

volks-
hochschule
beider basel



2. Vorlesung
Plattentektonik – so tickt die Erde
Renée Heilbronner

1

volks-
hochschule
beider basel

wo waren wir ?



2

wir waren am Martinsloch, haben Glarner Hauptüberschiebung angeschaut, den Kreislauf der Gesteine und die Sedimentgesteine des Helvetikums studiert, uns mit der Stratigraphie vertraut gemacht, einen Blick in Albert Heims "Geologie der Schweiz" geworfen, die Geosynklinal- und Kontraktionstheorie zur Kenntnis genommen und uns – mit Heim – gewundert, welchen Grund die riesigen Horizontalbewegungen wohl haben könnten.

Startschuss für die Plattentektonik

3

volks-
hochschule
beider basel

wohin geht die Reise ?



ein Paradigmenwechsel steht bevor !

4

Heutzutage ist es schwer vorstellbar, wie schwierig es gewesen sein muss, vom fixistischen Weltbild zur Theorie Plattentektonik überzugehen.

die Mobilisten kommen



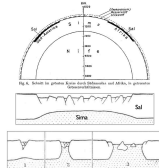
Otto Ampferer
(1875 - 1947)



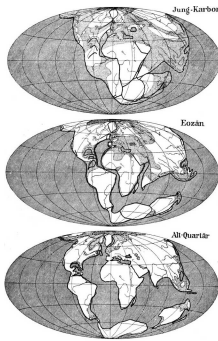
Unterströmungstheorie
Erdkruste (Milchhaut) bewegt
sich auf Magma (kochende Milch)



Alfred Lothar Wegener
(1880 - 1930)



Kontinentaldrift
Kontinente (Sa) bewegen sich
über Mantel (Sima) hinweg



5

Otto Ampferer (1875 – 1947) war ein österreichischer Alpinist und Geologe. Um die komplexen Vorgänge der Gebirgsbildung zu erklären, entwickelte er seine **Unterströmungstheorie** mit der Vorstellung einer teilweise plastischen Erdkruste. Damit wurde er – noch vor Alfred Wegener – zum Wegbereiter der modernen Sicht des **Mobilismus**. Bereits 1906 entwickelte er bezüglich der Alpen die Hypothese, dass es sich bei der oberen Erdkruste mit ihrer Sedimentdecke nur um eine relativ dünne, nachgiebige Schicht handle, die auf Gesteinsschmelzen schwimmt (ähnlich wie die Haut auf gekochter Milch). Durch abwärts gerichtete Magmenströme werde die überlagernde Kruste mitgezogen, was zu intensiver Einengung und Überschiebung der Gesteinsschichten in den Faltegebirgen führe.

https://de.wikipedia.org/wiki/Otto_Ampferer, <https://de.wikipedia.org/wiki/Unterströmungstheorie>
Am 6. Januar 1912 stellte Wegener bereits seine ersten Gedanken zur Kontinentalverschiebung in der Öffentlichkeit vor.

Publikation: Alfred Lothar Wegener: "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane" (1915, 1. Fassung, 1929, 4. Auflage), Fig. 6 nach Suess, Das Antlitz der Erde 2, 203. Wien 1888.

hypothetischer Mechanismus

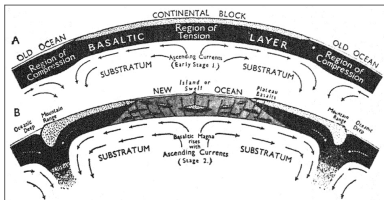


Fig. 215
Diagrams to illustrate a purely hypothetical mechanism for "engineering" continental drift. In A sub-crustal currents are in the early part of the convection cycle (Stage 1 of Fig. 215). In B the currents have become sufficiently vigorous (Stage 2 of Fig. 215) to drag the two halves of the original continent apart, with consequent mountain building in front where the currents are descending, and ocean floor development on the site of the gap, where the currents are ascending



Arthur Holmes
(1890 - 1965)

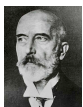
"Principles of Physical Geology" (1944)

Mechanismus für Kontinentaldrift:
Konvektive Wärmeströme im Erdinneren bewegen Erdplatten

6

Arthur Holmes (1890 – 1965) schlägt vor, Radioaktivität für Geochronologie zu benutzen. 1911 datiert er das Kambrium = 600 Ma (heute 590 Ma). 1913 "The Age of the Earth": das Alter der Erde aus datiert archaischen Gneisen = 1.5 Ga. "**Principles Of Physical Geology**", 1944 (letztes Kapitel: "The Search for a Mechanism"): Mechanismus für Kontinentaldrift = Konvektive Wärmeströme im Erdinneren bewegen Erdplatten... eine „Spekulation“.

was man inzwischen wusste



Andrija Mohorovičić
(1857 - 1936)



Beno Gutenberg
(1889 - 1960)



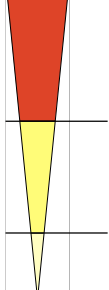
Inge Lehmann
(1888 - 1993)

Schalenaufbau Kruste – Mantel – Kern

10-60 km Tiefe: Kruste-Mantel - Grenze
auch Moho (Mohorovicic Diskontinuität)
1909 von Andrija Mohorovicic entdeckt

2900 km Tiefe: Kern-Mantel - Grenze
1914 von Beno Gutenberg entdeckt

5150 km Tiefe: Grenze äusserer-innerer Kern
1936 von Inge Lehmann prognostiziert



7

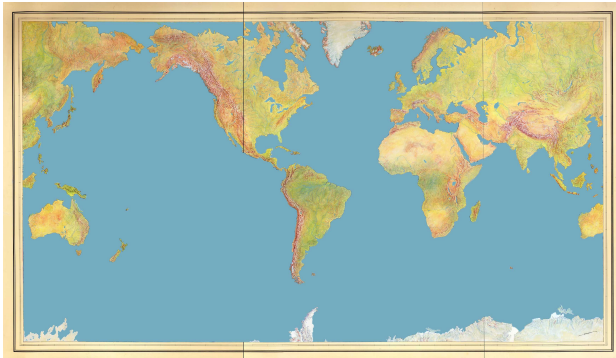
Andrija Mohorovičić (1857 – 1936) war ein kroatischer Meteorologe und Geophysiker. Ihm gelang 1909 mit Bebenwellen die Grenze zwischen Erdkruste und Mantel zu erfassen.

Beno Gutenberg (1889 – 1960) war ein deutscher Seismologe. 1914 bestimmte Gutenberg aus seismologischen Untersuchungen den Radius des Erdkerns.

Inge Lehmann (1888 – 1993) war eine dänische Geodätin und Seismologin. Sie entdeckte 1936, anhand von P-Wellen-Signale im P-Wellen-Schatten des Erdkerns, den inneren Erdkern. (Wikipedia)

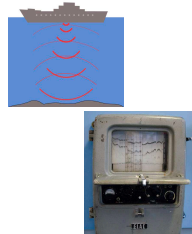
Kartierung des Ozeanbodens

2/3 der Erdoberfläche unbekannt



vor dem 2. Weltkrieg war der Ozeanboden weitgehend unerforscht. Bekannt waren die Schelfgebiete, d.h. Gebiete in relativ geringer Wassertiefe.

