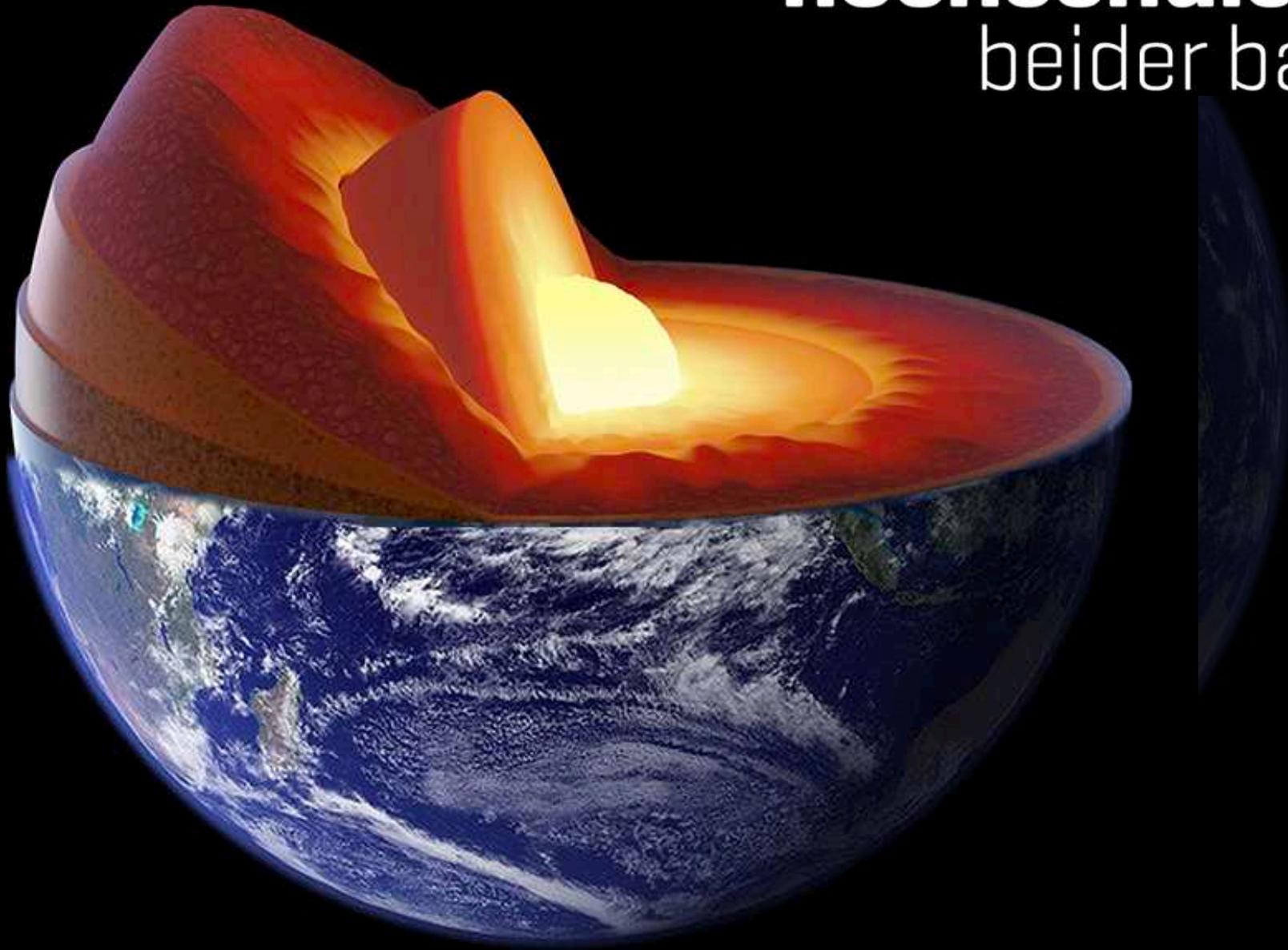


**volks—
hochschule**
beider basel



Renée Heilbronner **Faszination Plattentektonik**

... jetzt geht's in die Tiefe !

6. November

(1) Unsere Erde: ein ganz spezieller Planet.

Wir werden uns als erstes mit dem Aufbau der Erde und dem Konzept der Lithosphärenplatten vertraut machen. Auf einem Rundgang um die Europäische Platte, entlang verschiedener Typen von Plattengrenzen (konverktiver, diverktiver und konservativer) werden wir unsere eigene und unsere Nachbarplatten kennen lernen.

wie siehts aus ?

13. November

(2) Plattentektonik in Aktion: Dynamik im grossen Stil

Plattentektonik macht sich vor allem an den Plattengrenzen bemerkbar. Vulkanismus und Erdbebenaktivität sind typische Begleiterscheinungen. Plattentektonik ist aber auch eine wichtige Voraussetzung für das Leben auf der Erde. Durch den Kohlenstoff-Kreislauf, den sie aufrecht erhält, trägt sie wesentlich zum Erhalt lebensfreundlicher Bedingungen bei.

wie funktioniert's ?

20. November

(3) Lebensfreundliches Universum - lebensfreundlicher Planet

Die Erde war nicht von Anfang an lebensfreundlicher Planet, den wir heute kennen. Sowohl die Kontinente als auch die Ozeane sind vor allem die Atmosphäre machten sich erst entwickelt. Wir werden die Entwicklung der Erde nachvollziehen - von der Entstehung des Universums, dem Big Bang, bis heute. Dabei werden wir sehen, wie eng die tektonische Entwicklung unseres Planeten und die Entwicklung des Lebens von einander abhängen.

wie kam es dazu ?

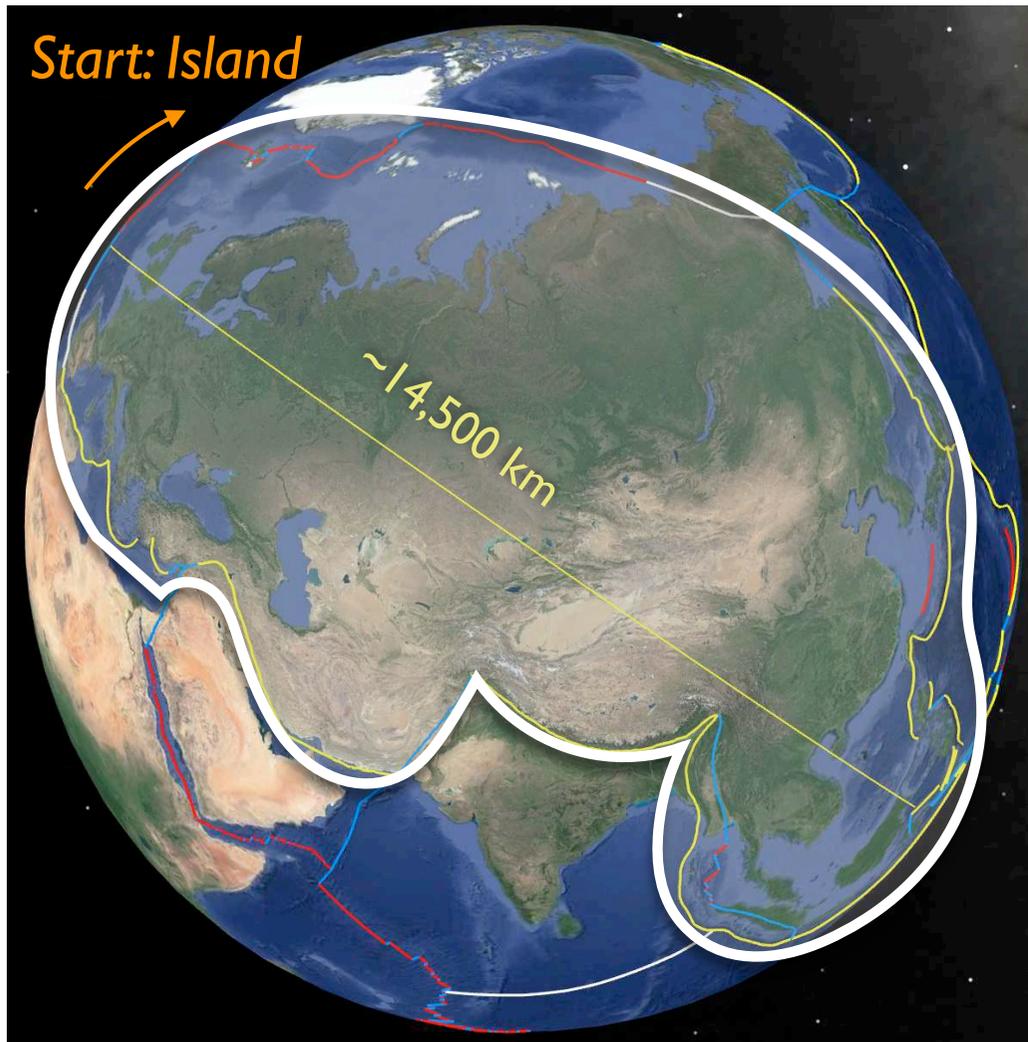
27. November

(4) Plattentektonik vor unserer Haustür

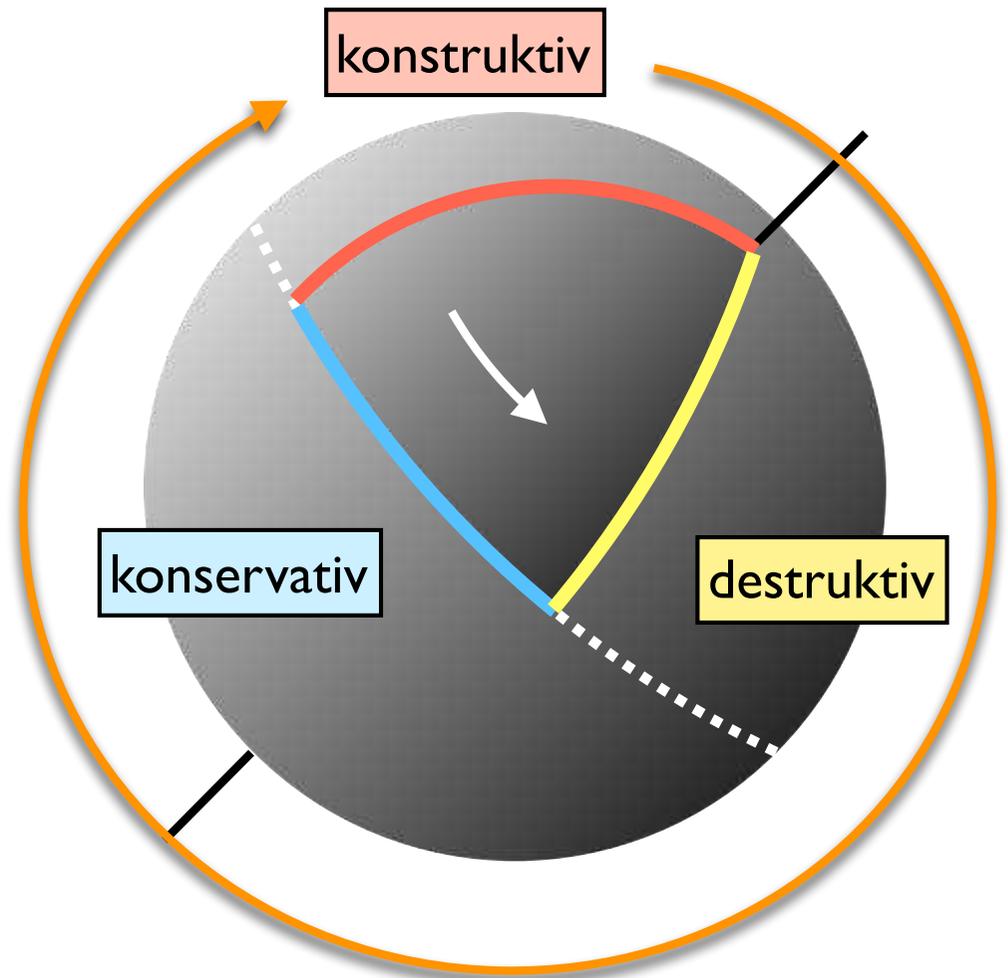
Zum Abschluss schauen wir uns an, welche Spuren die letzten 200 Millionen Jahre Plattentektonik in der Schweizer Landschaft hinterlassen haben: was bei der Kollision der afrikanischen und der eurasischen Platten entstanden ist, was vom Ozeanboden des Tethys-Ozeans noch übrig ist, und welche Plattenbewegungen wir heute noch spüren.

swissness

... wo waren wir ?



