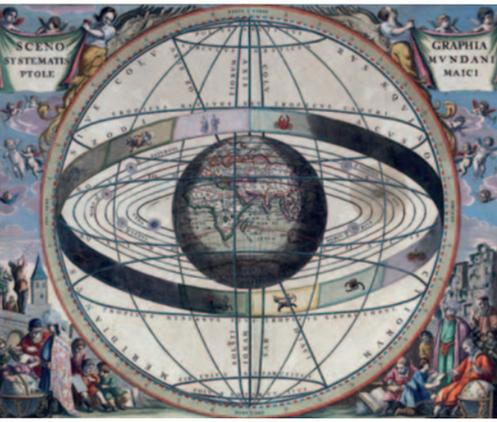


## Wissenschaftsgeschichte

1	Antike	262
2	Mittelalter und Renaissance	265
3	Aufklärung	268
4	Modellvorstellungen im 20. Jahrhundert	272





## Wissenschaftsgeschichte

Durch die modernen Technologien ist es uns heute möglich, die Erde vom Weltraum aus zu betrachten und zu vermessen, Ozeane und Kontinente mit geophysikalischen Methoden zu durchleuchten und alle ermittelten Daten in Computersimulationen miteinander zu verknüpfen. Arbeitsgruppen in Forschungsinstituten und Universitäten sind der Entstehung und dem Funktionieren des Systems Erde auf der Spur. Die Ergebnisse der Forschungen werden in Büchern und Zeitschriften zugänglich gemacht, und diese Publikation der Forschungsergebnisse hat noch eine Beschleunigung durch das Internet erfahren. Durch die internationale Vernetzung der Forschungen können die Ergebnisse verglichen und ausgetauscht werden.

Wie hat man sich früher die Entstehung der Erde vorgestellt und welche Erklärungen hatte man für die Phänomene der dynamischen Erde, wie z. B. das Auftreten von Erdbeben und Vulkanausbrüchen? Dazu gibt dieses Modul einen Überblick, dabei werden zunächst die Vorstellungen der früheren Epochen (Antike, Mittelalter) behandelt und dann die Modelle des 20. Jahrhunderts vorgestellt.

### 1 Antike

Erste überlieferte Vorstellungen sehen die Erde als scheibenartige Fläche, die von einer Himmelssphäre überwölbt wird und auf einer Unterwelt ruht. In der Mitte der Erdoberfläche befindet sich das feste Land der bewohnten Erde. Die Erdoberfläche ist umrandet von einem Weltmeer. Die älteste überlieferte Weltkarte, die diese Vorstellung dokumentiert, hat man bei Ausgrabungen im Irak gefunden. Sie stammt wahrscheinlich aus dem 6 – 7 Jh. v. Chr. (↗ G1).

Diese Vorstellung einer auf einem Urozean schwimmenden Erde wurde auch von den griechischen Naturphilosophen vertreten. Der Begriff „Naturphilosophie“ beinhaltet, dass die mythologischen Vorstellungen über die Entstehung der Welt durch rationale Er-

klärungen ersetzt wurden. Diese Philosophen der Antike betrachteten Feuer, Wasser, Luft und Erde als die sogenannten vier Grundelemente, wobei es unterschiedliche Meinungen über die Bedeutung des Elementes als Urstoff gab.

**Thales** von Milet (ca. 624 – 546 v. Chr.) und sein Schüler **Anaximandros** (611 – 546 v. Chr.) vertraten die Meinung, dass das Wasser der Urstoff aller Materie sei. Durch Verdunstung des Urozeans wurde die Erde freigegeben, so stellte sich Thales die Entstehung der Erde vor. Anaximandros hat diese Idee erweitert und das erste überlieferte Bild einer kosmischen Weltentstehung und -entwicklung entworfen. Am Anfang der

Zeit sonderte eine Urwirbelbewegung nach dem Prinzip der Schwere zunächst die Erde, dann die Luft und am Schluss das Feuer vom Wasser ab. Ursprünglich war die ganze Oberfläche der Erde feucht. Durch einen allmählichen Verdunstungsprozess entstanden die Winde. Er nahm an, die Lebewesen seien aus der Feuchtigkeit entstanden, die unter der Einwirkung der Sonne verdunstete, und die Menschen haben sich aus fischartigen Lebewesen entwickelt. **Anaximenes** dagegen (585 – 525 v. Chr., ebenfalls aus Milet) sah die Luft als Urstoff an. Diese werde zum Mittelpunkt des Universums hin zusammengepresst, wodurch die anderen Elemente Wasser und Erde entstehen sollten. **Heraklit** (ca. 540 – 475 v. Chr.) aus Ephesus war der Ansicht, dass das sich stets verändernde Feuer der Urstoff sein müsse, da sich im Universum alles wandle.

Allen antiken Naturphilosophen gemein war die Beobachtung und Vermessung der Naturphänomene und der Versuch einer wissenschaftlichen Erklärung. Dabei wurde, wenn man die damaligen Rahmenbedingungen bedenkt, Erstaunliches geleistet. Thales erkannte, dass der Mond von der Sonne beleuchtet wird und machte die Vorausberechnung einer Sonnenfinsternis. Weiterhin fand er heraus, dass der Sonnendurchmesser zum

Sonnenkreis dasselbe Verhältnis hat, wie der Mond Durchmesser zum Mondkreis (1 : 720 – ist näherungsweise tatsächlich richtig!). **Anaxagoras** von Klazomenai (499 – 427 v. Chr.) hat die Sonne als glühende Steinmasse interpretiert und **Demokrit** von Abdera (460 – 390 v. Chr.) erklärte die Milchstraße durch das Leuchten zahlloser, sehr weit entfernter Sterne. Letzterer gilt gemeinsam mit seinem Lehrer **Leukipp** aus Milet (Mitte des 5. Jh. v. Chr.) als Begründer der Schule der Atomisten. Diese sahen unteilbare Kleinstbausteine, die Atome (griech. *átomos* = das Unerschneidbare, Unteilbare) als Urstoff der ganzen Welt. Bei den Atomisten sind bereits Ansätze zu den theoretischen Grundlagen der Physik wie Stoß, Kraft, Wirkung und Gegenwirkung, Massenanziehung, Erhaltung der Materie und dem Entropiegesetz zu erkennen.



G1 | Die erste überlieferte Weltkarte stammt von den Babyloniern aus dem 6. – 7. Jh. v. Chr. und wurde in Sippar (Abu Habba/Irak) gefunden.



Die Erkenntnis, dass die Erde keine Scheibe, sondern eine Kugel ist, wird dem griechischen Philosophen und Mathematiker **Pythagoras** (um 570 – 480 v. Chr.) zugeschrieben. Andere Quellen schreiben dies **Parmenides** (540 – ca. 480 v. Chr.) aus Elea (Italien) zu. **Aristoteles** (384 – 322 v. Chr.) führte den kreisförmigen Erdschatten bei Mondfinsternissen als Beweis für eine kugelförmige Erde an. Auch aus der Beobachtung, dass bei anlaufenden Schiffen am Horizont immer zuerst der Mast sichtbar war – unabhängig, aus welcher Himmelsrichtung sie kamen – wurde auf eine Kugelform der Erde geschlossen.

G2 | Atlas mit dem Himmelsglobus, der die Positionen der Sterne in Gradgenauigkeit zeigt. Die Sternbildpositionen entsprechen dem Zustand zur Lebenszeit des Hipparch (125 v. Chr.) und daher wird die römische Statue als Kopie einer älteren Darstellung angesehen (Farnesische Sammlungen, Rom).