Echolot-Kartierung



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



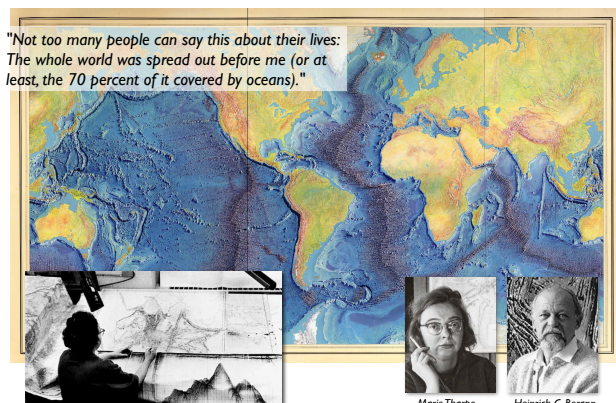
Heezens Idee von der "Expanding Earth"

Marie Tharpe (1920 - 2006) und Bruce Heezen (1924 - 1977)

1957 publizieren sie die erste physiographische Karte des N-Atlantik. Tharpe erkennt, dass es sich um ein Rift handelt und folgert daraus, dass Kontinentaldrift möglich ist. Heezen glaubt das nicht – das sei alles "girls talk". er selbst glaubt an eine "expanding earth"!

der Ozean wird durchsichtig

"Not too many people can say this about their lives:
The whole world was spread out before me (or at
least, the 70 percent of it covered by oceans)."



Marie Tharpe
(1920 - 2006) Heinrich C. Berann
(1915-1999)

1977 publiziert **Marie Tharpe**, zusammen mit dem österreichischen **Maler Heinrich C. Berann (1915-1999)** "The World Ocean Floor" im National Geographic.
s. auch: <https://www.google.com/doodles/celebrating-marie-tharp> (auf Deutsch)

seafloor spreading

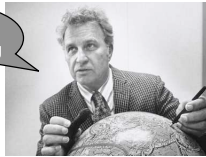
Quellen für Erdoberfläche

Entstehung von Erdkruste

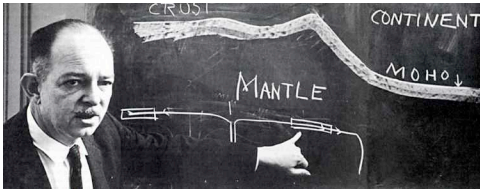


Harry Hammond Hess
(1906 - 1969)

Seaflor
Spreading



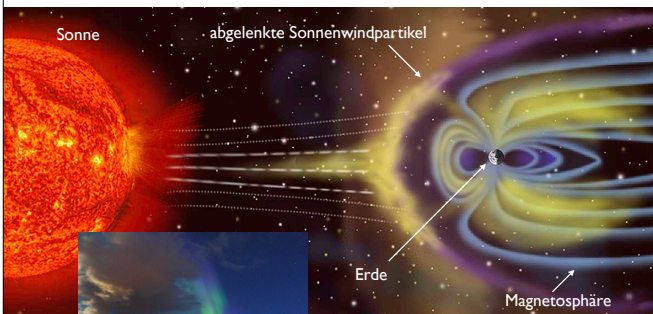
Robert Sinclair Dietz
(1914 - 1995)



13

Harry Hammond Hess (1906 - 1969): Im 2. WK US Navy Kapitän der USS Cape Johnson (mit leistungsfähigen Echolot) und Geologe. 1960 Bericht an das „Office of Naval Research“: Erdkruste entsteht an Ozeanrücken und wird auf beiden Seiten weggedrückt.
Robert Sinclair Dietz (1914 - 1995): 1961 publiziert er einen Artikel in Nature. "Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor". Nature. 190 (4779): 854–857), darin erscheint zum ersten Mal der Begriff "Sea floor Spreading"

Magnetosphäre

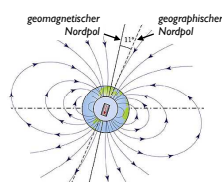
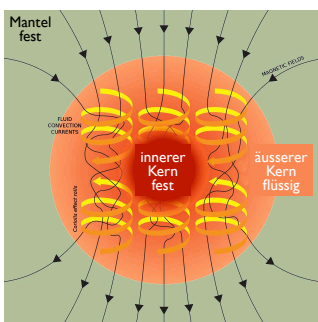


Tramsø, 30. August 2015, ©Yngvar Steinholt

14

die **Magnetosphäre**, aufgebaut durch das Magnetfeld der Erde, schützt uns vor dem Sonnenwind
<https://de.wikipedia.org/wiki/Polarlicht>
 Polarlicht (Nordlicht, Aurora borealis) = Leuchterscheinung durch Auftreffen beschleunigter geladener Teilchen aus der Magnetosphäre auf Stickstoff- und Sauerstoffatome der Atmosphäre.

das Magnetfeld der Erde



15

das **Magnetfeld** der Erde wird mit einem **Dynamo-Mechanismus** erklärt: im äusseren, flüssigen Kern herrschen Konvektionsströme (Abkühlung), die sich, wegen der Corioliskraft, als Röhren organisieren. Dadurch entstehen zirkulierende elektrische Ströme, welche das Magnetfeld der Erde aufbauen.

remanente Magnetisierung

Curie Temperatur:
 Eisen 1041 K (768 °C)
 Magnetit Fe₃O₄ 851 K (578 °C)
 Hämatit Fe₂O₃ (675 °C)

"eingefrorener" Dipol

16

Oberhalb der **Curie Temperatur** sind ferromagnetische Materialien nicht magnetisch. Die magnetische Ausrichtung der Mineralien in einem (festen) Gestein wird erst durch die Abkühlung unter die Curie-Temperatur fixiert.

das unruhige Magnetfeld der Erde

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

Magnetostratigrafie

schwarz: normale Polarität (wie heute)
 weiss: umgekehrte Polarität

17

Das **Magnetfeld** besteht aus

1. Geodynamo=95% (Strömungen im äusseren Erdkern)
2. elektrische Ströme in der Magnetosphäre und Ionosphäre
3. Remanente Magnetisierung (in Gesteinen mit ferromagnetischen Mineralien)

Zur Zeit ist Magnetisch Süd = geographisch Nord, magnetische **Feldumkehr in 1000-10000 Jahren**
 Durch die **Datierung der Ozeanbodengesteine** und Korrelation der magnetischen Profile konnte eine sog. **Magnetostratigrafie** erstellt werden.

magnetische Lineationen

Die Theorie (rot) passt auf die gemessenen Daten (schwarz). Sie erklärt die periodisch auftretende Feldumkehr und unterstützt die Idee von Seafloor Spreading.

18

Die Entdeckung dieser **magnetischen Streifen** (oder Lineationen) waren ein wichtiger Schritt in der Entwicklung der Plattentektonik.
 Bei der **Morley-Vine-Matthews Hypothese** geht es darum, das Streifenmuster der **gemessenen magnetischen Anomalien** zu erklären. Es braucht 3 Annahmen: geomagnetische Feldumkehr, remanente Magnetisierung und Seafloor Spreading. Damit können sie die gemessenen magnetischen Profile perfekt simulieren (rote Kurve)
 PS: Both of Morley's letters to Nature (February 1963) and Journal of Geophysical Research (April 1963) were rejected, hence Vine and his PhD adviser at Cambridge University, Drummond Hoyle Matthews, were first to publish the theory in September 1963.