- Plattengrenzen:
- konstruktive
 - destruktive
 - konservative (=Transform)



Wiederaufnahme

konstruktive Plattengrenzen

Island

Gakkel

Amur

konstruktive Plattengrenze ... an Land

sea floor spreading - plate motion (GPS)

Kontinental-Rift Schwereanomalie

destruktive Plattengrenzen

Okhotsk

Philippinische

Tiefbeben zeigen abtauchende Platte an

beachballs zeigen Subduktion an

Nachbarplatten

Pazifische

Sunda

Hotspot - Signatur der Plattenbewegung

ring of fire - Subduktionsvulkanismus

konservative Plattengrenzen

Anatolia

Erdbeben an der Verwerfung

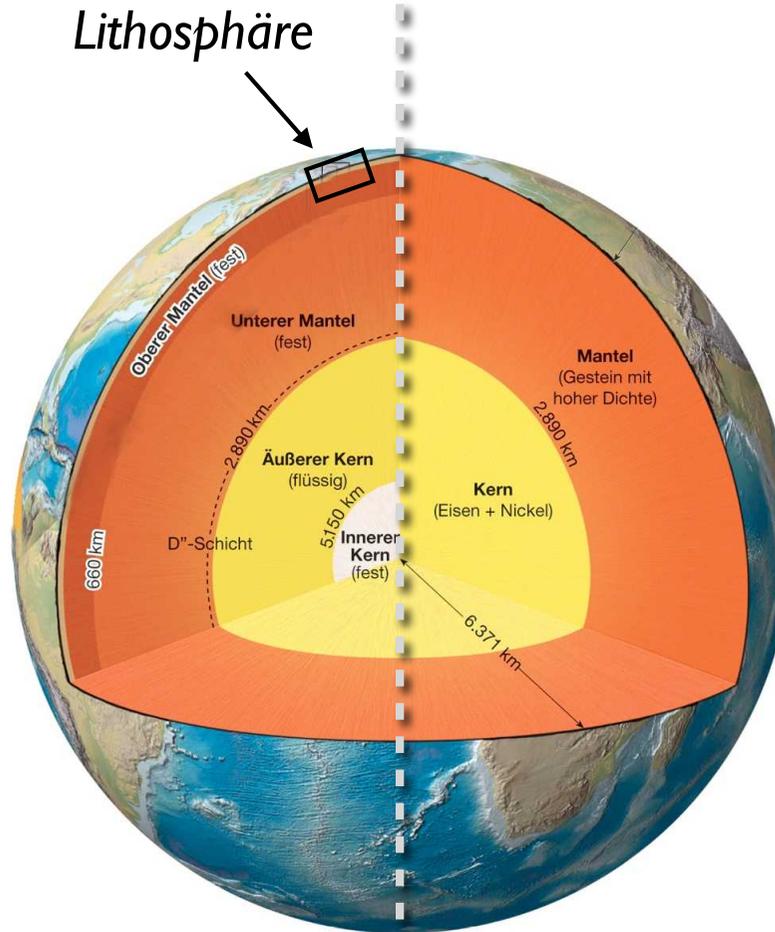


aus dem Lehrbuch: Aufbau der Erde

physikalische / rheologische
Eigenschaften

chemische / mineralogische
Zusammensetzung

Lithosphäre	fest stark
Asthenosphäre (inkl. Übergangszone)	± fest schwach
Unterer Mantel (Mesosphäre)	fest stark
Äusserer Kern	flüssig
Innerer Kern	fest

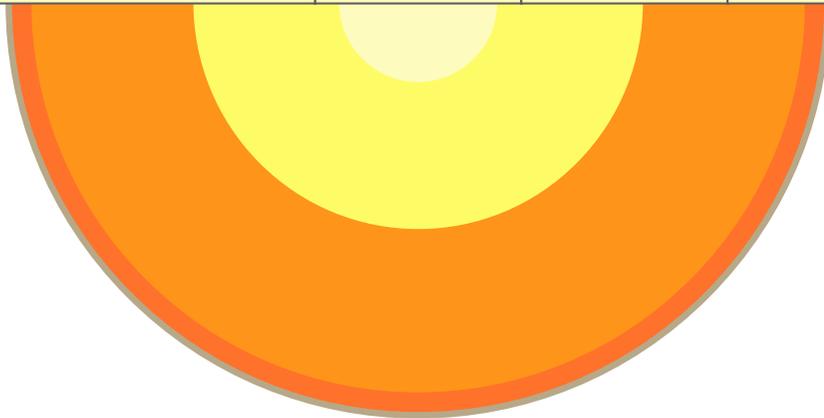


Kruste
Granodiorit, Basalt
Mantel
Peridotit
Kern
Fe-Ni-Legierung

ein paar Zahlen

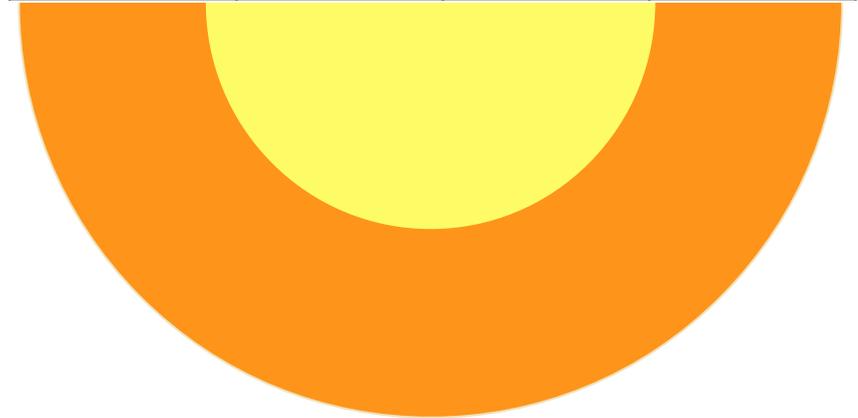
physikalische / rheologische
Einheiten

	Dicke (%)	Volumen (%)	Masse (%)
Lithosphäre	1.6	4.6	2.4
Asthenospäre	4.7	13.0	7.7
Mantel	39.3	66.2	57.6
äusserer Kern	35.4	15.5	30.6
innerer Kern	19.1	0.7	1.6



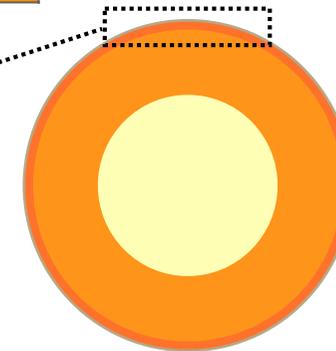
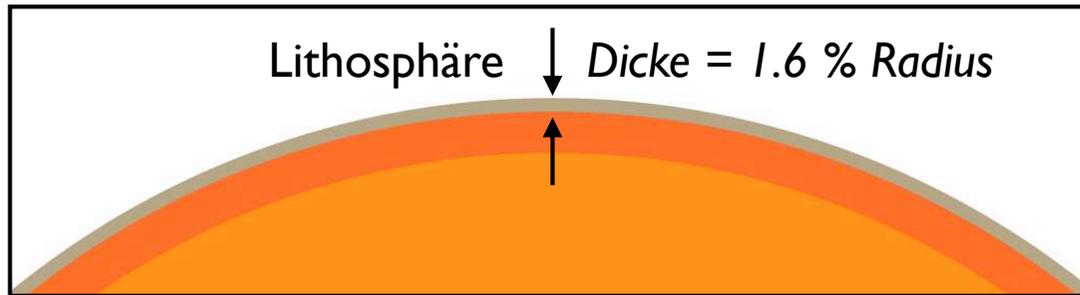
chemische / mineralogische
Einheiten

	Dicke (%)	Volumen (%)	Masse (%)
Kruste	0.5	1.4	0.7
Mantel	45.0	82.4	67.1
Kern	54.5	16.2	32.2



die (hauchdünne) Lithosphäre

	Unter- grenze (km)	rel. Dicke (%)	rel. Volumen (%)	rel. Masse (%)
Lithosphäre	100	1.6	4.6	2.4
Asthenospäre	400	4.7	13.0	7.7
Mantel	2900	39.3	66.2	57.6



zum Vergleich:

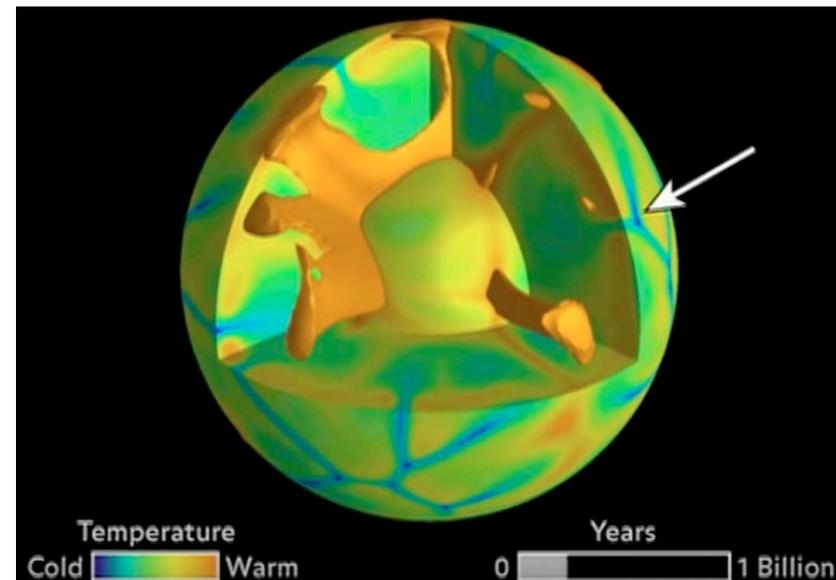
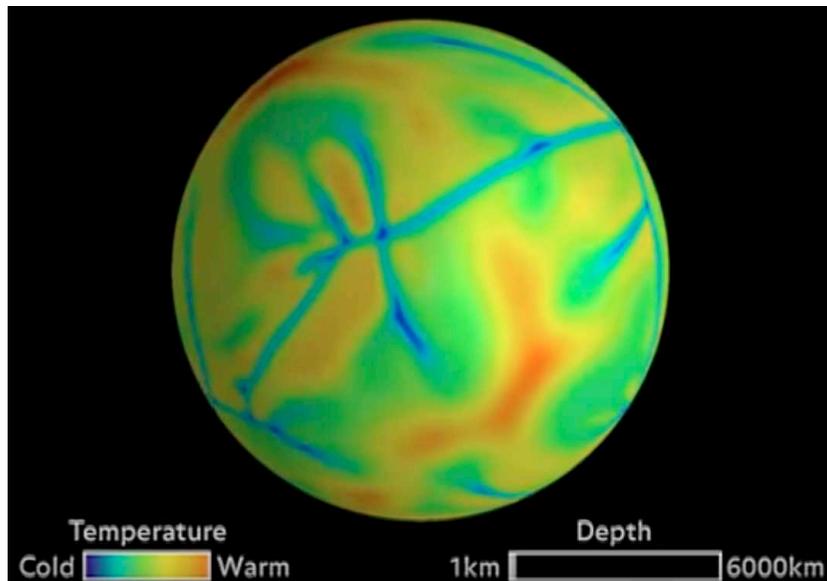
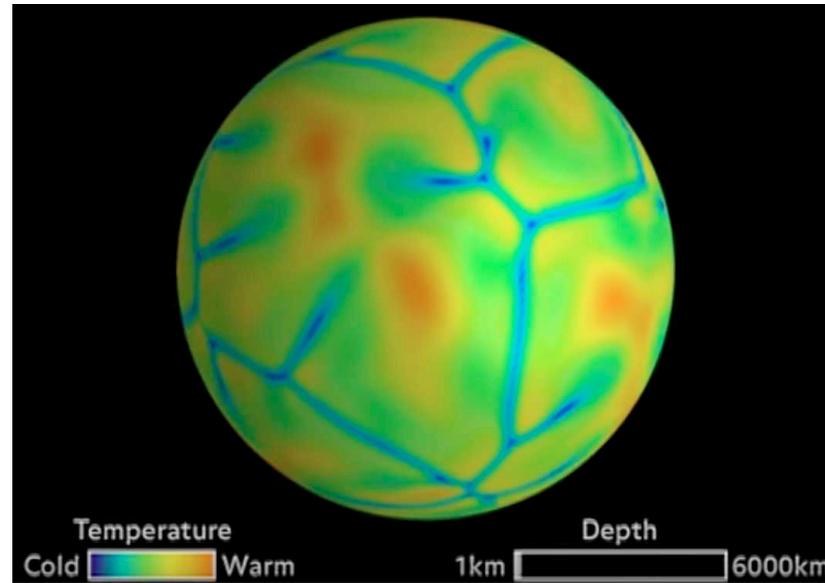
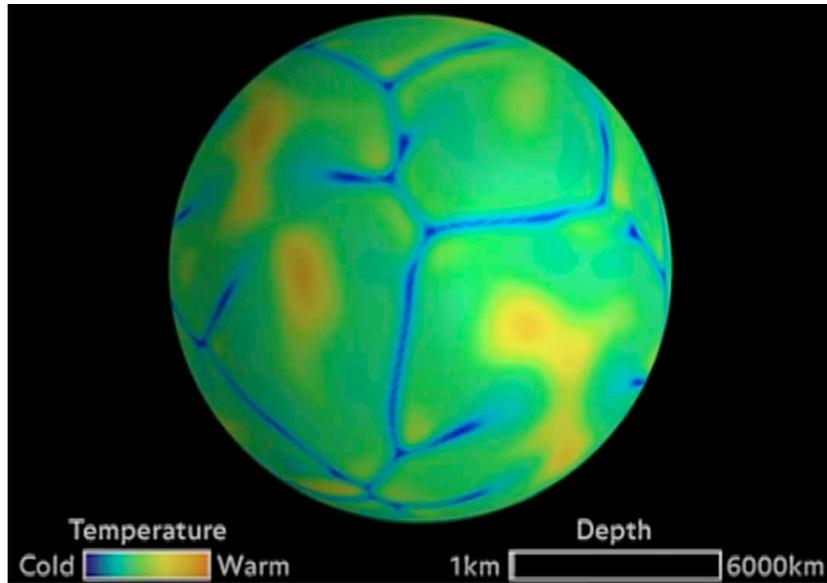
Hühnerei (Grösse S)

