



1

Zum Einstieg die wohl berühmteste konstruktive Plattengrenze – die berühmteste Plattengrenze überhaupt: der mittelatlantische Rücken, the mid-atlantic ridge (MAR)



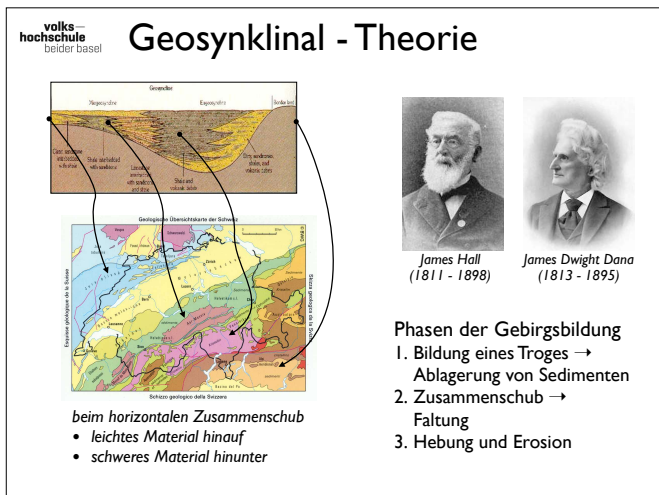
2

Die tektonischen Platten sind Lithosphärenplatten und bewegen sich über die fließfähige Asthenosphäre hinweg.
 An den **konstruktiven** Plattengrenzen wird aufsteigendes Mantelmaterial an die auseinander driftenden Platten angefügt (Seafloor Spreading).
 An den **destruktiven** Plattengrenzen wird die Lithosphäre "vernichtet", d.h. gestaucht (Orogenese) oder in den Erdmantel zurück versenkt (Subduktion).
Konservative Plattengrenzen (Transform faults) verbinden die Plattengrenzen, sodass jede Platte vollkommen von ihren Nachbarinnen entkoppelt ist.

vor der Plattentektonik:
 worin bestand das Problem ?

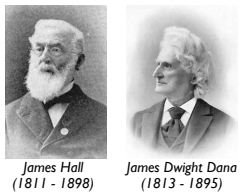
3

Bevor wir zu den konstruktiven Plattengrenzen kommen, ein kleiner Exkurs, der u.a. zeigen soll, welche Rolle die verschiedenen Plattengrenzen bei der Entwicklung der Theorie der Plattentektonik spielten.



4

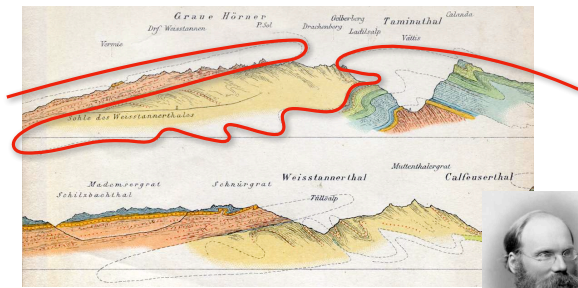
Stapelung der Ablagerungsräume (z.B. in den Alpen) ist korrekt, aber die Verkürzungsbeträge werden durch die Geosynklinal-Theorie unterschätzt
 Geosynklinal - Theorie: 1. Beckenbildung (Einsenkung), 2. Becken schliesst sich (Horizontale Stauchung) → Suture mit Ozeanresten, 3. Hebung
 Die für die Alpe abgeschätzte Gesamtverkürzung kann mit diesem Modell nicht erreicht werden.



Phasen der Gebirgsbildung
 1. Bildung eines Troges → Ablagerung von Sedimenten
 2. Zusammenschub → Faltung
 3. Hebung und Erosion

beim horizontalen Zusammenschub
 • leichtes Material hinauf
 • schweres Material hinunter

Problem mit der Verkürzung



Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein.
(Albert Heim, 1891)

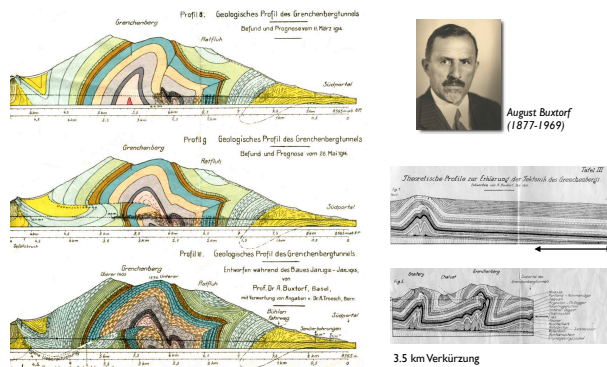


Albert Heim
(1849 - 1937)

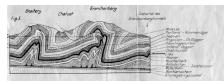
5

Die N-S Gesamtverkürzung über den Alpenbogen beträgt mehrere Hundert Kilometer. Woher die Verkürzung nehmen? 50 km Überschiebung sind für Heim unvorstellbar. Er zeichnet deshalb die Glarner Hauptüberschiebung als Doppelfalte. Er liebäugelt zwar mit dem Kontinentaldrift – schliesslich haben sich Afrika und Südamerika noch viel weiter auseinander bewegt - aber weil die Theorie keine plausible physikalische Grundlage hat, verwirft er sie.

Fernschub - Hypothese



August Buxtorf
(1877-1969)



3.5 km Verkürzung

6

Für Buxtorf war die Frage: woher kommt die NW-SE Verkürzung im Jura? Er nahm an, dass es die Verkürzung in den Alpen ist, welche unter dem Molassebecken hindurch (auf einem Abscherhorizont) auf die mesozoischen Schichten im Jura übertragen wird (= Fernschub-Hypothese). Das löste natürlich nicht die Frage, woher die Verkürzung in den Alpen kommt. Daneben warf es nebenbei die Frage auf, wie so etwas mechanisch funktionieren soll: wie kann eine etwa 2 km dicke bzw. dünne Gesteinsschicht über mehr als 100 km hinweg eine Kompressionsspannung aushalten ohne zu knicken, Falten zu werfen oder zu zerbrechen ?

Beobachtungen und Überlegungen

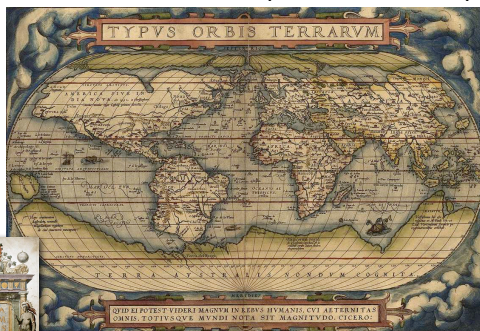
7

Ein kurzer Abriss, wie sich die Plattentektonik entwickelt hat, was ihre Vorläufer waren und warum sie nicht das gleiche ist wie Kontinentaldrift.

Abraham Ortelius (1527 – 1598)



Abraham Ortelius
(1527 – 1598)



Theatrum Orbis Terrarum, 1570

"... die Americas sind weggerissen von Europa und Afrika ... durch Erdbeben und Fluten (...) die Spuren dieser Ruptur zeigen sich ganz klar, wenn man eine Weltkarte zur Hand nimmt und die Küsten der drei Kontinente betrachtet."

8

Abraham Ortelius (14. April 1527 – 28. Juni 1598) Die Weltkarte Typus Orbis Terrarum erscheint 1564 (die einzige erhaltene Kopie befindet sich an der Universitätsbibliothek Basel). Am 20. Mai 1570 erschien seine erste Ausgabe vom Theatrum Orbis Terrarum, der ersten Sammlung von Landkarten, inklusive Typus Orbis Terrarum, in Buchform.

Ortelius gilt heute auch als der erste, der aufgrund der zueinanderpassenden Umrisse vermutete, dass die Kontinente früher einmal zusammengehangen hätten und später durch „Erdbeben und Fluten“ zerbrochen seien, so dass dadurch einst Amerika, Afrika und Europa entstanden sind (siehe „Thesaurus Geographicus“).

volks-
hochschule
beider basel

die Sintflut führt zum Riss



Antonio Snider-Pellegrini
(1802–1885)



La Création et ses mystères dévoilés, 1858



vorher nachher

Die Kontinente hätten zunächst aus Schmelze bestanden, die Sintflut habe diese abgeschreckt, und zu einem gigantischen Riss geführt, was zur Trennung der beiden Amerikas von der "alten Welt" führte. Grundlage für seine Theorie sind Funde identischer Fossilien auf allen drei Kontinenten


9

French geographer


In 1858, Snider-Pellegrini published his book, *La Création et ses mystères dévoilés* ("The Creation and its Mysteries Unveiled"). He proposed that all of the continents were once connected together during the Pennsylvanian Period. He based this theory on the fact that he had found plant fossils in both Europe and the United States that were identical. He found matching fossils on all of the continents. In 1858, he made these two maps showing his version of how the American and African continents may once have fit together, then later separated.

volks-
hochschule
beider basel

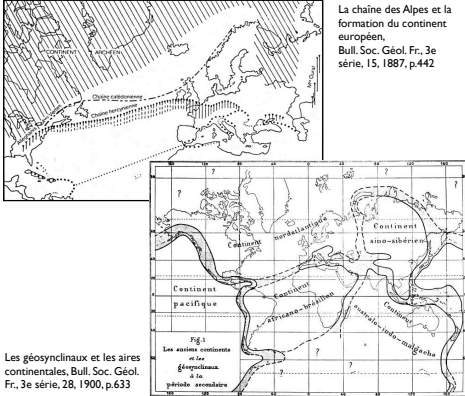
Verbindungen über den Atlantik



Marcel Alexandre Bertrand
(1847–1907)



Gustave Émile Haug
(1861 - 1927)



La chaîne des Alpes et la formation du continent européen, Bull. Soc. Géol. Fr., 3e série, 15, 1887, p.442

Les géosynclinaux et les aires continentales, Bull. Soc. Géol. Fr., 3e série, 28, 1900, p.633

10

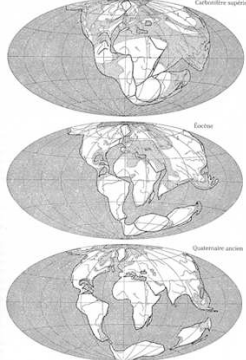
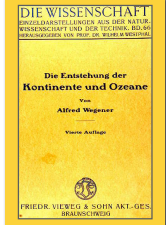

Marcel Alexandre Bertrand (2.7.1847-13.2.1907)

Bertrand war Vertreter der Nappismus-Lehre Marcel Bertrand (1887): Il observe des prolongements des chaînes de montagne de part et d'autres de l'Atlantique. C'est donc qu'auparavant ses montagnes se rejoignaient, grâce à des ponts continentaux. Par ailleurs, dans les montagnes certains terrains peuvent venir chevaucher des terrains d'âges et de natures très différentes. Ces recouvrements ou nappes de charriage ne peuvent se comprendre que par des mouvements tangentiels très importants (de l'ordre de la centaine de kilomètres).