Datierung

⇒ lineare Quelle für Erdoberfläche

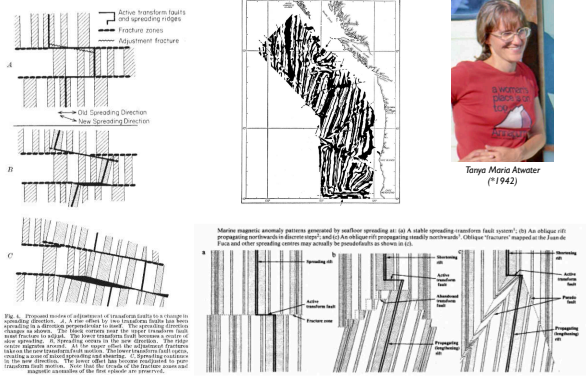
19

Magnetostratigrafie zeigt, dass die Gesteine mit zunehmender Entfernung von Ozeanrücken älter werden.
 Es ist auch möglich aus der zurückgelegte Distanz einer Lineation und deren Alter die Plattengeschwindigkeit, relativ zum Ozeanrücken, zu bestimmen (s.später)

seafloor spreading ... en détail

20

Tanya Maria Atwater (*1942) ist eine US-amerikanische Geophysikerin und Meeresgeologin. Sie befasste sich seit den 1960er Jahren mit der Entwicklung und der Bildung von Meeresboden an mittelozeanischen Rücken innerhalb der Plattentektonik und mit der Rekonstruktion der plattentektonischen Bewegungen in der geologischen Vergangenheit. Magnetische Lineationen sind nicht immer linear ... **komplizierte Muster** entstehen, wenn der Ozeanrücken gekrümmt ist oder die Öffnungsrichtung nicht senkrecht zu ihm verläuft.



Subduktionen Senken für Erdoberfläche

21

wohin mit der Lithosphäre ?

22

Was bedeutet der Briefumschlag? Was auf Englisch "back-of-the envelope calculation" heisst, ist auf deutsch eine **Überschlagsrechnung**... über den Daumen gepeilt...

geg.:
Erdoberfläche: $S_{\text{Erde}} \sim 500 \text{ Mio km}^2$
Länge aller Ozeanrücken: $L \sim 70'000 \text{ km}$
Spreizungsrate: $s\text{-rate} \sim 7 \text{ cm/a}$

ges.:
produzierte Fläche pro Jahr: S_f/a

$S_f/a = \text{Länge aller Ozeanrücken} \cdot \text{Spreizungsrate}$

$S_f/a = 70\,000 \text{ km} \cdot 7 \text{ cm/a}$
 $= 70 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot 0.07 \text{ m/a} \sim 5 \text{ km}^2/\text{a}$

$\Rightarrow (S_f/a) / S_{\text{Erde}} = 10^{-8} \dots \text{ pro Jahr !}$
 $10^{-8} = 1/10^8 = 1/100'000'000 = 1 \text{ Hundertmillionstel}$

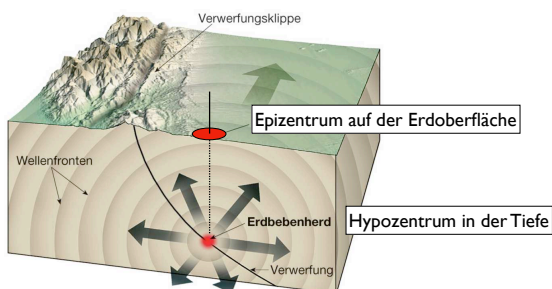
\Rightarrow Verdoppelung der Erdoberfläche in 100 Ma !!



Erdbeben Lokalisierung

23

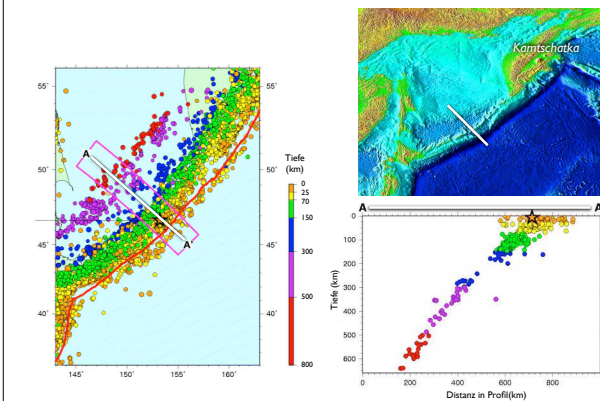
Das **Epizentrum** hat die geografischen Koordinaten des senkrecht darunter liegenden **Hypozentrums** (= Erdbebenherd)



Beispiel: Kurilen

24

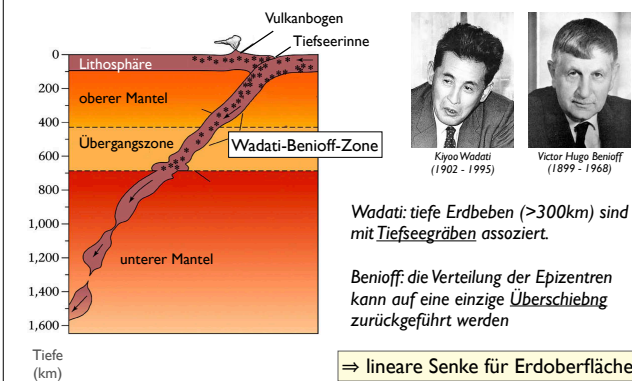
Ein Profil durch den Kurilengraben stellt die **Wadati-Benioff-Zone** des Grabens dar, in der bis in großen Tiefen Erdbeben-Hypozentren auftreten, die entlang der hier im Winkel von rund 45° subduzierten Tektonischen Platte liegen. Der Stern oben markiert das Hypozentrum des Erdbebens vom 15. November 2006. (<https://de.wikipedia.org/wiki/Wadati-Benioff-Zone>).
aktuelle Erdbebenkarte: <https://www.iris.edu/app/eqc/> oder <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>



Hypozentren an Subduktionen

25

Wadachi Kiyoo (japanisch 和達 清夫) (1902 – 1995) war ein japanischer Seismologe. It was Wadati's 1928 paper on shallow and deep earthquakes, comparing maximum below surface displacement against distance from the epicentre, which led Charles Richter to develop his earthquake magnitude scale in 1935.
Victor Hugo Benioff (1899 – 1968) war ein US-amerikanischer Geophysiker und Seismologe. Er stellte einen Zusammenhang her zwischen der Tiefe der Hypozentren von Erdbeben und deren Entfernung von Tiefseerinnen und erkannte, dass das zusammenhängende Muster immer tiefer liegender Erdbeben die Position der subduzierenden ozeanischen Platte im Erdmantel darstellt. (Wikipedia)



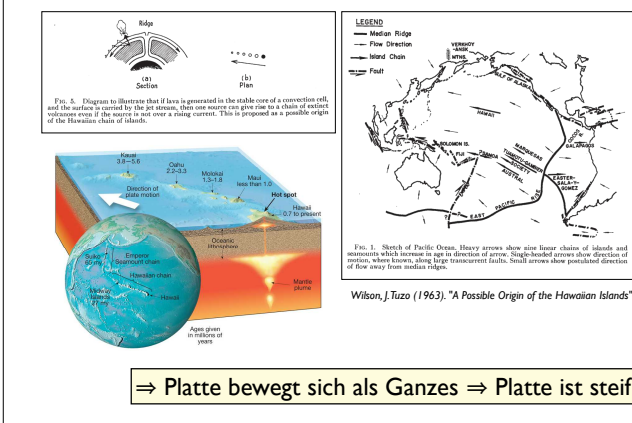
Hotspots und Transformstörungen

26

Hawaii Hotspot

27

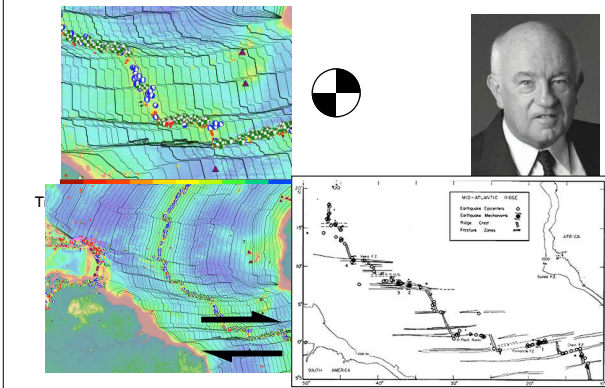
Platten bewegen sich über stationäre hotspots hinweg. Das bedeutet, dass die **Platten relativ steif** sind und sich über die relativ weiche (schwache) Asthenosphäre hinwegbewegen, ohne sich intern zu verformen.
Wilson, J. Tuzo (1963): "A Possible Origin of the Hawaiian Islands". Canadian Journal of Physics 41: 863–870. doi:10.1139/p63-094. Hawaiian Islands were created as a tectonic plate shifted slowly in a northwesterly direction over a fixed hotspot.