Schalendicke / Radius

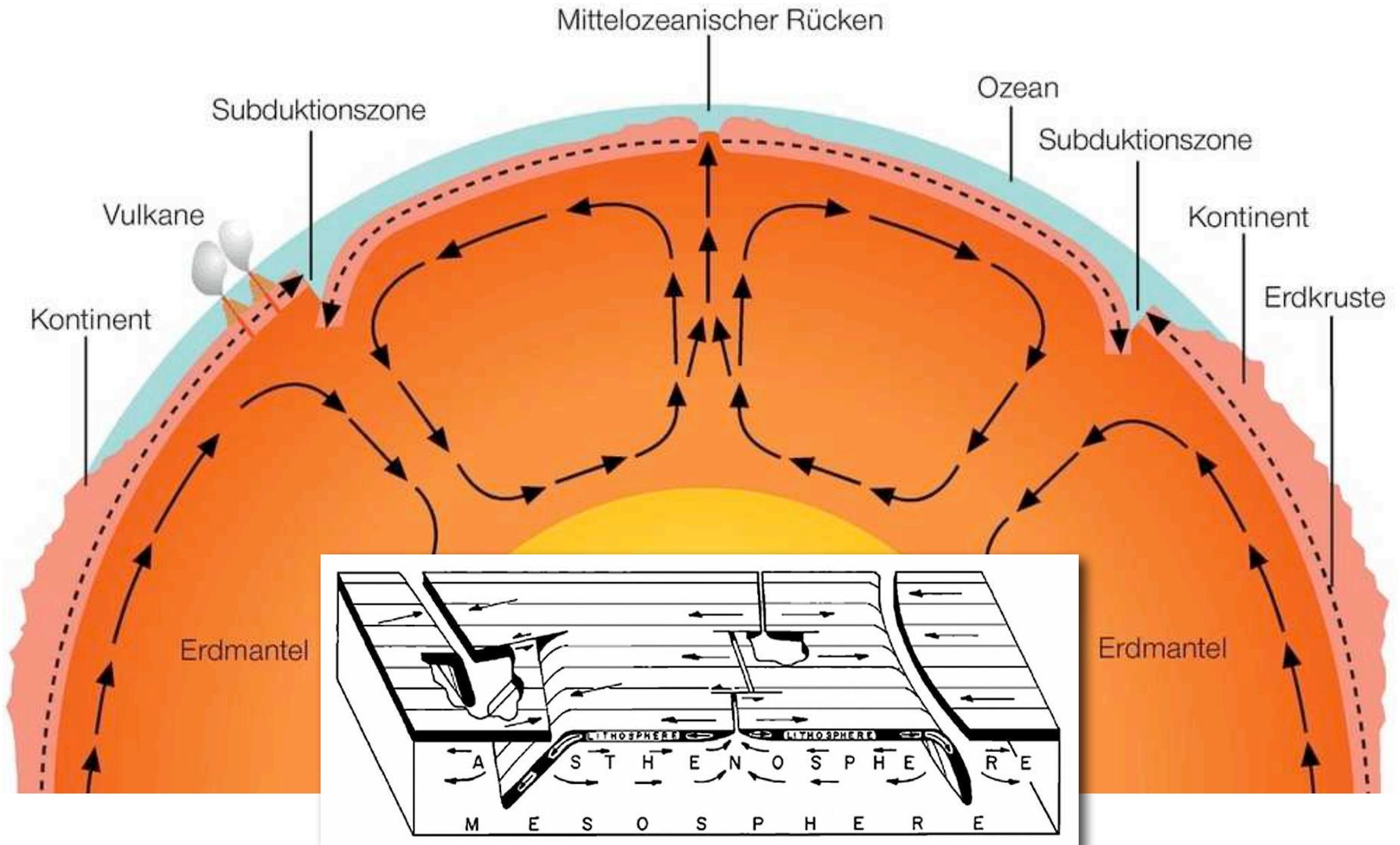
= 0.2 - 0.4 mm / 20 mm

= 1.0 - 2.0 %

Abkühlung führt zu Mantelkonvektion



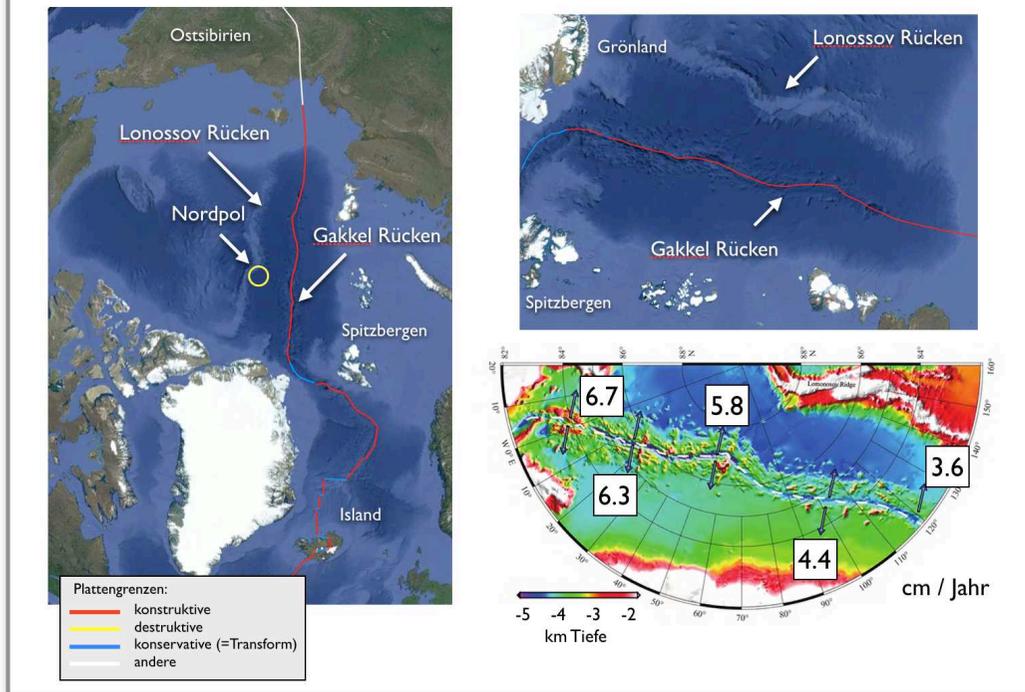
plattentektonischer Kreislauf ...



wie funktioniert seafloor spreading ?

Station I

sea floor spreading am Nordpol ...



Plattentektonik sagt:

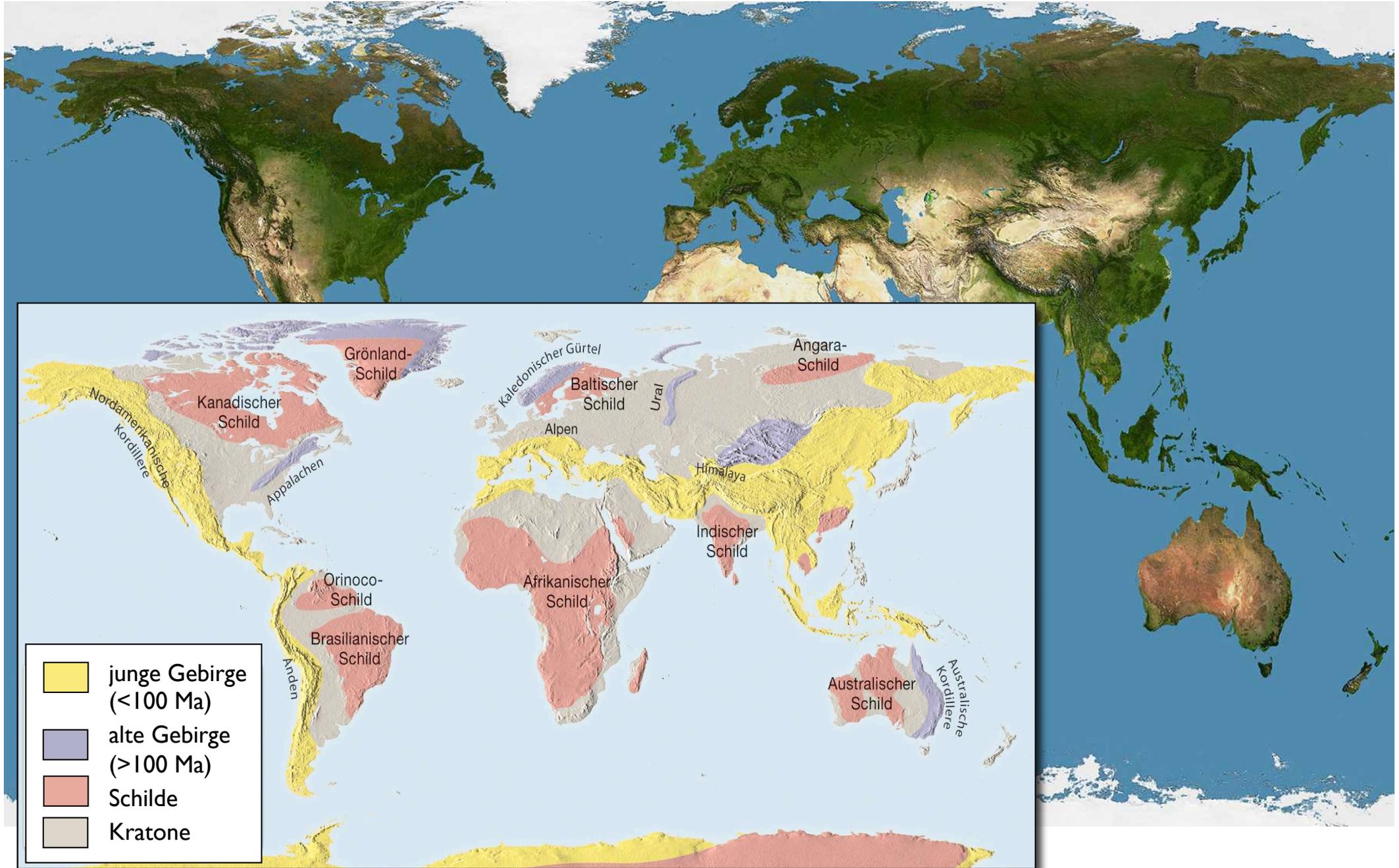
- Spreizungsrücken sind Canyons
- Magma tritt in Spalten aus ...
- ... und heftet sich an die Platten
- ozeanische Rücken öffnen sich ...
- ... mit <1 bis 10 cm / Jahr

konstruktive Plattengrenze

woher wissen wir das ?