Gustave Émile Haug (19 June 1861 - 28 August 1927) was a French geologist and paleontologist known for his contribution to the geosyncline theory

volks-
hochschule
beider basel

Kontinentaldrift

Alfred Lothar Wegener
(1880 - 1930)

Hypothese (1912)

Vor etwa 200 Ma bricht der Superkontinent "Pangäa" auseinander und die Kontinente beginnen zu driften


11

Alfred Lothar Wegener (* 1.11.1880 in Berlin; † Nov. 1930 in Grönland)

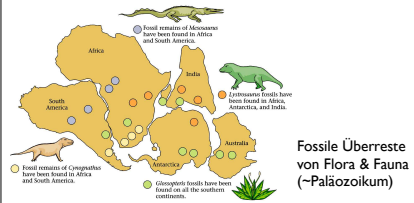
Meteorologie und Polarforschung

volks-
hochschule
beider basel

Evidenz für Pangäa

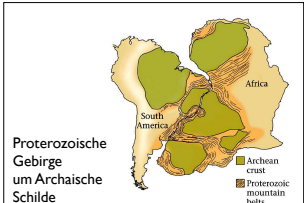


Anpassung entlang Kontinentalsockel (900 m)

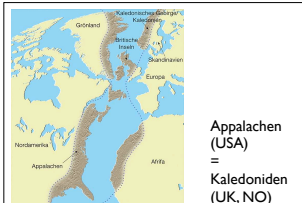


Fossil remains of Mesosaurus have been found in Africa and South America.
Fossil remains of Cynognathus have been found in Africa and South America.
Fossil remains of Lystrosaurus have been found in Africa, Antarctica, and India.
Fossil remains of Glossopteris have been found on all the southern continents.

Fossile Überreste von Flora & Fauna (~Paläozoikum)



Proterozoische Gebirge um Archaische Schilde



Appalachen (USA) = Kaledoniden (UK, NO)

12

Gebirge (~300 Ma) gebildet bei der Kollision ⇒

Pangäa

1 - Passform am Sockel

2 - Mesosaurus - Lystrosaurus - Cynognathus Flora: Glossopteris

3 - Süden v. Afrika - Südamerika: Proterozoische Gebirgszüge (Proterozoikum= 2500 - 550 Ma) (Atlantiköffnung < 180 Ma)

4 - Norden v. Afrika & Europa - Nordamerika:

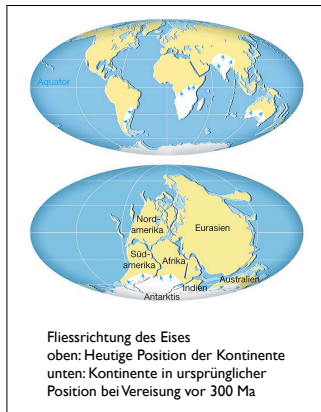
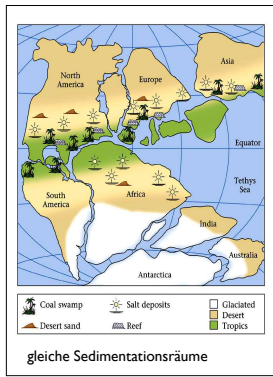
Kaledoniden (Paläozoikum 550 - 250 Ma) Ordoviz-Silur

Evidenz für Pangäa

13

Kohlesümpfe Salz Ablagerungen
Wüstensand Rifffalke

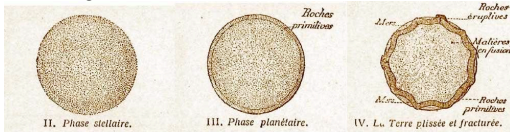
Kohärente Fließrichtung für Eis



... die Ursache für Verkürzung ??

14

Abkühlung



Livre de Géologie de classe de 4ème, V. BOULET, 1925, modifié, dans "La Lune rétrécit-elle...?"

Kontraktionstheorie



Eliza Richardson, Associate Professor of Geosciences, Penn State
online course EARTH 520
https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l12_p2.html

der sphärische Aufbau der Erde

15

Suess' Aussage „Der Zusammenbruch des Erdballs ist es, dem wir beiwohnen“ wurde zum Kernsatz seines geologischen Weltbildes. Seine Vorstellungen über das Versinken von Erdkruste in neuen Ozeanbecken ("Der Zusammenbruch des Erdballs ist es, dem wir beiwohnen...") und die damit mögliche Verknüpfung der verschiedenen Kontinente wurde breit rezipiert. Sie wurde ebenso von Esoterikern wie Helena Blavatsky u.a. verwendet, um z. B. einen realen Kern der Atlantissage und anderer hypothetischer Kontinente zu erklären und weiter auszudeuten.

Suess führte in seiner Diskussion über den Aufbau des Erdinneren die Begriffe Sial (oder Sal), Sima und Nife ein. Darauf aufbauend entwickelte Heim ein Modell, indem er weiter Sphären hinzufügt (auch der Begriff Lithosphäre taucht auf, ist aber nicht gleichbedeutend wie der heute verwendete). Wichtig ist in beiden Modellen, dass sie einen fixen Schalenbau darstellen und keinerlei Motor für Bewegungen vorsehen (Fixismus)

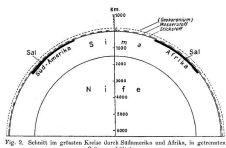


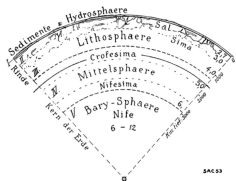
Fig. 2. Schnitt in größter Krümmung durch Baharokta und Afrika, in geozentrischer Gleichgewichtslage.

- Sial (Silizium, Aluminium) äußere (kontinentale) Erdkruste
- Sima (Silizium, Magnesium) innere (ozeanische) Erdkruste
- Nife (Nickel, Eisen) Erdkern



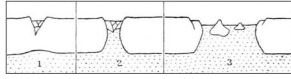
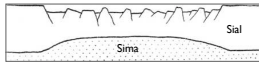
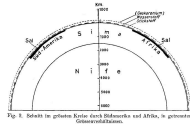
Eduard Suess (1831-1914)

- Sial (Silizium, Aluminium) obere, granitische Kruste
- Sima (Silizium, Magnesium) untere, basaltische Kruste
- Crofesima (+ Chrom, Eisen) Cr-/Fe-reiches Sima (Dichte 5)
- Nifesima (+ Nickel, Eisen) Ni-/Fe-reiches Sima (Dichte 6)
- Nife (Nickel, Eisen) Erdkern (Dichte 6-12)



Albert Heim (1849-1937)

Wegeners Modell



16

Wegeners Illustrationen zum "continental rifting" bzw. zur Grabenbildung fassen auf guten Beobachtungen und wirken sehr modern.

Aber es ist nicht klar, warum ein Kontinent auseinander brechen sollte, und wie sich die "äussere kontinentale Kruste" über die "innere, ozeanische Kruste" hinweg, oder gar durch sie hindurch bewegen sollte.

physikalische Erwägungen 1782

Brief an den französischen Geologen Jean-Louis Giraud-Soulavie



Benjamin Franklin
(1706 – 1790)

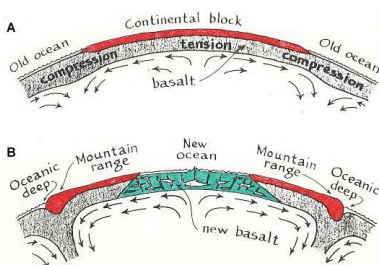
Solche Veränderungen in den äusseren Bereichen der Erde schienen mir unwahrscheinlich zu sein, wenn die Erde bis zum Mittelpunkt fest wäre. Ich stellte mir daher vor, dass die inneren Bereiche eine Flüssigkeit von weitaus höherer Dichte und höherem spezifischen Gewicht sein könnten als irgendeine der festen Substanzen, die wir kennen und dass deshalb die äusseren Bereiche auf oder in der Flüssigkeit schwimmen.

Damit wäre die Oberfläche der Erde eine Schale, die durch die heftigen Bewegungen der Flüssigkeit, auf der sie schwimmt, zerbrechen und in Unordnung geraten kann...

17

Benjamin Franklin (* 17. 1. 1706 – 17. 4. 1790) war ein amerikanischer Drucker, Verleger, Schriftsteller, Naturwissenschaftler, Erfinder und Staatsmann.

erste Modelvorstellungen 1944



"Principles of Physical Geology" (1944)
"Spekulation" über Kontinentaldrift

Mechanismus für Kontinentaldrift:
Konvektive Wärmeströme im Erdinneren bewegen Erdplatten



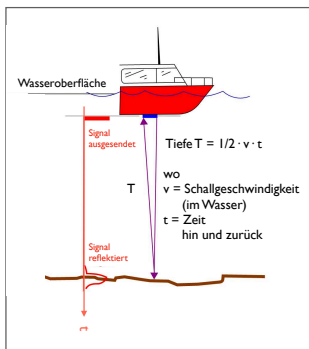
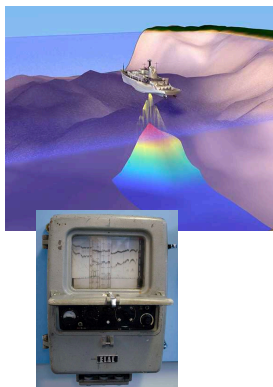
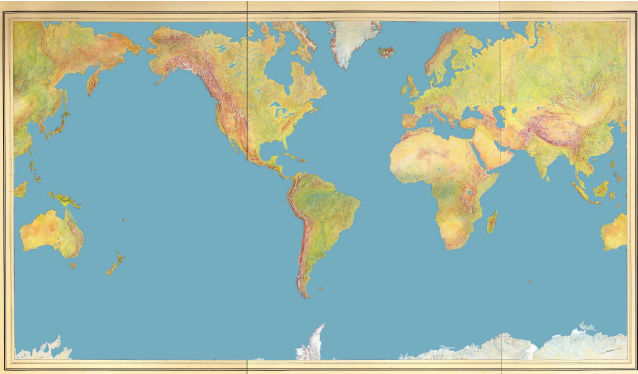
Arthur Holmes
(1890 - 1965)

18

Arthur Holmes (* 14.1.1890 in Gateshead, England; † 20.9.1965 in London, England)
Schlägt vor: Radioaktivität für Geochronologie: 1911 datiert Kambrium = 600 Ma (heute 590 Ma)
1913 "The Age of the Earth": archaischen Gneisen = 1.5 Ga
1930 Mechanismus für Kontinentaldrift: Konvektive Wärmeströme im Erdinneren bewegen Erdplatten
„Spekulation“ (Pulsationshypothesen der Geophysik).

