massiv. Hätte man sich zum Beispiel auf der frühen Erde herumgetrieben, wäre man in der sauerstofffreien Atmosphäre unseres Planeten schnell erstickt.

Die Geschichte der Erde und ihrer Organismen ist weitaus großartiger als jeder Hollywood-Blockbuster. Die Wendungen in ihrem Plot

haben das Potenzial zu einem Bestseller-Thriller. Vor mehr als vier Milliarden Jahren bildete sich aus den felsigen Trümmern, die einen bescheidenen jungen Stern umkreisten, ein kleiner Planet. In ihren frühen Jahren stand die Erde ständig am Rande der Katastrophe, da sie permanent von Kometen und Meteoriten bombardiert wurde, während die Oberfläche von brodelnden Magmameeren bedeckt war und die Atmosphäre aus toxischen Gasen bestand. Kontinente entstanden, nur um gleich wieder auseinandergerissen zu werden und später zu kollidieren, wodurch sich spektakuläre Gebirge bildeten, von denen die meisten wieder verschwunden sind. Es gab Vulkane, die eine Million Mal größer waren als alles, was wir Menschen je gesehen haben. Es gab Kreisläufe globaler Eiszeiten. Zahllose Welten, die wir gerade erst zu entdecken versuchen, gingen unter. Und irgendwann während dieser dynamischen Phase fasste das Leben hier Fuß und veränderte schließlich die Oberfläche unseres Planeten, um den Weg zu bereiten für Trilobiten, Dinosaurier und eine Spezies, die sprechen, reflektieren, Werkzeuge herstellen und letztendlich die Welt erneut verändern kann.

Wenn wir die Geschichte der Erde verstehen, dann können wir erfassen, wie die Berge, Meere, Bäume und Tiere um uns herum entstehen konnten, ganz zu schweigen von Gold, Diamanten, Kohle, Öl und der Luft, die wir atmen. Dabei bietet uns die Geschichte unserer Erde den Kontext, um zu verstehen, wie die menschlichen Handlungen die Welt im 21. Jahrhundert verändern. Während des größten Teils seiner Geschichte war unser Heimatplanet für Menschen unbewohnbar, und eine der nachhaltigsten Lektionen in Geologie ist die Erkenntnis, wie flüchtig, wie fragil und wie kostbar unser kurzer Augenblick hier ist.

Heutzutage scheinen Schlagzeilen gerne aus dem Buch der Offenbarung entlehnt zu sein: nie da gewesene Waldbrände in Kalifornien, der Amazonas in Flammen, Hitzerekorde in Alaska und immer schneller schmelzende Gletscher in Grönland, heftige Hurrikans, die die karibische und

die Golfküste heimsuchen, während Jahrhundertfluten den amerikanischen Mittleren Westen mit steigender Regelmäßigkeit unter Wasser setzen. Chennai, die sechstgrößte Stadt Indiens, leidet unter Wassermangel, gefolgt von Kapstadt und São Paulo. Die Biologie hat keine besseren Nachrichten zu vermelden: Seit 1970 ist die Vogelpopulation in Nordamerika um 30 Prozent zurückgegangen, die Insektenpopulation hat sich halbiert, das Great Barrier Reef leidet unter massiver Korallensterblichkeit, der Bestand an Elefanten und Rhinozerosen schrumpft und weltweit ist der kommerzielle Fischfang bedroht. Ein Rückgang der Population ist zwar noch nicht gleichbedeutend mit Aussterben, aber es ist eine Abwärtsspirale, auf der sich die Spezies auf ihrem Weg zum biologischen Endspiel befinden.

Läuft die Welt Amok? Kurz gesagt: Ja. Und wir wissen auch, warum. Wir selbst sind die Schuldigen. Es sind die Menschen, die Treibhausgase in die Atmosphäre blasen und die Erde so nicht nur aufheizen, sondern sowohl Frequenz als auch Ausmaß der Hitzewellen, Dürren und Stürme erhöhen. Und es sind die Menschen, die andere Spezies durch die veränderte Nutzung des Landes, übermäßige Ausbeutung und den zunehmenden Klimawandel an den Rand des Aussterbens bringen. Angesichts dessen ist die deprimierendste Meldung von allen die Reaktion darauf, die weitgehend aus Ignoranz besteht, vielleicht besonders in meinem Heimatland, den Vereinigten Staaten.

