

Planet Erde

Geowissenschaften
im Dienste der Menschheit



ausstellungsführer

senckenberg
forschungsinstitut und naturmuseum



Deutsche
Forschungsgemeinschaft
DFG



Einleitung



INTERNATIONAL GEOSCIENCE PROGRAMME (IGCP) IN THE SERVICE OF SOCIETY

Was ist das Internationale Geowissenschaftliche Programm?

Das Internationale Geowissenschaftliche Programm (IGCP) ist eines der sechs wissenschaftlichen Großprogramme der UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). Das IGCP fördert die fächerübergreifende geowissenschaftliche Forschung durch wissenschaftliche Forschungsprojekte. Weiterhin wird die Ausrichtung von Workshops und internationalen Konferenzen in Zusammenhang mit den Projekten weltweit gefördert. Insbesondere der wissenschaftliche Austausch zwischen Wissenschaftlern aus Schwellenländern und Industrieländern steht dabei im Vordergrund.

Initiatoren und Förderer dieses Programmes sind die UNESCO und die IUGS (International Union of Geological Sciences), die seit 1972 über 550 Projekte in mehr als 150 Ländern unterstützt haben.

Das IGCP ist somit eines der erfolgreichsten Projekte der UNESCO. Die beiden Organisationen stellen lediglich eine Anschubfinanzierung zur Verfügung, zusätzliche Geldmittel sind durch die Projektleiter in den eigenen Ländern einzuwerben. Die wissenschaftliche Zielsetzung der IGCP Projekte ist ausgerichtet auf anwendungsbezogene Forschung und Grundlagenforschung im Sinne der Nachhaltigkeit und Dienst für die Gesellschaft.

Deutschland gehört zu den aktivsten Teilnehmerstaaten des IGCP. Im Jahr 2007 waren deutsche Geowissenschaftler als Einzelforscher, Forschergruppen oder Projektleiter an 17 der insgesamt 43 laufenden Projekte beteiligt. Mit dieser Ausstellung sollen als Beitrag zum Internationalen Jahr des Planeten Erde (IYPE) unterschiedlich wissenschaftlich ausgerichtete IGCP Projekte unter deutscher Federführung einem breiten Publikum vorgestellt werden.

An dieser Stelle möchte ich mich im Namen aller Beteiligten für die Zusammenarbeit und Bereitstellung der Daten bedanken.

Grundlage für die nachfolgenden Texte sind die Ausstellungstexte, für die wir uns herzlich bei folgenden Personen bedanken:

Helmut Brückner
Andreas Vött
Ulf Linnemann
Axel Gerdes
Daniel Kelterbaum
Reimar Seltmann
Cornelia Spiegel
Hartwig Frimmel
Axel Munnecke

Peter Königshof - Vorsitzender IGCP
Landesausschuss der Bundesrepublik
Deutschland

Tsunamis im Mittelmeer?

Gab es jemals Tsunamis im Mittelmeer? Dieser Fragestellung geht eine Gruppe von Wissenschaftlern der Universität zu Köln und der Philipps-Universität Marburg in Griechenland nach.

Das Küstengebiet zwischen den nordwestgriechischen Städten Leukas und Preveza befindet sich in unmittelbarer Nähe des seismisch hochaktiven Hellenischen Bogens. Seit dem 3. Jahrtausend vor Christus fanden mindestens vier Tsunami-Ereignisse in diesem Gebiet statt, die sich durch eindeutige Spuren belegen lassen: Nordöstlich der Festung Aghia Mavra finden sich verlagerte Kalksteinplatten, die den Einfluss von Extremereignissen dokumentieren. Die Gesteinsplatten zeigen eine Strandwall parallele Einregelung. Größere Blöcke sind vorwiegend

knapp unterhalb der Oberkante des Strandwalls anzutreffen. Weiterhin wurden Gesteinsblöcke im Bereich der Bucht von Aghios Nikolaos gefunden, die eine Größe von bis zu 15 m³ erreichen und auf die Umlagerung durch Tsunamis hinweisen. Sie wurden aus der zementierten Basis eines ehemaligen Strandwalls herausgerissen. Heute finden sich diese Gesteine um bis zu 180° gedreht in der sogenannten Dachziegel-lagerung an der Küste. Ablagerungen von Tsunamis wurden auch unter Wasser ermittelt. Tsunami-Ablagerungen im Küstengebiet zwischen Leukas und Preveza konnten mit Hilfe der Radiokohlenstoff- und optisch stimulierten Lumineszenz-Methode, sowie anhand diagnostischer Keramikfragmente datiert werden. Bisherige Ergebnisse bezeugen Tsunami-Ereignisse um ungefähr 2800 v. Chr., 1000 v. Chr., 300 v. Chr. sowie um 800-1000 n. Chr.

Unten:
An der in der Übersichtskarte eingezeichneten Lokalität 8 wurde der abgebildete Sedimentkern erbohrt. Ganz unten erkennt man einen alten Bodenhorizont (hellbraun), über dem graue Seesedimente abgelagert wurden. Die in die Seesedimente eingeschaltete grobe Lage aus Sand, Kies und Muschelschalen ist durch einen Tsunami entstanden.



Oben:
Die abgebildeten Blöcke wurden bei Lokalität 4 der Übersichtskarte gefunden.



Oben:
Auf der Basis eines digitalen Geländemodells und geeigneter Modellierungssoftware konnten Simulationen für Tsunami-Ereignisse erstellt und mit den Geländebefunden verglichen werden. Diese Simulationen helfen bei der Erfassung Tsunami gefährdeter Gebiete. Von links nach rechts sind Momentaufnahmen aus der Simulation 250, 450, 650 und 850 Sekunden nach der Entstehung der Welle zu sehen.

Links:
Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes. Die Kästen markieren ausgewählte Bereiche, in denen geowissenschaftliche Belege für Tsunami-Ereignisse gefunden wurden.

Wie alt sind die Alpen?

Wie wird das Alter von erdgeschichtlich jungen Gebirgen bestimmt?

Eine heute gängige Methode ist die sogenannte Spaltspurmethode. Diese beruht darauf, dass in vielen Mineralen Uran in geringen Mengen enthalten ist. Uran ist ein radioaktives Element, dessen Atomkerne nach einer gewissen Zeit spontan in zwei Teile zerfallen. Diesen Vorgang nennt man Fission. Bei dem Zerfall werden große Kräfte freigesetzt und die Teile bewegen sich voneinander weg. Dabei zerstören sie die Struktur des Minerals und hinterlassen beim Durchqueren des Minerals sogenannte „Spaltspuren“. Durch das Auszählen der Spaltspuren in einem Mineral kann das Alter bestimmt werden. Je mehr Spaltspuren gezählt werden, desto älter ist das Gestein.

Ein wichtiger Faktor für diese Datierung ist die Temperatur. Ab einer Temperatur von 1.100 °C „verheilen“ die Spaltspuren wieder und die „Uhr“ wird auf Null zurückgesetzt. Dadurch kann nicht bestimmt werden, wann das Gestein entstanden ist, es kann jedoch bestimmt werden, wann es eine Tiefe von 2 bis 3,5 km verlassen hat. Dies entspricht etwa einer Temperatur von 1.100 °C. Bei geringeren Tiefen ist die Temperatur zu gering, um die Spaltspuren wieder verheilen zu lassen.

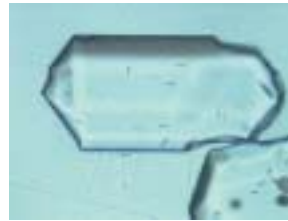
Die Spaltspurenmethode wird seit den 80'er Jahren in den Geowissenschaften angewendet und ist heute weit verbreitet. Das Projekt verfolgt zwei verschiedene Ansätze:

1. Kalibrierung: Im Rahmen des Projektes wird versucht abzuschätzen, wie sich unterschiedliche Techniken der Probenaufbereitung auf die Ergebnisse auswirken. Ziel ist es, weltweit einheitliche Standards zu schaffen.