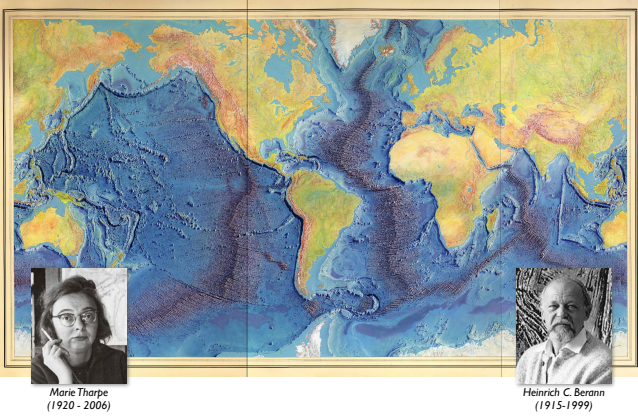
19

von neuen
geophysikalischen Daten
zur Theorie der
Plattentektonik



Distance is measured by multiplying half the time from the signal's outgoing pulse to its return by the speed of sound in the water, which is approximately 1.5 km/s.

Since a traditional pre-SI unit of water depth was the fathom, an instrument used for determining water depth is sometimes called a fathometer. The first practical fathometer was invented by Herbert Grove Dorsey and patented in 1928.

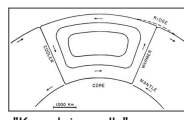
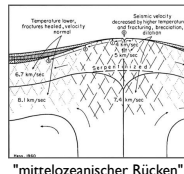


I think our maps contributed to a revolution in geological thinking, which is some ways compares to the Copernican revolution. Scientists and the general public got their first relatively realistic image of a vast part of the planet that they could never see. The maps received wide coverage and were widely circulated. They brought the theory of continental drift within the realm of rational speculation. You could see the worldwide mid-ocean ridge and you could see that it coincided with earthquakes. The borders of the plates took shape, leading rapidly to the more comprehensive theory of plate tectonics.

The alpine landscape painter from Austria, Heinrich Berann, created what is still considered one of the most beautiful maps in the history of cartography

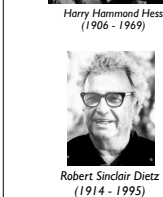


PETROLOGIC STUDIES: A VOLUME TO HONOR A. F. BUDDINGTON NOVEMBER 1962
History of Ocean Basins
H. H. HESS
Princeton University, Princeton, N. J.



1960 Bericht an das „Office of Naval Research“: Theorie, dass die Erdkruste stetig entlang der langen vulkanischen Ozeanrücken entsteht und sich von dort langsam ausbreitet (Seafloor spreading). In den Geowissenschaften kam es in der Folge zu einer Abkehr vom Fixismus hin zum Mobilismus, was die Grundlage für die moderne Theorie der Plattentektonik bildete. Hess' Bericht wurde 1962 in seinem Werk History of Ocean Basins veröffentlicht, das für eine gewisse Zeit das meist referenzierte Werk der Geophysik war.

1953 beobachtet Dietz Hawaii: Förderband-Idee Dietz und Hess: Pionierarbeit zu Ozeanbodenspreizung. 1960-61



The Mid-Atlantic Ridge is truly median because each side of the convecting cell is moving away from the crest at the same velocity, ca. 1 cm/yr. A more acceptable mechanism is derived for continental drift whereby continents ride passively on convecting mantle instead of having to plow through oceanic crust.

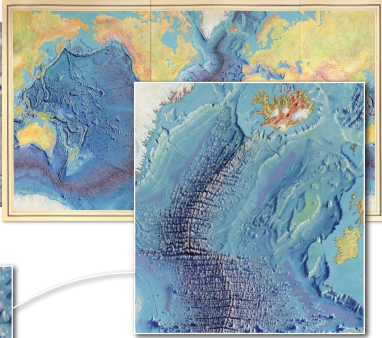
Marie Tharp 1920-2006

24

Ab 1950 beschäftigte sie sich zusammen mit Bruce C. Heezen mit der Kartierung der Meeresböden, die bislang noch weitgehend unerforscht waren. Dies gelang Marie Tharp allerdings außergewöhnlich gut, und ihre Karten wurden durch spätere Satellitenaufnahmen bestätigt. Ihre besondere Leistung (zusammen mit Heezen) besteht vor allem in der Entdeckung des Grabens im Mittelatlantischen Rücken 1952 und die spätere Kartographierung der anderen mittelozeanischen Rücken, was für die weitere Entwicklung und Bestätigung der Theorien der Kontinentaldrift und Plattentektonik von großer Wichtigkeit war.



Marie Tharp (1920 - 2006) Bruce Heezen (1924 - 1977)

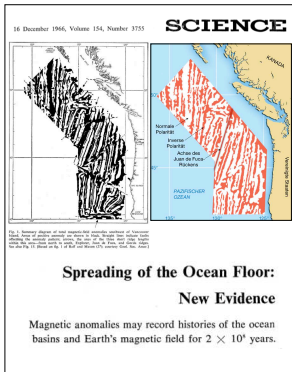


Marie Tharp: Rift valley \Rightarrow continental drift
Bruce Heezen: ... "girls talk" ...

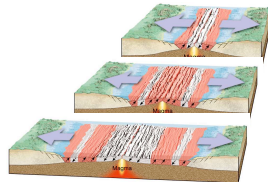
Magnetische Lineationen

25

Vine 1966: Hier mal ein echt prägnantes, kurzes Abstract!



Frederick John Vine (* 1939)
Drummond Hayle Matthews (1931 - 1997)



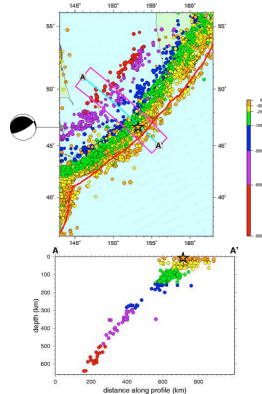
\Rightarrow lineare Quelle für Erdoberfläche

Rechts: Polarisierung: Rot = Normal Weiss = Invers

Subduktion

26

Zur lineare Quelle - jetzt die lineare Senke! "what comes up must go down"
Benioff proposed that the distribution of epicenters could be used as evidence for the fault origin of ocean deeps.
Kiyoo Wadati presented convincing evidence of deep earthquakes (>300km). He associated intermediate and deep earthquake zones with oceanic trenches, which became the foundation for the plate tectonics hypothesis.



Wadati-Benioff-Zone



Kiyoo Wadati (1902 - 1995)



Victor Hugo Benioff (1899 - 1968)

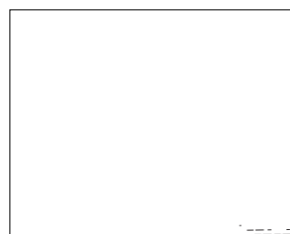
Wadati: deep earthquakes (>300km) are associated with oceanic trenches
Benioff: distribution of epicenters are evidence for fault origin of ocean deeps

\Rightarrow lineare Senke für Erdoberfläche

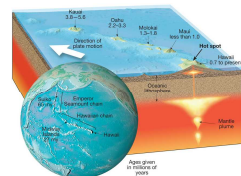
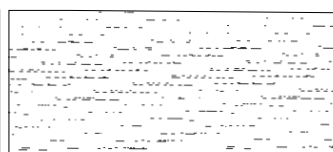
Hotspots

27

Platten bewegen sich über stationäre hotspots hinweg. Das bedeutet, dass die Platten relativ steif sind und sich über die weiche (schwache) Asthenosphäre hinwegbewegen, ohne sich intern zu verformen.

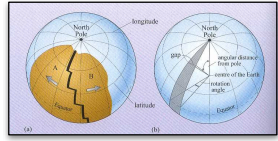
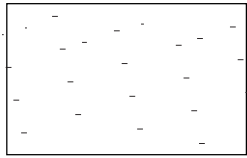
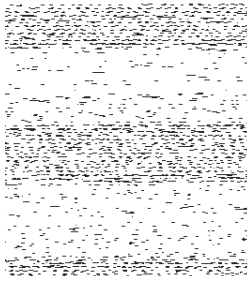


Wilson, J. Tuzo (1963)
"A Possible Origin of the Hawaiian Islands"



\Rightarrow Platte bewegt sich als Ganzes \Rightarrow Platte ist steif

Transformstörung



Wilson, J. Tuzo (1965)
"A new Class of Faults and their Bearing on Continental Drift"

⇒ Verbindung von Quelle und Senke

28

Transformstörungen sind Brüche, welche mittelozeanische Rücken versetzen. Sie zeigen an, dass sich Platten aneinander vorbeibewegen. Zusammen mit Seafloor Spreading und Subduktionszonen bilden sie um jede Platte eine vollständige, zusammenhängende Plattengrenze, welche es ermöglicht alle Platten voneinander zu trennen. In der Tat definieren Plattengrenzen Platten.

Theorie der Plattentektonik

Die Erdoberfläche ist in ~20 tektonische Platten unterteilt.

⇒ Platte ist steif

Die Platten sind Lithosphärenplatten und bewegen sich ± steif (ohne sich innerlich zu verformen) über die fließfähige Asthenosphäre hinweg.

⇒ lineare Quelle

An den mittelozeanischen Rücken (= konstruktive Plattengrenze) wird aufsteigendes Mantelmaterial an die auseinander driftenden Platten angefügt (Seafloor Spreading).

⇒ lineare Senke

An den Subduktionszonen (= destruktive Plattengrenze) wird die Lithosphäre wieder in den Erdmantel zurück versenkt.

⇒ Verbindung von Quelle und Senke

Transformbrüche (= konservative Plattengrenzen) verbinden die Plattengrenzen, sodass jede Platte kinematisch vollkommen von ihren Nachbarinnen entkoppelt ist.



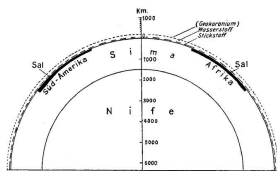
John Tuzo Wilson
(1908 - 1993)

29

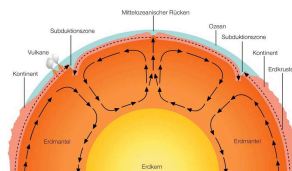
John Tuzo Wilson, ein kanadischer Geophysiker und Geologe formuliert die Theorie der Plattentektonik. Dies aufgrund der Entdeckung von Transform faults, welche konstruktive und destruktive Plattengrenzen verbinden und damit kohärente Platten "ausschneiden" (the lithosphere ... broken up into numerous pieces or "plates" that move independently over the weaker asthenosphere) und aufgrund der Beobachtung von Hotspots, welche die Bewegung von Platten aufzeichnen (Hawaiian Islands were created as a tectonic plate shifted slowly in a northwesterly direction over a fixed hotspot).