Warum tun so viele Menschen so wenig angesichts der Veränderungen unseres Planeten, die das Leben unserer Enkel betreffen werden? 1968 fand Baba Dioum, ein senegalesischer Ranger, eine recht passende Antwort darauf. »Letztendlich«, sagte er, »werden wir nur das bewahren, was wir lieben, und wir werden nur das lieben, was wir verstehen. Und wir verstehen nur das, was man uns beibringt.«

Dieses Buch soll den Versuch darstellen, zu verstehen. Es ist eine Einladung, die lange Geschichte kennenzulernen, die unseren Planeten dorthin gebracht hat, wo er jetzt ist. Es ist eine Aufforderung, einzusehen, wie

sehr die menschlichen Aktivitäten eine Welt verändern, die im Laufe von vier Milliarden Jahren entstanden ist. Und eine Herausforderung, etwas dagegen zu unternehmen.



1

# Chemie

WIE MAN EINEN PLANETEN MACHT



AM ANFANG WAR ... nun ja ... ein Punkt, ein Fleck, unglaublich klein, aber auch unglaublich dicht. Es war keine konzentrierte Masse in der unendlichen Weite des Universums. Es *war* das Universum. Wie es dorthin gekommen ist, weiß keiner.

Was zuvor kam, wenn es da überhaupt je etwas gegeben hat, ist ebenso mysteriös, aber vor ungefähr 13,8 Milliarden Jahren begann sich dieser anfängliche Kern des Universums schnell auszudehnen – es kam zu einem »Urknall«, der eine ungeheure Welle von Energie und Materie nach außen verströmte. Es waren nicht die Steine und Mineralien, die wir in unserem Leben kennen, nicht einmal die Atome, aus denen Steine, Luft und Wasser zusammengesetzt sind. Am Beginn des Universums bestand Materie aus Quarks, Leptonen und Gluonen, einer seltsamen Mischung von subatomaren Partikeln, die sich schließlich zu Atomen zusammenschließen sollten.

Unser Verständnis des Universums und seiner Geschichte stammt hauptsächlich aus der flüchtigsten aller Quellen: dem Licht. Die Leuchtpünktchen am Himmel, die den Nachthimmel bilden, scheinen als Geschichtsbücher ungeeignet, aber zwei Eigenschaften des Lichts können uns helfen, zu verstehen, wie das Universum entstanden ist. Zum einen deutet die Intensität der verschiedenen Wellenlängen bei der ankommenden Strahlung auf die Zusammensetzung der Lichtquelle hin. Unsere Augen können nur einen kleinen Bereich der Wellenlängen erfassen, doch Sterne und andere Himmelskörper verbreiten oder absorbieren ein breites Spektrum an Strahlung, von Funk- und Mikrowellen bis zu Röntgen- und Gammastrahlen, von denen jede eine Geschichte zu erzählen hat. Und was noch wichtiger ist: Für das Licht gilt eine strikte Geschwindigkeitsbeschränkung: 299 792 458 Meter pro Sekunde oder 1 079 252 849 Stundenkilometer. Sonnenlicht wird acht Minuten und zwanzig Sekunden

bevor wir es sehen, ausgestrahlt, und von Sternen und weiter entfernten Himmelskörpern ging das Licht, das wir hier aufzeichnen, noch viel früher aus – sehr viel früher bei den entferntesten Objekten. Das macht unseren Sternenhimmel zu einem himmlischen Geschichtsbuch.

Gleichmäßig über den Himmel verteilte Mikrowellen sprechen vom Urknall und seinen direkten Folgen. Die Strahlung der ersten Generation von Sternen, die sich ein paar Hunderttausend Jahre nach Beginn der Zeit bildeten, erreicht uns gerade erst. Wie entstanden diese ersten Sterne? Es hat alles mit der Schwerkraft zu tun, der Architektin des Universums. Die Schwerkraft beschreibt die Anziehungskraft zwischen unterschiedlichen Objekten, wobei die Stärke der Anziehung von der Masse der Objekte und ihrer Entfernung voneinander abhängt. Als sich in der ersten frühen Ausdehnungsphase des Universums Atome bildeten, wurden sie durch die Schwerkraft zueinandergezogen. Kleine Ansammlungen wuchsen und verstärkten die Anziehungskraft. Gelegentlich fielen sie in kleine, heiße, dichte Bälle zusammen, so heiß und so dicht, dass Wasserstoffkerne verschmolzen und Helium bildeten, das Licht und Hitze ausstrahlte. Wenn das passiert, entsteht ein Stern. Diese anfänglichen Sterne waren groß, heiß und kurzlebig, aber sie setzten den Kurs für alles, was später kam, einschließlich uns.