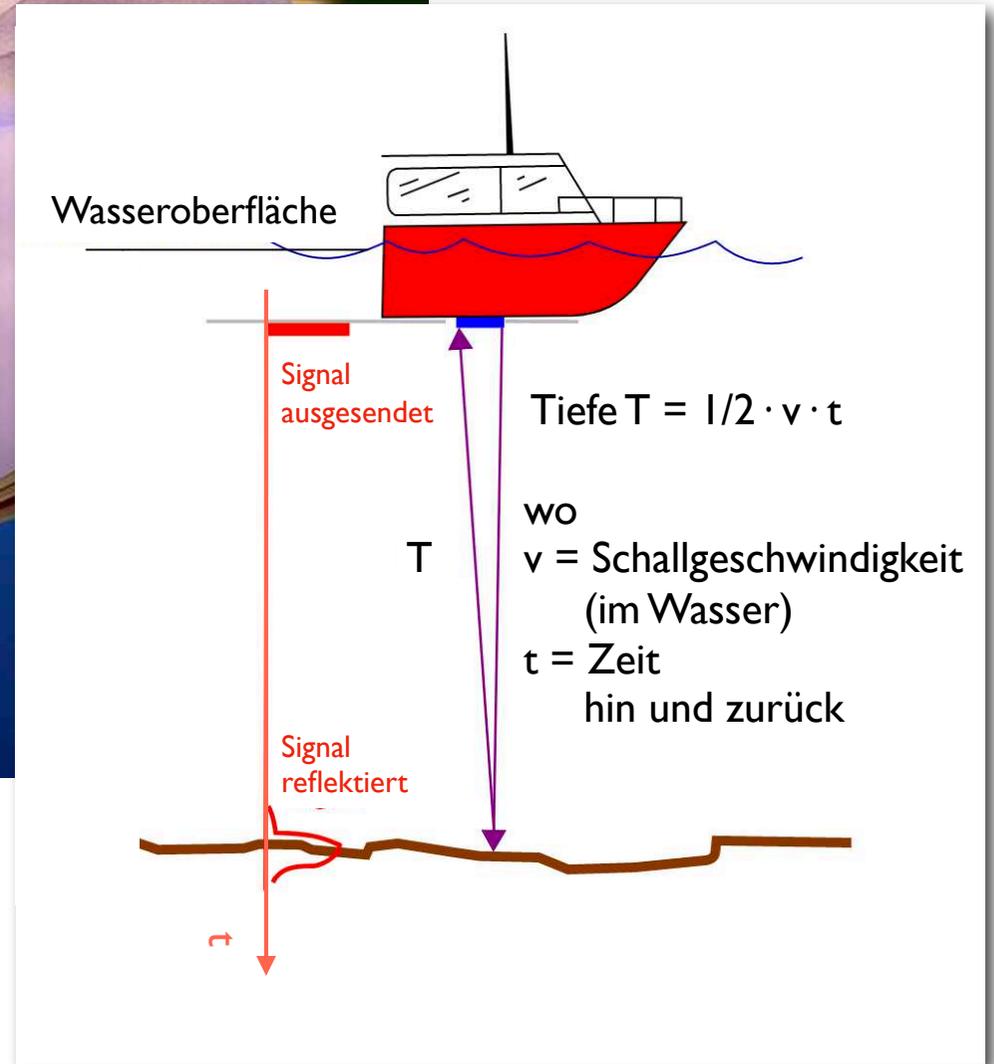
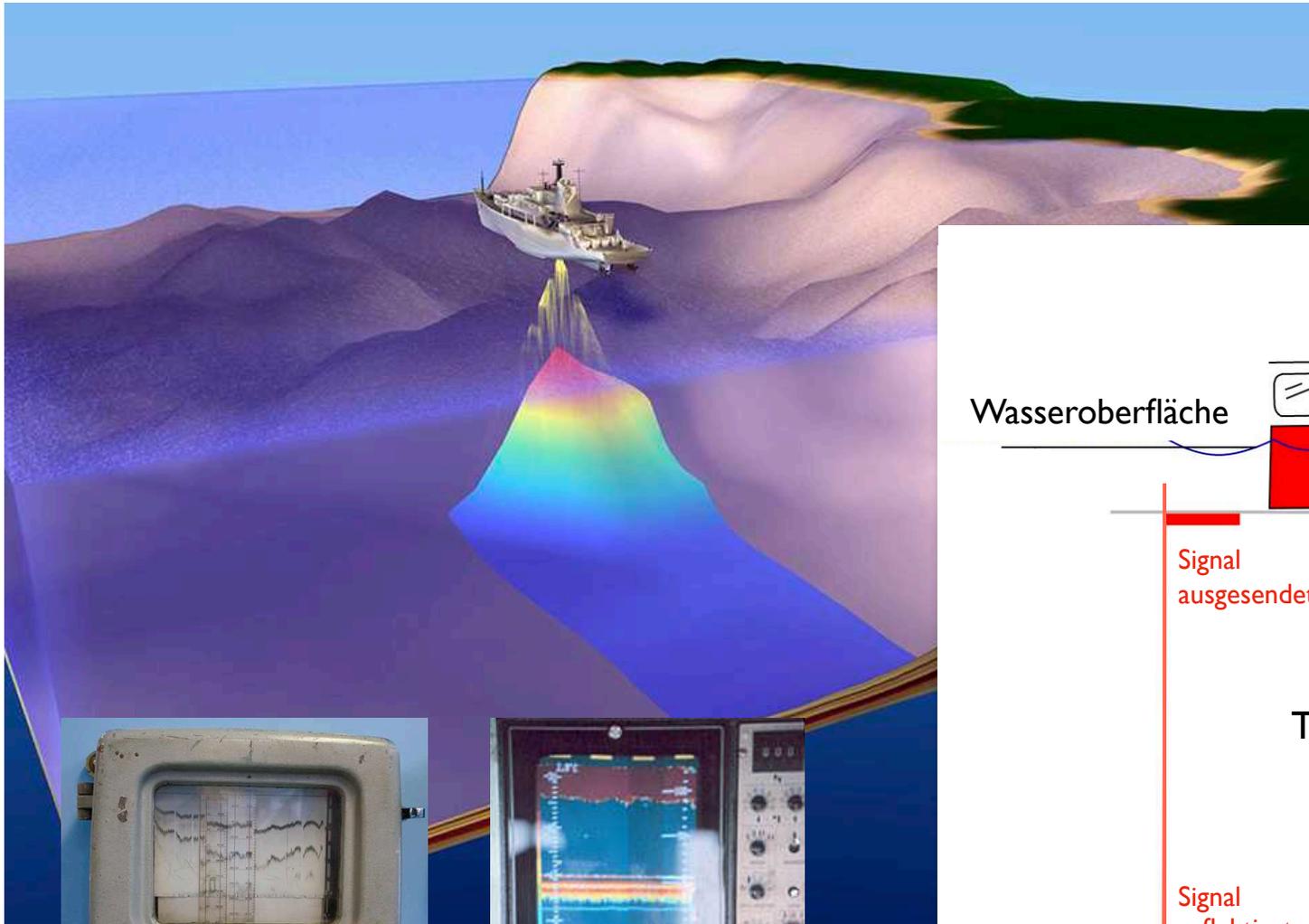
- Kartierung des Ozeanbodens Sonar bzw. Echolot
- seafloor spreading
- magnetische Lineationen, Magnetfeld der Erde
- ...

vor WW2: Ozeanböden ± unbekannt



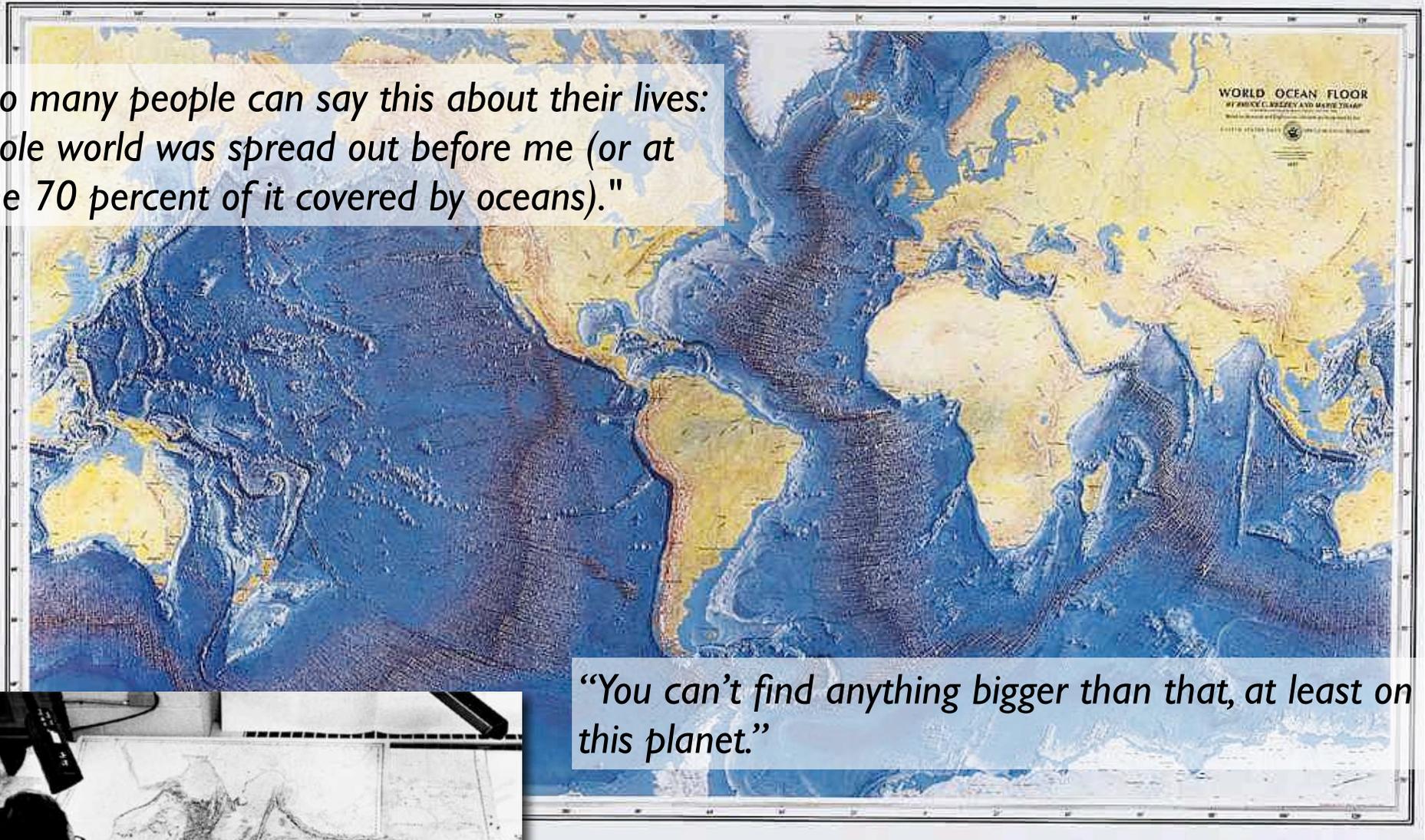
bekannt waren Kontinente (Kratone, Schilde, Gebirge) ... aber nicht die Ozeanböden

... aber wie sieht der Ozeanboden aus ?

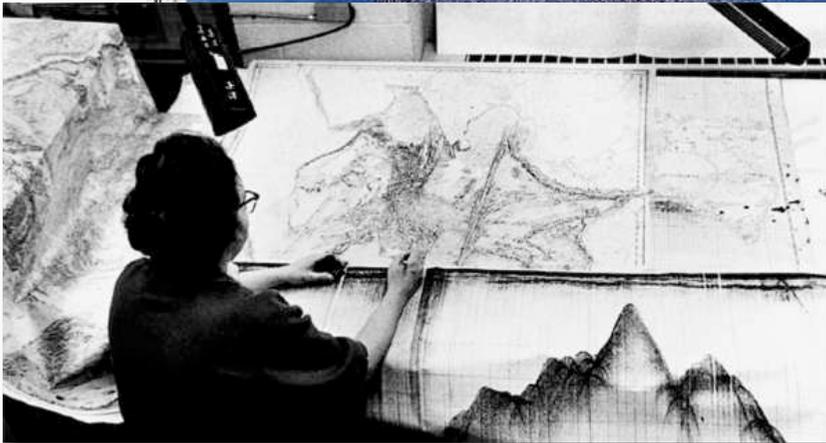


Kartierung des Ozeanbodens

"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)."



"You can't find anything bigger than that, at least on this planet."