offsets an Ozeanrücken

28

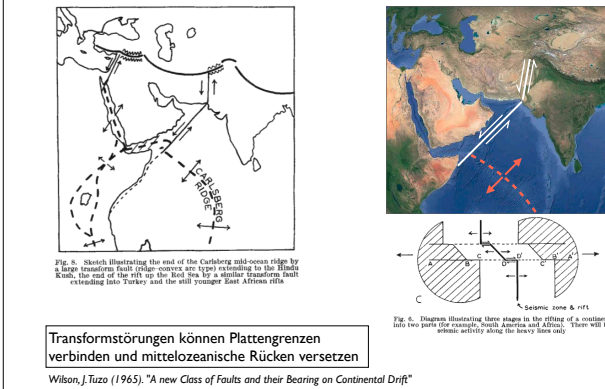
Lynn Ray Sykes (* 1937) ist ein US-amerikanischer Geologe und Geophysiker. He gathered most of his seismic data using the Worldwide Standard Seismographic Network (WWSSN) of the U.S. Coast and Geodetic Survey (originally intended for detecting nuclear bombs): Seismische Aktivität ist auf Plattengrenzen beschränkt – das Platteninnere ist frei von Erdbeben, d.h. frei von Verwerfungen bzw. Deformation.
<https://www.e-education.psu.edu/earth520/book/export/html/1709>
https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l2_p8.html



Transformstörungen

29

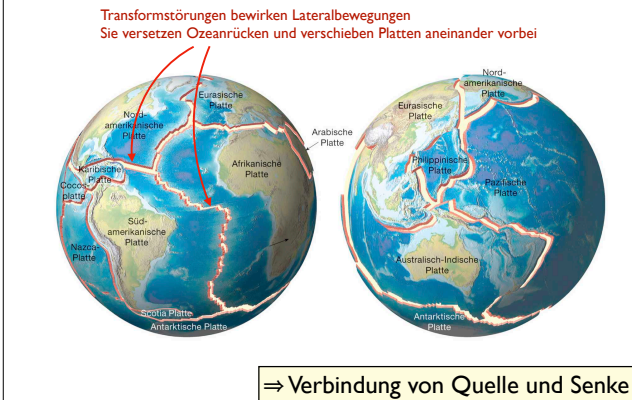
Transformstörungen sind Brüche, welche mittelozeanische Rücken versetzen. Sie zeigen an, dass sich Platten aneinander vorbeibewegen.
Wilson, J. Tuzo (1965). "A new Class of Faults and their Bearing on Continental Drift". Nature 207 (4995): 343–347. doi:10.1038/207343a0.



das letzte Puzzlestück

30

Zusammen mit Seafloor Spreading und Subduktionszonen bilden Transformstörungen um **jede Platte eine vollständige, zusammenhängende Plattengrenze**, welche es ermöglicht alle Platten voneinander zu trennen. In der Tat definieren Plattengrenzen Platten.



Theorie der Plattentektonik

31

John Tuzo Wilson, (1908 – 1993), 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 voneinander abtrennen (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. Er ist auch der Erfinder des Begriffs "Plate Tectonics" ("... the lithosphere ... broken up into numerous pieces or "plates" that move independently over the weaker asthenosphere").

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 Plattengrenzen) wird die Lithosphäre wieder in den Erdmantel zurück versenkt.

=> Verbindung von Quelle und Senke

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

Platten und ihre Grenzen

7 grosse und 8 kleinere Platten

33

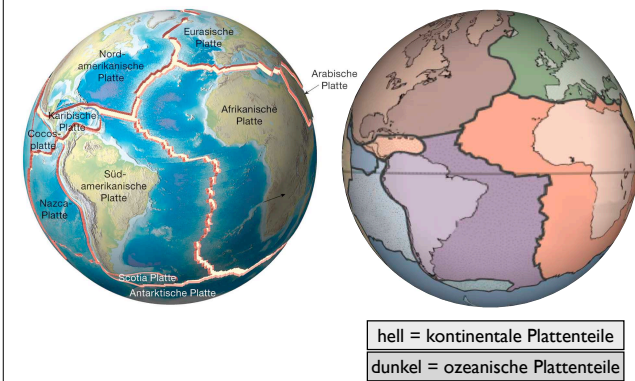
Karte (Mercator Projektion) des **plattentektonischen Puzzles** bestehend aus 15 Platten, 7 grosse und 8 kleinere Platten, wie 1990 definiert. Nicht gerade 20, aber in dieser Grössenordnung. (Es werden bald mehr, s. später).



wie sehen sie wirklich aus ?

34

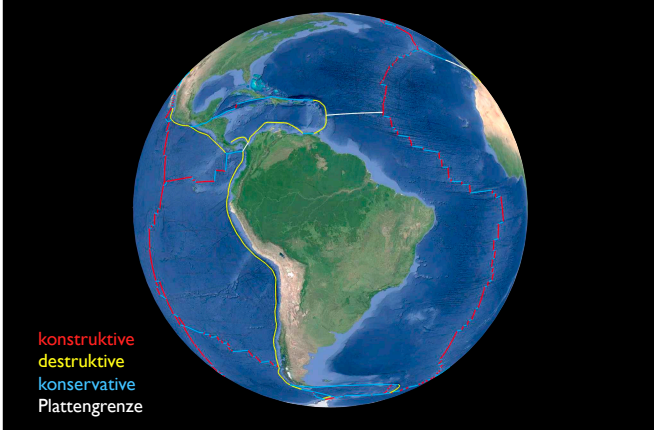
Darstellung der Karte des plattentektonischen **Puzzles auf der Kugel** (<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/5b7c82fe248c6c616a12484fa9d9be10/Earth-Plate-Tectonics-Variations-On-A-Theme>)
Achtung: Nur wenn zwei Platten etwa auf gleicher Breite liegen, wird ihr Grössenverhältnis auf der Karte korrekt wiedergegeben. Wenn Platten bis zum Pol hinauf reichen, dann wird ihre Form vollkommen verzerrt wiedergegeben. Und je näher sie an den Polen sind, umso mehr wird ihre Grösse überschätzt. Die Antarktische sieht auf der Karte viel grösser aus als die Südamerikanische - ist es aber de facto nicht

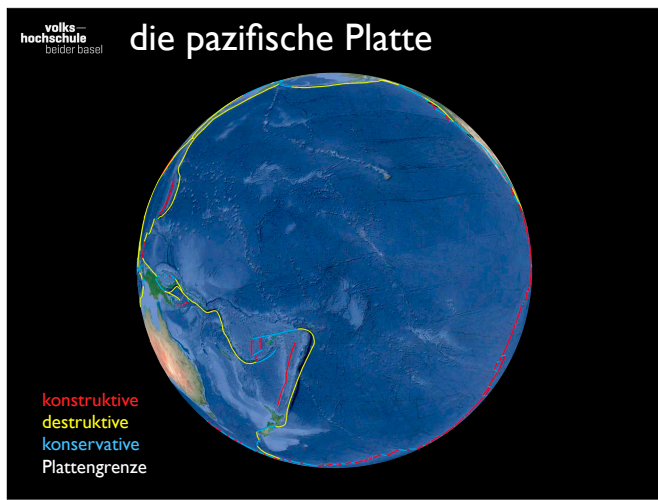


die südamerikanische Platte

35

Die südamerikanische Platte umfasst den Kontinent Südamerika und den Teil des atlantischen Ozeans, welcher westlich vom mittelatlantischen Rücken liegt. Sie hat also einen kontinentalen und einen ozeanischen Anteil. Zum kontinentalen Anteil zählt man auch die Untiefen (hellblau) am Ostrand des Kontinents, die sogenannte Kontinentalplattform. Drei Typen von Plattengrenzen werden unterschieden: konstruktive, destruktive und konservative, bzw. divergente, konvergente und Transformalgrenzen. Google Earth Ansicht, 1990
Earths_Tectonic_Plates.kmz