Plattentektonik ≠ Kontinentaldrift

30



fixe Schalen



konvektierende Zellen

Die Theorie der Kontinentaldrift, auch Kontinentalverschiebung genannt, beschreibt die langsame Bewegung, Aufspaltung und Vereinigung von Kontinenten. Erste Hypothesen zur Kontinentaldrift gab es bereits im 18. und 19. Jahrhundert. Jedoch führte erst die Arbeit von Alfred Wegener zu einer allmählichen Abkehr vom Fixismus hin zum Mobilismus. Dennoch wurde diese Theorie in der Geologie nicht akzeptiert, weil sie zwar die Kinematik (Bewegung) der Kontinent korrekt wiedergab, aber keine plausible Erklärung für die Dynamik (Mechanik), d.h. die treibenden Kräfte hatte.

≠

Die Theorie der Plattentektonik hingegen erklärt die Bewegung der Kontinente als passive Bewegung auf tektonischen Platten, welche nicht nur aus Kruste, sondern aus einem Sandwich von Kruste und oberstem Mantel bestehen. Kontinentale Kruste bewegt sich nicht über ozeanische hinweg, sondern kontinentale und ozeanische Platten bewegen sich als ganzes über den konvektierenden Mantel hinweg. Möglich wurde diese Erkenntnis erst durch die Kartierung des Ozeanbodens, sowie aufgrund geomagnetischer und seismologischer Daten.

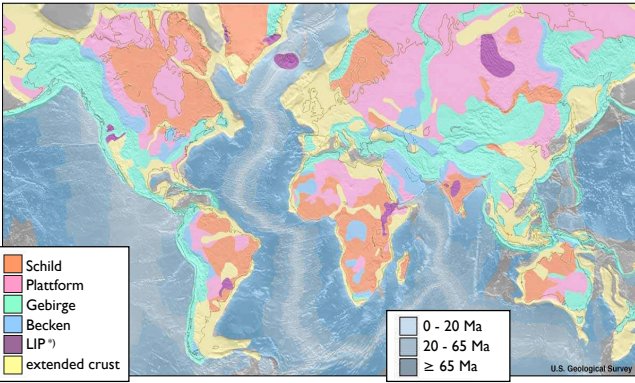
kontinentale / ozeanische Kruste

31

Die Unterscheidung von kontinentalen und ozeanischen Platten ist eigentlich irreführend. Man müsste von ozeanischen und kontinentalen Plattenteilen sprechen.

Der untere Teil der Platten besteht immer aus Lithosphärenmantel, der obere Teil, die Kruste, kann ozeanisch (jung) oder kontinental (alt) sein. Dabei ist die kontinentale Kruste höchst kompliziert zusammengesetzt und das Resultat vieler vorausgegangener plattentektonischer Prozesse (vor allem Gebirgsbildung). Es ist deshalb auch möglich, dass sich ozeanische Krusten- und Mantelteile in Gebirgen, d.h. auf kontinentalen Plattenteilen befinden....

<http://earthquake.usgs.gov/research/structure/crust/type.html>



*) Large igneous provinces

32

konstruktive Plattengrenzen

Plattengrenzen: 3 Typen

33

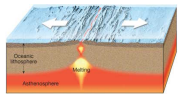
Zur Erinnerung:

Bezeichnung von Plattengrenzen: worauf sie sich beziehen:

konstruktiv/destruktiv/konservative
(physikalisch) Material an der Oberfläche

divergent/konvergent/Transform
(kinematisch) Bewegung der angrenzenden Platten

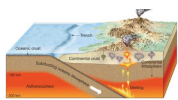
extensiv/kompressiv/Transform (geometrisch)
Deformation der Kruste



Oberfläche: konstruktiv
kinematisch: divergent



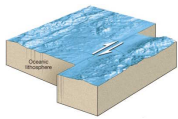
Graben



Oberfläche: destruktiv
kinematisch: konvergent



Überschiebung



Oberfläche: konservativ
kinematisch: Transform-
(-plattengrenze)



Blattverschiebung

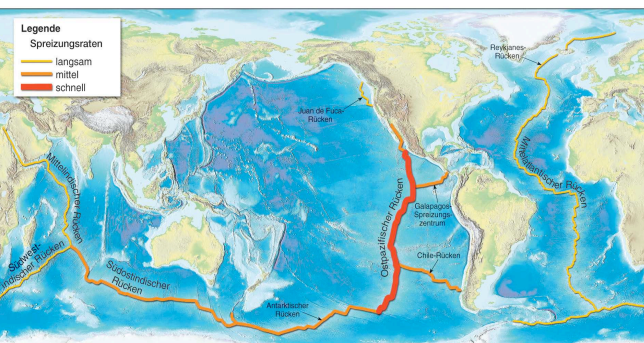
34

Gesamtlänge der mittelozeanischen Rücken = 70'000 km lang (knapp 2x Erdumfang)

Beachte: Mittelatlantischer Rücken = langsam, Ostpazifischer Rücken = schnell

Ozeanrücken-System

Legende
Spreitzungsraten
langsam
mittel
schnell

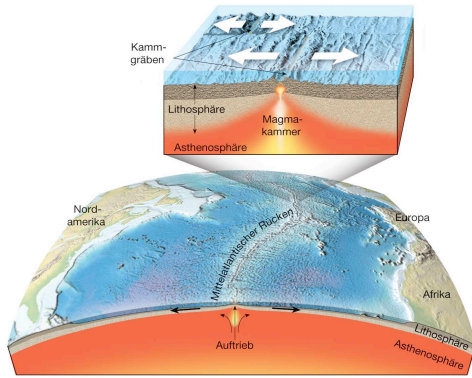


Gesamtlänge mittelozeanischer Rücken: 70'000 km

mittelozeanischer Rücken

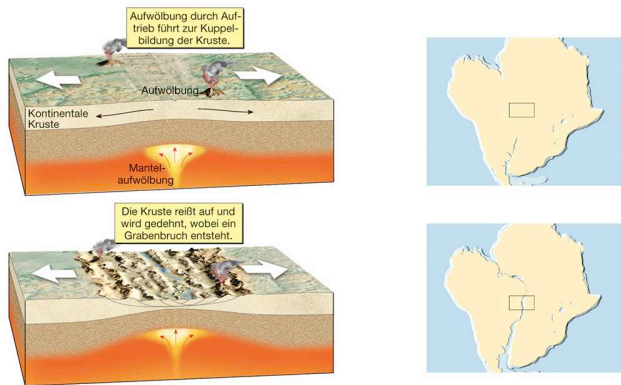
35

Sea floor spreading (Ozeanbodenspreizung) tritt im Zentrum von mittelozeanischen Rücken auf
Diese Idee wurde 1960 von Harry Hess formuliert
Die aktiven Zonen sind 20 - 30 km breit
Beim Auseinanderdriften der Platten dringt von unten heisses Magma ein
Magma erstarrt und bildet neue ozeanische Lithosphäre, welche auf beiden Seiten an die auseinander driftenden Platten angefügt wird (daher der Name "konstruktiv")
Lithosphäre bewegt sich wie ein Förderband



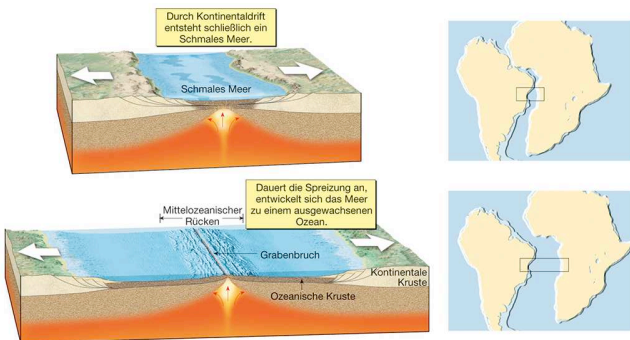
vom kontinentalen Rift...