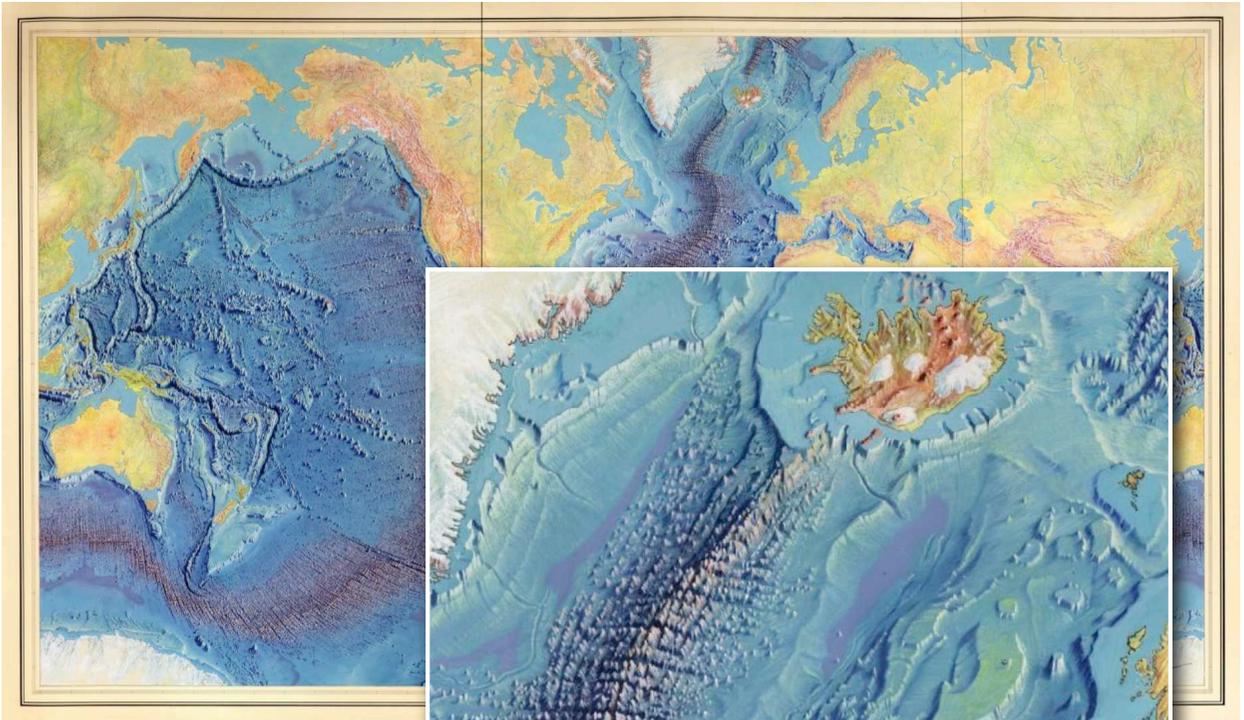
Marie Tharp working on a map of the ocean floor at Columbia in the 1960s.
Credit Lamont-Doherty Earth Observatory.
New York Times Magazine, Dec. 31, 2006

Marie Tharp 1920-2006



Marie Tharp
(1920 - 2006)

Bruce Heezen
(1924 - 1977)



Heinrich C. Berann,
(1915-1999)



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

seafloor spreading



Harry Hammond Hess
(1906 - 1969)

PETROLOGIC STUDIES: A VOLUME TO HONOR
A. F. BUDDINGTON
PP. 599-620 NOVEMBER 1962

History of Ocean Basins

H. H. HESS

Princeton University, Princeton, N. J.

ABSTRACT

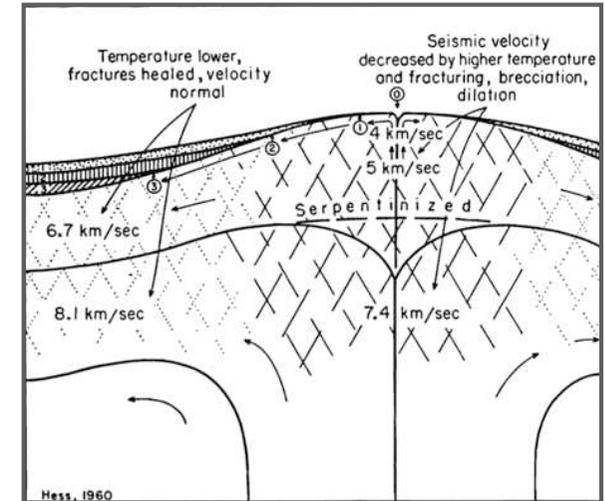
For purposes of discussion certain simplifying assumptions are made as to initial conditions on the Earth soon after its formation. It is postulated that it had little in the way of an atmosphere or oceans and that the constituents for these were derived by leakage from the interior of the Earth in the course of geologic time. Heating by short-lived radio nuclides caused partial melting and a single-cell convective overturn within the Earth which segregated an iron core, produced the primordial continents, and gave the Earth its bilateral asymmetry.

Mid-ocean ridges have high heat flow, and many of them have median rifts and show lower seismic velocities than do the common oceanic areas. They are interpreted as representing the rising limbs of mantle-convection cells. The topographic elevation is related to thermal expansion, and the lower seismic velocities both to higher than normal temperatures and microfracturing. Convective flow comes right through to the surface, and the oceanic crust is formed by hydration of mantle material starting at a level 5 km below the sea floor. The water to produce serpentine of the oceanic crust comes from the mantle at a rate consistent with a gradual evolution of ocean water over 4 aeons.

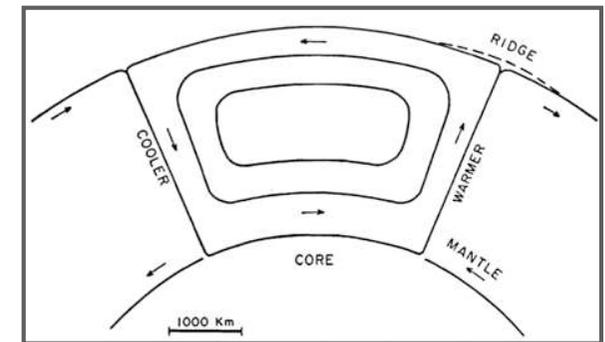
Ocean ridges are ephemeral features as are the convection cells that produce them. An ancient trans-Pacific ridge from the Marianas Islands to Chile started to disappear 100 million years ago. Its trace is now evident only in a belt of atolls and guyots which have subsided 1-2 km. No indications of older generations of oceanic ridges are found. This, coupled with the small thickness of sediments on the ocean floor and comparatively small number of volcanic seamounts, suggests an age for all the ocean floor of not more than several times 10^8 years.

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.

Finally, the depth of the M discontinuity under continents is related to the depth of the oceans. Early in the Earth's history, when it is assumed there was much less sea water, the continental plates must have been much thinner.



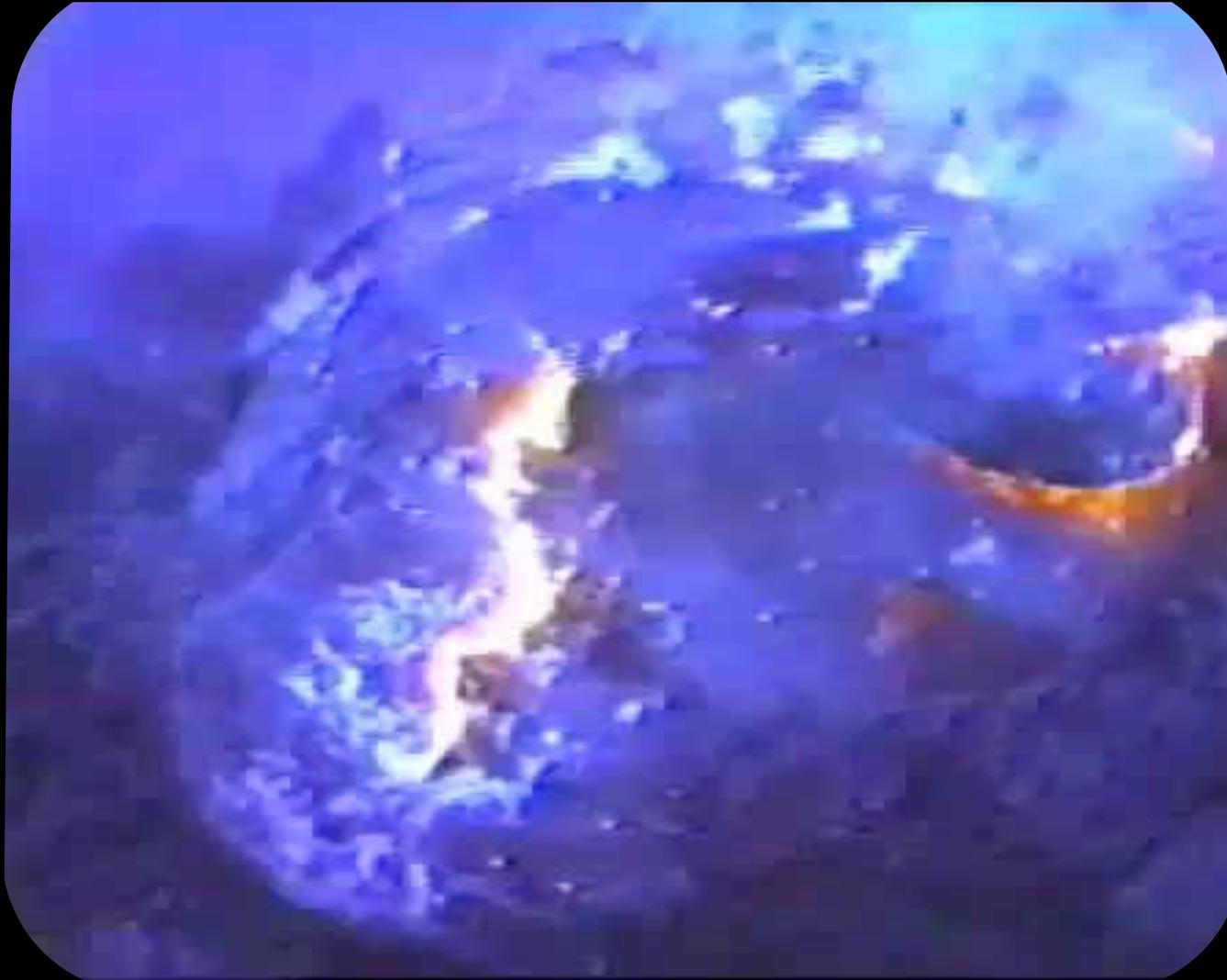
"mittelozeanischer Rücken"



"Konvektionszelle"

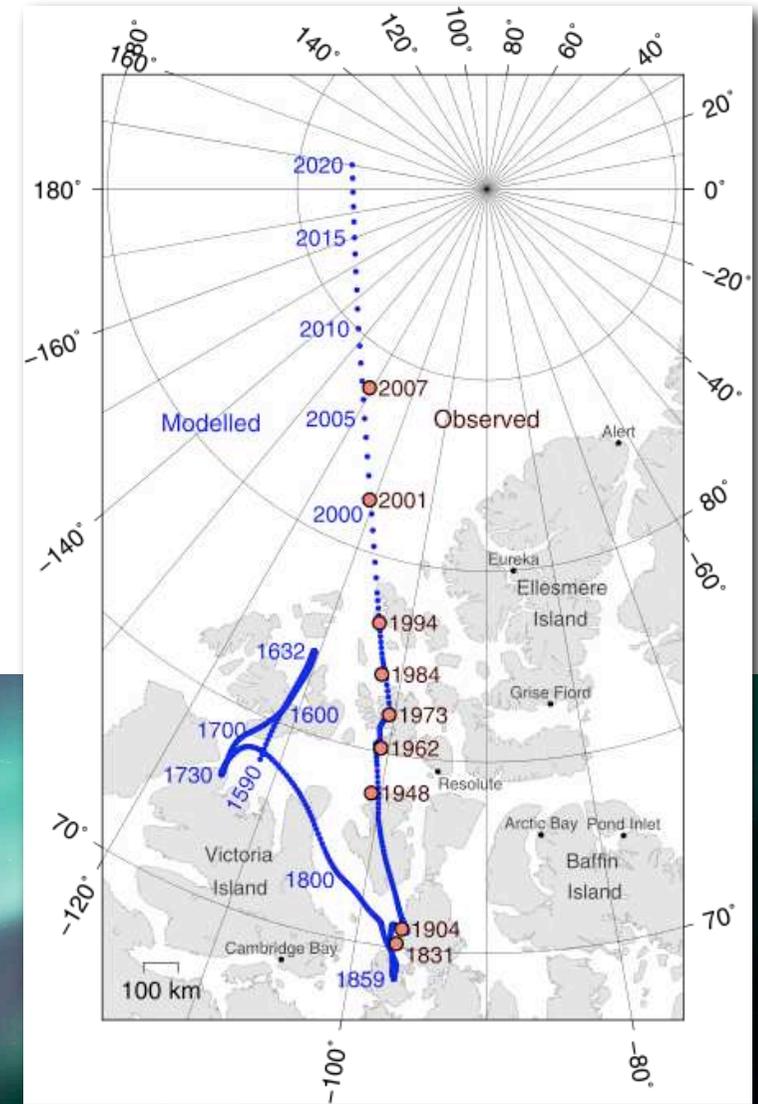
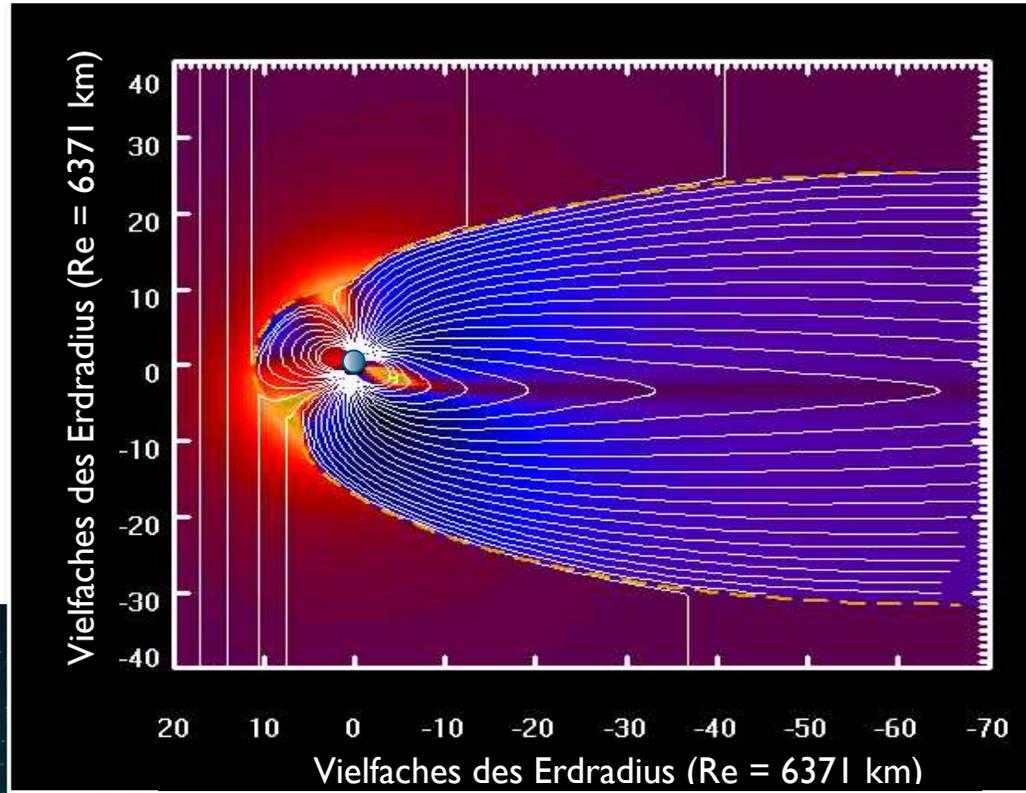
The Mid-Atlantic Ridge is truly median because each side of the convecting cell is moving away from the crest at the same velocity, *ca.* 1 cm/yr. A more acceptable mechanism is derived for continental drift whereby continents ride passively on convecting mantle instead of having to plow through oceanic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