Die vom Urknall generierte Masse bestand hauptsächlich aus Wasserstoffatomen, dem einfachsten Element, sowie etwas Deuterium (Wasserstoff mit einem zusätzlichen Neutron) und Helium. Auch ein winziges bisschen Lithium entstand sowie kleinere Mengen anderer leichter Elemente. Aber sonst gab es nicht viel. Ehrlich gesagt gab es doch noch etwas, aber wir wissen nicht genau, was das ist. In den 1950er-Jahren begannen Astronomen die Bewegungen von Sternen und Galaxien (Ansammlungen von Sternen, Gas und Staub, die wiederum durch die Schwerkraft zusammengehalten werden) zu nutzen, um die Massenanziehungskraft im fernen Weltraum zu berechnen. Doch als sie die Masse aller bekannten Objekte am Himmel zusammengezählt hatten,

stellten sie fest, dass die Summe nicht mit ihren Beobachtungen übereinstimmte. Es musste da draußen noch etwas geben, etwas, das mit normaler Materie durch Schwerkraft interagiert, aber nicht mit Licht. Die Astronomen nannten es Dunkle Materie. Sie vermuten zwar, was es sein könnte, aber niemand ist sich ganz sicher. Noch mysteriöser ist Dunkle Energie, die man ebenfalls für die Vorgänge im Universum für notwendig hält. Man glaubt, dass Dunkle Materie und Dunkle Energie gemeinsam etwa 95 Prozent all dessen ausmachen, was existiert, rätselhafteste Komponenten, die wir nicht ausmachen können, die aber wohl einen entscheidenden Anteil an der Entstehung des Universums hatten. Wir haben noch viel zu lernen.

Kehren wir zurück zur konventionellen Materie. Als das Zeitalter des Sternenlichts begann, war das Universum ein kalter, diffuser Cocktail aus (hauptsächlich) Wasserstoffatomen. Frühe Sterne erzeugten mehr Helium, aber es gab nichts, aus dem man die Erde hätte machen können (siehe Tabelle auf der nächsten Seite). Woher kamen das Eisen, das Silizium und der Sauerstoff, aus dem unser Planet zusammengesetzt ist? Und was ist mit Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und anderen Elementen, aus denen unser Körper besteht? Diese und alle anderen Elemente stammen aus aufeinanderfolgenden Generationen von Sternen, den Geburtsstätten der Atome, die eines Tages unseren Planeten bilden sollten. Bei den hohen Temperaturen und dem Druck in großen Sternen verschmolzen die leichten Elemente zu Kohlenstoff, Sauerstoff, Silizium und Kalzium, während Eisen, Gold, Uran und andere schwere Elemente bei den gigantischen Sternexplosionen entstanden, die man Supernova nennt. Das Gesicht, das man im Spiegel sieht, ist vielleicht nur ein paar Jahrzehnte alt, aber es besteht aus Elementen, die sich vor Milliarden von Jahren in alten Sternen bildeten.

Im Laufe unendlich langer Zeit bildeten sich Sterne und starben wieder, und bei jedem Zyklus kamen neue Elemente zu dem Inventar hinzu, das heute die Erde und das Leben ausmacht. Galaxien verschmolzen, und

---

## DIE ELEMENTARE ZUSAMMENSETZUNG DER ERDE UND DES LEBENS (in Prozent, nach Gewicht)

<b>Erde</b>	
Eisen	33
Sauerstoff	31
Silizium	19
Magnesium	13
Nickel	1,9
Kalzium	0,9
Aluminium	0,9
Sonstiges	0,3
<b>Zellen im menschlichen Körper</b>	
Sauerstoff	65
Kohlenstoff	18
Wasserstoff	10
Stickstoff	3
Kalzium	1,5
Phosphor	1
Sonstiges	1,5

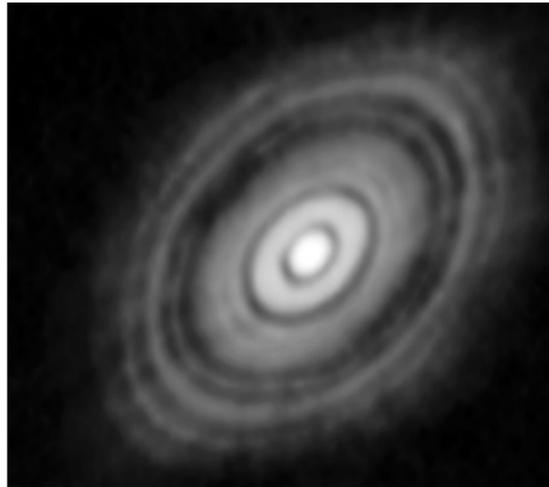
schwarze Löcher (Gebiete von so hoher Dichte, dass kein Licht daraus hervorkommen kann) entstanden und bildeten langsam, aber sicher das Universum, wie wir es heute kennen.