Dieses neue Weltbild wurde durch den Griechen **Eudoxos** von Knidos (408 – 355 v. Chr.) zu ersten Mal in Form eines Globus mit einem Gradnetz als Unterteilung dargestellt. Seine Berechnungen zum Umfang der Erde waren jedoch mit einem großen Fehler behaftet und erst mehr als 100 Jahre später wurde der richtige Wert von etwa 40.000 km durch **Eratosthenes** von Kyrene (276 – 196 v. Chr.) bestimmt. Den Durchmesser des Mondes bestimmte **Aristarchos** von Samos (310 – 230 v. Chr.) nachdem er beobachtete, wie der Mond im Verlauf einer Mondfinsternis durch den Erdschatten zog. Er leitete aus seinen Beobachtungen ab, dass der Durchmesser der Erde dreimal so groß ist wie der des Mondes. Tatsächlich weicht dieser nicht allzu weit vom tatsächlichen Wert ab. Bei der Bestimmung der Größe der Sonne (das 20-fache des Monddurchmessers) lag er jedoch weit unter dem richtigen Wert (400-fach). Aus der Tatsache, dass die Sonne um ein Vielfaches größer ist als die Erde, hat Aristarchos das Modell mit der Sonne als Mittelpunkt des Planetensystems, also das heliozentrische Weltbild entworfen. Es dauerte aber noch fast 2000 Jahre, bis diese Vorstellung wieder aufgegriffen und belegt wurde. Der Grieche war jedoch nicht der Erste, der diese Idee formuliert hat, sondern in Sanskrittexten aus Indien beschreibt **Yajnavalkya** (um 600 v. Chr.), dass die Sonne den Mittelpunkt des Sonnensystems bildet und dass es die Erde ist, die sich bewegt. Er bestimmte auch die relativen Abstände der Sonne und des Mondes von der Erde: 108-mal größer als der Durchmesser dieser himmlischen Körper, ziemlich

nah an den modernen Maßen von 107,6 für die Sonne und von 110,6 für den Mond.

In der ausgehenden Antike setzte sich dagegen das von Aristoteles formulierte geozentrische Weltbild durch, in dem die Erde als das Zentrum des Universums gesehen wird. Die weiteren Himmelskörper (Mond, Sonne, Planeten) umkreisen die Erde in verschiedenen, von innen nach außen konzentrisch angeordneten sogenannten Sphären. **Hipparch** von Alexandria (ca. 190 – 125 v. Chr.) hat die Positionen der Sterne gemessen (➔ G2) und diese sind von **Ptolemäus** (um ca. 70 – 147 n. Chr.) auf seine Zeit umgerechnet und dargestellt worden. Diese Darstellung war als sogenanntes Ptolemäisches Weltbild bis in das Mittelalter gültig.

Wie hat man sich in der Antike die Entstehung der Gesteine vorgestellt? In den Schriften des Aristoteles finden sich Ideen von der Umwandlung (Transmutation) der Elemente durch das tiefe Eindringen der Sonnenstrahlen in den Erdkörper. Aus den resultierenden trockenen Ausdünstungen entstehen demnach die Gesteine und aus den feuchten Ausdünstungen die Metalle. Eine Hebung und Senkung der Erdoberfläche bewirkten die Abtragung und Sedimentation und wurden auf einen langsamen, unregelmäßigen Alterungsprozess der Erde zurückgeführt. Die Ansichten wurden von **Theophrast**, Schüler des Aristoteles, in der Schrift „Über die Steine“ zusammengefasst. Dieses waren wohl die ersten formulierten Gedanken zur Entstehung der Gesteine und der darin enthalte-

**G3** | Ausschnitt aus dem Turiner Lagerstätten-Papyrus (Ägyptisches Museum, Turin), der ältesten geologisch-lagerstättenkundlichen Karte der Welt. Sie stellt die geologische Situation im Wadi Hammamat (Ägypten) dar und enthält textliche Erläuterungen über Goldvorkommen und -abbaue sowie über Werk- und Relief-Steinbrüche.



nen Erze. Das Wissen um das Auffinden und den Abbau von Gesteinen und das Verhütten von Erz war dagegen schon seit tausenden von Jahren verbreitet. Das kann man aus den archäologischen Artefakten der Bronze- und Eisenzeit ableiten, wo Besiedlung und geologischer Untergrund bzw. Erzvorkommen in einem engen Zusammenhang stehen. Die systematische Suche nach Werksteinen und Rohstoffen wird in Kartendarstellungen (Kartierungen) der Gesteinsvorkommen dokumentiert. Die älteste überlieferte geologische Karte (um 1150 v. Chr.) beschreibt die geologische Situation im ägyptischen Wadi Hammamat (↗ G3). Sie stammt aus der Zeit des Pharaos Ramses IV und gibt die Lagerstätten verschiedener Gesteinsarten an.

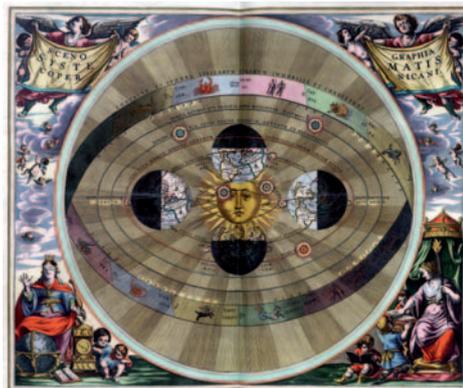
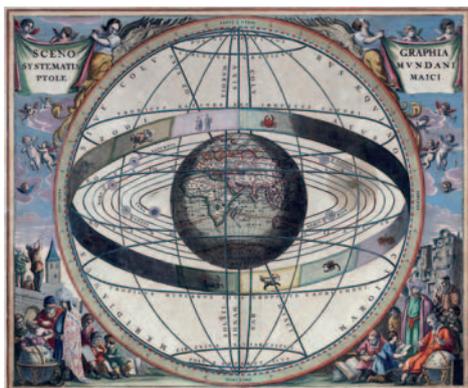
Aus der Verbindung des Wissens und der Philosophie der griechischen und altägyptischen Kulturen entstand um etwa 300 v. Chr. die Alchemie. Sie stand der Physik nahe und versuchte, durch Verbindung von Theorie mit praktischen Versuchen empirische Gesetzmäßigkeiten der Natur zu finden. Eine der bedeutendsten Persönlichkeiten der frühen Alchemie war **Maria** aus Alexandria (genannt die Jüdin oder Maria Hebraea, 1. oder 2. Jh. n. Chr.), die verschiedene Laborgeräte entwickelte. Ihr bekanntestes Schriftwerk ist die „*Maria Practica*“, die in vielen späteren Werken zitiert wird. Der Grieche **Zosimos** aus Panopolis (ca. 350 – 420 n. Chr.) verbesserte die Destillation, arbeitete an metallurgischen Problemen und führte die Bezeichnung „Chemie“ ein.

## 2 Mittelalter und Renaissance

Bis in das Mittelalter hatte das geozentrische Ptolemäische Weltbild Gültigkeit. Erst ab dem 15. Jahrhundert hatten einige Astronomen – fast 1600 Jahre nach Hipparch – wieder damit begonnen, Messungen von Sternpositionen vorzunehmen. Aus diesen Beobachtungen wurde dann das heliozentrische Weltbild entwickelt (↗ G4).