sea floor spreading in Aktion



www.youtube.com/watch?v=DdIUuUY0L9c

Exkurs: das Magnetfeld der Erde



Wanderung des magnetischen Nordpols

Aura borealis in Nordnorwegen

... es gibt mehr als einen Nordpol ...



Geographischer Nordpol ($90^{\circ}0' 0''$ N)

= nördlichster Punkt

North geographical pole / True North

Magnetischer Nordpol ($83^{\circ}57'0''$ N, $120^{\circ}43'12''$ W)

= Arktischer Magnetpol

Feldlinien senkrecht zur Erdoberfläche

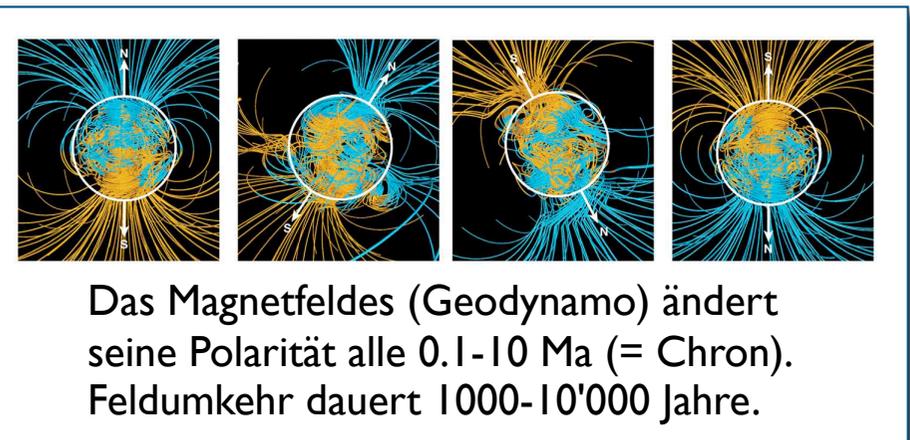
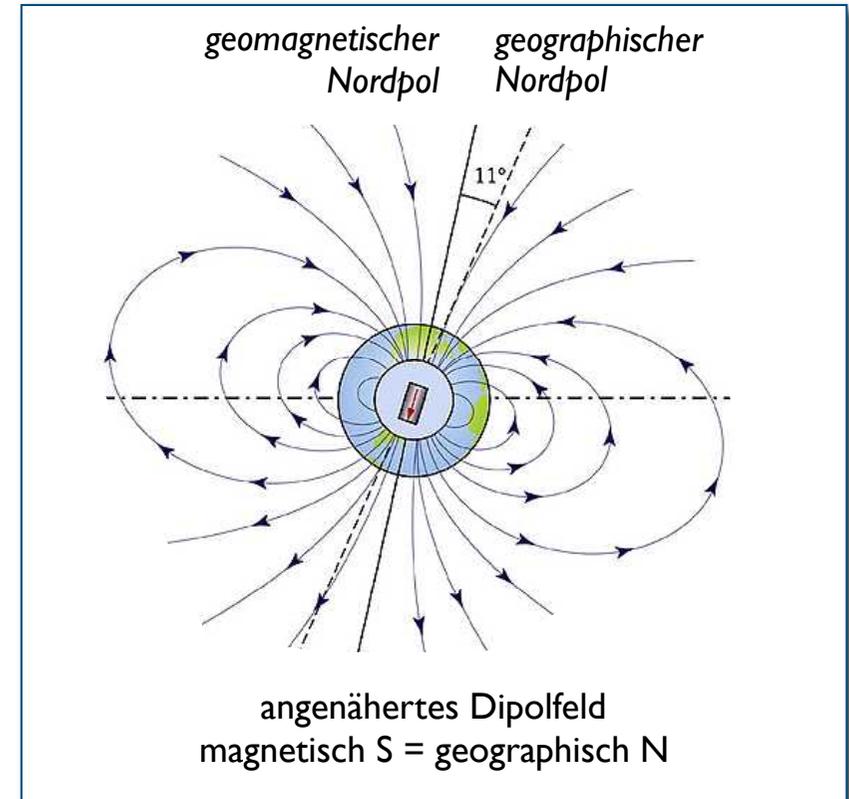
North magnetic pole

Geomagnetischer Nordpol ($80^{\circ}1'12''$ N, $72^{\circ}12'36''$ W)

= Arktischer geomagnetischer Pol

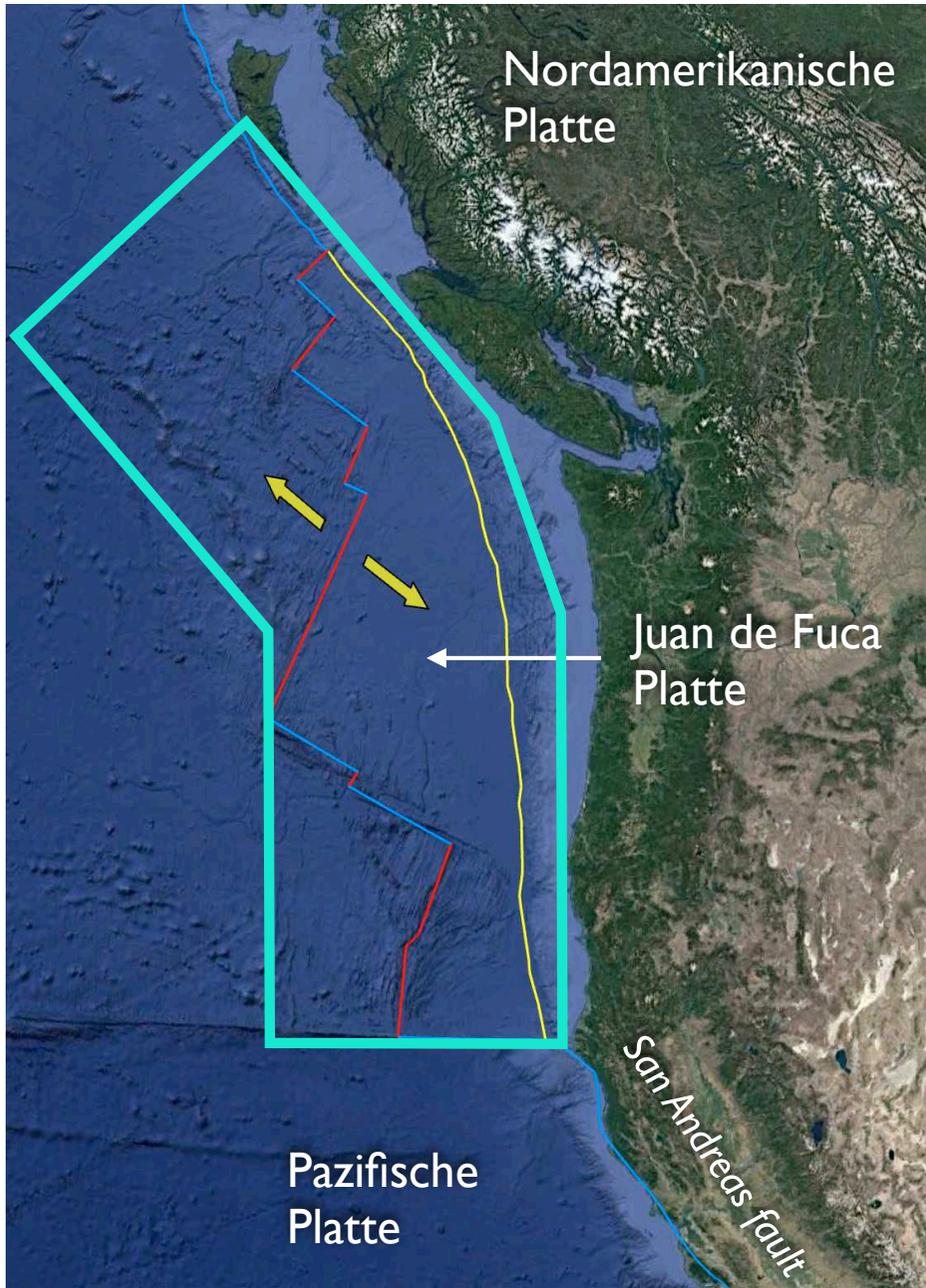
Pol zum angenäherten Dipol des Erdfeldes

North geomagnetic pole



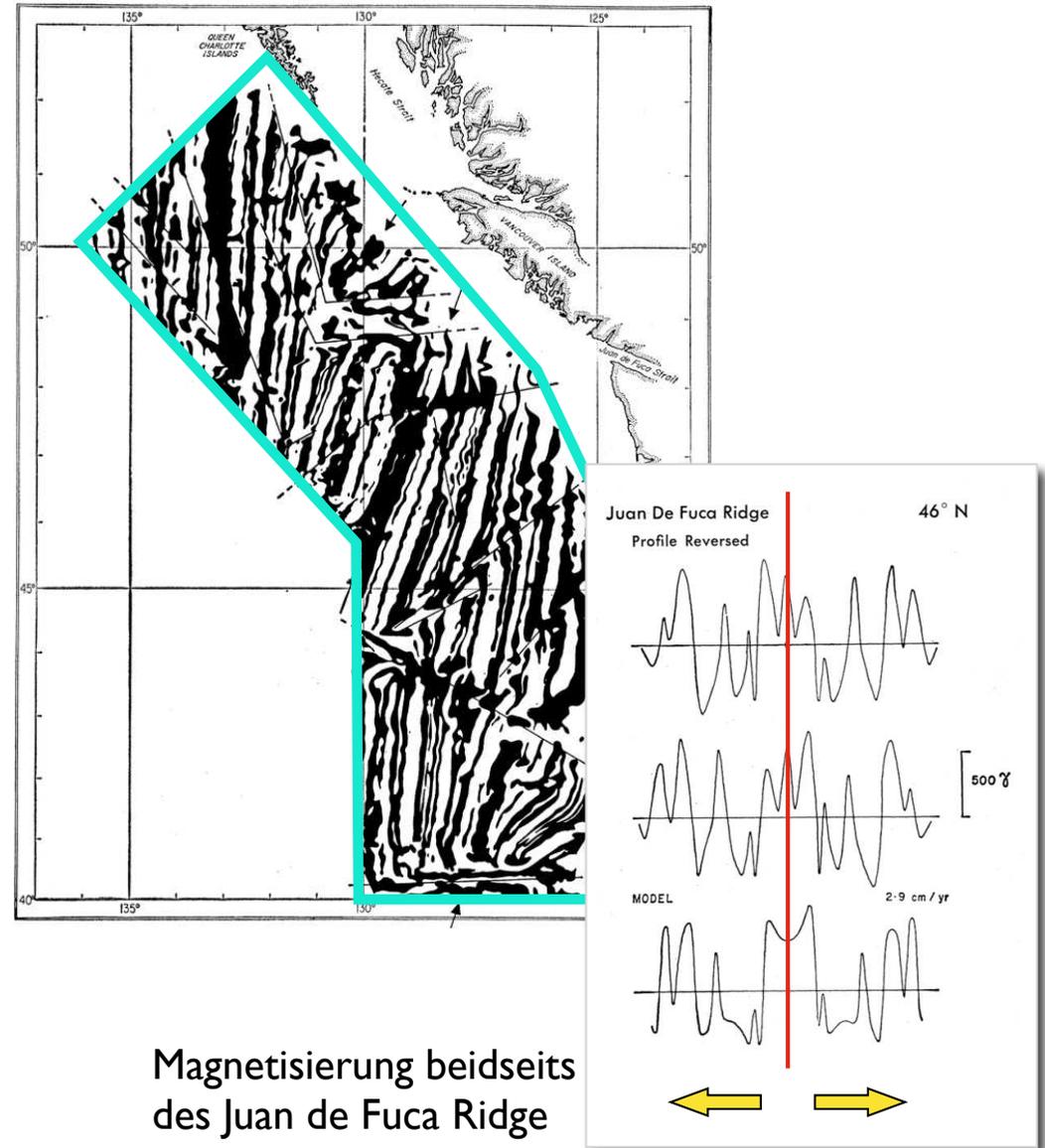
Das Magnetfeldes (Geodynamo) ändert seine Polarität alle 0.1-10 Ma (= Chron). Feldumkehr dauert 1000-10'000 Jahre.

magnetische Streifenmuster ...