2. Wissenstransfer: Das Interesse an der Methode ist groß, vor allem in Schwellenländern. Häufig bestehen an den dortigen Universitäten gut ausgestattete Labore, aber es fehlt die Expertise, diese zu betreiben. Daher finden jährliche Workshops mit Schulungen statt. Hier geht es speziell um die praktischen Aspekte der Methode.



Oben: Das Bild zeigt die Teilnehmer eines Workshops in Pisa / Italien im September 2007, der das Ziel verfolgte, einheitliche Standards zu erstellen. Weitere Workshops werden weltweit folgen.



Links: Um die Spaltspuren der Uranatome sichtbar zu machen, werden die Minerale erst angeschliffen und anschließend mittels einer Säure angeätzt. Auf dem Bild ist ein Apatit-Kristall zu sehen, der in dieser Weise aufbereitet wurde. Jede der schwarzen, nadelartigen Strukturen ist eine Spaltspur und zeigt die Stelle, an der ein Uran-Atom zerfallen ist. Die Größe des Kristalls ist ca. 0,2 mm.

Unten: Um die Spaltspuren in den Kristallen auszählen und messen zu können, benötigt man hoch auflösende Mikroskope.



Unten: Aufgrund der Spaltspurenalter konnte gezeigt werden, dass das Mont Blanc Massif für geologische Verhältnisse schnell herausgehoben wurde. So ist das Mont

Blanc Massif vor etwa 6 Mio. Jahren um mehrere Millimeter pro Jahr gehoben worden. Dies entspricht einer Hebungsrates von mehreren Kilometern pro Mio. Jahren.



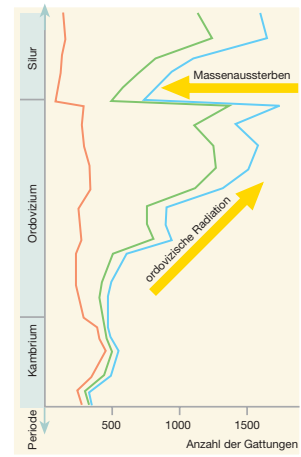
Klima und Artenvielfalt im Ordovizium

Am Beginn des Kambrium, vor etwa 540 Mio. Jahren, entwickelten sich in einem erdgeschichtlich vergleichsweise kurzen Zeitraum von etwa 50 Mio. Jahren die grundlegenden „Baupläne“ vieler Tiergruppen. Dieser Prozess wird als „Kambrische Explosion“ bezeichnet. Jedoch blieb die Anzahl der verschiedenen Tierarten, die Diversität, innerhalb der Großgruppen über einen langen Zeitraum vergleichsweise gering. Es dauerte weitere 70 Mio. Jahre bis es vor etwa 438-473 Mio. Jahren, im Mittleren bis Oberen Ordovizium, zu einer starken Steigerung der Artenvielfalt kam, die sogenannte „ordovizische Radiation“. Diese Zeit war durch einen sehr hohen Meeresspiegel, sowie ein sehr warmes Klima gekennzeichnet. Am Ende des Ordoviziums nahm dann die Diversität wieder drastisch ab. Im Rahmen dieses Projektes wird untersucht, weshalb es zu der ordovizischen Radiation kam, welche Prozesse am Ende des Ordoviziums zum zweitstärksten Aussterbeerignis in der gesamten Erdgeschichte geführt haben und wie sich das Leben im Silur wieder erholt hat. Ein Augenmerk liegt dabei auf dem Einfluss des Klimas.

Mehr als 250 Wissenschaftler aus 35 Ländern arbeiten zurzeit im Rahmen dieses Projektes. Seit Beginn des Projektes sind über 300 Arbeiten zu dieser Thematik veröffentlicht worden.

Für den Erfolg des Projektes war vor allem der interdisziplinäre Ansatz ausschlaggebend: 25 kleinere und größere Fachtagungen und damit verbundene Gelände-Exkursionen, die zum Teil in sehr abgelegenen Gebieten unserer Erde stattfanden, wurden organisiert. Hierbei waren immer Wissenschaftler unterschiedlicher Fachdisziplinen vertreten.

Rechts:
Nach der „Kambrischen Explosion“ des Lebens existierten drei Tiergesellschaften (Faunen) nebeneinander: (rot) die moderne Fauna mit Muscheln, Fischen und Reptilien, (grün) die paläozoische Fauna wie Brachiopoden, Korallen und Cephalopoden, (blau) die Kambrische Fauna mit Trilobiten und Echinodermen.



Unten:
Ankunft der Geologen im Gelände (Kulyumbe River, Sibirien).



Links:
Der Transport der Ausrüstung im Gelände ist nicht immer ganz einfach (Kulyumbe River, Sibirien).



Unten:
Das Foto zeigt einen versteinerten Meeresboden aus dem Unteren Silur von Anticosti (Kanada). Gut zu erkennen sind:
1) zahlreiche Reste von Trilobiten,
2) Korallen,
3) Brachiopoden und
4) Schnecken.
Mittels solcher versteinerten Meeresböden können die Forscher Untersuchungen zur Artenvielfalt und zu Tiergesellschaften durchführen.

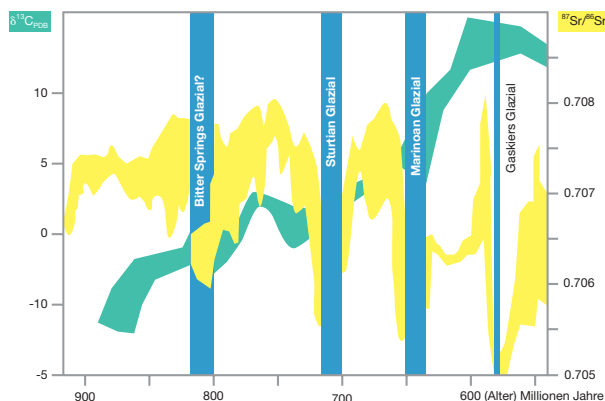


Der Vulkanismus, das Eis und das Leben

Vor 1.000 bis vor 450 Mio. Jahren, im Jungproterozoikum bis Altpaläozoikum, veränderte sich das Aussehen unseres Planeten umfassend. In diesem Zeitraum zerfiel der Kontinent Rodinia und aus den Bruchstücken bildete sich der Großkontinent Gondwana.

Begleitet wurde der über gut 200 Mio. Jahre verlaufende Zerfall von starkem Vulkanismus an den mittelozeanischen Rücken. Dies ist durch niedrige Strontium - Isotopenverhältnisse ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in marinen Kalksteinen belegt. Starker Vulkanismus bedingt die Freisetzung vieler Nährstoffe (z.B. Eisen, Phosphor, Stickstoff, Silizium und andere Metalle), was zu einem verstärkten Wachstum von Plankton, im Wasser treibenden Lebewesen, führt. Ein Teil des Planktons lebt von der chemischen Umwandlung von Kohlenstoffdioxid (CO_2) in Zucker und Sauerstoff (O_2) mittels Licht und Wasser. Dieser Vorgang wird als Photosynthese bezeichnet.