In der Veröffentlichung „*De Revolutionibus Orbium Coelestium*“ aus dem Jahr 1543, also etwa 1800 Jahre nach Aristarchos, stellt **Nikolaus Kopernikus** (1473 – 1543) ein Modell der Planetenbewegung um die Sonne vor, d. h. mit Rotation der Erde um die eigene Achse und damit erstmalig nach der Antike

eine Abkehr vom geozentrischen Modell. Dieses heliozentrische Modell sah jedoch kreisförmige Planetenbahnen vor. Erst durch die exakten Positions- und Bewegungsmessungen von Fixsternen, Planeten und Kometen konnte **Tycho Brahe** (1564 – 1601) nicht zirkuläre Bahnen der Himmelskörper nachweisen. Die Messungen wurden durch die Geräteentwicklung von Brahe möglich, die eine Winkelbestimmung mit einer Präzision von einer halben Bogenminute (oder 1/120 Grad) erlaubte. Dadurch waren seine Beobachtungen etwa hundertmal genauer als frühere Messungen. Brahe schlug zunächst ein Modell vor, in dem sich Sonne und Mond um die Erde, die übrigen Planeten aber um die Sonne



G4 | Darstellungen und Planetenanordnungen des geozentrischen (links) und heliozentrischen (rechts) Weltbildes.

drehen. Später erst bekannte er sich zu dem heliozentrischen Modell von Kopernikus. Die sehr genauen Daten von Brahe wurden nach seinem Tod von **Johannes Kepler** (1571 – 1630) genutzt, um die elliptische Bewegung der Planeten um die Sonne (► Modul A „Planetensystem und Aufbau der Erde“) zu berechnen und in Kombination mit den eigenen Beobachtungen Gesetzmäßigkeiten zu formulieren (Kepler'sche Gesetze). Zeitgleich hat **Galileo Galilei** (1564 – 1642) durch seine Beobachtungen das heliozentrische Modell bestätigt und 1610 in seiner Schrift „*Sidereus Nuncius*“ beschrieben.

Dieser neue Schub an Wissen stand sicherlich mit der Erfindung des Fernglases („*Hollandse Kijker*“) zusammen, das der Holländer **Johannes Lipperhey** (um 1570 – 1619) im Jahr 1608 konstruierte. Das Fernglas wurde von Galilei nachgebaut (Galiläisches Fernrohr), der im Jahr 1609 damit vier Jupiter-Monde entdeckte, die sich um diesen Planeten und nicht um die Erde drehen. Dies war eine Bestätigung der Beobachtungen von Kopernikus! Da Galilei ihm keines der von ihm gebauten Fernrohre zur Verfügung stellte, entwickelte Kepler 1611 sein eigenes Gerät, das erste astronomische Fernrohr (Kepler'sches Fernrohr).

Dass das Ptolemäische Weltbild im Gebiet des Abendlandes über diese lange Zeit nicht infrage gestellt wurde, ist in der religiösen bzw. philosophischen Komponente zu sehen, die die Erde und den Menschen in das Zentrum setzt. In dieser Zeit wurde unter „Naturwissenschaft“ die Erklärung von Naturphänomenen durch Studium und Auslegung der Bibel verstanden. Dies galt nicht nur für die katholische Kirche, sondern auch für die Vertreter der Reformation (Luther, Melancton, Calvin), die sich eindeutig gegen das Kopernikanische Weltbild geäußert hatten. Die Schriften des Kopernikus kamen 70 Jahre nach seinem Tod auf den Index der verbotenen Bücher der katholischen Kirche, wo sie noch bis 1835 als ketzerische Schriften aufgeführt wurden.

Die Vorstellung über die Entstehung der Erze und Gesteine basierte vor allem auf den Vorstellungen aus dem persisch-arabischen Kulturraum. Ein herausragender Wissenschaft-

ler jener Zeit war **Abu Ali Ibn Sina** (latinisiert: **Avicenna**, 980 – 1037), er lieferte eine Klassifizierung der Minerale in Salze, Schwefel, Metalle und Steine. Aus der geschichteten Form von Gesteinen schloss er auf ihre Entstehung durch Sedimentation, und die Bildung der Gebirge führte er auf die Wirkung von Erdbeben zurück. Die arabischen und persischen Texte wurden erst im 12. Jahrhundert ins Lateinische übersetzt, damit das Wissen nach Westeuropa getragen, womit die Zeit der Alchemisten des Mittelalters begann. **Gerhard von Cremona** (1114 – 1187) stellte 1085 durch Übersetzung von arabischen Quellentexten das erste Chemiebuch Europas „Das Buch der Alaune und Salze“ zusammen. **Albertus Magnus** (um 1200 – 1280) prägte den Begriff des Minerals in „*De rebus metallicis et mineralibus*“, das bis in das Spätmittelalter wichtigste Buch zur Mineralogie und Geologie. Er sah die Bildung von Erzadern wie einen Destillations-Vorgang, wo durch die Hitze des Erdinneren die feineren Bestandteile der feuchten Ausdünstungen in die natürlichen Poren und Risse der Erdkruste getrieben werden, bei dem sie abgekühlt, ausgeschieden und konzentriert werden. Er kam damit der heutigen Vorstellung der Bildung von hydrothermalen Ganglagerstätten sehr nahe.

Das Buch zum Bergbau und Hüttenwesen „*De re metallica libri XII*“ von **Georgius Agricola** (1494 – 1555) wurde 1556 in die deutsche Sprache übersetzt und galt für die folgenden 200 Jahre als das geowissenschaftliche Standardwerk des Bergbaus (► G5). Er erklärte die Mineralentstehung durch Temperaturänderungen von Lösungen und Schmelzen.



G5 | Holzschnitt zur Sublimation von Schwefel aus „*De re metallica*“ von Agricola.

Der Nürnberger Kartograf und Astronom **Martin Behaim** (1459 – 1507) fertigte 1491 – 1493 einen Globus an, den sogenannten „Behaim’schen Erdapfel“, der im Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg ausgestellt ist (➔ G6). Nach dem Farneser Globus (➔ G2) ist dies die älteste überlieferte Darstellung der Erde in Kugelgestalt. In Augsburg wurde 1603 die „Uranometria“ herausgegeben, ein Himmelsatlas, der von dem deutschen Juristen und Astronomen **Johann Bayer** (1572 – 1625) erstellt wurde. Sie ist die erste genaue Sternenkarte und enthält



G6 | Der Behaim’sche Erdapfel, Vorlage für den modernen Globus.

erstmal die Sterne beider Hemisphären. Da das Teleskop zu dieser Zeit noch nicht erfunden war, sind nur Sterne dargestellt, die mit bloßem Auge sichtbar sind. Auch in die darstellende Kunst wird das Motiv des Sternenhimmels aufgenommen (➔ G7).

**Simon Marius** (1573 – 1624), Arzt und Hofastronom in Ansbach, stand dagegen ein holländisches Fernrohr zur Verfügung, und er hat 1610, kurz nach Galilei, die Monde des Jupiter beobachtet. In seinem Werk „*Mundus Iovialis*“ hat er 1614 Tabellen mit den Umlauf-

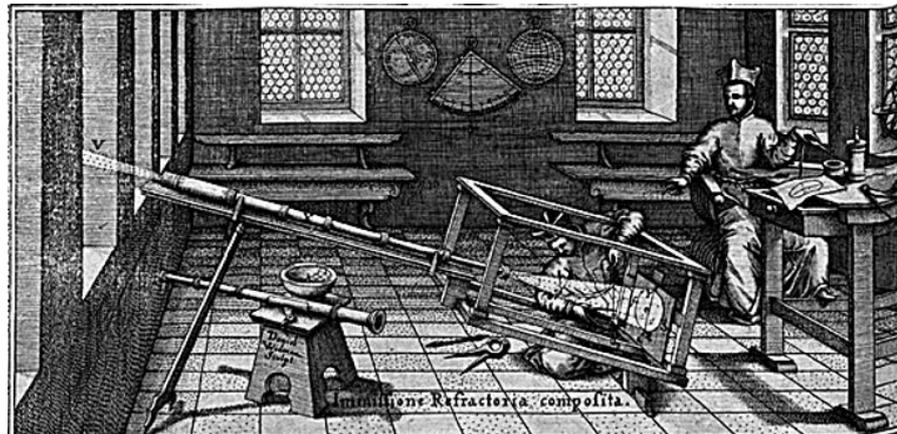


G7 | Das Gemälde „Die Flucht nach Ägypten“ von Adam Elsheimer (Alte Pinakothek, München) stellt mit großer Genauigkeit den Sternenhimmel dar, wie Elsheimer ihn im Sommer 1609 beobachtet hat.

zeiten der Jupiter-Monde veröffentlicht. Der Astronom und Mathematiker **Christoph Scheiner** (1573 – 1624) lehrte an der Universität Ingolstadt und baute sich im Jahr 1613 auf der Grundlage der Beschreibungen von Kepler ein astronomisches Fernrohr (➔ G8). Damit hat er insbesondere Beobachtungen der Sonne und der Sonnenflecken gemacht.