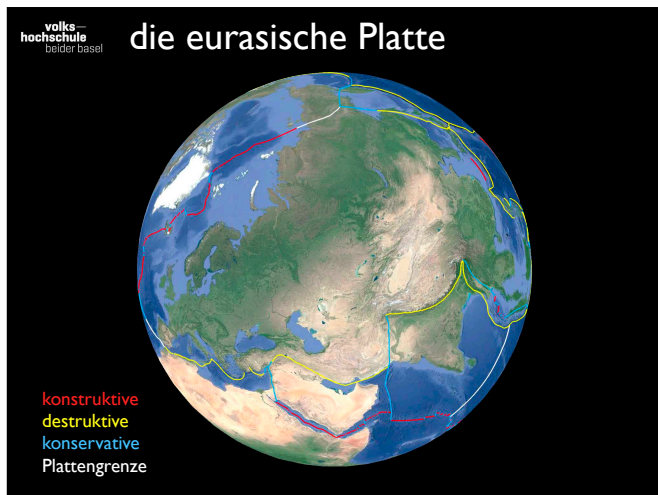




36

Die pazifische Platte besteht ausschliesslich aus ozeanischer Lithosphäre, sie ist die grösste aller Platten und umfasst etwa 20% der gesamten Erdoberfläche.

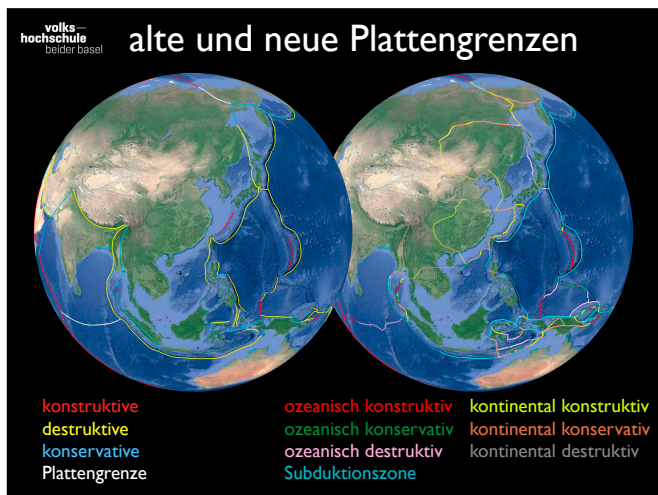
Google Earth Ansicht, 1990
Earths_Tectonic_Plates.kmz



37

Die eurasische Platte in den Grenzen von 1990. Heute ist sie um einiges kleiner, so gelten u.a. die Amur- und die Sunda-Platte (in Nordchina und Südostasien) heute als eigenständige Platten.

Google Earth Ansicht, 1990
Earths_Tectonic_Plates.kmz

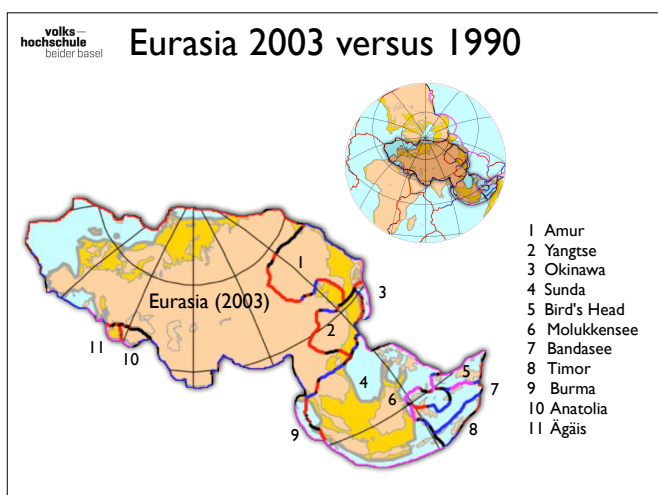


38

Tempora mutantur...

Google Earth Ansicht, 1990
Earths_Tectonic_Plates.kmz, 2003
plate_boundary_model.kmz

Die Zunahme ist vorwiegend auf die immer genaueren GPS Daten zurückzuführen.



39

1990 eine Eurasische Platte – 2003 Eurasische Platte im 11 Platten verkleinert.

wieviele Platten gibt es denn ?

1990:	2003:	... und es werden immer mehr ...
Africa	Aegean Sea	New Hebrides
Antarctica	Altiplano	Niufo'ou
Arabia	Amur	North Andes
Australia	Anatolia	North Bismarck
Caribbean	Balmoral Reef	Okhotsk
Cocos	Banda Sea	Okinawa
Eurasia	Birds Head	Panama
India	Burma	Rivera
Juan de Fuca	Caroline	Sandwich Scotia
Nazca	Canway Reef	Shetland
North America	Eastar	Solomon Sea
Pacific	Futuna	Somalia
Philippine Sea	Galapagos	South Bismarck
South America	Juan Fernandez	Sunda
Scotia	Kermadec	Timor
	Manus	Tonga
	Maoke	Woodlark
	Mariana	Yangtze
	Molucca Sea	
15	+ 37 = 52	

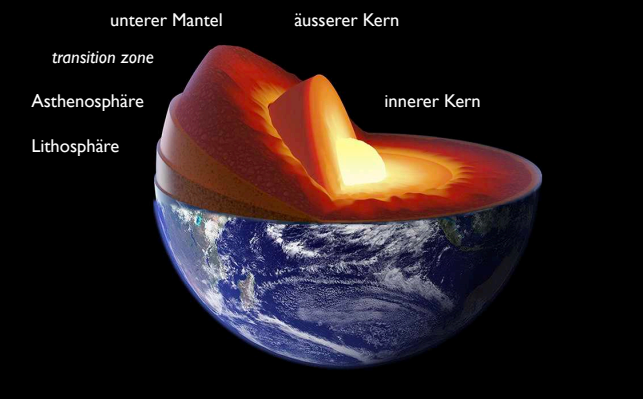
- Liste der Mikroplatten (2019)
- Alaska Plate - A newly named tectonic microplate off the northwest coast of Alaska
 - Arabian Plate - A tectonic plate forming part of the Indian Ocean tectonic plates
 - Caribbean Plate - One of three Antarctic microplates that underlie the Pacific Plate and the South American Plate
 - ... (many more) ...
- dazu kommen:**
91 fossile Platten
- 11 auf der Afrikanischen...
 - 4 auf der Antarktischen...
 - 36 auf der Eurasischen...
 - 14 auf der Indo-Australischen...
 - 21 auf der N-Amerikanischen...
 - 5 auf der S-Amerikanischen...
 - ... Platte

40

Quellen:

1990=NUVEL-1: DeMets, C., R. G. Gordon, D. F. Argus, and S. Stein, Current plate motions, Geophys. J. Int., 101, 425-478, 1990.
 2003=PB2002: Bird, P., An updated digital model of plate boundaries, Geochem. Geophys. Geosyst., 4(3), 1027, doi:10.1029/2003https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_tektonischen_Platten
 2019 https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tectonic_plates
 https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tectonic_plates

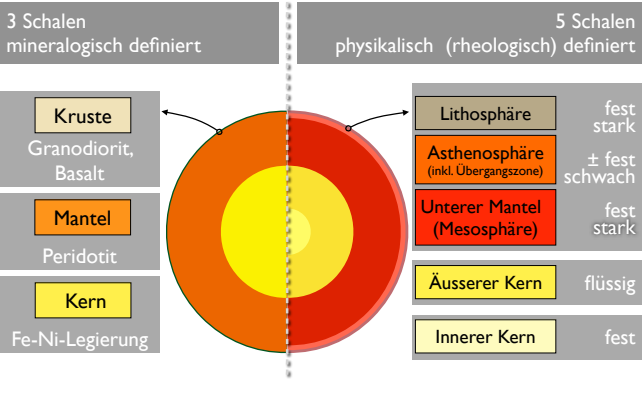
Schalenbau der Erde



41

Die Erde hat einen **schalenförmigen Aufbau**. Die äusserste Hülle ist die **Lithosphäre**. Darunter folgt die Asthenosphäre. Der untere Teil der Lithosphäre und die Asthenosphäre gehören zum oberen Mantel. Es folgt eine Übergangszone, die nicht immer separat ausgeschieden wird, sondern zum unteren Mantel gezählt wird. Der untere Mantel wird gelegentlich auch Mesosphäre genannt. Schliesslich kommt der äussere Kern und zu innerst ... der innere Kern.

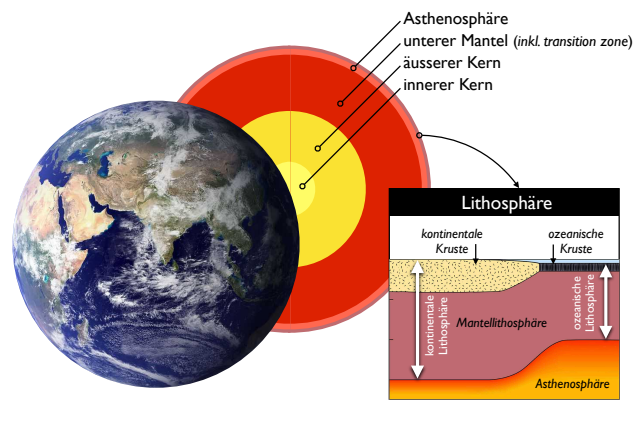
Lithosphäre ≠ Kruste



42

	Radius	Dicke
innerer Kern	1220km	1220km
äusserer Kern	3470km	2150km
unterer Mantel	5970km	2500km
Asthenosphäre	6220km	300-250km
Erdoberfläche	6370km	100-150km

Platten sind Lithosphärenplatten

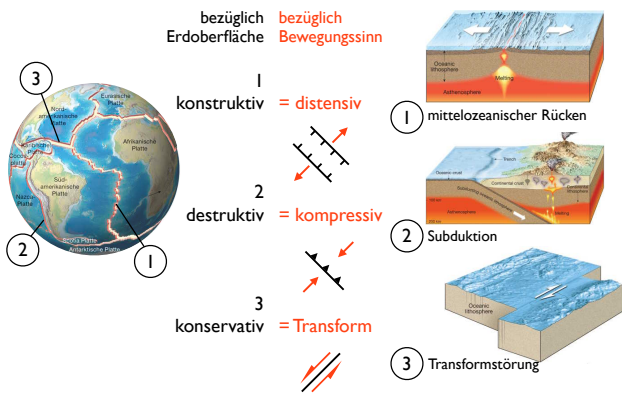


43

Die Lithosphäre besteht aus Kruste und oberem Mantel.

Die kontinentale Kruste ist relativ dick und besteht aus leichten Krustengesteinen, die ozeanische Kruste ist relativ dünn und besteht aus wesentlich dichtem Material.
 Die unter der Lithosphäre liegende Asthenosphäre besteht ausschliesslich aus Mantelgestein.

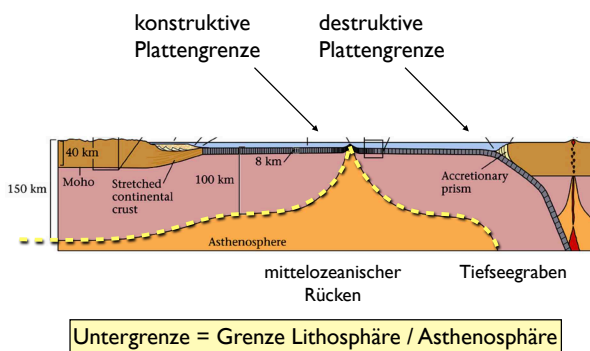
Plattengrenzen: 3 Typen



44

Typen von Plattengrenzen können entweder basierend auf ihrer Bedeutung für die Vergrößerung oder Verkleinerung der Erdoberfläche (schwarz) oder basierend auf die Relativbewegung der beiden benachbarten Platten (rot) definiert werden.

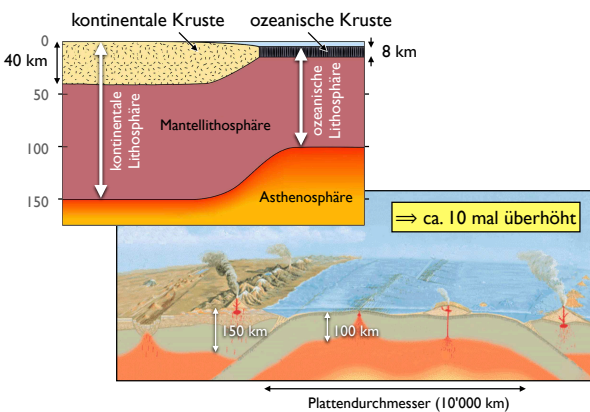
... und der 4. Typ



45

aber eben: es gibt auch eine vierte wichtige Grenze: die **Unterseite**. Diese ist allerdings nicht sichtbar – der Übergang zur Asthenosphäre ist graduell.

Platten sind dünner als man meint



46

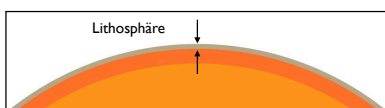
Um alle Aspekte von tektonischen Platten in einer Abbildung darstellen zu können, werden Platten im Verhältnis zu ihrer Grösse viel zu dick dargestellt. Das gibt einen völlig falschen Eindruck. Platten sind nämlich sehr dünn ... so **dünn wie Eierschalen**.

die (hauchdünne) Lithosphäre

	Dicke (%)
Lithosphäre	1.6
Asthenosphäre	4.7
unterer Mantel	39.3
äusserer Kern	35.4
innerer Kern	19.1
Erdradius	100.0

zum Vergleich:
Hühnerei (Grösse S)
Durchmesser = 40 mm
Schalendicke = 0.2 - 0.4 mm

Dicke Eierschale
= 1 - 2 % Eiradius



Dicke Lithosphäre
= 1.6 % Erdradius

47

Die **Lithosphäre** betrifft 2.4% der Masse der Erde, ihre **Dicke ist aber bloss 1.6% des Erdradius**. Im Verhältnis zur Erde ist sie also so dünn wie die Eierschale zum Ei.