Hierdurch wurde der Anteil von CO_2 in der Atmosphäre verringert und damit auch gleichzeitig der Treibhauseffekt. Die Temperaturen sanken und so entstanden mindestens drei weltweite Vereisungen. Diese bedeckten jedoch nicht die ganze Erde, denn dann hätten vermutlich alle höheren, damals existierenden Lebewesen ausgelöscht werden müssen. Dies war jedoch nicht der Fall. Computersimulationen zeigen, dass ein Gürtel von eisfreien Meeresabschnitten in tropischen Breiten existieren konnte, in dem das Überleben vieler Organismen möglich war. In jedem Fall war die Bioproduktivität während einer globalen Eiszeit stark eingeschränkt und die Karbonatproduktion reduziert bzw. unterbrochen. Somit ging ein wesentlicher Speicher von CO_2 verloren. Gleichzeitig schritt aber die CO_2 -Produktion durch vulkanische Entgasung am Meeresboden weiter voran, was wiederum einen Anstieg dieses Treibhausgases in der Atmosphäre bewirkte und somit letztlich zu einer Umkehr der Klima-Extreme führte: Vom raschen Zusammenbruch des riesigen Eisschildes in ein Treibhausklima. Der damit verbundene Anstieg des Sauerstoffgehaltes in der Atmosphäre, bedingt durch die Photosynthese, war eine wesentliche Voraussetzung für die Evolution von Tieren und Pflanzen.



Oben: Weltweit wurden in Meeresablagerungen, die vor etwa 900-550 Mio. Jahren entstanden sind, die Isotopenverhältnisse von Strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) und Kohlenstoff ($\delta^{13}\text{C}$) gemessen. Die blau markierten Bereiche stellen Zeiten globaler Vereisungen dar.



Oben: Der riesige Granitblock in Namibia, auf dem der Geologe steht, ist Zeugnis einer Vereisung vor 580 Mio Jahren (Jungproterozoikum). Dieser Gesteinsblock wurde durch Gletscher an diese Stelle transportiert.

Rechts: Etwa aus der gleichen Zeit stammt *Pteridinium*. Dieses versteinerte Tier gehört zur „Ediacara Fauna“, die eine der ersten höher entwickelten Tiergesellschaften war. Die Münze ist etwa 2,5 cm groß.



Unten: Der untere violette Ton- bis feinkörnige Sandstein enthält Gerölle und ist ein sogenannter Diamiktit. Dieses Gestein wurde während einer Vereisung gebildet. Darüber folgt mit einer scharfen Grenze, ein gelblicher Dolomit, was auf einen schnellen Klimawechsel hindeutet. Dieser wird bei relativ warmen Temperaturen in Meerwasser gebildet.



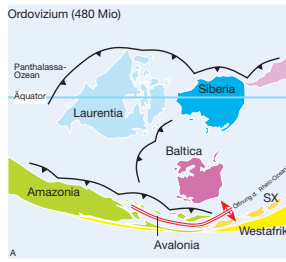
Ein Ozean zwischen Hamburg und München

Vor 500 Mio. Jahren gab es auf der Erde vier große Kontinente: Laurentia, Siberia, Baltica und Gondwana, von denen letzterer der südlichste war. Durch die Abtrennung Avalonias von Gondwana bildete sich ein neuer Ozean: der Rheic-Ozean.

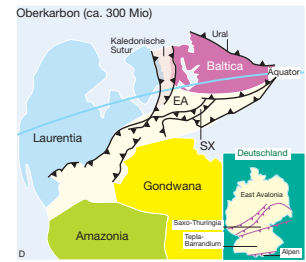
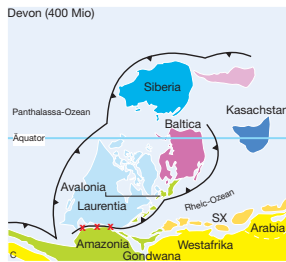
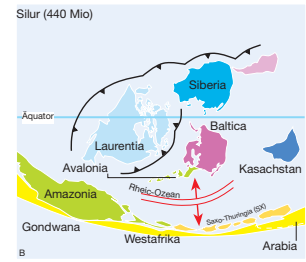
Der Rheic-Ozean wird oft unglücklich als „Rheischer Ozean“ eingedeutscht. Er wurde nach der Titanin Rhea (auch Rheia) der griechischen Mythologie benannt. Streng genommen müsste die deutsche Übersetzung „Rhea-“ oder „Rheia-Ozean“ lauten. Hier ist jedoch keine eindeutige Beziehung zum internationalen (englischen) Terminus Rhec Ocean herstellbar. Rhea (Rheia) wird oft als Mutter der Götter und als Erdmutter dargestellt. Dies unterstreicht die Bedeutung des Rhec-Ozeans als einen der Wichtigsten in der Geschichte der Erde und der Evolution des Lebens.

Durch die fortgesetzte, nordwärts gerichtete Bewegung Avalonias kollidierte Avalonia mit Baltica und Laurentia. Es entstand der neue Kontinent Laurussia. Vor 400 Mio. Jahren begann die Schließung des Rhec-Ozeans. Gondwana, das sich ebenfalls nach Norden bewegte, kollidierte im Westen mit Laurussia. Der Ozean wurde von Westen nach Osten geschlossen. Die endgültige Schließung des Ozeans geschah vor etwa 330-300 Mio. Jahren. Zeugnisse dieser Kollision sind die heutigen Appalachen, in Nordamerika und die europäischen Mittelgebirge. Die Schließung des Rhec-Ozeans hatte eine enorme Bedeutung für die Entstehung der rund um den Atlantik existierenden Erdkruste sowie für die Entwicklung des Lebens in dieser Zeit.

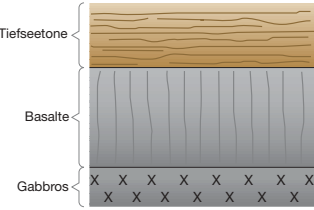
Die Schließungslinie des Rhec-Ozeans, die auch als Sutura bezeichnet wird, befindet sich heute am Südrand von Taunus und Hunsrück.



Oben- und Unten:
(A) Vor 480 Mio. Jahren beginnt zwischen Baltica und Amazonia die Öffnung des Rhec-Ozeans. Schwarze Linien zeigen Subduktionszonen an, rote Linien zeigen mittelozeanische Rücken an. Im Ordoviz (vor 480 Mio. Jahren) gab es die heutigen Kontinente noch nicht. Der Kontinent Amazonia besteht aus Teilen des heutigen Südamerikas. Saxothuringia (SX) besteht aus den Sudeten, dem Erzgebirge, dem Thüringer- und Frankenswald, Spessart, Odenwald, den nördlichen Bereichen der Vogesen und des Schwarzwalds. Der Kontinent Baltica ist das heutige Skandinavien, Siberia entspricht weitgehend dem heutigen Sibirien, Laurentia dem heutigen Nordamerika.
(B) Im Silur setzt sich die Öffnung des Rhec-Ozeans weiter fort. Die Kontinente Baltica, Siberia und Laurentia nähern sich an.
(C) Baltica, Siberia und Laurentia bilden einen neuen Kontinent, der mit Amazonia im Westen kollidiert. Der Rhec-Ozean beginnt sich zu schließen.
(D) Der Rhec-Ozean ist von West nach Ost geschlossen worden. Ein neuer Kontinent ist entstanden (Gondwana). Die einzelnen Puzzleteile dieser Kollision sind auch heute noch in Deutschland zu finden.



Rechts:
 Ophiolithkomplexe sind Stücke alten Meeresbodens. Ihr Aufbau ist wie folgt:
 Oben liegen Meeressedimente, wie Tone oder feine Kalksteine. Darunter befinden sich Basalte (abgekühlte Lava), die an den mittelozeanischen Rücken untermeerisch entstanden sind. Die dritte Schicht besteht aus Gabbros. Dies sind Gesteine, die nicht als Lava ausgeflossen sind, sondern in der Tiefe erkaltet sind.



Unten:
 Ophiolithkomplex (Gesteinskomplex der ehemaligen Meeresboden repräsentiert) bei Lizard Point, südlichster Punkt Großbritanniens.