Zu den vielen Forschern dieser Zeit, die durch exakte Messungen Naturgesetze aufdeckten und sich zu dem Kopernikanischen Weltbild bekannten, gehörte auch der Engländer **William Gilbert** (1544 – 1603). In seinem 1600 veröffentlichten Buch „*De magnetice corporibus et de magno magneti tellure*“ stellte er dar, dass sich die Erde selbst wie ein großer Magnet verhält und die Ursache für die Ausrichtung der Kompassnadel ist.

G8 | Scheiners Fernrohr zur Beobachtung der Sonnenflecken.

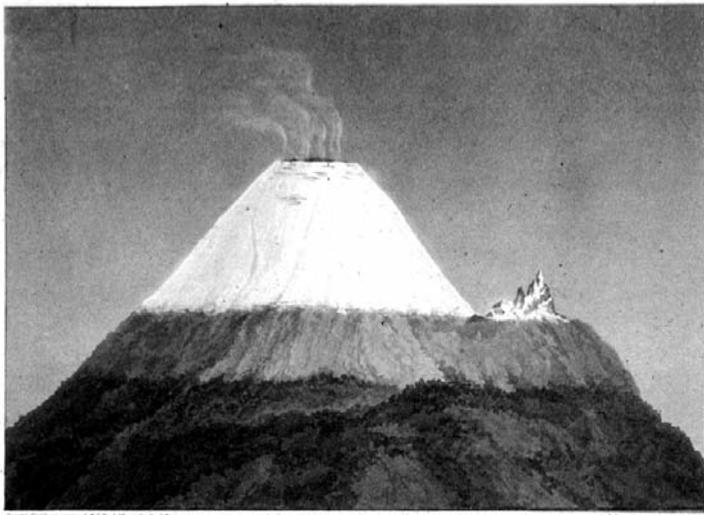


### 3 Aufklärung

Mit der Aufklärung begann man auch, sich von der rein biblisch geprägten Schöpfungsgeschichte zu lösen und andere Vorstellung von der Entstehung der Erde zuzulassen. Dabei dienten die in der Renaissance begonnenen exakten Messungen als Grundlage. Durch das von **Isaac Newton** (1643 – 1727) aufgestellte Gravitationsgesetz konnten Galileos Fallgesetze und auch Keplers Gesetze über die Bewegung der Planeten um die Sonne erklärt werden.

Einer der ersten, der in dieser Zeit eine eigene Theorie zur Entstehung der Erde formulierte, war der französische Philosoph **René Descartes** (1596 – 1650). Er nahm an, die Erde hätte sich aus einem Stern gebildet, der durch zunehmende Ansammlung von Sonnenflecken – einer Art Schlacke – langsam erkaltete. Bei der Abkühlung bildeten sich abwechselnd flüssige und feste Schichten, in denen auch Hohlräume vorhanden waren. Brachen solche Hohlräume ein, kollabierten auch die darüberliegenden Strukturen der Erdkruste und falteten sich dabei auf – ein Gebirge entstand.

G9 | Ansicht des Vulkans Cotopaxi in Ecuador, Zeichnung von Alexander von Humboldt. (Ein Originalfoto des Cotopaxi ist im ► Modul C „Plattentektonik“, ↗ C17 zu sehen).



Ein wichtiger Schritt zur Etablierung der Geologie als eigenständige Wissenschaft ging von dem dänischen Naturforscher **Nicolaus Steno** (1638 – 1686) aus, der 1669 das stratigraphische Prinzip einführte. Er begründete den Grundsatz, dass die räumliche Lagerung von Sedimentschichten übereinander einer

zeitlichen Abfolge von Gesteinsablagerungen nacheinander entspricht und ordnete Fossilien bestimmten Schichten zu. Weiterhin beschrieb er die kristallographischen Eigenschaften der Minerale wie die Richtungsabhängigkeit und die Kristallwinkel. Ähnlich wie Descartes nahm aber auch **Gottfried Wilhelm Leibniz** (1646 – 1716) noch an, dass die Erde aus einem Stern entstanden sei und sich abgekühlt habe. Dabei seien Teile der Erdkruste eingestürzt und es hätten sich die Meere gebildet. Fossilien in Gesteinen erklärte er mit sintflutartigen Ereignissen.

Aus der verstärkten Nachfrage nach Rohstoffen und dem Versiegen der einfach aufzufindenden und abzubauenen Rohstoffe entwickelten sich seit Mitte des 18. Jahrhunderts die grundlegenden Methoden der geologischen Kartierung und der Erstellung stratigraphischer Profile. Erst später, um 1817, etablierte der Engländer **William Smith** (1769 – 1839) die Nutzung von Leitfossilien zur relativen Datierung der Gesteinsschichten innerhalb einer stratigraphischen Abfolge. Smith hat 1815 auch die erste umfassende und sehr detaillierte geologische Karte von England und Wales vorgestellt.

Aus dieser detaillierten Beobachtung von Landschaftsformen und geologischen Phänomenen ergeben sich im 18. Jahrhundert zwei Interpretationslinien, die Neptunisten und Plutonisten, deren Vertreter sich einen z. T. scharfen wissenschaftlichen Disput lieferten, den sogenannten „Basaltstreit“. Die Grundgedanken des Neptunismus wurden von **Abraham Gottlob Werner** (1749 – 1814) formuliert, der an der Bergakademie in Freiberg lehrte. Er teilte die Gesteine in das sogenannte „Urgebirge“ und daraus entstandene, also geologisch jüngere, Ablagerungen ein. Nach seiner Sichtweise kristallisieren die sogenannten Urgebirge, bestehend aus Granit, Gneis, Glimmerschiefer, Tonschiefer und Quarzit, aus einem Urozean durch chemische Ausfällung mit stetig sinkendem Meeresspiegel. Durch Wind und Oberflächenwasser werden sie von der Erosion abgetragen, wodurch sich ihre vertikale Mächtigkeit verringert. Im Vorland der Gebirge werden die geschichte-

ten Sedimentgesteine nacheinander im Meer abgelagert, die durch anhaltende Regression des Meeres (durch Verdunstung) heute auf dem Festland aufgeschlossen sind und nun der Erosion unterliegen. Diese Theorie bot jedoch keine Möglichkeit, die vulkanischen Erscheinungen zu deuten. Werner vermutete, der Vulkanismus werde durch unterirdische Kohlebrände hervorgerufen und hätte nur eine lokale Bedeutung. **Alexander von Humboldt** (1769 – 1859) war ein Schüler von Werner, er hat an der Bergakademie in Freiberg studiert. Seine Eindrücke während seiner Forschungsreise in Südamerika, wo er verschiedene Vulkane besucht und bestiegen hat (➔ G9), wurden von ihm noch im neptunistischen Sinne interpretiert. Erst nach seiner Rückkehr und einem Aufenthalt in Italien (1805), wo er gemeinsam mit **Leopold von Buch** (1774 – 1853), seinem Studienkollegen aus Freiberg, den Vesuv erkundete und dort einen Vulkanausbruch miterlebte, äußerte er Zweifel an der „Kohlebrandtheorie“. Humboldt widmete sich vielen naturwissenschaftlichen Fragestellungen, insbesondere auch der Botanik. Buch dagegen hat sich auf die Geologie konzentriert und erstmalig auf der Grundlage seiner umfangreichen und genauen geologischen Aufzeichnungen ein geologisches Bild Mitteleuropas entworfen. Er hat 1826 die erste geologische Karte Deutschlands veröffentlicht. Seine Studien an Vulkanen in der Auvergne und auf den Kanarischen Inseln wurden international hochgeachtet (➔ G10).