Platten sind nicht platt

48

Tektonische Platten und ihre Bewegungen werden meistens in der Ebene dargestellt. Dabei sind sie stark **gewölbt**. Die Formel zur Berechnung der Wölbung lautet:

geg: Durchmesser der Platte auf der Erdoberfläche:

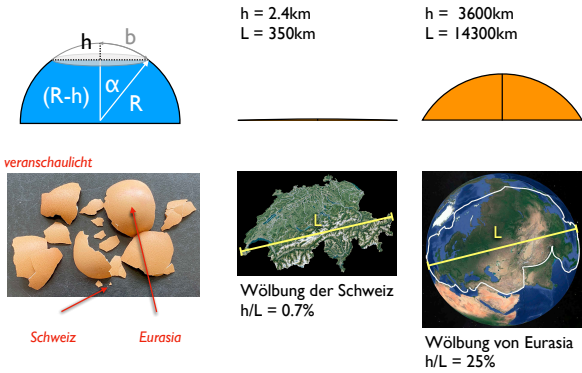
$2 \cdot b$ (km)

R = Erdradius = 6371km

$\alpha = b/R$ (b in km; α im Bogenmass)

ges: Höhe der Wölbung bezüglich der Sekante:

$h = R \cdot (1 - \cos(\alpha))$

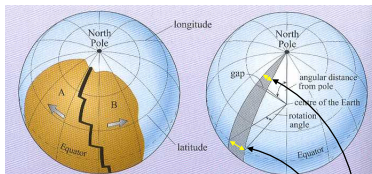


Platten bewegen sich

49

Platten rotieren

Platten bewegen sich nicht in einer Ebene in x- und y- Richtung ... mit einer Geschwindigkeit (m/s)



Leonhard Euler
(1707 - 1738)

Achtung:
konstante Winkelgeschwindigkeit bewirkt
breitenabhängige Oberflächengeschwindigkeit,
diese ist maximal am Äquator

... sondern auf einer Kugel
mit einer Winkel-
geschwindigkeit (p/s) um
einen Pol

50

Leonhard Euler (1707 in Basel – 1783).

Seine Mathematischen Methoden zur Behandlung von Bewegungen auf der Kugel ... als "Basler Beitrag zur Plattentektonik"....

Öffnungsraten Mittelatlantik

51

1. Öffnung des Mittelatlantiks vor ~200 Ma.
2. Öffnung des Nord- und Südatlantiks vor ~120Ma.
3. Öffnung zwischen N-Europa und Grönland vor ~60 Ma.

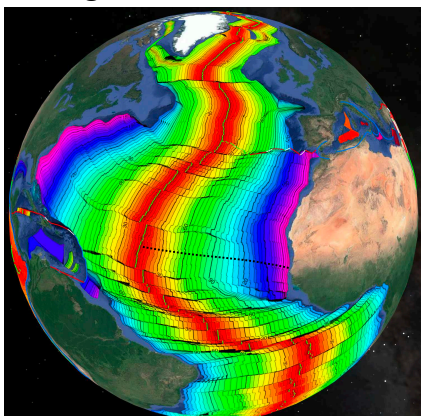
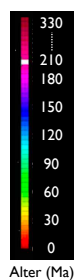
Am geschätzten "Äquator" (punktierte Linie) der Öffnung (Rotationsbewegung) des **Mittelatlantischen Rücken (MAR)**:

0-60 Ma: 2·920km \Rightarrow 30mm/a bzw. 0.27°/Ma

60-120 Ma: 2·1030km \Rightarrow 34mm/a bzw. 0.31°/Ma

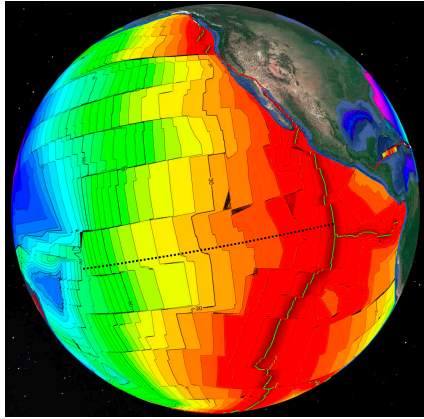
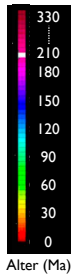
120-180Ma: 2·830km \Rightarrow 28mm/a bzw. 0.25°/Ma

d.h. relativ schnellste Öffnung zwischen 60-120Ma, beim Einsetzen der N- und S-Atlantiköffnung.



volks-
hochschule
beider basel

Öffnungsraten East Pacific Rise



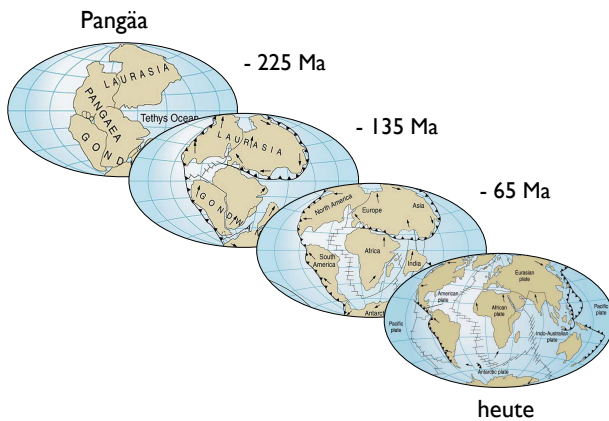
52

Am geschätzten "Äquator" (punktierte Linie) der Öffnung (Rotationsbewegung) des **East Pacific Rise (EPR)**:

0-30 Ma: 2·2900km \Rightarrow 193mm/a bzw. 1.74°/Ma
 30-60 Ma: 2·2000km \Rightarrow 133mm/a bzw. 1.30°/Ma
 60-90Ma: 2·800km \Rightarrow 53mm/a bzw. 0.48°/Ma
 Darstellung in Google Earth mit AgeOfEarthLithosphere.kmz (von <http://www.auxotectonics.science/ageoflithosphere/Welcome.html>)

volks-
hochschule
beider basel

Wilson Zyklus – erste Hälfte

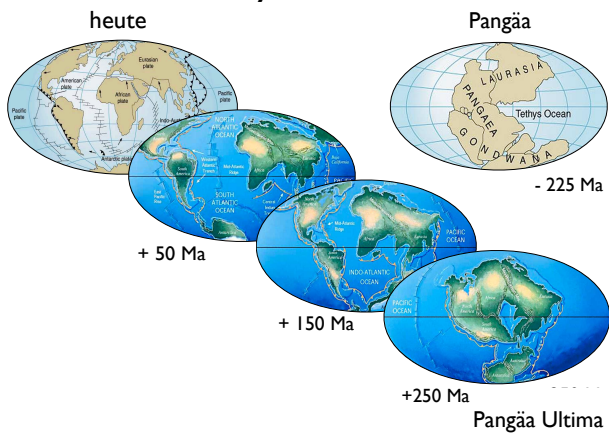


53

Zur Ehren von Wilson: **Wilson Cycle** - dauert mehrere Millionen Jahre - hier sieht man einen halben Pangäa = Gondwana + Laurasia
 Laurasia = N-Amerika + Europa-Asien
 Gondwana = S-Amerika + Afrika + Antarctica
 Afrika = Afrika + Indien + Arabien + Ostafrika (heute)

volks-
hochschule
beider basel

Wilson Zyklus – zweite Hälfte



54

Arabien kommt nicht aus der Klemme... Europa+Afrika verschmelzen
 Hauptakteur = pazifischer Rücken - nicht MAR
 Subduktion auf der Ostseite von Amerika
 MAR verschwindet, Erneute Kollision Nordamerika-Europa/Afrika
 ... ist nicht genau "vorne-auseinander-hinten-wieder-zusammen" wie berechnet.
 C.R. Scotese: <http://scotese.com>

volks-
hochschule
beider basel

Wilson Zyklus ... berechnet

Annahme: ein Superkontinent bricht entzwei und driftet auseinander.
 Frage: Wie lange dauert es, bis er auf der andern Seite der Erde wieder zusammen trifft und einen neuen Superkontinent bildet ?