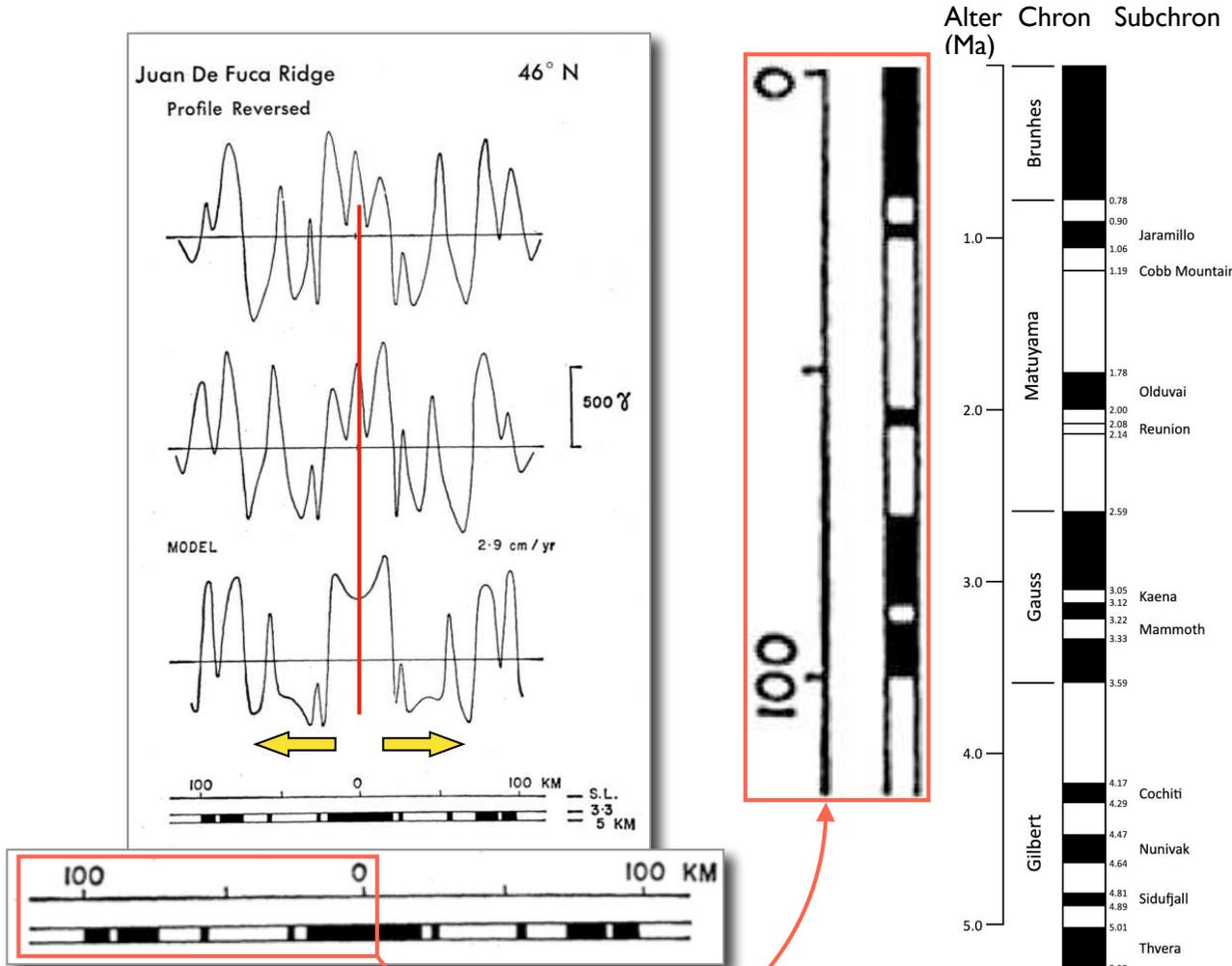
September 7, 1963 NATURE
MAGNETIC ANOMALIES OVER OCEANIC RIDGES

By F. J. VINE and Dr. D. H. MATTHEWS
Department of Geodesy and Geophysics, University of Cambridge

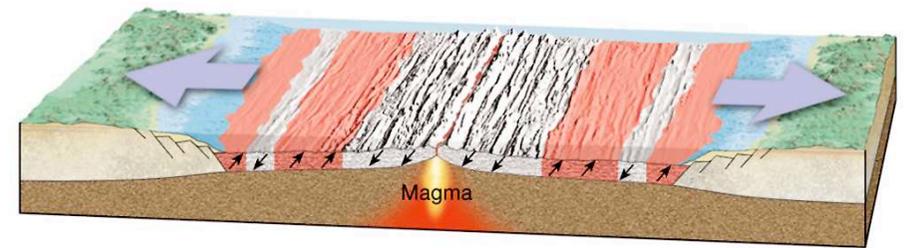
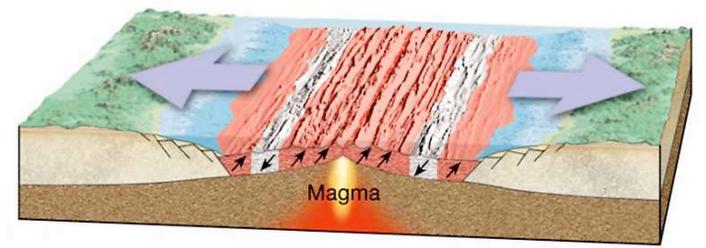
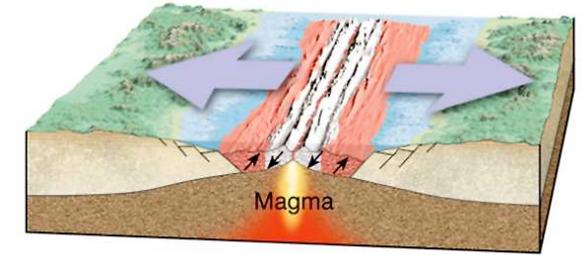


... können datiert werden

(Magnetostratigraphie)

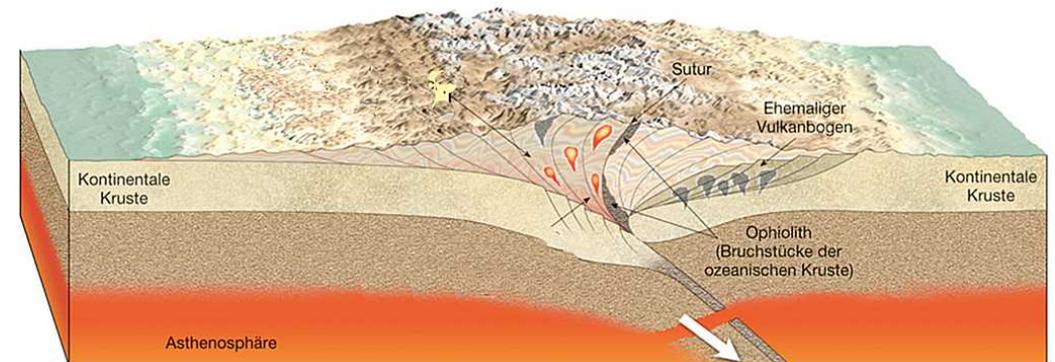
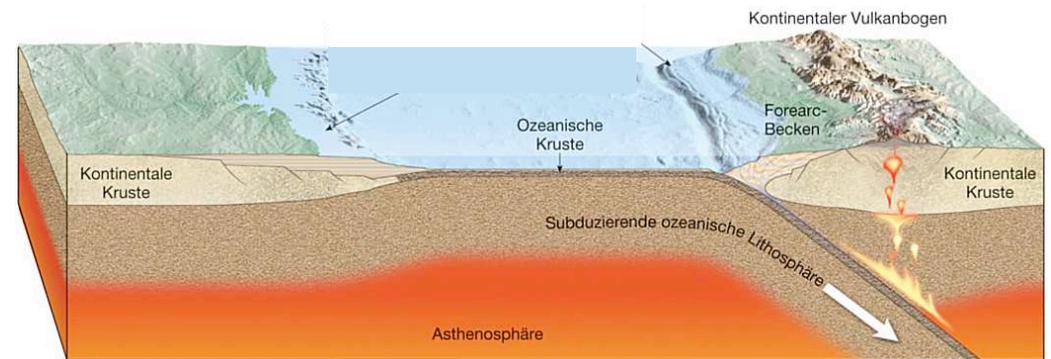
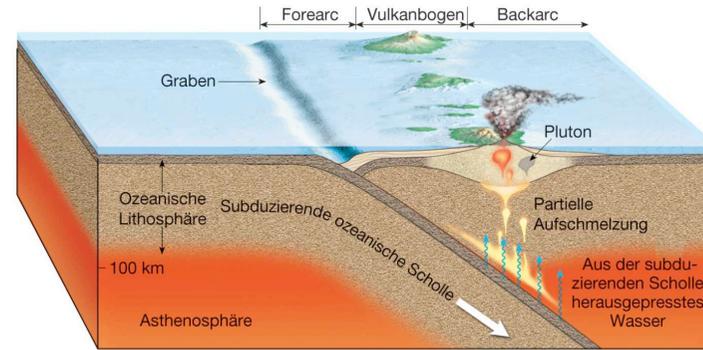
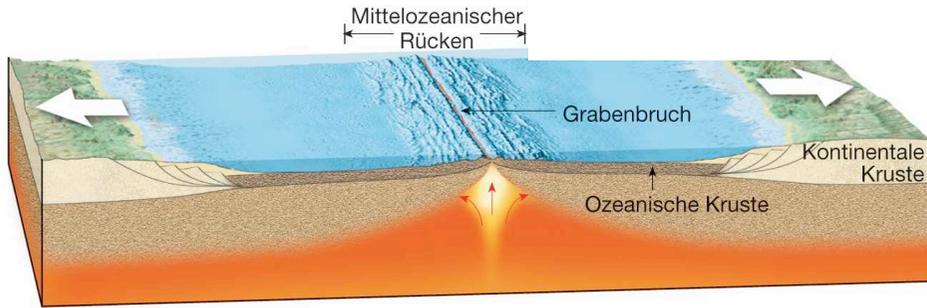


Geomagnetische Polarität im Oberen Känozoikum
normale Polarität (schwarz)
reverse Polarität (weiß)