36



... zum Ozean

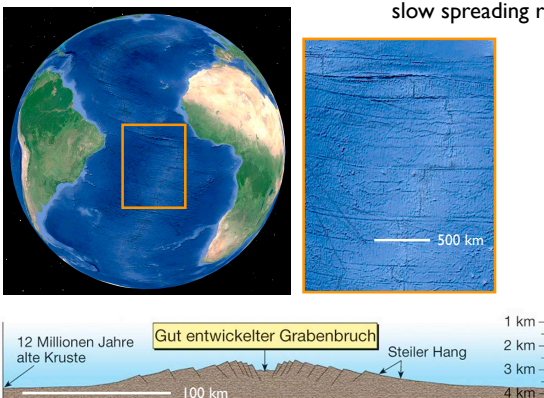
37



mittelatlantischer Rücken MAR

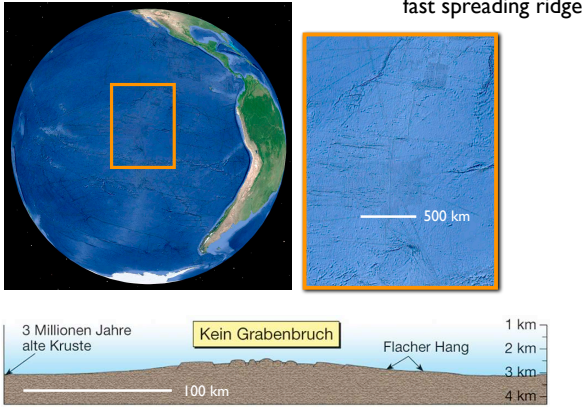
38

slow spreading ridge



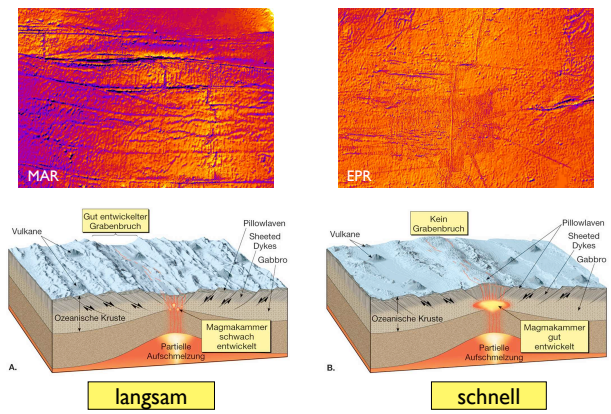
East Pacific Rise EPR

39



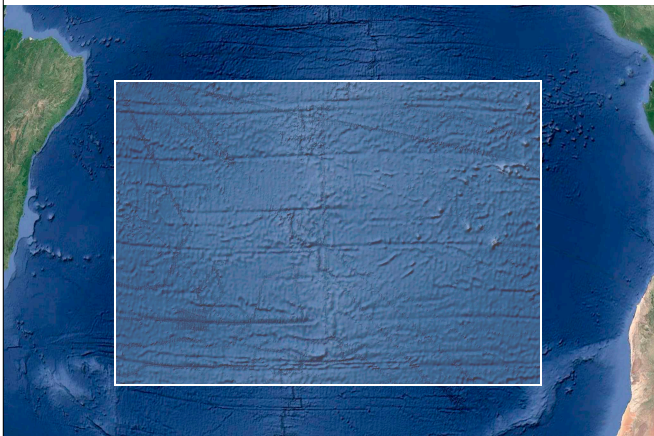
langsam und schnell

40



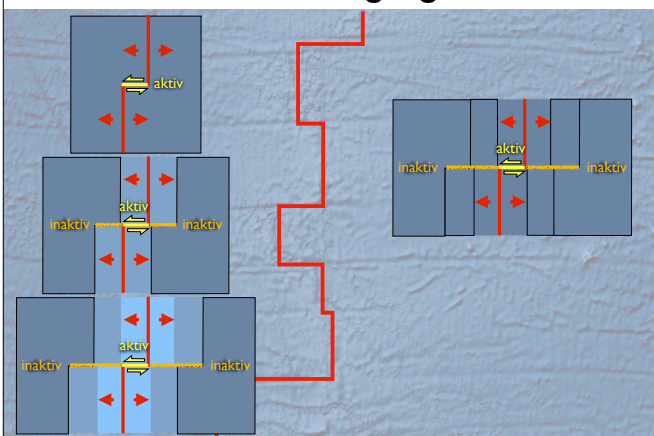
Bruchzonen an Ozeanrücken

41

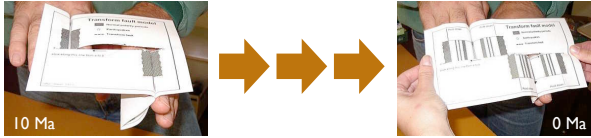
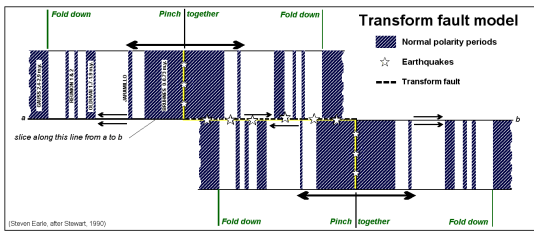


Transformbewegungen im Detail

42



do it yourself transform faults



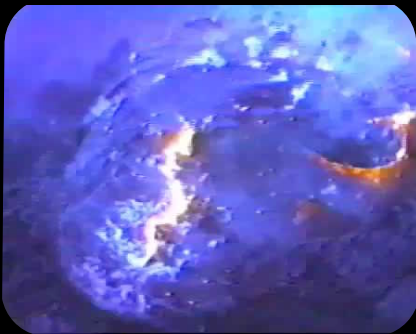
43

<https://web.viu.ca/earle/transform-model/>
Herunterladen - Ausschneiden - Modell wie gezeigt
falten und festhalten - Langsam auseinander ziehen

seafloor spreading

44

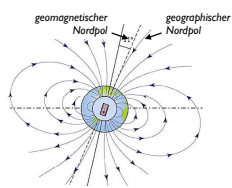
sea floor spreading in Aktion



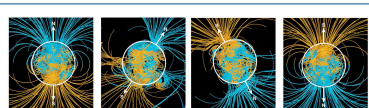
45

www.youtube.com/watch?v=DdlUuUY0L9c
in VLC umgewandelt zu pillow.m4v

ein kleiner Exkurs



Geographischer Nordpol
(90° 0' 0" N)
= nördlichster Punkt
Magnetischer Nordpol
(83° 57' 0" N, 120° 43' 12" W)
= Arktischer Magnetpol
Feldlinien senkrecht zur Erdoberfläche
Geomagnetischer Nordpol
(80° 1' 12" N, 72° 12' 36" W)
= Arktischer geomagnetischer Pol
Pol zum angenäherten Dipol des Erdfeldes

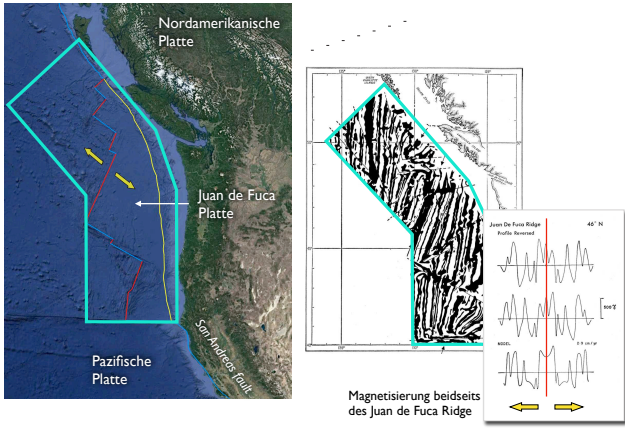


Das Magnetfeldes (Geodynamo) ändert seine Polarität
alle 0.1-10 Ma (= Chron).
Die Feldumkehr dauert 1000-10'000 Jahre.

46

Das Magnetfeld besteht aus
1. Geodynamo=95% (Strömungen im äusseren Erdkern)
2. Magnetosphäre und Ionosphäre (d.h. Sonnenwind)
3. Remanente Magnetisierung (in Gesteinen mit ferromagnetischen Mineralien)
Zur Zeit ist Magnetisch Süd = geographisch Nord
Magnetische Feldumkehr in 1000-10000 Jahren

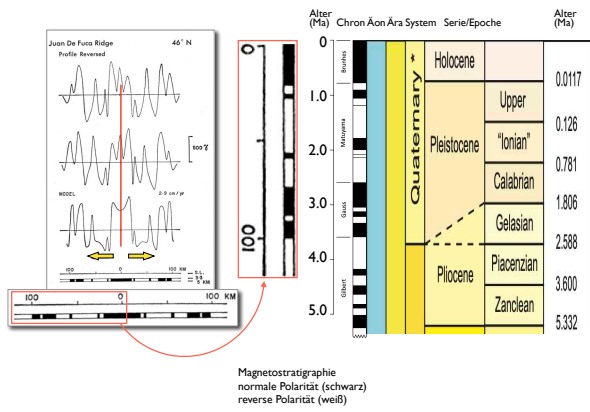
volks-
hochschule
beider basel magnetische Streifenmuster ...



47

Die Entdeckung dieser magnetischen Streifen (oder Lineationen) waren ein wichtiger Schritt in der Entwicklung der Plattentektonik. (s. Artikel von Vine & Matthews (10963)

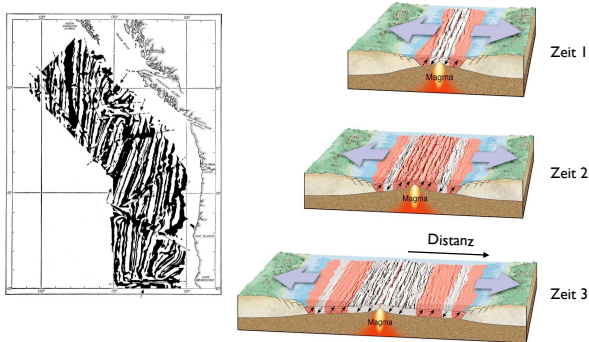
volks-
hochschule
beider basel ... können datiert werden



48

Durch die Datierung der Ozeanbodengesteine konnte eine sog. Magnetostratigraphie erstellt werden. Dabei zeigt sich, dass die Gesteine mit zunehmender Entfernung vom Spreizungsrücken älter werden.

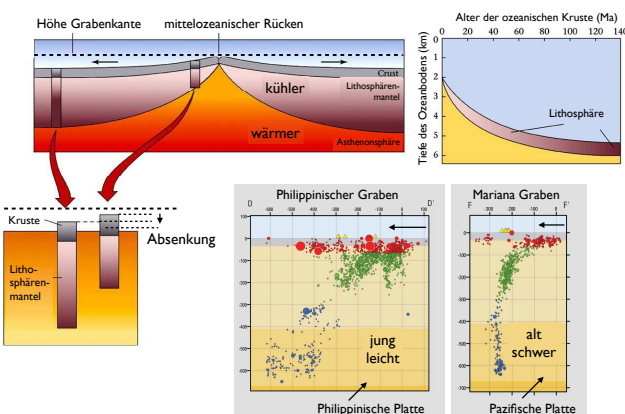
volks-
hochschule
beider basel ⇒ Öffnungsgeschwindigkeiten



49

Zurückgelegte Distanz / Alter = Geschwindigkeit

volks-
hochschule
beider basel CV einer Lithosphärenplatte

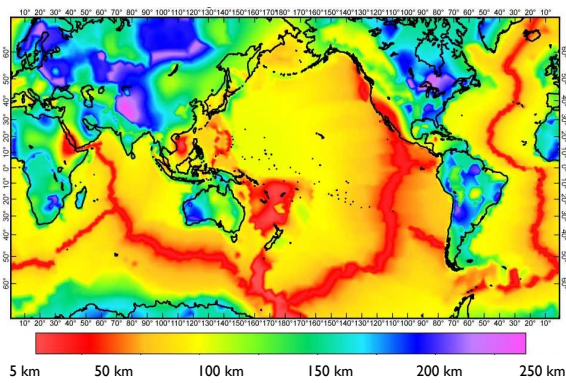


50

Mit zunehmendem Alter wird die kühlte ozeanische Lithosphäre ab. Der Lithosphäre wird dichter ("schwerer") und dicker. Von unten wird Mantelmaterial angefügt, von oben werden ozeanische Sedimente abgelagert.

volks-
hochschule
beider basel

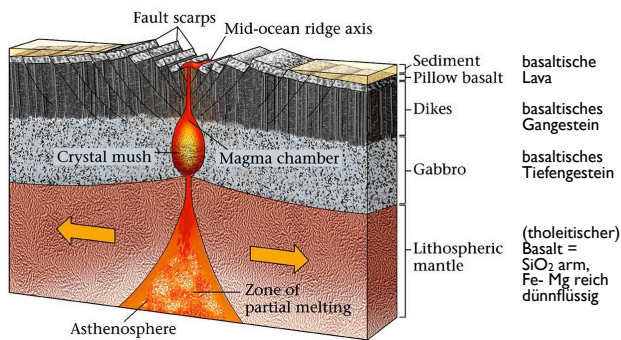
Dicke der Lithosphärenplatten



51 Platten werden immer dicker mit Entfernung von Spreading
alte Kontinente/Kratone sind dick

volks-
hochschule
beider basel

ozeanische Kruste



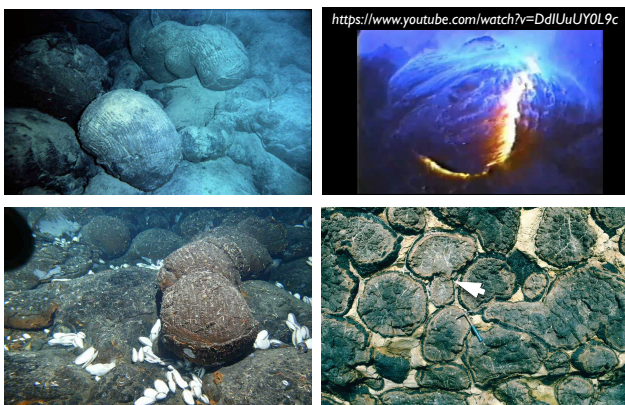
52 Achtung: Kruste besteht nicht nur aus Sedimenten, sondern auch aus kristallinen Gesteinen
Basaltische Magmen entstehen aus partiell geschmolzenem Peridotit (Pyroxen, Plagioklas, Olivin).
Die Injektion von geschmolzenem Material in die Spalten oberhalb der Magmenkammern führt zum Sheeted Dyke Komplex.
Die submarinen Lavaflüsse werden an der Oberfläche abgeschreckt, was zur charakteristischen Kissenlava (Pillow Lava) führt.