Auch **Johann Wolfgang von Goethe** (1749 – 1832) war ein Anhänger der neptunistischen Theorie. Um die Theorie zu belegen, hat er den Kammerbühl im bayrisch-böhmischen Grenzland besucht und eine Probegrabung angeregt. Erst nach seinem Tod verwirklichte sein Freund Kaspar von Sternberg diesen Vorschlag, der angelegte Stollen lieferte jedoch den Beweis für einen vulkanischen Ursprung.

Der Freiburger Mineraloge **Johann Carl Wilhelm Voigt** (1752 – 1821), Berggrat in Weimar war ein Schüler Werners, aber erklärter Gegner seiner neptunistischen Vorstellungen. Er hat die Vulkane in der Rhön untersucht und aus seinen Beobachtungen die Schlussfolgerung gezogen, dass die Basalte auf feurig-flüssigem Weg entstanden sein müssen. Damit



war er in Deutschland der erste Verfechter der plutonistischen Vorstellung.

**James Hutton** (1726 – 1797) aus Schottland hat die plutonistische Idee formuliert und war der Gegenpart von Werner. Er erklärte 1749 die Entstehung von Vulkanen und Gebirgen mit einer Ausdehnung des geschmolzenen inneren Erdmaterials. Wenn das geschmolzene Material durch die darüberliegende Erdkruste bricht, entstehen Vulkane. Letztendlich hatten weder Werner noch Hutton mit der Ausschließlichkeit ihrer Vorstellung recht: während Werner den magmatischen Ursprung der Gesteine abgelehnt hat, leugnete Hutton die Existenz von chemisch ausgefällten Sedimenten. Während der eine die Vulkane durch Kohlebrand entstanden sah, erklärte der andere die Salzstöcke zu magmatischen Intrusionen!

Hutton begründete weiterhin die Idee eines immerwährenden Kreislaufes von Abtragung und Wiederaufbau der Erde (► Modul B „Minerale und Gesteine“, Kreislauf der Gesteine). Er erkannte, dass Ablagerungen durch Versenkung verfestigt, mineralogisch umgeformt (Metamorphose) und tektonisch verstellt werden und dann die Basis für neue Ablagerungen darstellen. Lücken in einer zeitlich kontinuierlichen stratigraphischen Abfolge, hervorgerufen durch Unterbrechungen der Sedimentation oder durch Erosion bereits abgelagerter Schichten, erkannte er auf der

G10 | Karte der Insel Teneriffa, dargestellt von Leopold von Buch (aus: „Atlas zur physikalischen Beschreibung der Canarischen Inseln“, Berlin 1825).



**G11** | Die sogenannte Hutton'sche Diskordanz am Siccar Point in Schottland. Hier erkennt man, dass eine Schichtenfolge verstellt und danach von anderen Sedimenten überlagert wurde.

Grundlage der Interpretation von sogenannten → Diskordanzen (↗ G11). Daraus folgerte Hutton, dass die Erde viel älter sein musste, als bis dahin angenommen. Er geriet dadurch in einen scharfen Gegensatz zu denjenigen, die an dem biblischen Schöpfungsbericht festhalten wollten, demgemäß die Erde nur etwa 6000 Jahre alt war. Hutton fasste 1795 seine Theorien in dem Werk „*Theory of the Earth*“ zusammen und formulierte dort auch seine Gedanken zum → Aktualismus. Danach sollten Prozesse der Ablagerung früherer Gesteinsschichten heute beobachtbaren „aktuellen“ Prozessen entsprechen und mit gleich bleibender Geschwindigkeit sowie über einen sehr langen Zeitraum ablaufen.

Dieses Prinzip der langsamen und stetigen Entwicklung wurde zu Beginn des neunzehnten Jahrhunderts wieder in Frage gestellt. Der französische Zoologe und Paläontologe **Georges de Cuvier** (1769 – 1832) fand in den abgelagerten Schichten des Pariser Beckens mehrfach große Lücken in der Abfolge und schloss daraus auf gewaltige globale Katastrophen, die in der Erdgeschichte immer wieder das Leben zerstört und anschließend zu einer Neuentwicklung geführt hatten (Katastrophismus). In der Zeit von 1830 bis 1850 kam es zur kontroversen Diskussion über die Entwicklung des Lebens auf der Erde zwischen den Anhängern des Katastrophismus in der Nachfolge von Cuvier und den Anhängern des Engländers **Sir Charles Lyell** (1797 – 1875) und dem von ihm formulierten Konzept des Aktualismus („Die Gegenwart ist der Schlüssel zur Vergangenheit“).

heit.“), das von Lyell 1830 in seinem Hauptwerk „*Principles of Geology*“ dargelegt ist. Basierend auf den Gedanken James Huttons kam Lyell zu dem Schluss, dass die geologische Zeitskala im Vergleich zur menschlichen Geschichte sehr lang ist und dass die Prozesse, die zur Bildung von bestimmten Gesteinen führten, im Wesentlichen identisch sind mit den Vorgängen, die man noch heute beobachten kann (↗ G12). Die Veränderungen im Fossilbestand erklärte Lyell durch fortdauernde, langsame Hebungen und Senkungen der Erdkruste, wie sie sich bereits Aristoteles vorgestellt hatte. Die Schichtgrenzen, an denen sich die Lebewesen anscheinend sprunghaft veränderten, entsprächen einfach den Zeiten, in denen sich auf den herausgehobenen Festländern keine Sedimente abgelagert hätten. Das Prinzip des Aktualismus ist auch heute wichtig, um die ehemaligen Abläufe in der Erdgeschichte zu rekonstruieren. Die heutige geologische



**G12** | Aktualismus: Der Vergleich von Sedimentstrukturen *oben*: Rippelmarken auf der Oberfläche von 600 Mio. Jahre alten Sandsteinen, Marwar Formation, Jodhpur, Indien, *unten*: wie sie durch Wellenbewegung und Strömung im Strandbereich entstehen.

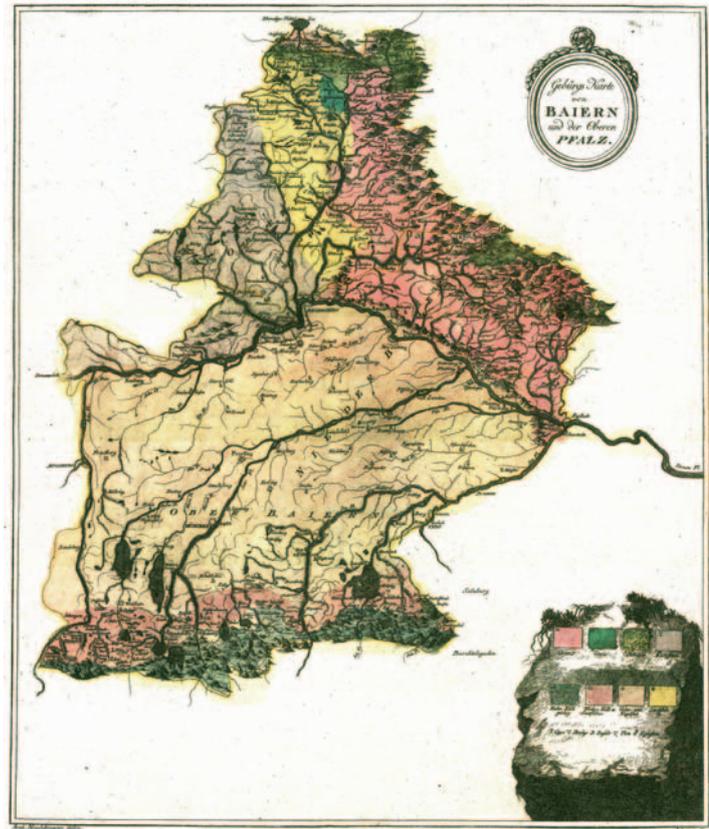
Situation und die aktuellen geologischen Prozesse werden mit den Befunden aus der Vergangenheit der Erde verglichen, um Veränderungen zu erkennen. Auch **Charles Darwin**

(1809 – 1882) folgte in seiner Evolutionstheorie mit ihrer langsamen Entwicklung neuer biologischer Arten weitgehend dem aktualistischen Prinzip.