Ökosysteme im Einfluss des globalen Wandels

Nicht nur heutige Ökosysteme unterliegen einem globalen Wandel, sondern auch in der Erdgeschichte hat es entsprechende Veränderungen in Bezug auf das Klima und die Vielfalt des Lebens gegeben. Mit diesen Themen beschäftigt sich u.a. dieses Projekt. Die Zeit des Devon (vor ca. 417 bis 358 Mio. Jahren) ist besonders interessant, gerade im Hinblick auf die Klimaentwicklung. So hatten wir während der ca. 60 Mio. Jahre andauernden Devon-Zeit zum größten Teil ein Treibhausklima auf der Erde, was sich am Ende dieses Zeitabschnittes zu einem Eishausklima wandelte.

Weitere Forschungsthemen betreffen die Veränderungen der Lebewelt. Mehrere sogenannte „Events“ oder Aussterbeereignisse weltweiten Ausmaßes sind aus diesem Zeitabschnitt der Erdgeschichte bekannt.

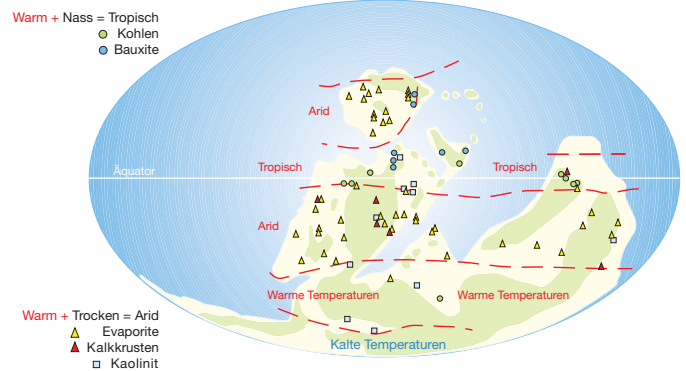
Das Devon ist auch das Zeitalter der Fische und der Pflanzen. Gerade die schnelle Evolution der Pflanzen, die sich von kleinwüchsigen Formen bis hin zu großen Bäumen und ausgedehnten Wäldern in relativ kurzer Zeit entwickelte, hatte Auswirkungen sowohl auf das Klima, als auch auf die Entwicklung neuer Lebensräume und deren Besiedlung. Es entstanden neue Ökosysteme auf dem Land und erste Urwälder. Dies hat für den Menschen Bedeutung, da die ersten umfangreichen Kohlelagerstätten im ausgehenden Devon entstanden sind, die heute als fossile Energieträger genutzt werden. Auch in marinen Ökosystemen gab es grundlegende Veränderungen. Das Devon ist gekennzeichnet durch das weltweite Auftreten von grossen Riffen, die meist aus Korallen und Schwämmen aufgebaut wurden und unter tropisch warmen Klimabedingungen entstanden sind. Die Interaktionen zwischen Klimaveränderung, Ablagerungsbedingungen und die Entwicklung der Lebewelt in verschiedenen Ökosystemen in unterschiedlichen Regionen der Erde stehen im Vordergrund dieses interdisziplinär angelegten Projektes. Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen bleiben aber noch viele Fragen unbeantwortet und erfordern weitere intensive Forschung weltweit.

Rechts:
Fossile Pflanzen aus dem Unterdevon von Libyen. Die frühen Pflanzen sind noch von geringer Größe, können aber bereits im Mitteldevon beträchtliche Größen erreichen.



Oben:
Um auch nur annähernd die komplexen Wechselwirkungen zu verstehen, ist es nötig, die Untersuchungen in ausgewählten Regionen durchzuführen. Hierzu fanden auf verschiedenen Kontinenten Exkursionen statt, die mit internationalen Konfe-

renzen oder Workshops verbunden waren. Die weltweite Kooperation und Vernetzung ist eine notwendige Voraussetzung für diese geowissenschaftlichen Projekte. Die Grafik zeigt die Verteilung der weltweit organisierten Konferenzen und Exkursionen seit Projektbeginn im Jahr 2004.



Oben:
Im Mitteldevon, vor ca. 380 Mio. Jahren sah die Verteilung der Landmassen und der Ozeane völlig anders aus als heute. Der größte Teil der Kontinente befand sich

auf der Südhalbkugel. Mit der Entwicklung von Landpflanzen im äquatorialen Bereich entstanden auch infolge dessen die ersten Kohleablagerungen. (Grafik nach Scotese, 2000)



Oben a+b:
Die Arbeit der Geowissenschaftler im Gelände ist häufig nicht einfach und die Probenahme gestaltet sich manchmal schwierig. Auf dem oberen Bild (a) werden Proben für palynologische und geochemische Unter-



suchungen entnommen (Bou Tserfine Profil im Dra Tal, Marokko). Um entsprechend gute Profile zu erreichen, müssen auch sehr oft schweißtreibende Anstiege bewältigt werden wie z.B. im Ghadamis Becken in der Libyschen Wüste (3b).



Gab es eine Sintflut?

In der Bibel wird im 1. Buch Mose von einer Sintflut berichtet, welche die damals bekannte Welt betroffen haben soll. In diesem Projekt gehen Wissenschaftler der Frage nach, ob sich geologische Belege für diese Aussage finden lassen.

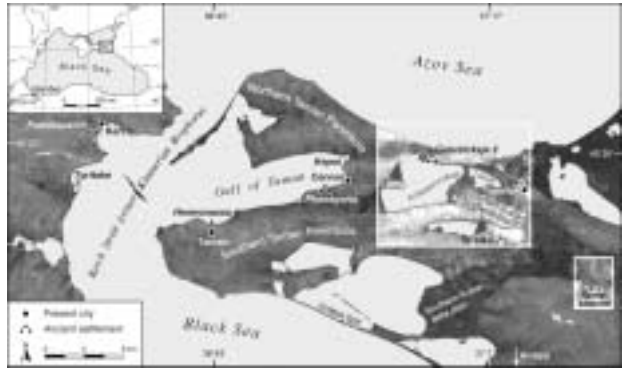
Im Zuge des generellen Meeresspiegelanstiegs nach der Eiszeit soll es vor 8.400 Jahren zu einem katastrophalen Wassereintrich vom Mittelmeer über die Dardanellen und den Bosphorus gekommen sein. Hierbei soll der Meeresspiegel täglich um mehrere Zentimeter bis Dezimeter angestiegen sein!

Vor jener Zeit hätte das Schwarze Meer 150 m unter seinem heutigen Niveau gelegen und vielen Völkern als Süßwasser-Ressource gedient. Für die dort siedelnden Menschen sei diese Flutung eine Katastrophe gewesen, deren Überlieferung dann in der Sintfluterzählung ihren Niederschlag fand.

Diese These ist allerdings heftig umstritten. Sicher ist jedoch, dass der Meeresspiegel des Schwarzen Meeres seit damals deutlich angestiegen ist. Versunkene antike Siedlungen belegen dies.

Um den Verlauf des Meeresspiegelanstiegs zu rekonstruieren, wurden von der Universität Marburg Untersuchungen auf der Taman-Halbinsel (nordöstliche Schwarzmeerküste) vorgenommen.

Wissenschaftliche Befunde zeigen keinen abrupten Anstieg des Wasserspiegels im Schwarzen Meer, sondern entweder aufgrund der Koppelung an das Mittelmeer einen langsamen Anstieg, oder aber stark oszillierende Wasserstände (ausführlich in Brückner et al. 2008).



Links:
Spanische Bilderbibel um 1200 Pamplona
© Universitätsbibliothek Augsburg
Cod. I.2.4°15 -

Oben:
Übersicht über die heutige Geographie des Untersuchungsgebietes. Man erkennt die Zergliederung der Taman-Halbinsel in Höhenzüge, Niederungen und Becken.