Wir beginnen mit unserer Geschichte vor etwa 4,6 Milliarden Jahren und konzentrieren uns auf eine bescheidene Wolke von Wasserstoffatomen mit einem kleinen Anteil von Gas, Eis und Mineralkörn-

chen in einem spiralförmigen Arm einer unscheinbaren Galaxie namens Milchstraße. Zuerst war die Wolke groß, diffus und kalt (richtig kalt, mit Temperaturen von  $-270$  bis  $-250$  Grad Celsius). Diese Wolke begann, wahrscheinlich infolge einer Supernova in der Nähe, in sich zusammenzufallen und sich zu einem weit kleineren und heißeren Nebel zu verdichten. Wie schon Milliarden Mal zuvor im Universum sammelte sich durch die Schwerkraft der größte Teil der Wolke in einer heißen, dichten, zentralen Masse – unserer Sonne. Der meiste Wasserstoff des Nebels sammelte sich in der Sonne, doch Eis und Mineralpartikel sonderten sich ab und rotierten als Scheibe um den jungen Stern, entfernt ähnlich wie die Ringe kleiner Partikel, die heute den Saturn umgeben (siehe Abbildung 1). Zunächst war diese Scheibe so heiß, dass die Mineralien und das Eis verdampften. Doch im Laufe von ein paar Millionen Jahren kühlte sie sich ab, am äußeren Rand schneller und näher an der Sonne langsamer.

Aus unserer täglichen Erfahrung wissen wir, dass unterschiedliche Substanzen bei unterschiedlichen Temperaturen schmelzen oder kristallisieren. So wird Wasser zum Beispiel auf der Erdoberfläche bei  $0$  Grad Celsius zu Eis, während erst bei wesentlich tieferen Temperaturen ( $-78,5$  Grad

**Abb. 1** Dieses außergewöhnliche Bild, aufgenommen vom Teleskop-Observatorium Atacama Large Millimeter Array, zeigt HL Tauri, einen sonnenartigen jungen Stern, und seine protoplanetarischescheibe. Die Ringe und Lücken auf dem Bild zeigen entstehende Planeten, wenn sie ihren Orbit von Staub und Gas reinigen. Vor etwa 4,54 Milliarden Jahren sah unser eigenes Sonnensystem wahrscheinlich ganz ähnlich aus.



Celsius) aus Kohlendioxid Trockeneis wird. Auf dieselbe Weise kristallisieren auch die Mineralien im Gestein aus ihren flüssigen Vorläufern bei Temperaturen, die sich um bis zu 1000 Grad Celsius unterscheiden. Aus diesem Grund kristallisierten die unterschiedlichen Materialien bei der Abkühlung der Planetenscheibe zu unterschiedlichen Zeiten und an bestimmten Orten, abhängig von ihrer Entfernung zur Sonne, zu festen Körpern. Zuerst bildeten sich Oxide von Kalzium, Aluminium und Titan, dann metallisches Eisen, Nickel und Kobalt, und erst später, hinter der sogenannten Frostlinie, einem bestimmten Abstand von der Sonne, kamen die Eisformen von Wasser, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Methan und Ammonium dazu – die Materialien von Wasser, Luft und Leben. Mineral- und Eisstücke prallten aufeinander und bildeten größere Partikel, die sich wiederum zu noch größeren Einheiten zusammenschlossen. Nur ein paar Millionen Jahre später war von der ursprünglichen rotierenden Scheibe nur noch eine Handvoll großer sphärischer Strukturen übrig. Der »dritte Felsen von der Sonne« war die Erde, eine steinige Masse, die die Sonne in einer Entfernung von etwa 150 Millionen Kilometern umkreiste.

Wie genau nahm die Erde Gestalt an und was wissen wir über ihre frühe Kindheit? So wie das Licht die Geschichte des Universums aufzeichnet, so erzählt das Gestein die Geschichte unserer Erde. Sieht man in den Grand Canyon oder bewundert die Gipfel um den Lake Louise herum, so betrachtet man die Bibliothek der Natur, in der die Bände der Erdgeschichte präsentiert stehen, in Stein gemeißelt. Sedimente – Steine, Sand oder Schlamm aus der Erosion früheren Gesteins oder ausgeschwemmter Sandstein – lagern sich auf Überflutungsgebieten oder auf dem Meeresboden ab und zeichnen Schicht für Schicht die physikalischen, chemischen und biologischen Merkmale der Planetenoberfläche zur Zeit ihrer Ablagerung auf. Magmastein – aus dem geschmolzenen Material im Inneren der Erde – erzählt uns ebenso etwas vom dynamischen Innenle-