Heute wissen wir, dass sich die katastrophistischen und aktualistischen Standpunkte (→ Evolution) nicht mehr gegenseitig ausschließen, sondern ergänzen. Neben dem allmählichen Wandel waren auch katastrophale Ereignisse für die Entwicklung des Lebens auf der Erde entscheidend (► Modul D „Erdgeschichte“).

Mitte bis Ende des 19. Jahrhunderts hatte die Geologie einen hohen Stellenwert in Deutschland. Erster namhafter bayerischer Geologe war der Professor für Naturgeschichte an der Universität München, **Matthias von Flurl** (1756 – 1823), der 1792 die erste wissenschaftlich ausgerichtete geologische Landesaufnahme Bayerns und eine „Beschreibung der Gebirge von Baiern und der oberen Pfalz“ veröffentlichte (↗ G13). Auch legte er die erste systematische Gesteins- und Mineraliensammlung an.

Durch die Industrialisierung wurden Rohstoffe benötigt und dazu brauchte man geologische Kartierungen. In Bayern ordnete König Maximilian II. im Jahr 1850 die „Geognostische Durchforschung des Königreiches“ an. Das war die Geburtsstunde des Geologischen Landesamtes, des ältesten staatlichen geologischen Dienstes in Deutschland und eines der ältesten in der Welt. Rund hundert Jahre später, im Jahr 1948, wurde dann das Bayerische Geologische Landesamt aus dem Oberbergamt ge-



**G13** | Die erste geologische Karte von Bayern wurde 1792 von Matthias von Flurl veröffentlicht.

löst und als eine eigenständige Fachbehörde eingerichtet. 2005 wurde durch die Verwaltungsreform daraus die Abteilung „Geologischer Dienst, Wirtschaftsgeologie, Bodenschutz“ des neu eingerichteten Bayerischen Landesamtes für Umwelt.

Als Begründer der modernen geowissenschaftlichen Landesaufnahme in Bayern gilt **Carl Wilhelm von Gümbel** (1823 – 1898). Die Ergebnisse seiner Untersuchungen veröffentlichte er zwischen 1861 und 1891 in der „Geognostischen Beschreibung des Königreichs Bayern“ (↗ G14).



**G14** | Von Gümbel hat seine geologischen Beschreibungen durch detaillierte Skizzen bebildert, hier der Bayerische Pfahl bei Viechtach (► Modul I „Auserschulische Lernorte“, Exkursion Nr. 6).

## Aktualismus und Evolution

James Hutton hat 1795 durch die genaue Beobachtung und Analyse der Gesteinseinheiten und der daraus abgeleiteten Erkenntnis um den ewigen Kreislauf der Gesteine zwei Gedanken formuliert, die einer Revolution der bis dahin gültigen biblischen Lehrmeinung gleichkam:

- Die Erde besteht nicht erst seit ein paar Tausenden von Jahren, sondern ist „uralt“.
- Der Mensch betritt erst lange Zeit nach der Entwicklung der Erde das Geschehen.

Nachdem Nikolaus Kopernikus im Jahr 1543 das heliozentrische Weltbild auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse formulierte, hat es also noch zwei weitere Jahrhunderte gedauert, bis sich auch die Interpretation der Entstehung der Erde von der biblischen Schöpfungsgeschichte lösen konnte.

Die Erkenntnisse von Hutton wurden durch Charles Lyell vertieft und 1830 ihre Bedeutung in seinem Buch „*Principles of Geology*“ weiter

ausgeführt und begründet. Dieses Buch hat Charles Darwin auf seine Weltreise auf der *Beagle* mitgenommen. Der darin dargelegte Standpunkt des Aktualismus hatte sicherlich Einfluss auf die Formulierung der evolutionsbiologischen Theorie 1859 in seinem Buch „*Über die Entstehung der Arten*“. Lyell wird daher auch als Mentor von Darwin bezeichnet.

Es ist ein Paradoxon der Wissenschaftsgeschichte, dass zu einer Zeit, in der zum Darwin-Jahr 2009 die Bedeutung des evolutionären Denkens für die Interpretation der Entwicklung des Lebens gewürdigt wird, die Evolutionskritiker wieder an Stimme gewinnen. Mit ihren naturwissenschaftlich unhaltbaren Gedanken suchen sie – und das nicht nur in den USA – ihren Einflussbereich zu stärken und zu erweitern. Diese als Kreationismus (lat. *creare* = erschaffen) bezeichnete Strömung leugnet die geologischen und evolutionsbiologischen Erkenntnisse und beharrt auf einer absoluten Gültigkeit der jeweiligen heiligen Schriften.

## 4 Modellvorstellungen im 20. Jahrhundert

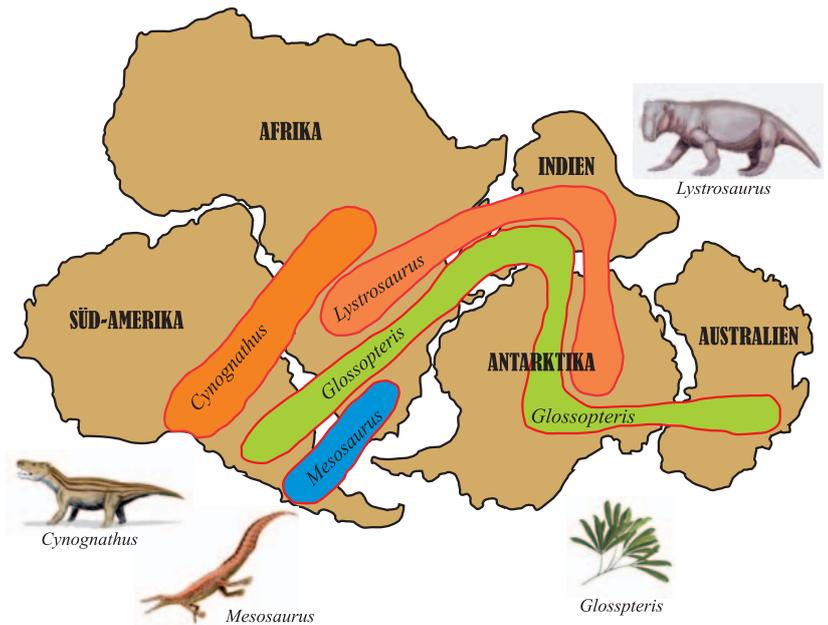
Das beginnende 20. Jahrhundert war durch die Kontroverse zwischen dem sogenannten Fixismus und dem Mobilismus geprägt, die bis in die letzten Dekaden des Jahrhunderts anhielt. Der grundlegende Unterschied der beiden Ansätze bestand darin, dass die Fixisten alle Phänomene der Gebirgsbildung durch vertikale Bewegungen der Erdkruste erklärten, während die Mobilisten auch horizontale Bewegungen in die Modellvorstellungen mit einbezogen.