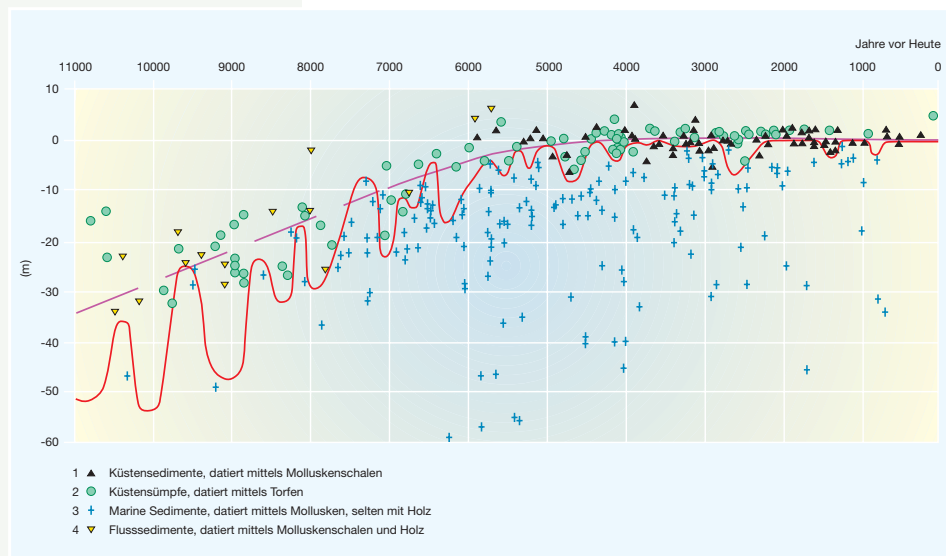


Links:
Die Darstellung zeigt die Land-See-Verteilung vor 4.000-3.500 Jahren. Die Rekonstruktion beruht auf Ergebnissen, die aus Bohrungen und Altersdatierungen der entsprechenden Abfolgen gewonnen wurden.



Oben:
Auf dem Bild sind die Ruinen der im 6. Jahrhundert v. Chr. gegründeten griechischen Kolonie Hermonassa zu sehen.

Unten:
Die rote Kurve zeigt die mögliche Meeresspiegelentwicklung des Schwarzen Meeres für die letzten 11.000 Jahre (nach der Interpretation von Balabanov 2007). Zu erkennen sind starke Schwankungen zwischen Meeresspiegelanstieg (Transgression) und Meeresspiegelabfall (Regression). Die grüne Linie ist eine andere Interpretation der vorhandenen Daten.



Erkundung von Erzlagerstätten in Zentralasien

Zentralasien ist eine der Gegenden auf der Welt, in der die meisten Erzlagerstätten zu finden sind. Ziel dieses Projektes war es, das Fachwissen im Hinblick auf die Erkundung und nachhaltige Nutzung der Lagerstätten in dieser Region mit lokalen Spezialisten auszutauschen und mit neuen Ansätzen weiter zu vertiefen. Mit Hilfe moderner Untersuchungsmethoden, auf der Grundlage internationaler Standards, wie z.B. die der GIS-Technologie (die Auswertung und Darstellung geowissenschaftlicher Daten mittels Datenverarbeitung) wurde es möglich, die umfangreichen Vorkommen an verschiedenen Lagerstätten zu bewerten, zu erforschen und die neuen Ergebnisse in Form von geologischen Kartendarstellungen und Publikationen zu dokumentieren. Insbesondere die Fort- und Weiterbildung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dieser Region im Bereich Exploration und nachhaltige Nutzung war ein weiterer Schwerpunkt in diesem Projekt. Über die Zeitdauer des Projektes fand eine enge Kooperation mit Wissenschaftlern aus mehr als 30 Ländern statt.



Oben:
Goldlagerstätte Kumtor im Tianshan in Kirgistan. Der Erzabbau erfolgt im Tagebau in bis zu 4.400 m über dem Meeresspiegel.



Oben:
Das Projektteam auf Lagerstättenexkursion in der Wüste Gobi, Mongolei.

Unten:
Dokumentation eines geologischen Aufschlusses in Xinjiang, NW China.



Unten:
Diese lagerstätteengeologische Karte von Zentralasien ist eines der wissenschaftlichen Hauptprodukte des Projektes IGCP-

473 und wichtige Grundlage für angewandte Forschung und Erzexploration der Industrie.





Oben:
Steinbrüche bieten Geologen optimale Arbeitsbedingungen, da hier große Gebiete gut aufgeschlossen sind und dadurch häufig die Interpretation der Gesteine erleichtert wird.

Die Aufgaben eines Geowissenschaftlers

Die Geowissenschaften sind sehr vielseitig und beschäftigen sich mit dem Aufbau, der Zusammensetzung und der Struktur der Erde sowie ihrer physikalischen Eigenschaften und ihrer Entwicklungsgeschichte. In den letzten Jahren haben sich die geowissenschaftlichen Disziplinen (z.B. Geologie, Paläontologie, Mineralogie, Geophysik, Geochemie, Geochronologie) dahingehend verändert, dass vorrangig die quantitative Erforschung der Erde im Vordergrund steht.

Die klassischen Forschungsgebiete der Geowissenschaften sind die erdgeschichtliche Vergangenheit und die Entwicklungsgeschichte des Lebens auf unserer Erde. Die Geowissenschaftler erstellen auch Prognosen der zukünftigen Entwicklung der Erde. Dies steht in Zusammenhang mit den derzeitigen globalen Veränderungen wie z.B. dem Klimawandel und der Schadstoffbelastung von Böden und Gewässern.

Die Verfügbarkeit und der nachhaltige Umgang mit Trinkwasser und Rohstoffen, sogenannte Georessourcen, ist ein weiteres Aufgabengebiet. Andere Themengebiete beschäftigen sich mit dem Einfluss des Menschen auf unsere Erde und Naturkatastrophen wie Vulkanausbrüche, Erdbeben, Tsunamis, Dürreperioden und Überschwemmungen. Aus diesen Gründen spielen die Geowissenschaften eine zentrale Rolle im Hinblick auf die Lösung globaler Probleme.

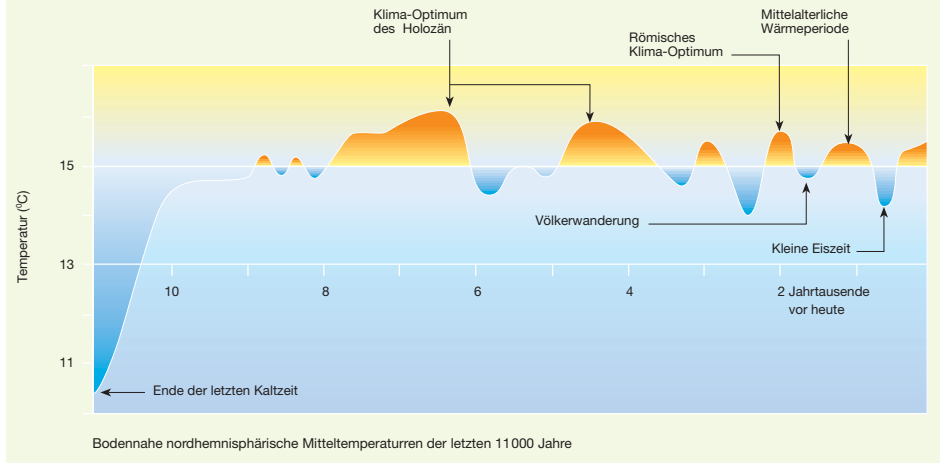


Oben:
Lagerstättenerkundung ist ein Schwerpunkt geowissenschaftlichen Forschung. Am Beispiel Baryt zeigt sich die vielfältige Verwendung. So wird Baryt z.B. in Beton beigemischt, um in Krankenhäusern Röntgenstrahlen abzuschirmen. In der Automobilindustrie wird Baryt in Kunststoffe und Dämmmatten beigemischt, um die Schalldurchlässigkeit zu mindern.