Leben am mittelozeanischen Rücken

53 man sollte es nicht glauben...

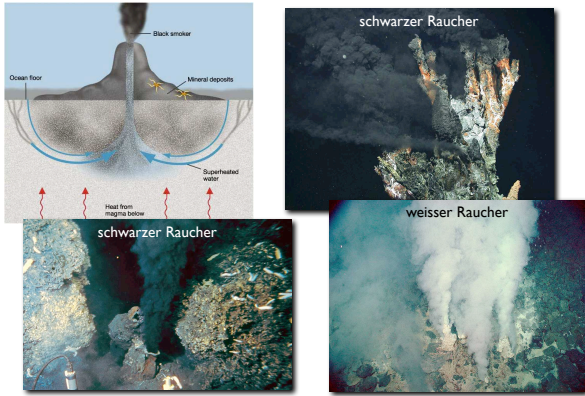
volks-
hochschule
beider basel

Bildung von Kissenlava



54

Hydrothermalfelder



55

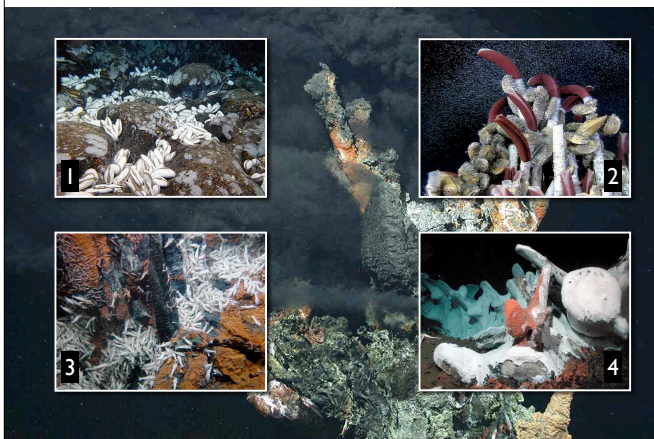
Schlote: Sedimentwolken:

Schwarze Raucher = Sulfide andere Fe- Mn- Cu - Zn Salze. schwarz = Pyrit

Weisse Raucher = Ca-Sulfate Anhydrit, Gips oder SiO₂

z.B. Two Boats und Sister Peaks (MAR, 3000m): 300 bar (30 MPa) 400 °C heiß Meerwasser 2 °C (durch Druck bleibt das immer noch Wasser (nicht Dampf) White smokers emitting liquid carbon dioxide at the Champagne vent, Northwest Eifuku volcano, Marianas Trench Marine National Monument. White flocculent mats in and around the extremely gassy, high-temperature (>100°C, 212°F) white smokers at Champagne Vent.

Seafloor Life



56

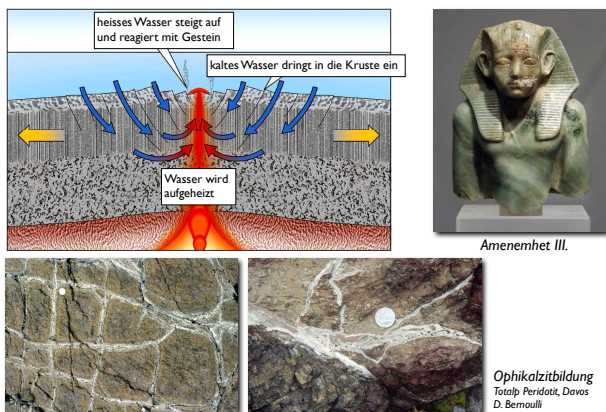
1 Giant clams up to 1 foot long. This vent site on the Galápagos Rift, discovered in 2002, is called "Calyfield" after the clam (*Calyptogena magnifica*).

2 A cloud of flea-like crustaceans called amphipods hovers around tubeworms encrusted with limpets and mussels at the 9°N vent site in the eastern Pacific.

3 Shrimps swarm at the Rainbow vent site in the North Atlantic.

4 Orange microbes coat the skeleton of a whale that fell to the seafloor off California producing hydrogen sulfide nutrients that sustain thriving animal populations.

Interaktion Meerwasser - Kruste



57

Jugendbildnis des Königs Amenemhet III. aus Ophicalcit, Mittleres Reich des Alten Ägypten, 12. Dynastie, um 1800 v.Chr. (Staatliches Museum Ägyptischer Kunst in München).

Die Serpentinegruppe gehört zu den trioktaedrischen Schichtsilikaten.

Serpentine sind sekundäre Minerale und entstehen bei der Umwandlung magnesiumreicher Orthopyroxene oder Olivine in Peridotiten.

Faseriger Chrysotilasbest ist ein krebserregendes Material.

continental rifting

58

kontinentale Riftzonen

Nord-Atlantik Öffnung:

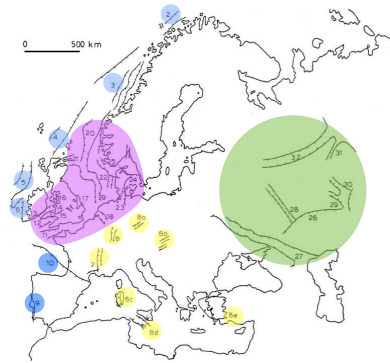
- Paläozän / Eozän
- Jura / Kreide
- Trias / Jura

Bresse Rhein Graben:

- Paläogen

Ural - Ozean:

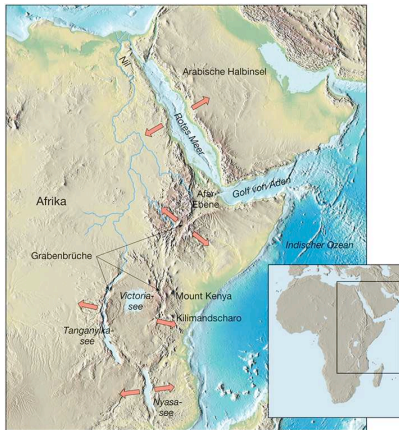
- Präkambrium



59

Rifts, which do not attain the oceanic stage are termed "failed rifts". This term should better be replaced with "fossil rifts", because these structures are not failed rifts, but rather failed oceans.

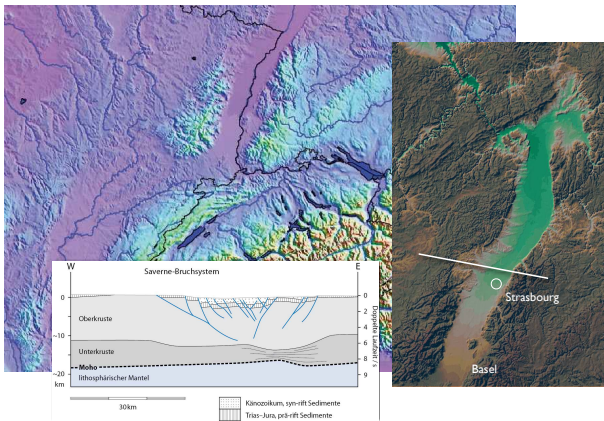
Ostafrikanischer Graben



60

Aktuelles Beispiel
Rotes Meer - Heisses Material steigt hoch - Kruste wird verdünnt - Oberfläche senkt sich
Afarsenke - Tanganyika See und Nyasa See im Graben
Kilimandjaro: Vulkanismus typisch kontinental
Öffnung und Transformbrüche im indischen Ozean

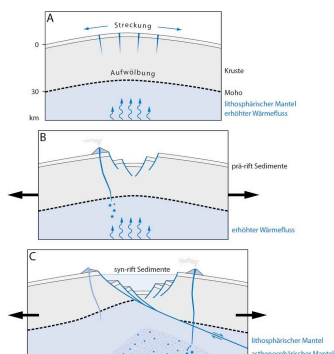
Rheingraben - Bressegraben



61

Fossiles Beispiel:
Der Graben hat sich stellenweise bis zu 3,5 Kilometer tief eingesenkt, jedoch wurde diese Absenkung weitgehend durch die Auffüllung mit Sedimenten ausgeglichen. Die randlichen Berge wurden entgegengesetzt zum Graben bis zu 2,5 Kilometer angehoben, jedoch hat starke Abtragung der Gebirge diesen Aufstieg oberflächlich verringert. Die Einsenkung begann vor etwa 45 Millionen Jahren im mittleren Eozän und dauert bis heute an. (<https://www.oberrheingraben.de/>)

Rift – geophysikalische Merkmale



- Topographie: Hebung und Abschiebungen
- negative Bouguer-Anomalien
- extensive Plattenbewegung
- seichte seismische Aktivität
- erhöhter Wärmefluss
- Ausdünnung der Kruste

62

Abbildung aus Pfiffner et al. Erdwissenschaften
A-Mantelmaterial Aufwölbung Streckung
B-Grabenbildung Abschiebungen Vulkanismus
C-Einsenkung Isostasie Kippschollen SYN-RIFT
D-Kruste durchbrochen Ozeankruste an Oberfläche
POST-RIFT

Rift - Topographie

Abschiebungen

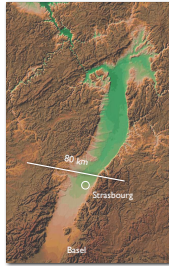
Afar



Dabahu rift, Afar region, Ethiopia.
Rezente Lavaflüsse, von Abschiebungen durchschnitten

gehobene Flanken

Rheingraben



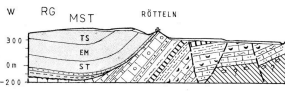
Lake Malawi



63

Rift flank uplifts = permanent structures
Caused by mechanical unloading during extension → isostatic rebound
≠ thermal structures
(In fossil rifts, thermal support ended long time ago)

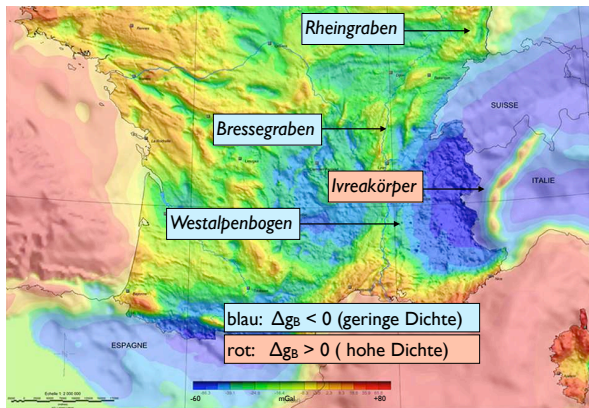
Rheintalflexur: Schänzli, Rötteln



64

Die Flexur (Umbiegung der Sedimente im Südende des Rheingraben) entstand durch Schleppung der Sedimente bei der Abschiebung. Sie folgen der Relativbewegung (Rheingraben hinunter - Schwarzwald hoch).