Der Fixismus beruht auf der Idee einer festen Verbindung der Erdkruste mit dem Untergrund, so dass großtektonische Prozesse ortständig sind. Daraus folgt, dass die Entwicklung der Erde überwiegend von vertikalen und sehr wenig von horizontalen tektonischen Bewegungen der Erdkruste geprägt ist. Diese Modellvorstellung wurde u.a. damit begründet, dass in der zentralen Achse der Gebirge häufig große magmatische Areale

vorkommen und diese magmatischen Gesteine durch ihren Aufstieg die Gebirgsbildung forcieren. Diese Ideen knüpften an die plutonistischen Vorstellungen von Buch und Hutton an. So erklärte der Franzose **Léance Élie de Beaumont** (1852) die Bildung der Faltengebirge durch Runzelung der Oberfläche der Erde infolge der Schrumpfung des Erdkörpers während der Abkühlung (Kontraktionshypothese). Heute weiß man, dass die Erde sich vergrößert, da durch die Gezeitenreibung die Rotationsgeschwindigkeit herabgesetzt wird (16 Millionstel s pro Jahr) (► Modul D „Erdgeschichte“). Eine Ausdehnung der Erde postulierte auch der Italiener **Roberto Mantovani** in seiner 1889 und 1909 veröffentlichten Theorie der Erdexpansion. Als Ursache sah er eine thermische Ausdehnung aufgrund der Erwärmung durch radioaktiven Zerfall. Eine weitere fixistische Idee wurde von dem deutschen Geologen **Erich Haarmann** 1930 mit der Oszillationstheorie

vorgeschlagen. Er verwirft die Kontraktion als stetigen Prozess und sieht Änderungen im Gleichgewichtszustand der Erde als Ursache, die ein An- und Abschwellen der Kruste verursachen (Geotumore und Geodepressionen). Durch Absinken der Kruste gleiten Sedimente an den Rändern der Senken ab und ermöglichen so den Bau von Falten und Decken. Die Veränderungen und Erweiterungen der fixistischen Erklärung waren durch die neuen geophysikalischen Erkenntnisse über den Aufbau der Erde gesteuert. Der deutsche Geophysiker **Emil Wiechert** hat bereits Ende des 19. Jahrhunderts eine Unterteilung der Erde in einen schweren Kern und einen leichteren Mantel postuliert, sein Doktorand und Mitarbeiter **Beno Gutenberg** hat dann 1914 durch Auswertung von seismischen Wellen die Gliederung des Erdkörpers in Kern, Mantel und Kruste vorgenommen. 1936 unterteilte die dänische Seismologin **Inge Lehmann** den Erdkern in einen festen inneren und fließfähigen äußeren Kern.

Die fixistische Idee der Geosynklinaltheorie wurde von **Hans Stille** (1876 – 1966) in Deutschland fest etabliert. Der Begriff war schon 1873 vom Amerikaner **James Dwight Dana** geprägt worden. Stille sah eine Absenkung der Kruste in langgestreckten Becken (Erdgroßmulden, Geosynklinalen), die letztendlich in einer Faltung und Metamorphose endeten. Insbesondere aus Beobachtungen der Strukturen in den Alpen schlossen jedoch schon einige Forscher zu Beginn des 20. Jahrhunderts auf einen maßgeblichen Einfluss von Horizontalbewegungen. **Otto Ampferer** (1875 – 1947), ein österreichischer Geologe, fand hier ältere metamorphe Schichten, die jüngere unmetamorphe Schichten überlagerten. Diese Beobachtung führte er auf einen sogenannten Deckentransport zurück, bei dem die Einheiten durch Überschiebungen aufeinander gestapelt werden. Die Ursache dieser Überschiebungen erklärte Ampferer 1906 mit seiner Unterströmungstheorie, bei der abwärts gerichtete Massenströmungen unter Gebirgen Einengung und Deckentransport ermöglichen. Der Österreicher **Robert Schwinner** (1878 – 1953) erweiterte diese Theorie, indem er für diese Strömungen einen konvektiven Massentransport im Erdinneren annahm. Ampferer verknüpfte 1925 in einem Vortrag in



Wien die Vorstellung der Kontinentaldrift des deutschen Meteorologen **Alfred Wegener** (1880 – 1930) mit seiner Unterströmungstheorie und skizzierte damit das Prinzip der Plattentektonik, das aber in der damaligen Zeit aufgrund des Fehlens von exakten Beweisen keine Akzeptanz gefunden hat. Selbst Wegener äußerte sich kritisch zu den Vorstellungen von Schwinner und Ampferer.

Seine Idee der Kontinentaldrift hat Alfred Wegener 1912 auf einer Sitzung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Frankfurt a. M. dem geologischen Fachpublikum vorgestellt und 1915 in dem Buch „Die Ursprünge der Kontinente und Ozeane“ veröffentlicht. Aufgrund der Verbreitung verschiedener, nur auf dem Land lebender Fossilien sowie der Übereinstimmung der Küstenlinien von Südamerika und Südafrika (↗ G15) postulierte Wegener das Auseinanderbrechen eines Superkontinentes Pangäa und eine Drift der Kontinente. Als treibende Kraft der Bewegung sieht er die aus der Erdrotation resultierenden Zentrifugalkräfte. Durch diesen Antrieb sollen sich die leichten Kontinente aus Sial (Kunstwort aus Silizium und Aluminium, den wichtigen Elementen der kontinentalen Kruste) auf den schwereren Ozeanböden aus Sima (Kunstwort aus Silizium und Magnesium) bewegen können.

Auch wenn es immer wieder Befürworter der Theorie Wegeners gab, konnte sich das Bild

**G15** | Die Rekonstruktion der Verbreitungsgebiete von nur auf den Kontinenten lebenden Tieren und Pflanzen war Wegeners Grundlage für die Theorie der Kontinentaldrift.

**G16** | Die aus Echolotdaten rekonstruierte untermeerische Topographie der Weltmeere wurde von Marie Tharp in eine Kartendarstellung übertragen.



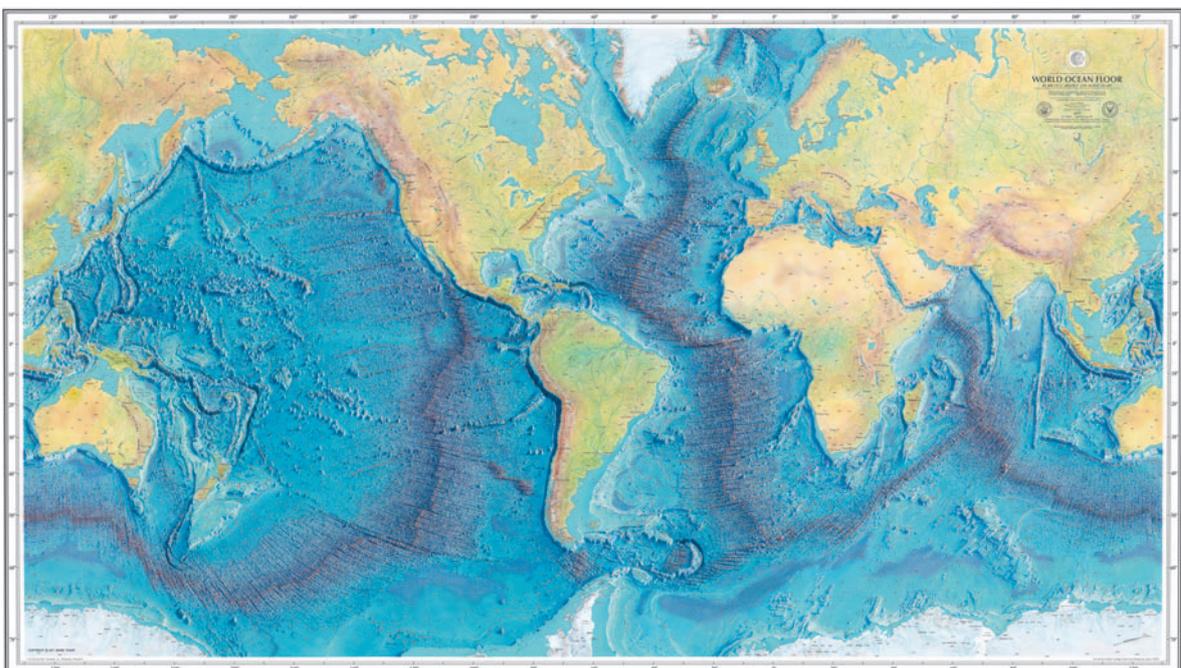
einer statischen Erde, in der es eine Verbindung der Kontinente durch Landbrücken gegeben hat, die durch Auf- und Abbewegungen (isostatische Bewegungen) gebildet worden sind, sehr lange halten. Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden neue Theorien formuliert, die sich auf den vielen Messdaten von den Ozeanböden gründeten (Magnetik, Echolot), die während des zweiten Weltkrieges erhoben worden sind.