Unten:
Das Fischerboot wurde durch einen Tsunami am 26.12.2004 in Banda Aceh auf Sumatra an Land gespült. Das Bewerten, Einschätzen und Entwickeln von Frühwarnsystemen für Georisiken ist ein Aufgabengebiet der Geowissenschaften.
Foto: © KFW



Rechts:
Die Abbildung zeigt die Jahresmitteltemperaturren der letzten 11.000 Jahre (Holozän) für die nördliche Halbkugel. Es fällt auf, dass es mehrere Maxima (hohe Durchschnittstemperaturen, rot dargestellt) und mehrere Minima (niedrige Durchschnittstemperaturen, blau dargestellt) gibt. Das Maximum im Mittelalter hatte zur Folge, dass viele Fjordgletscher abgeschmolzen sind. Gleichzeitig war es möglich, in Schweden und in England Wein anzubauen. Im darauffolgenden Minimum (der kleinen Eiszeit) sind viele Gletscher der Alpen extrem angewachsen und es wird z.B. von Schneefällen im Juli berichtet. (verändert nach Schönwiese 2003)



Paläoklima – Klima in der Erdgeschichte

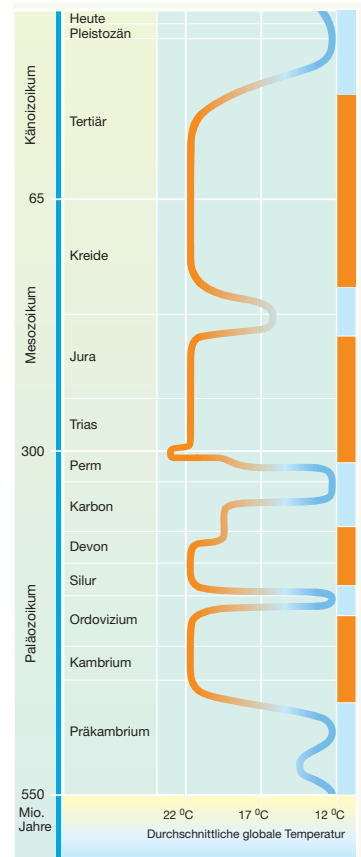
Die Paläoklimaforschung beschäftigt sich mit der Veränderung des Klimas in erdgeschichtlichen Maßstäben, also in Millionen von Jahren, sowie mit den Veränderungen in der historischen Zeit, also seit Beginn der Geschichtsschreibung. Wichtigster Faktor unseres Klimasystems sind die zyklischen Schwankungen der Sonne. Diese werden z.B. verursacht durch die Änderung der Erdbahn um die Sonne und Schwankungen der Sonnenflecken. Weitere Faktoren, die das Klima beeinflussen sind Vulkanausbrüche, die Lage der Kontinente, die Zusammensetzung der Atmosphäre und Meeresströmungen. Um Klimarekonstruktionen zu erstellen, werden die Zeugnisse aus den entsprechenden Zeiten untersucht.

So zeigen Kohlebildungen oder Eindampfungsgesteine ein warmes Klima an. Ein Beweis für ein kaltes Klima ist Löß, ein durch Wind transportiertes feines Material.

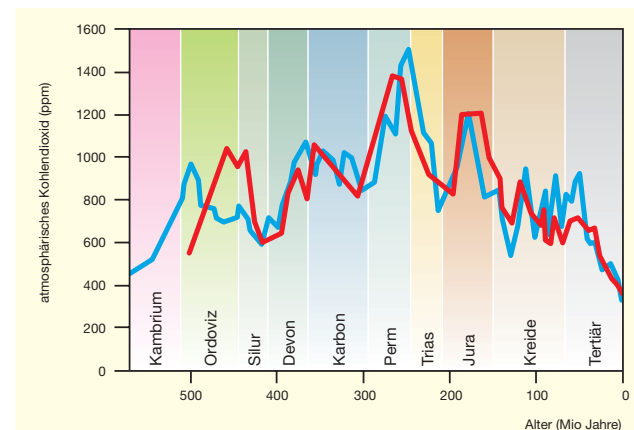
Sauerstoffisotopenuntersuchungen an Kalkgehäusen von schalentragenden Einzellern, sogenannte Foraminiferen, können Aussagen über das Paläoklima liefern. In den Kalkgehäusen werden die zu Lebzeiten der Tiere vorherrschenden Sauerstoffisotope des Meerwassers eingebaut. Da dieses Verhältnis von der Wassertemperatur abhängig ist, wird so ein Temperaturanzeiger konserviert.

Jahreszeitliche Seeablagerungen (Warvenschichtung) können über Jahrtausende lückenlos die Klima- und Vegetationsgeschichte einer Region aufzeigen.

Rechts:
In den geologischen Erdzeitaltern lassen sich Warm- und Kaltzeiten erkennen, die starken Einfluss auf das Leben hatten. Wir befinden uns heute, geologisch gesehen, in einer Kaltzeit. Die Veränderungen in der historischen Zeit sind gegenüber denen in der geologischen Zeit geringer.



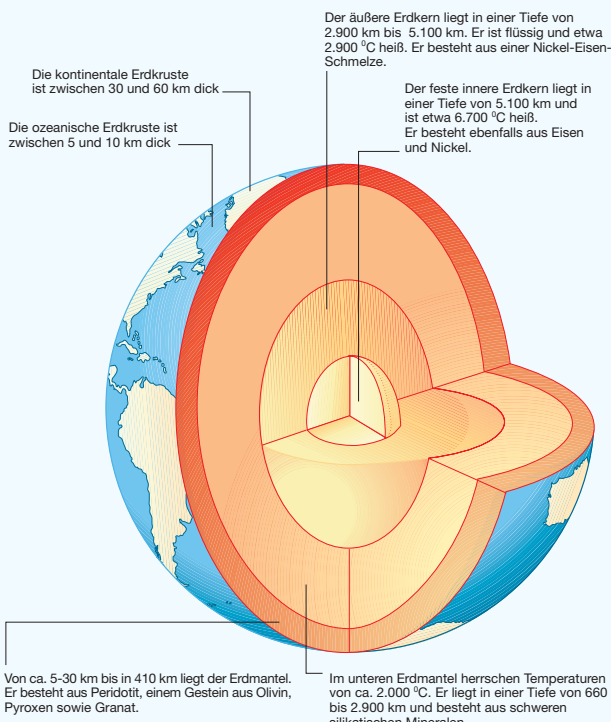
Unten:
Ein wesentlicher Klimafaktor ist der Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre, der mit der Temperaturentwicklung auf der Erdoberfläche verbunden ist. Ein höherer Kohlendioxidgehalt bedingt eine höhere Temperatur auf der Erde. Vielfach vergingen jedoch erst mehrere 10er Mio. Jahre bevor die Wechselwirkung erfolgte. Umgezeichnet nach © BGR



Das Innere der Erde

Die Erde hat einen Durchmesser von etwa 13.000 km. In einem Bergwerk in Südafrika arbeiten Menschen in einer Tiefe von 3,6 km. Bei einer Bohrung auf der Halbinsel Kola wurde sogar 13 km tief gebohrt.

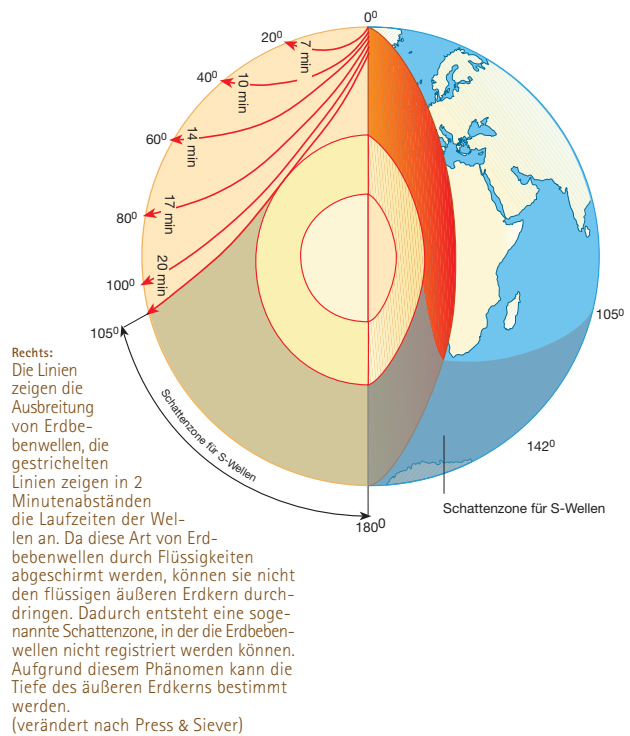
Dies sind aber im Vergleich zum Durchmesser der Erde nur Nadelstiche und mehr als 99,8 % unserer Erde sind für den Menschen nicht sichtbar. Über diesen Teil der Erde haben wir nur indirekte Informationen, die zum Beispiel aus der Aufzeichnung von Erdbebenwellen gewonnen werden.



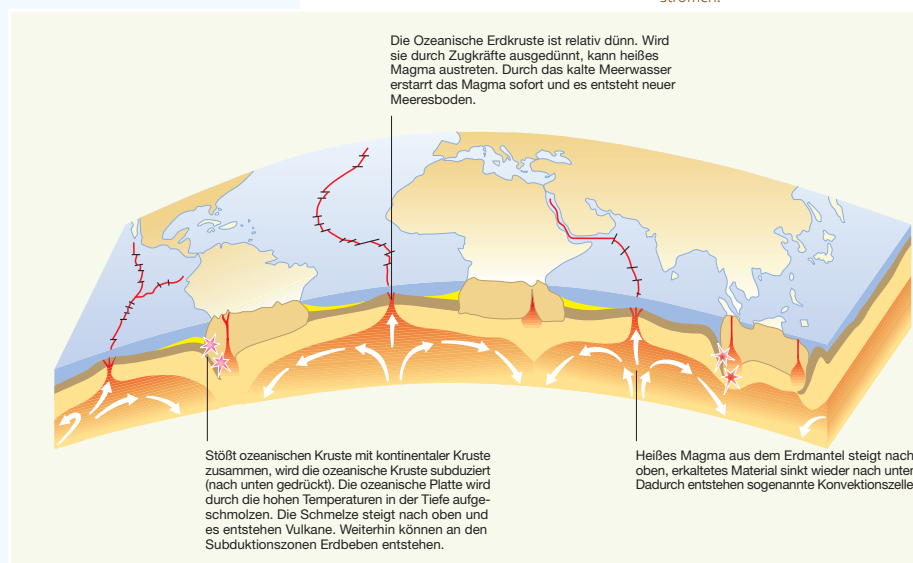
Oben:
Die Abbildung zeigt den generellen Aufbau der Erde.

Vereinfacht besteht die Erde aus mehreren Schalen. Die oberste Schale ist die Erdkruste. Unter den Kontinenten kann die Erdkruste bis zu 60 km dick werden, unter Ozeanen ist sie nur wenige km dick.

Je tiefer man in die Erde eindringt, desto größer werden Temperatur und Druck. In einer Tiefe von ca. 50 km herrscht bereits ein Druck von 10 kbar, das ist das 10.000 fache des Druckes an der Erdoberfläche, und eine Temperatur von 1.000 °C.



Unten:
Schematische Darstellung von Konvektionsströmen.



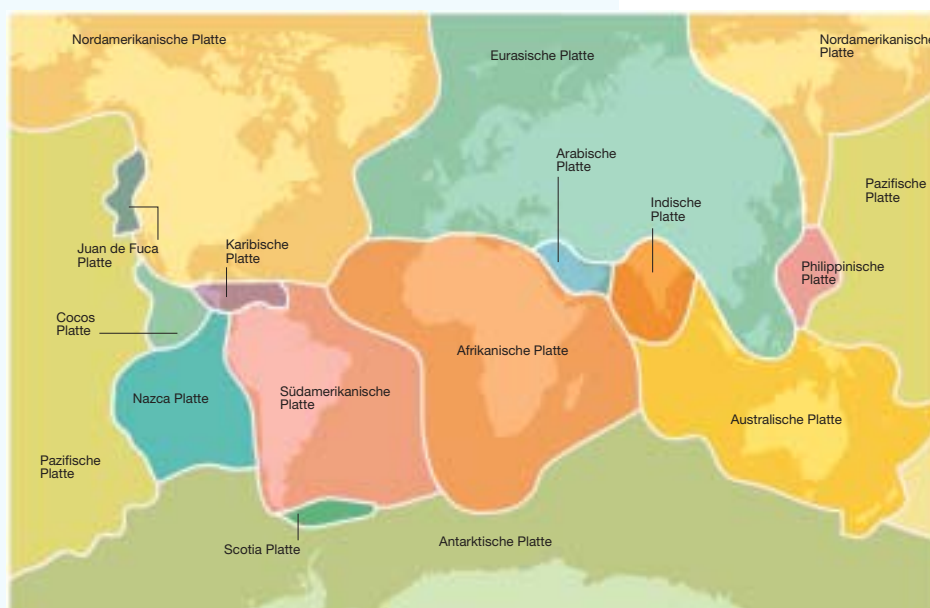
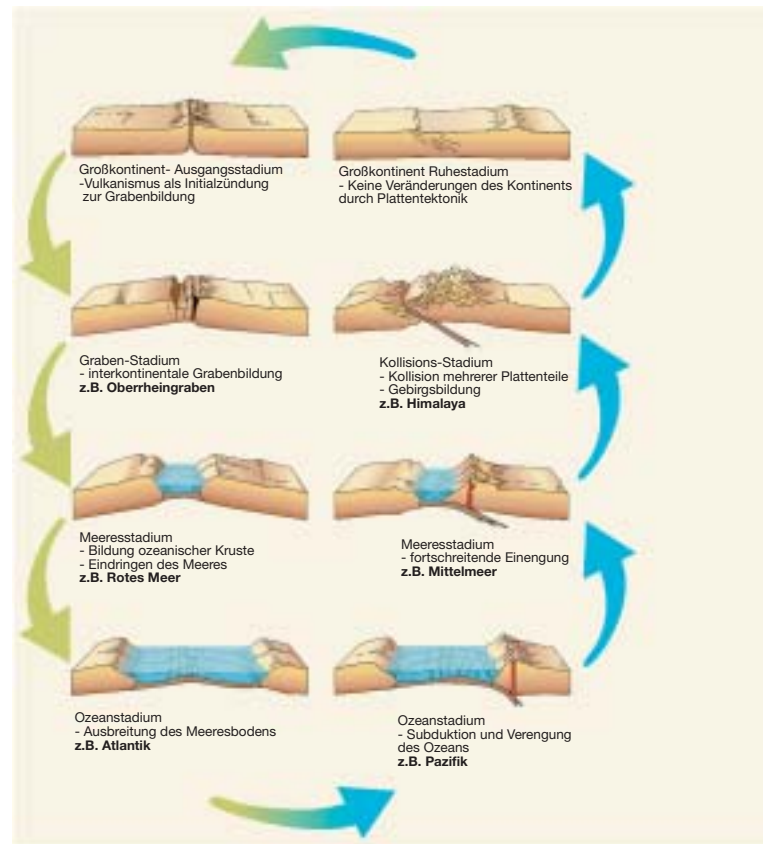
Die bewegte Erde

Bereits kurz nachdem die ersten verlässlichen Karten unserer Erde angefertigt wurden, fiel z.B. dem englischen Philosoph Francis Bacon (1561-1626) auf, dass die Küstenlinien von Afrika und Südamerika zusammenpassen. Eine erste Erklärung hierfür lieferte der flämische Kartograph Abraham Ortelius (1527-1598) bereits im Jahr 1596. Er behauptete, dass Amerika von Europa durch „Erdbeben und Fluten“ weggerissen wurde.