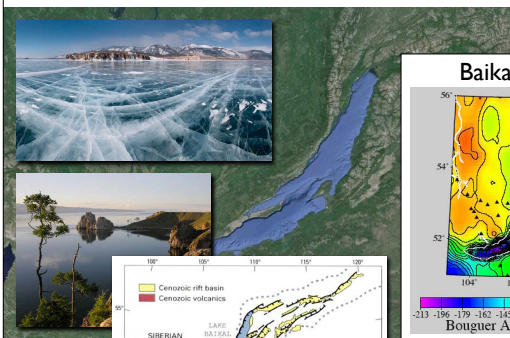
Bouguer-Anomalie



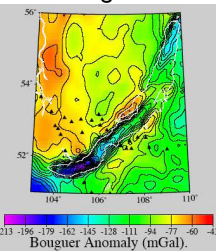
65

Geringe Dichte heisst zu wenige dichtes Material, d.h. entweder zu wenig Material wie in Riftgräben oder zu leichtes Material, wie in Gebirgen.
Hohe Dichte bedeutet dichtes Material (Mantel) nahe der Oberfläche, hohe Bouguer Anomalien über grossen Wasserkörpern sind ein Artefakt (Überkorrektur)
GELB = NULL ***** Vollfarben = Französische Karte
Bouguer wird an Land gebraucht (auf Meer nicht nötig, da topo auf 0m)
Nebeneffekt Bouguer wird über Meer positiv unter Gebirgen negativ
 $\Delta g_B < 0$ (= typisch) geringe Dichte → Gebirgswurzel
 $\Delta g_B > 0$ (≠ typisch) hohe Dichte Ivrea Körper = Mantelgestein

Baikalsee



Baikalgraben

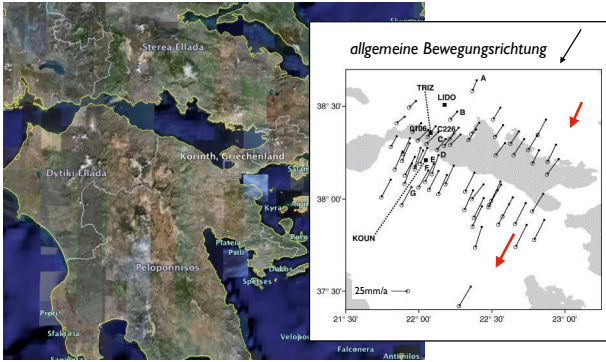


tiefe Werte
→ geringe Dichte
→ verdünnte Lithosphäre
→ Sedimentfüllung

66

Öffnungsbewegung

Golf von Korinth



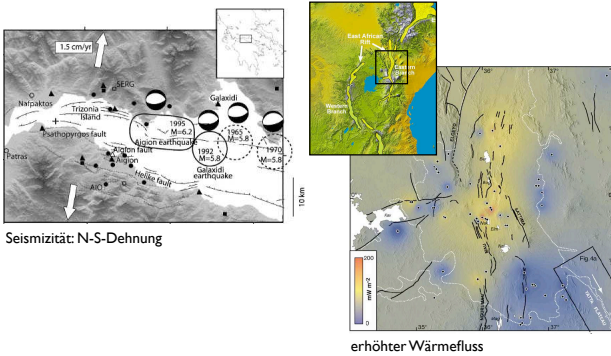
67

Beide Seiten des Golf von Korinth bewegen sich gegen SW; die südliche Seite etwas schneller als die nördliche. Die Differenz entspricht der Öffnungsgeschwindigkeit. Im NW ist zu erkennen dass die südliche Seite eine kleine Rotation (im Gegenuhrzeigersinn) gegenüber der nördlichen macht.

Seismizität – Wärmefluss

Golf von Korinth

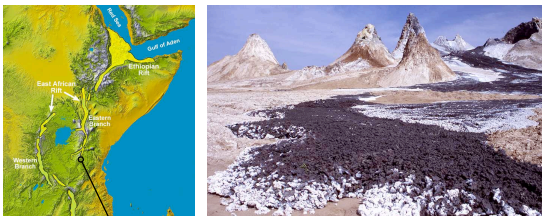
East African Rift, Kenya



68

Die Herdflächenlösungen (beachballs) zeigen eine NS-Extension an. Recent heat flow in the Central Kenya Rift. East African Plateau inset shows map section of the main figure (Wichura, Bousquet, Oberhänsli, et al. 2011 Geol.Soc.Lond.Spec.Pub.)

Vulkanismus



OI Doi Lengai (Mountain of God)

- Einziger aktiver Karbonatit-Vulkan der Welt
- Zusammensetzung: typisch für Ozeanrücken-Mantel mit $\geq 30\%$ CO_2
 - Sehr niedrige Viskosität: dünnflüssig, sprudelt fast wie Wasser fließt aus bei $\sim 540^\circ\text{C}$
 - An der Oberfläche wird das Na_2CO_3 - nach Erkalten - fest



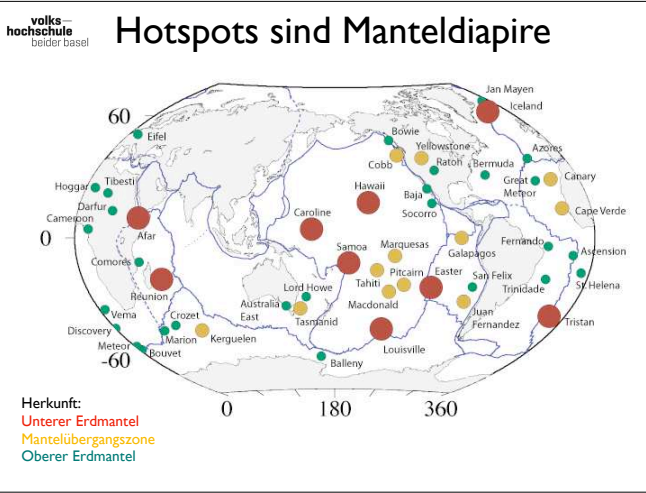
Lava, ca. 2 Tage alt
Probennahme (B. Marty and T. Fischer)

69

Der OI Doi Lengai befindet sich über dem sogenannten Tanzania-Kraton und ist der weltweit einzige aktive Vulkan, der Karbonatitlava fördert. Diese Lava ist sehr dünnflüssig, hat etwa die Viskosität von Wasser. Kürzlich erstarrte Lava hat eine dunkle Farbe, die sich schnell in ein helles Beige verwandelt. Die Natrokarbonatit-Lava (Na_2CO_3) dieses Vulkans erreicht mit zwischen 491°C und bis zu 590°C im Vergleich zur Lava anderer Vulkane eine vergleichsweise niedrige Temperatur, entstammt aber dem Erdmantel.

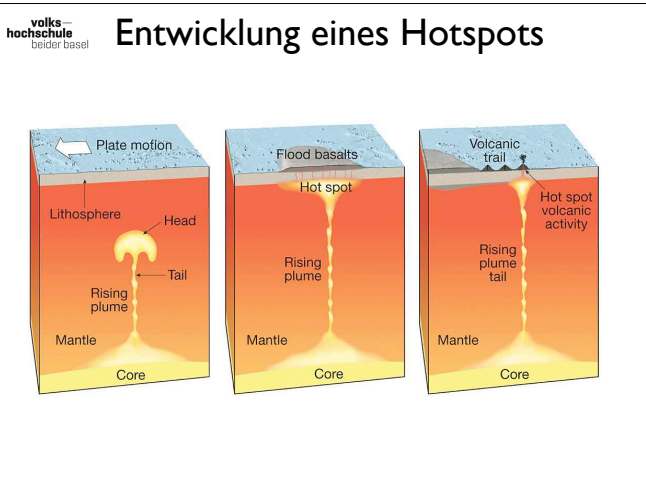
Hotspots

70

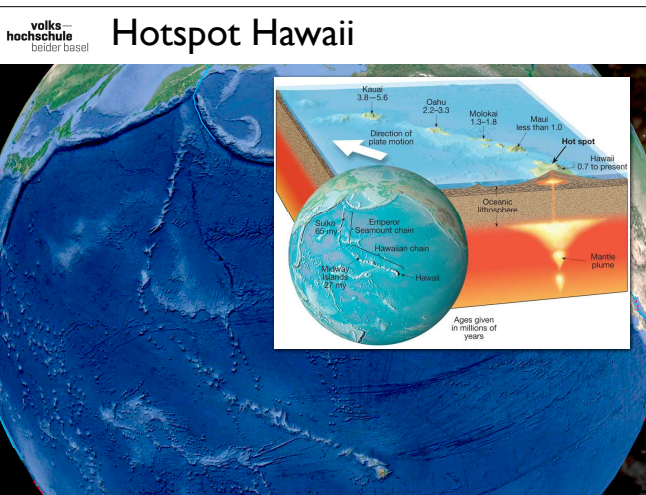


71

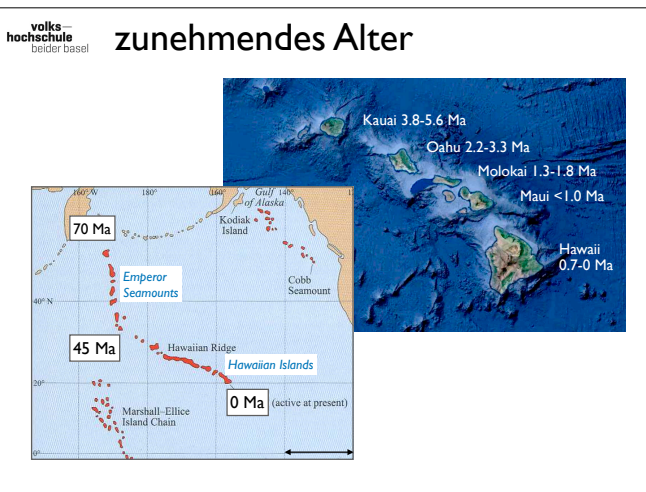
Ausgewählte Beispiele für vermutete Hotspots. Vermutete Tiefe der Quellregion der Manteldiapire: rot = Unterer Erdmantel, gelb = Mantelübergangszone, grün Oberer Erdmantel