Radius (Superkontinent) = $5 \cdot 10^6$ m (5000 km)
 Erdumfang = $4 \cdot 10^7$ m (40'000 km)
 Driftgeschwindigkeit v = 3 cm/Jahr (= $3 \cdot 10^{-2}$ m/a)

Lösung:

Weg s = 1/2 Erdumfang - Radius Superkontinent
 = $20 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6 = 15 \cdot 10^6$ m

Zeit t = Weg / Driftgeschwindigkeit = s / v
 = $15 \cdot 10^6 \text{ m} / 3 \cdot 10^{-2} \text{ m/a} = 5 \cdot 10^8 \text{ a}$
 = 500 Ma

55

wieder eine Überschlagsrechnung

... schlechte "Neuigkeiten"

56

... vom September 2023, die nicht ganz so neu sind...

in einem für die Menschheit
tödlichen Prozess zu einem
Superkontinent vereinen

that will [push mammals to
extinction.](#)

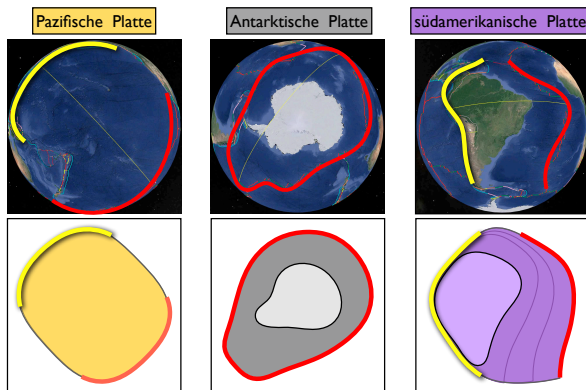
57

Platten verändern sich

58

Die **Platten bewegen sich** von den Quellen (mittelozeanische Rücken) weg und auf Senken (Subduktionszonen bzw. Kollisionen mit andern Platten) zu.
Wir wollen die pazifische, die antarktische und die südamerikanische Platte betrachten.

Sie bewegen sich nicht nur ...



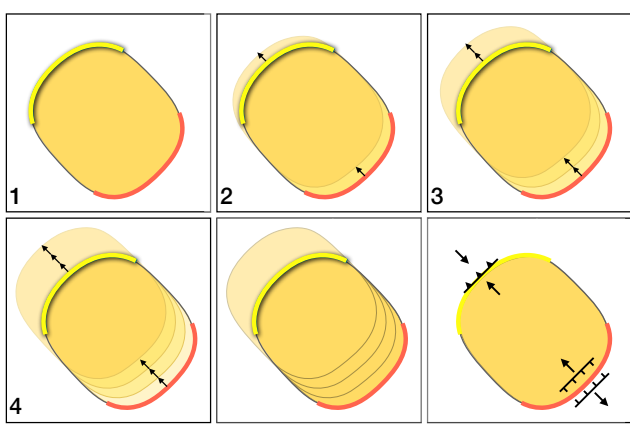
hell = kontinentaler Anteil, dunkel = ozeanischer Anteil

59

Bewegung einer schematischen pazifischen Platte.

Sie bewegt sich von Quelle (East pacific Rise) zur Senke (Aleuten, Japan, etc....). Wenn die Wachstumsgeschwindigkeit und die Versenkungsgeschwindigkeit gleich sind, bleibt die Platte gleich gross es herrscht reines re-cycling..

...sie ändern sich auch

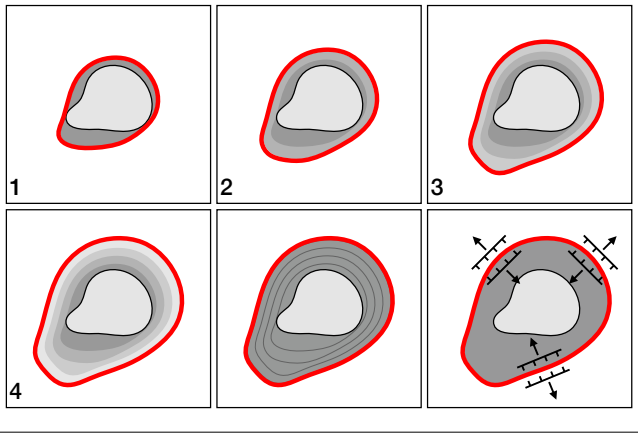


... sie können allseitig wachsen ...

60

Bewegung einer schematischen antarktischen Platte

Die antarktische Platte ist von Quellen umgeben, d.h. sie wächst.

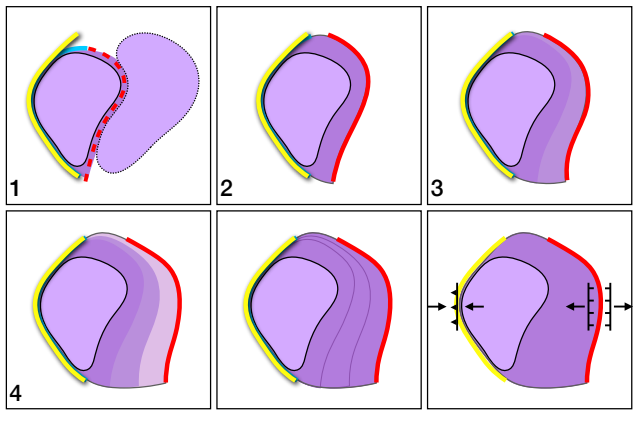


... oder wachsen und schrumpfen

61

Bewegung einer schematischen südamerikanischen Platte

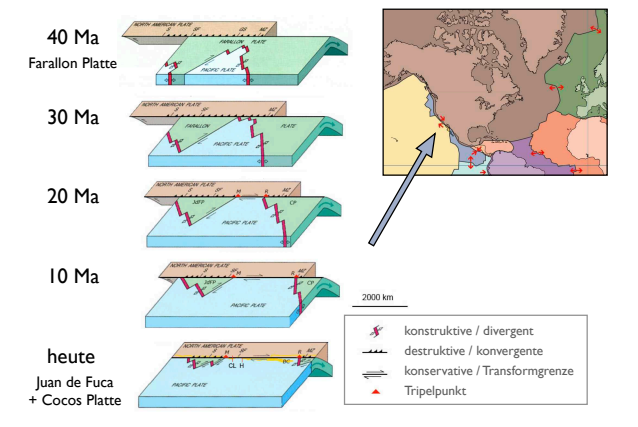
Die südamerikanische Platte entsteht durch das Auseinanderbrechen von Pangäa. Der mittelatlantische Rücken trennt Afrika von Südamerika, dort wächst die Südamerikanische Platte. Auf der Ostseite befindet sich eine Subduktionszone, wo die Nasca Platte untertaucht. Die Südamerikanische Platte wird dort langsamer verkürzt als sie im Osten wächst.



Platten können verschwinden

62

Die Juan de Fuca Platte und die Cocos Platte sind Überreste der **Farallonplatte**



Zusammenfassung

63

was wir besprochen haben:

1. Bausteine der plattentektonischen Theorie
2. Kartierung des Ozeanbodens
3. seafloor spreading = Quelle für Erdoberfläche
4. Subduktionen = Senken für Erdoberfläche
5. Hotspots zeigen, dass Platten steif sind
6. Transformstörungen bilden zusammenhängende Plattengrenzen
7. Plattengrenzen
8. Plattenbewegungen
9. Platten verändern sich in Zeit und Raum

... und jetzt im Detail !