1952 starteten die Amerikaner **Marie Tharp** und **Bruce Heezen** ein Projekt zur Kartierung der Ozeane und präsentierten 1959 die erste Karte der Meeresböden, welche die Details von Unterwasserbergen und -tälern zeigte (↗ G16). Weiter stellten sie fest, dass die von dem nach Amerika ausgewanderten deut-

schen Geophysiker **Beno Gutenberg** und dem Amerikaner **Charles F. Richter** festgestellte Verteilung der Erdbeben in den Ozeanen mit der Lage der Mittelozeanischen Rücken übereinstimmt. Ihre Idee, dass die tiefen Senken auf dem Kamm der Mittelozeanischen Rücken die Ränder von Erdplatten darstellen und hier die Platten auseinanderdriften, wurde jedoch noch von vielen Wissenschaftlern kritisch gesehen. Erst 1959 wurden sie durch die Kamerabilder des Tauchbootes SP-300 des französischen Ozeanographen **Jacques-Yves Cousteau** bestätigt.

Das Konzept der Ozeanbodenspreizung („sea floor spreading“), also der Neubildung von Ozeanboden am Mittelozeanischen Rücken und dem Auseinanderdriften der Platten, wurde 1961 von dem amerikanischen Geophysiker **Robert S. Dietz** vorgeschlagen. Sein Modell wurde 1963 durch die Entdeckung der symmetrischen Magnetstreifenmuster entlang der Spreizungszentren durch den kanadischen Geophysiker **Lawrence Morley** und die britischen Geologen **Fred Vine** und **Drammond Matthews** bestätigt. Schon bei der Kartierung der Ozeanböden ist der Versatz der Mittelozeanischen Rücken entlang vieler Störungszonen deutlich geworden. Diese sogenannten Transformstörungen wurden 1965 von dem kanadischen Geophysiker **Tuzo Wilson** durch die Plattenbewegung auf der Kugeloberfläche der Erde erklärt (► Modul C „Plattentektonik“, ↗ C7).

**G17** | Die „Weltkarte der Ozeanböden“ von Bruce Heezen und Marie Tharp.



Zunächst wurde die Expansionstheorie zur Interpretation der Ozeanbodenspreizung in Betracht gezogen, der amerikanische Geologe **Harry H. Hess** lieferte 1962 jedoch mit der Theorie der Plattentektonik eine schlüssigere Modellvorstellung. Wenn an den Mittelozeanischen Rücken neue ozeanische Kruste entsteht, dann muss sie an anderer Stelle auch wieder abgeführt werden. Dies geschieht durch ein Abtauchen (→ Subduktion) der ozeanischen Kruste unter die Kontinente.

Neben den zwei zentralen Revolutionen unserer Weltanschauung:

1. Der Erkenntnis des Altertums, dass die Erde eine Kugel und nicht flach ist.
2. Der Erkenntnis der Renaissance, dass diese Kugel nicht der Mittelpunkt des Universums ist, sondern ein Planet, der die Sonne umkreist wie auch die anderen Planeten.

Im 21. Jahrhundert setzt sich eine weitere Erkenntnis durch, die diesen in nichts nachsteht: Die Erde ist ein dynamischer Planet und seine inneren Kräfte und Prozesse (die endogenen Prozesse) bilden den Motor der Plattentektonik. Sie steuern die auf der Erde ablaufenden exogenen Prozesse, die unser Landschaftsbild formen.



## Paläontologie

(griech. = Wissenschaft vom alten Leben) ist die Wissenschaft prähistorischen Lebens. Paläontologen beschäftigen sich mit der Systematik und Evolution des Lebens im Allgemeinen wie im Speziellen sowie mit den Lebensräumen dieser Organismen (Paläoökologie). Die genaue Kenntnis vergangener Lebensformen erlaubt eine relative Altersdatierung sedimentärer Schichten sowie deren Korrelation. Die Paläontologie liefert z. B. wichtige Erkenntnisse über die Entwicklung des Klimas in der Vergangenheit.

Der Begriff Paläontologie wurde 1825 vom französischen Zoologen **Henri Marie Ducrotay de Blainville** eingeführt und ersetzte ältere Bezeichnungen wie Petrefaktenkunde.

## Geologie

(griech. = Erdwissenschaft) ist die Wissenschaft vom Aufbau, der Zusammensetzung sowie der Struktur der Erde. Geologen beschäftigen sich mit den physikalischen Eigenschaften und der dynamischen Entwicklungsgeschichte der Erde, ihren Materialien und den Prozessen, die sie formen. Als wichtiges akademisches Fach liefert die Geologie unter anderem die Grundlagen für jegliche Rohstoffgewinnung (z. B. Wasser, Erdöl, Erdgas, Kohle), die Erforschung von Naturkatastrophen und das Verständnis der Entwicklung des Weltklimas und der Umwelt.

Die Bezeichnung Geologie wurde vom Schweizer Naturwissenschaftler **Horace Bénédict de Saussure** im Jahr 1779 als feststehender Begriff eingeführt. Davor war der Begriff Geognosie gebräuchlich.

G18 | Geologische Geländearbeit im Hochgebirge von Südtirol.



G19 | Paläontologen bei der Fossilsuche.

## Weiterführende Literatur, Links und Karten (Auswahl):

Cutler, A. 2004. Die Muschel auf dem Berg. Über Nicolaus Steno und die Anfänge der Geologie, 255 S., Knaus Verlag, ISBN 978-3-81350-188-9.

Dawkins, R. 2008. Der blinde Uhrmacher: Warum die Erkenntnisse der Evolutionstheorie zeigen, daß das Universum nicht durch Design entstanden ist, 384 S., dtv, ISBN 978-3-42334-478-4.

Kehlmann, D. 2005. Die Vermessung der Welt, 304 S., Rowohlt Verlag, ISBN 978-3-49803-528-0.

Krenn, D. M. & Lehrberger, G. 2006. Glück auf dann liebes Baiern! Mathias von Flurl und sein Lebenswerk, Hefte zur Bayerischen Geschichte und Kultur 34, 56 S., Haus der Bayerischen Geschichte, ISBN 978-3-93797-412-5.

Kutschera, U. (Hrsg.) 2007. Kreationismus in Deutschland. Fakten und Analysen, 376 S., LIT Verlag, ISBN 978-3-82589-684-3.

Neukamm, M. (Hrsg.) 2009. Evolution im Fadenkreuz des Kreationismus: Darwins religiöse Gegner und ihre Argumentation, Reihe: Religion, Theologie und Naturwissenschaft, Bd. 19, 400 S. Vandenhoeck & Ruprecht, ISBN 978-3-52556-941-2.

Repcheck, J. 2007. Der Mann, der die Zeit fand: James Hutton und die Entdeckung der Erdgeschichte, 269 S., Verlag Klett-Cotta, ISBN 978-3-60894-086-3.

Winchester, S. & Pfeleiderer, R. 2003. Eine Karte verändert die Welt: William Smith und die Geburt der modernen Geologie, 336 S., btb Verlag, ISBN 978-3-44273-089-6.

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven (Hrsg.) 2005. Wegener, A., Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, Nachdruck der 1. Auflage 1915 mit handschriftlichen Bemerkungen von Alfred Wegener, Notizen und Briefen sowie neu erstelltem Index, Nachdruck der 4. umgearbeiteten Auflage 1929 mit neu erstelltem Index, 481 S., ISBN 978-3-44301-056-0.

Wegener, A. 1929. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, Vierte umgearbeitete Auflage, Die Originalausgabe des Buches wird von Kurt Stüber, Max Planck Institut in Köln, zur Verfügung gestellt: ► [www.caliban.mpiz-koeln.mpg.de/wegener/index.html](http://www.caliban.mpiz-koeln.mpg.de/wegener/index.html)

### Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Gesundheit (StMUG)

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB)