

Amerika ist enthalten (→ Abb. 1-2). Von da an ging die Entwicklung rasch und stetig weiter bis zu unseren heutigen satellitengestützten Karten.

Ähnlich wie in der Geographie geht es auch in der **Paläogeographie** darum herauszufinden, wie die Land-Meer-Verteilung und die Anordnung der Kontinente auf der Erde in vergangenen Zeiten aussah. Bis in das 19. Jahrhundert ging man allgemein von starren, weitgehend unveränderlichen Kontinenten aus. Erst 1915 postulierte Alfred Wegener (1880–1930) die Kontinentaldrift in seinem Buch «Die Entstehung der Kontinente und Ozeane». Anhand der Küstenlinien von Südamerika, Afrika, der Antarktis, Indien und Australien sowie der Verbreitung bestimmter Pflanzen- und Reptilienarten aus dem Jungpaläozoikum rekonstruierte er den großen Südkontinent Gondwana und später auch Pangaea (→ Abb 1-3). Seine Theorie war lange umstritten und wurde erst in den 1960er-Jahren durch John Tuzo Wilson bestätigt und anerkannt. Im heute nach ihm benannten Wilson-Zyklus beschrieb er 1970 das plattentektonische Geschehen als **Rift-Phase** (Zerbrechen der Kontinente), **Spreading-Phase** (Wachstum der Ozeane durch aufdringendes Mantelmagma) und schließlich als **Subduktion** (Versinken der Ozeanplatten im Erdmantel). Erst dadurch wurde ein plausibles Modell für das Zusammenwachsen und Zerfallen von Kontinenten und

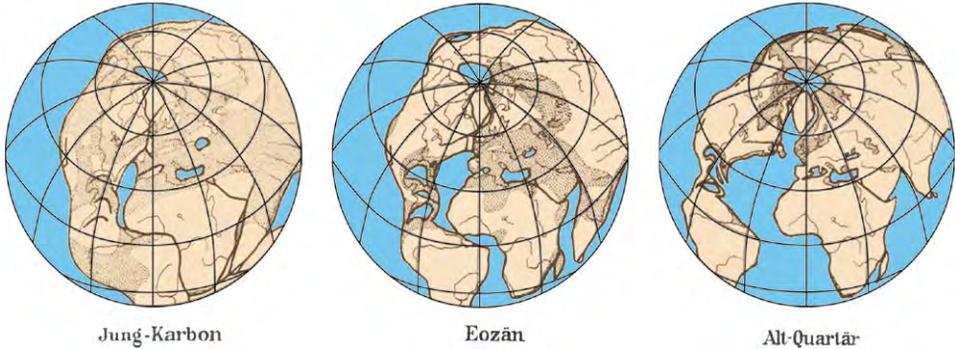
Die geographische Karte von Martin Waldseemüller (1507) zeigt die alte Welt, und auch das erst 1492 (wieder-)entdeckte Amerika ist bereits enthalten. Australien wurde hingegen erst 100 Jahre später entdeckt.

Abb. 1-2



Abb. 1-3

Alfred Wegener rekonstruierte 1920 den Superkontinent Pangaea anhand der heutigen Küstenlinien und der Verbreitung bestimmter Pflanzen und Reptilien aus dem Jungpaläozoikum. Auch der spätere Zerfall des Superkontinents ist dargestellt. Auch wenn einige Details und der zeitliche Verlauf nicht richtig sind, kommen Wegeners Vorstellungen den heutigen doch recht nahe (Wegener 1929).



ihre Drift über die Erdoberfläche gefunden. Im Zusammenhang mit der Paläoklimatologie erklärt dieses Modell auch, warum der Meeresspiegel im Verlauf der Erdgeschichte stark variiert. Durch die Detailarbeit von Geologen, Geophysikern und Paläontologen entstanden in der Folgezeit immer genauere paläogeographische Karten, die ein mittlerweile recht gutes Bild der Veränderungen durch die Erdgeschichte ergeben. Logischerweise wird die Unsicherheit der Darstellungen für weiter zurückliegende Zeiten zunehmend größer. Die Entwicklung ist aber keineswegs abgeschlossen: Durch Bohrungen an Land und im Ozean, durch Seismik, Geomagnetik und viele andere Methoden wird die Genauigkeit der rekonstruierten paläogeographischen Karten auch zukünftig weitere Fortschritte machen.

Zeit

| 1.2

In weiten Teilen der Welt wurde die Zeitvorstellung über das Alter unserer Erde durch die drei sogenannten Buchreligionen (Judentum, Christentum und Islam) geprägt, deren Schöpfungsgeschichten weitgehend ähnlich sind. Dabei wurde immer von einer relativ kurzen Zeitspanne (kleiner als 10 000 Jahre) vom Beginn der Schöpfung bis zur Gegenwart ausgegangen. Am deutlichsten wird das in der «Berechnung» des Schöpfungszeitpunkts durch James Ussher, der anglikanischer Bischof (1581–1656) in Irland war. Er setzte den 23. Oktober 4004 v. Chr. (einen Sonntag) als Anfangsdatum fest. Kurioserweise gibt es eine ähnliche Berechnung auch von Isaac Newton. «Datierungen» dieser Art werden noch heute von Kreationisten (creare = erschaffen) verwendet. Deren Anhänger sind hauptsächlich fundamentalistische Christen und Muslime sowie ultraorthodoxe Juden. Allen ist eine Ablehnung der biologischen Evolutionstheorie gemeinsam. Abgewandelte Formen des Kreationismus, wie die «intelligent design» Bewegung, geben sich zwar einen pseudowissenschaftlichen Anstrich, haben aber die gleiche Grundhaltung zur Evolutionstheorie: Biologische Arten werden als unveränderlich in der Zeit angesehen. In anderen Kulturen und Religionen wurde die Zeit oft als ein Rad (oder mehrere ineinandergreifende Räder) dargestellt, was lange und wiederkehrende Zeitperioden zulässt.

Auch hier waren die alten Griechen in ihren Ansichten bereits moderner. Die griechischen Philosophen Empedokles (4. Jh. v. Chr.) und Aristoteles (3. Jh. v. Chr.) postulierten bereits eine Veränderung der Flora und Fauna im Laufe der Zeit. Sie erkannten zumindest teilweise, dass Fossilien Spuren ehemaliger Lebewesen sind. Im Mittelalter wurden sie hingegen als absonderliche Dinge und Launen der Natur angesehen, die durch eine besondere Kraft geformt wurden. Erst der Zürcher Arzt und Naturforscher Conrad Gessner (1516–1565) beschrieb in seiner «*Historia animalum*» wieder Fossilien als ehemalige Lebewesen. Auch das stratigraphische Grundprinzip, nach dem bei normaler Lagerung jüngere Schichten über älteren liegen, wurde schon in der Frühen Neuzeit, von Nicolaus Steno (1638–1686), erkannt. William Smith (1769–1839) wiederum erkannte als Erster den Nutzen von Fossilien zur Altersbestimmung und erstellte 1799 mithilfe des Fossilvergleichs in verschiedenen Gesteinstypen gleichen Alters die erste geologische Karte von Südengland. In der Folge wurde von Leopold von Buch (1774–1853) das Leitfossilkonzept aufgestellt, welches besagt, dass bestimmte Fossilien für bestimmte Zeitabschnitte der Erdgeschichte charakteristisch sind. Es wurde von zahlreichen anderen

Forschern und für alle Zeitalter weiterentwickelt und immer detaillierter untergliedert. Leider erlaubte das Leitfossilienkonzept keinerlei Aussagen über die absoluten Alter der Gesteine. Dennoch waren bereits im 19. Jahrhundert viele Geologen und Paläontologen überzeugt, dass die Erde viele Millionen Jahre alt ist. Charles Lyell (1797–1875) etwa, ein britischer Geologe, postulierte sogar schon ein Alter von Milliarden Jahren. Ihm widersprach jedoch Lord Kelvin (1824–1907), der eine Berechnung zur Abkühlungsdauer der glutflüssigen Erde vornahm und auf ein Erdalter von maximal 24 Mio. Jahren kam. Das Problem war, dass weder Lyell noch Kelvin eine verlässliche Methode zur Hand hatten, um ihre widersprüchlichen Angaben zu beweisen. Erst mit der Entdeckung der Radioaktivität durch den französischen Physiker Antoine Henri Becquerel im Jahr 1896 stand eine Methode zur absoluten Zeitbestimmung zur Verfügung. Ein erste Berechnung auf dieser Basis nahm der englische Geologe Arthur Holmes 1913 mit einer Radioisotopenmessung der Uran-Blei-Zerfallsreihe vor und datierte den Beginn des Kambriums auf etwa 600 Mio. Jahre. Damit lag er schon nahe am heutigen Wert von 542 Mio. Jahren. Der Fehlerbereich war allerdings noch recht hoch, und es dauerte noch etliche Jahrzehnte, bis man in der Lage war, reproduzierbare Werte mit kleinen Fehlerbereichen zu berechnen. Heute weiß man, dass die ältesten uns bekannten Gesteine auf der Erde 4 Mia. Jahre alt sind, und die ältesten Zirkonminerale 4.4 Mia. Jahre alt.

Neben den radiogenen Isotopenmessungen zur Altersbestimmung (**Geochronologie**), die nicht an allen Gesteinen durchführbar sind, werden heute eine Reihe weiterer Methoden zur Altersbestimmung verwendet. Die **Biostratigraphie** ist die bis heute am weitesten verbreitete Methode in Sedimentgesteinen. Hierbei wurden früher vor allem Makrofossilgruppen verwendet. Inzwischen werden sehr häufig Mikrofossilgruppen (z. B. Phyto- und Zooplankton, Pollen und Sporen) zur relativen Altersbestimmung genutzt. Weitere hilfreiche Methoden für die jüngere Erdgeschichte sind die **Paläomagnetik**, **Event-**, **Sequenz-**, **Chemo-** und **Zyklostratigraphie** (→ Box 1-1). Ziel dieser meist kombiniert verwendeten Methoden ist es, ein verbindliches, zeitliches Bezugssystem zu erstellen (→ vorderer und hinterer Buchumschlag).

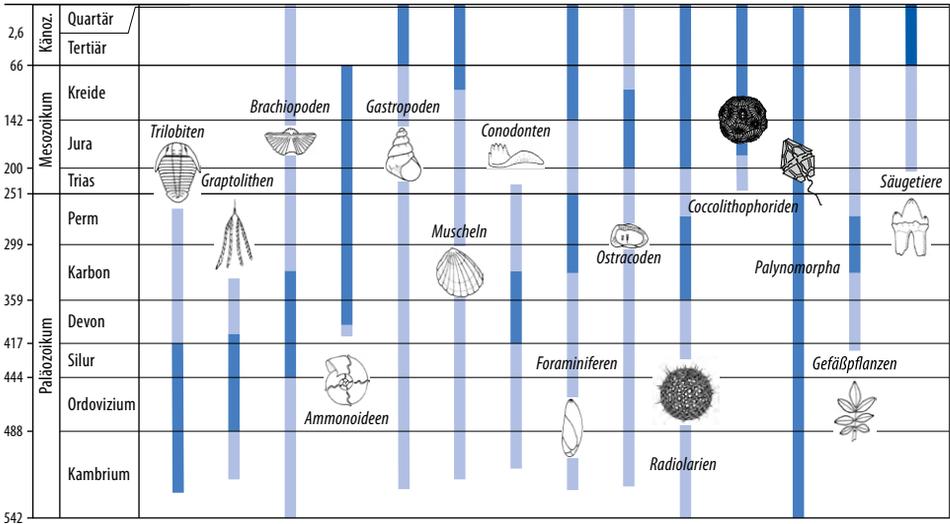
Box 1.1

Stratigraphische Methoden

Gebräuchliche **Stratigraphische Methoden** und ihre Anwendungsbereiche sind die **Lithostratigraphie**, die nur nach Gesteinsmerkmalen gliedert. Diese Methode ist faziesabhängig und hat ihre wesentliche Bedeutung in der Darstellung von

Verschiedene Leitfossilgruppen durch die Erdgeschichte. Die dicken Linien geben den Zeitbereich an, in dem die Fossilgruppen wichtige Leitfossilien stellen (modifiziert nach Ziegler 1972).

Abb. 1-4



Gesteinseinheiten in geologischen Karten. Zur zeitlichen Gliederung findet sie vor allem Verwendung in fossilarmen bis fossilfreien Sedimenten eines regionalen Ablagerungsbereiches.

Die **Biostratigraphie** gliedert nach dem Fossilinhalt (→ Abb. 1-4) mithilfe von **Leitfossilien**. Dazu sind nicht alle Fossilien gleichermaßen geeignet. In den verschiedenen Abschnitten der Erdgeschichte werden verschiedene Leitfossilien verwendet. Die Biostratigraphie ist im Wesentlichen auf das Phanerozoikum, also den Zeitraum vom Kambrium bis heute beschränkt. Leitfossilien sind im Idealfall fazies-unabhängig und überregional bis global verbreitet. Die damit ermittelten Altersbeziehungen sind z. T. sehr genau, geben aber nur das Relativalter an. Kriterien für gute Leitfossilien sind eine **weite Verbreitung**, die eine möglichst weite Korrelation erlaubt (z. B. Plankton im Meer, Pollen an Land), eine **große Häufigkeit**, die den Nachweis der Fossilien einfach macht (z. B. Plankton), eine **große Merkmalsvielfalt**, die eine gute Unterscheidbarkeit erlaubt (z. B. Ammoniten), sowie eine rasche **evolutive Merkmalsänderung**, wodurch eine gute zeitliche Auflösung möglich ist. In der Praxis sind selten alle Kriterien optimal erfüllt.

Die **Magnetostratigraphie** benutzt die Umpolungen des irdischen Magnetfelds zur Altersbestimmung. Die Ursachen der Umpolung liegen wahrscheinlich an Änderungen der Konvektionsströmungen im Inneren der Erde. Sie wurden erstmalig von Bernhard Brunhes, einem französischen Geophysiker, 1905 nachgewiesen. Seit