Erst 1915 veröffentlichte Alfred Wegener sein Buch der Kontinentaldrift, in dem er behauptete, dass die Kontinente sich bewegen. Da er aber nicht schlüssig erklären konnte von welcher Kraft die Kontinente angetrieben werden, wurde seine Theorie von den meisten Wissenschaftlern nicht akzeptiert.

Es dauerte bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts, um plausible Gründe für die Bewegung zu finden. Der Hauptmotor für die Plattenbewegung ist das Aufsteigen von heißem Magma und das Absinken von kaltem Magma (sogenannte Konvektionsströme) im Erdmantel. Aufgrund von modernen Entfernungsmessungen mittels Satelliten gestützter Navigation (GPS) wissen wir heute, dass sich die Entfernung von Europa und Amerika jedes Jahr um etwa 2 cm erhöht.

Unten:
Der dargestellte Kreislauf wird nach einem kanadischen Wissenschaftler Wilson-Zyklus benannt. Alle Prozesse der Plattentektonik gehen ineinander über und bilden einen Kreislauf.



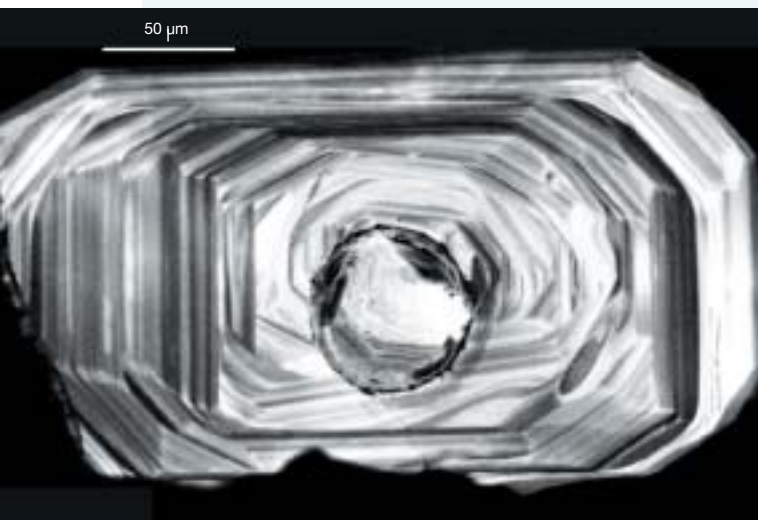
Links:
Die Abbildung zeigt die wichtigsten Krustenplatten der Erde.

Das Alter eines Gesteins

Das Alter eines Gesteins ist eine wichtige Information um erdgeschichtliche Ereignisse, wie z.B. eine Gebirgsbildung zeitlich einordnen zu können. Eine Methode, das Alter zu bestimmen, ist die radiometrische Altersdatierung. Grundlage hierfür ist, dass Minerale, jene Bestandteile, welche die Gesteine aufbauen, instabile Atome enthalten. Diese zerfallen im Laufe der Zeit zu stabilen Atomen. Aus dem Verhältnis der instabilen und stabilen Atome lässt sich das Alter berechnen. Hierzu wird häufig das Mineral Zirkon verwendet, da es sehr hart und dadurch äußerst widerstandsfähig ist. Aus diesem Grund können Zirkone mit einem Alter von über 4 Milliarden Jahren in Gesteinen gefunden werden.

Die Zirkone können einen sehr komplexen inneren Aufbau haben, mit Zonen die bei unterschiedlichen Prozessen und zu verschiedenen Zeiten gebildet wurden. Deswegen werden winzig kleine Bereiche von 30 Mikrometern (0,03 mm) eines Zirkons mit einem Laser abgetragen, in einem 8.000 °C heißen Plasma ionisiert und in einem Massenspektrometer analysiert. Mit dem Massenspektrometer wird die Menge der instabilen und stabilen Atome von Uran, Thorium und Blei bestimmt. Da die Uran- und Thoriumatome nicht stabil sind, zerfallen sie in einer gleichbleibenden Zeit nach und nach zu Blei. Dadurch kann aus der Menge der Atome das Alter des untersuchten Zirkonbereiches errechnet werden.

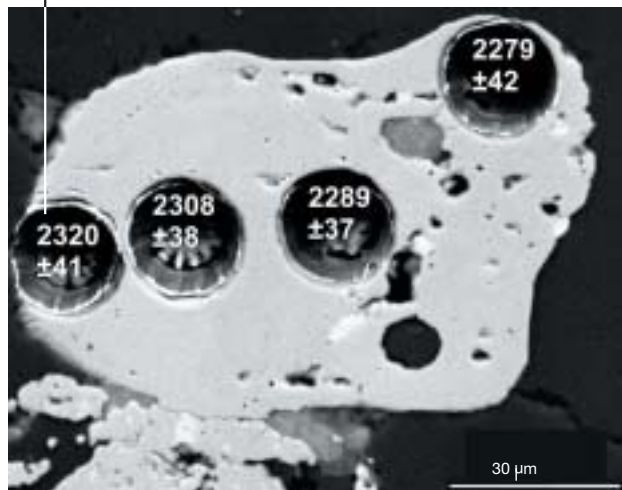
Unten:
Ein Zirkon, der in einer Schmelze langsam gewachsen ist. Dadurch ist eine Zonierung, helle und dunkle Ringe, entstanden. Jeder dieser Ringe kann ein eigenes Alter repräsentieren. Untersucht wurde, wie am Einschussloch zu erkennen ist, nur der Kern des Minerals. So wird das größte Alter bestimmt.



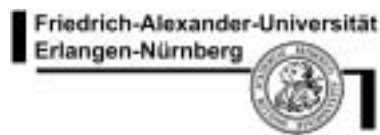
Oben:
Laborausstattung zur Altersbestimmung von Gesteinen. Im Vordergrund ist ein Laser zu sehen, der kleine Probenmengen abträgt. Diese werden im Massenspektrometer untersucht. Bedient wird die Apparatur mittels des Computers im Hintergrund.

Unten:
An diesem Zirkon wurden mittels der Uran-Blei-Methode mehrere Alter in Mio. Jahren bestimmt. Gut zu sehen sind die Einschusslöcher des Lasers.

Die obere Zahl, ist das Alter in Mio. Jahren, die untere gibt die Unsicherheit in Mio. Jahren an.



Deutsche
Forschungsgemeinschaft
DFG



Mineralogisches Museum Marburg

William E. Stein
Armin Rose



Das Begleitheft
zur Ausstellung ist auch als pdf-file unter
www.senckenberg.de
erhältlich

Herausgeber
Thomas Agricola, Peter Königshof, Bernd Herkner

Produktion
© Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft
Senckenberganlage 25, Frankfurt am Main

Layout und Grafik
Eveline Junqueira

Druck
Offset- + Buchdruck GmbH Druckerei Kempkes, Gladenbach