72



73



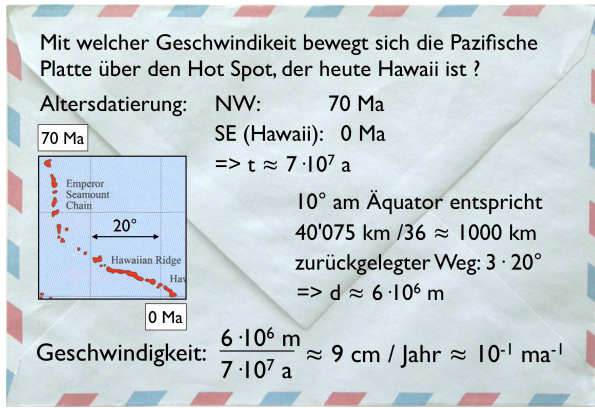
74

Mit zunehmendem Alter und zunehmender Entfernung vom Hotspot sinkt die Lithosphäre ab. Entsprechend tauchen auch die Inseln unter die Meeresoberfläche. Aus Alterdatierungen geht hervor, dass um 45 Ma die Richtung der Plattenbewegung geändert hat: von einer ursprünglich mehr N-gerichteten Bewegung (70-45 Ma) auf eine mehr WNW Richtung (45-0 Ma), die sie bis heute einhält.

Hotspot → Plattengeschwindigkeit

75

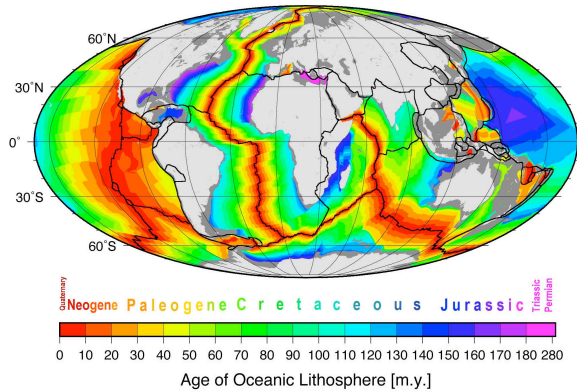
Diese Übersichtsrechnung (englisch: back-of-the-envelope calculation) kommt grob abgeschätzt auf eine Geschwindigkeit von etwa 9 cm/Jahr, d.h. 9'000'000 cm/Ma, d.h. 90 km / Ma. - In der 1. Vorlesung (slide 38) in der Karte herauszulesen: etwa 85 mm/Jahr... keine schlechte Übereinstimmung.



Karte des Ozeanbodenalters

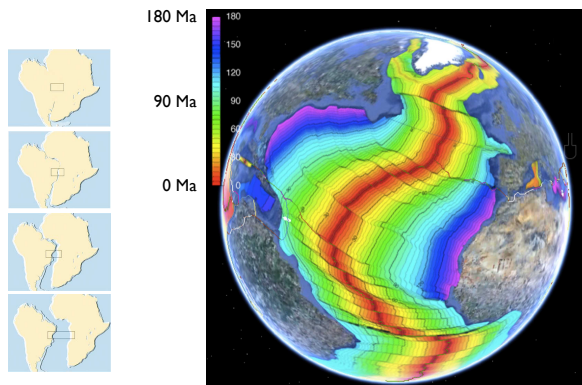
76

Unterschiedliche Breite der Streifen zeigt unterschiedliche Spreizungsgeschwindigkeiten an. Beachte zeitliche Reihenfolge des Spreizungsbeginns:
1. Mittelatlantik: ~180 Ma
2. Südatlantik: ~100-120 Ma
3. Nordatlantik: ~70-90 Ma



Alter des Ozeanbodens

77



aktuelle Plattengeschwindigkeiten

78

mit GPS - nicht gerade zum zugucken, aber messbar
USA entfernen sich alle 30 Jahre um einen Meter von Europa
Rotationsrate Eurasia;
Rotationspol = 61°N, 86°W (Hudson Bay USA / 1000km W von Australien),
Rotationsrate bezüglich Pazifische Platte = 0.8591° / Ma
es braucht 419 Ma um 360° zurückzulegen

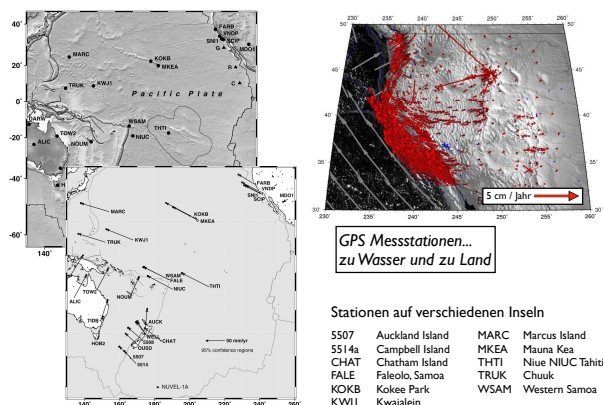


plate motion calculator

Geschwindigkeit von Basel
(47.55839°N, 7.57327°E)
auf der Eurasischen Platte

Calculation results

plate velocity: 21 [mm/yr]=[km/my]
direction: 112.28 (deg from North)
north component of velocity: -8 [mm/yr]=[km/my]
east component of velocity: 19 [mm/yr]=[km/my]

Parameters used for calculation

- Plate Model: MORVEL
- Moving Plate: eu
- Fixed Plate: na
- rotation vector average: 0.00131,0,0.0112,0,0,0,0,0,0
- Latitude of Euler pole: 81.289325273478 (deg)
- Longitude of Euler pole: 158.4785646951802 (deg)
- Angular velocity: 0.210269509695959 (deg/yr)
- Latitude inputed: 47.55839 (deg)
- Longitude inputed: 7.57327 (deg)

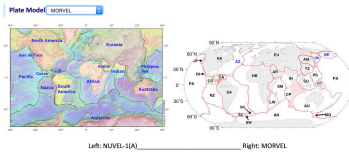


Plate Model: MORVEL

Moving Plate: eu

Fixed Plate (not used in absolute models): north america

Latitude [deg]: 47.55839 north: positive (-) south: negative (-)

Longitude [deg]: 7.57327 east: positive (+) west: negative (-)

north component of velocity : -8 [mm/yr]=[km/my]
east component of velocity : 19 [mm/yr]=[km/my]



79

http://ofgs.aori.u-tokyo.ac.jp/~okino/platecalc_new.html
<http://ofgs.aori.u-tokyo.ac.jp/member-e.html#okino>
Okino ist eine Frau

...Wilson Zyklus

Superkontinent Pangäa bricht auseinander

- Plattengeschwindigkeit = 3 cm / Jahr
- Durchmesser = ca. 10'000 km
- Erdumfang = ca. 40'000 km



$$\text{Weg} = 1/2 \text{ Erdumfang} - 1/2 \text{ Durchmesser} = 15'000 \text{ km}$$

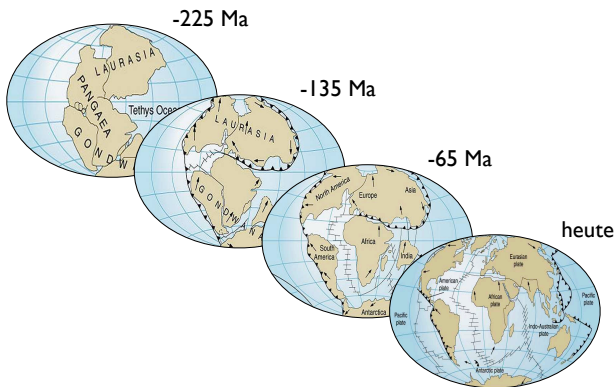
$$\text{Zeit} = \text{Weg} / \text{Geschwindigkeit} = 15'000 \text{ km} / (3 \text{ cm} / \text{Jahr})$$

Pangäa → Pangäa Ultima in 500 Ma

80

Überschlagsrechnung für die Dauer eines Wilson Zyklus

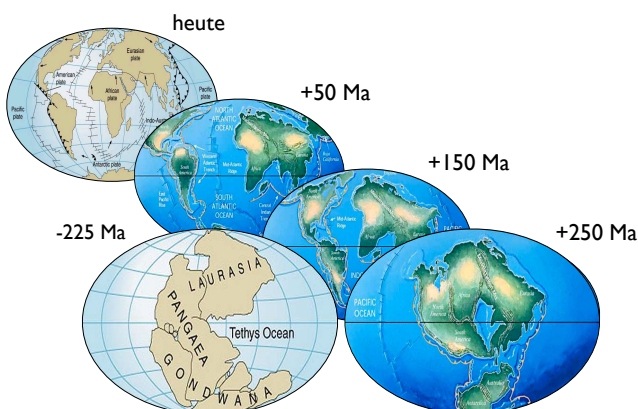
Wilson Zyklus Pangäa → heute



81

Zur Ehren von Wilson wird der Zyklus vom Aufbrechen eines Superkontinentes bis zur Wiedervereinigung zu einem neuen "Wilson Cycle" genannt. Bei einer durchschnittlichen Plattengeschwindigkeit von wenigen cm/Jahr dauert er etwa 500 Ma.
Pangäa = Gondwana + Laurasia
Laurasia = N-Amerika + Europa-Asien
Gondwana = S-Amerika + Afrika + Antarctica
Afrika = Afrika + Indien + Arabien + Ostafrika (heute)

Wilson Zyklus → Pangäa Ultima



82

Die Extrapolation in die Zukunft von C.R. Scotese (2000)
Siehe auch: Heilbronner, Renée (2017) 50 Jahre Plattentektonik, in: Kurt M. Füglistner, Martin Hicklin, Pascal Mäser (Hg.) natura obscura – 200 Naturforschende 200 Naturphänomene 200 Jahre Naturforschende Gesellschaft in Basel, Schwabe Verlag