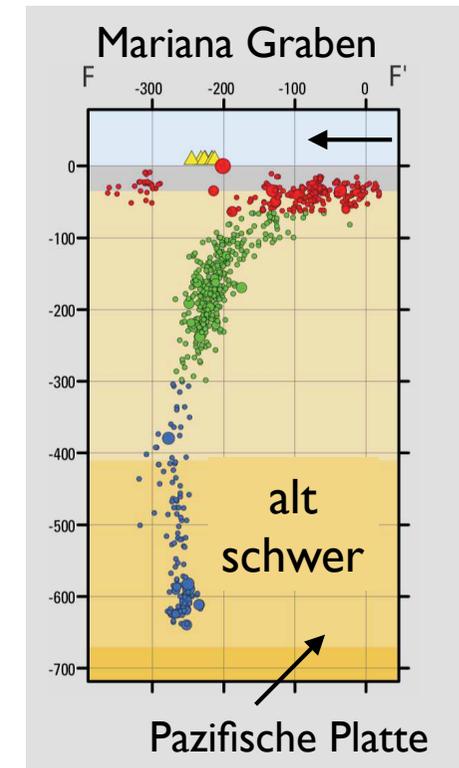
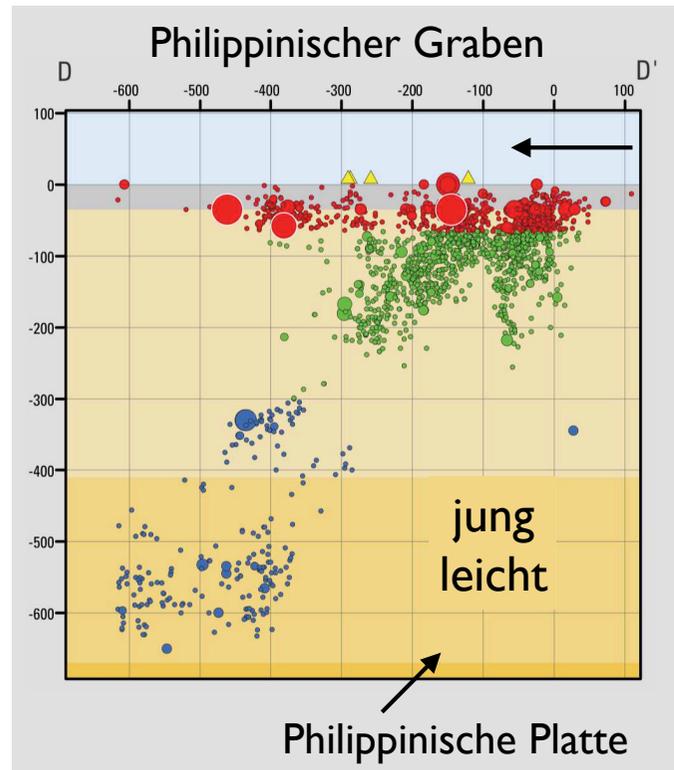
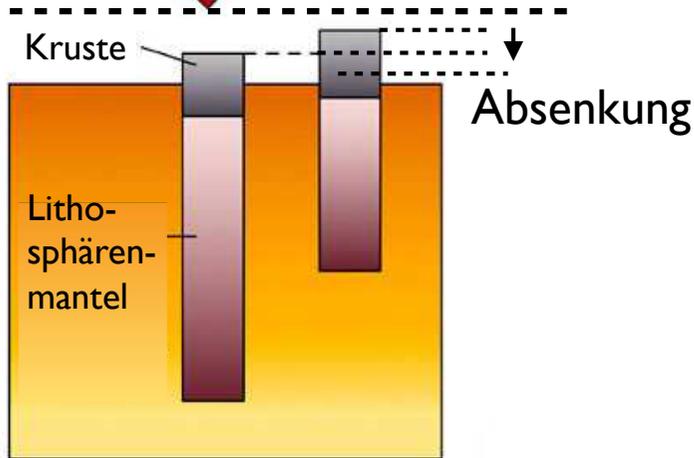
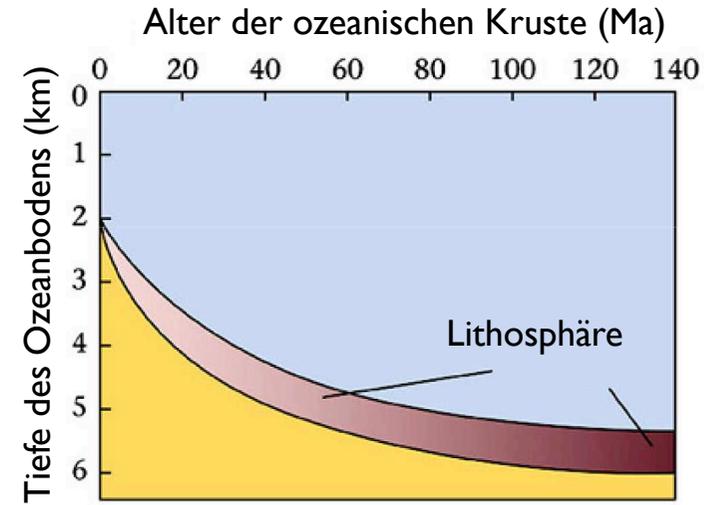
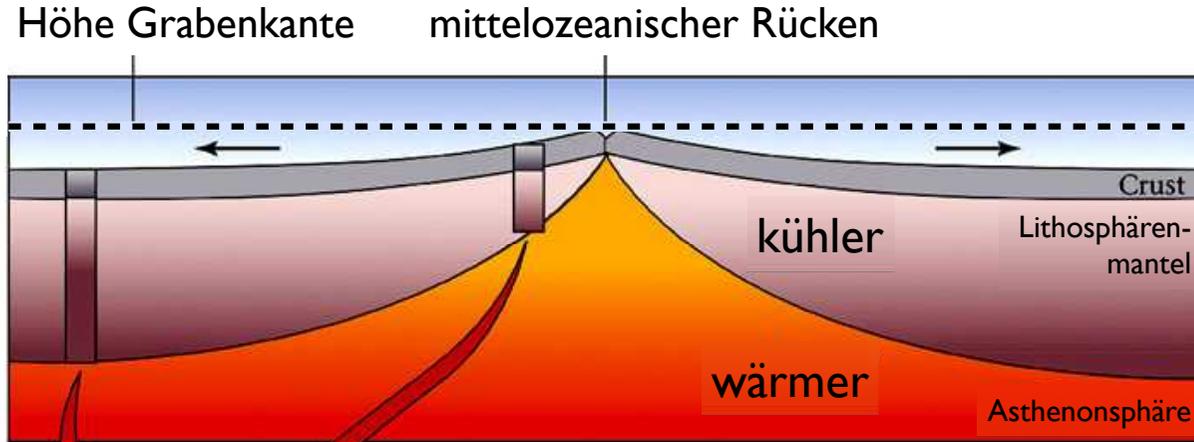


The theory is consistent with, in fact virtually a corollary of, current ideas on ocean floor spreading⁷ and periodic reversals in the Earth's magnetic field⁸.

... im Detail

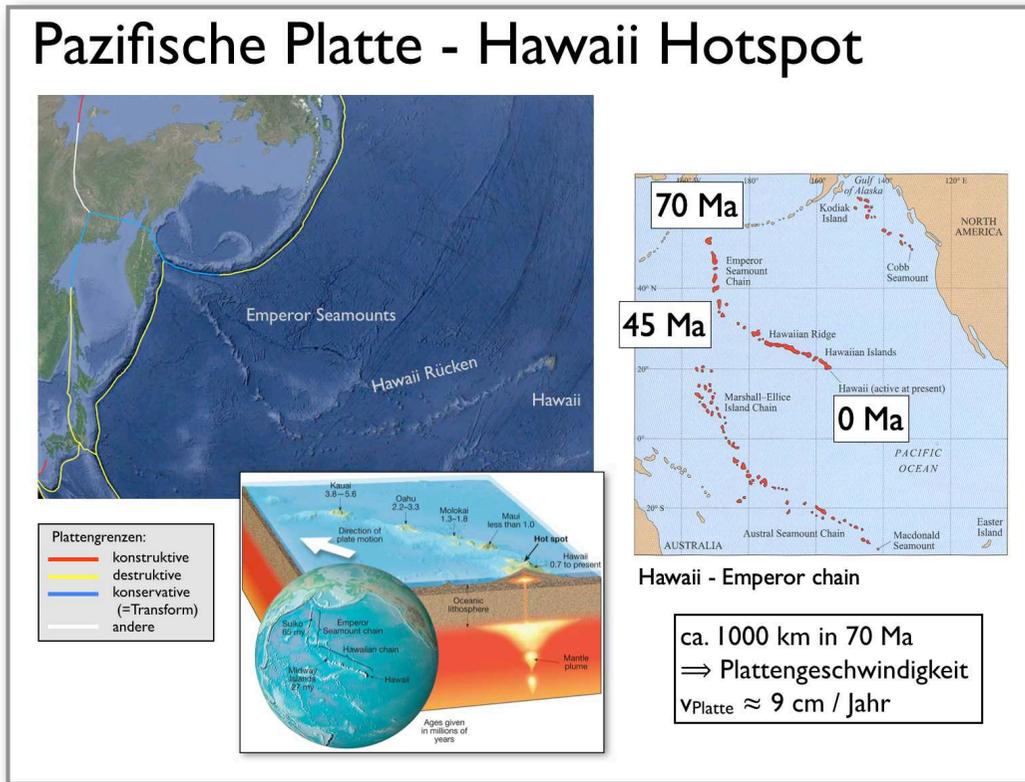


Lebenslauf der ozeanischen Lithosphäre



wie bestimmt man Plattenbewegungen ?

Station 2



Plattentektonik sagt:

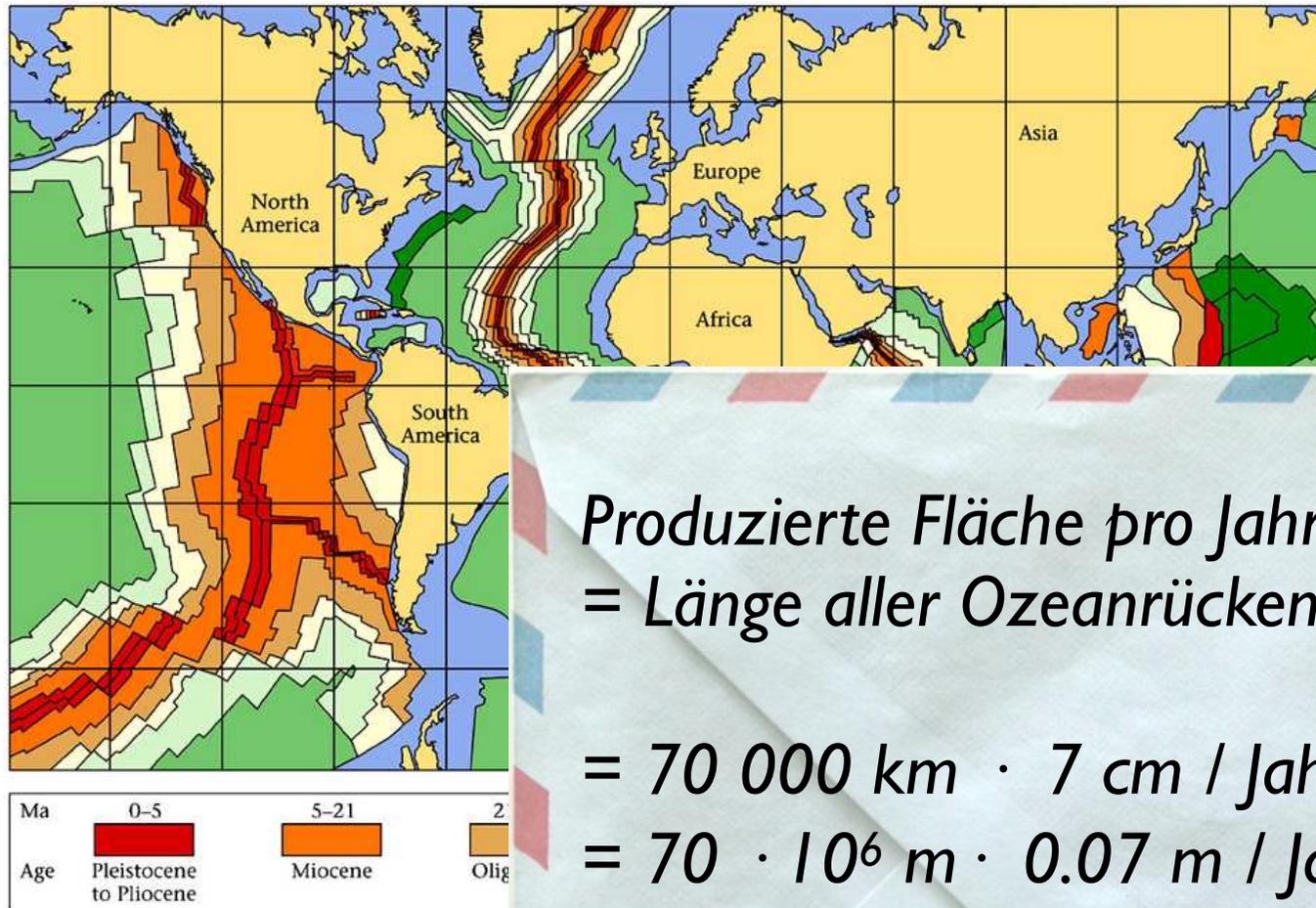
- Platten bewegen sich auf der Erdkugel
- die Bewegungen sind Rotationen,
- ... welche in (breitenabhängigen) Plattengeschwindigkeiten resultieren
- es gibt absolute und relative Bewegungen
- es gibt aktuelle und mittlere Geschwindigkeiten

woher wissen wir das ?

- mittlere Öffnungsgeschwindigkeiten
- aktuelle Plattengeschwindigkeiten:
Very Long Base Interferometry (VLBI)
Global Positioning System (GPS)

mittlere Öffnungsgeschwindigkeiten

... dank Karte



Kartierung von
Ozeanbodenalter

Produzierte Fläche pro Jahr:

= Länge aller Ozeanrücken · Spreizungsrate

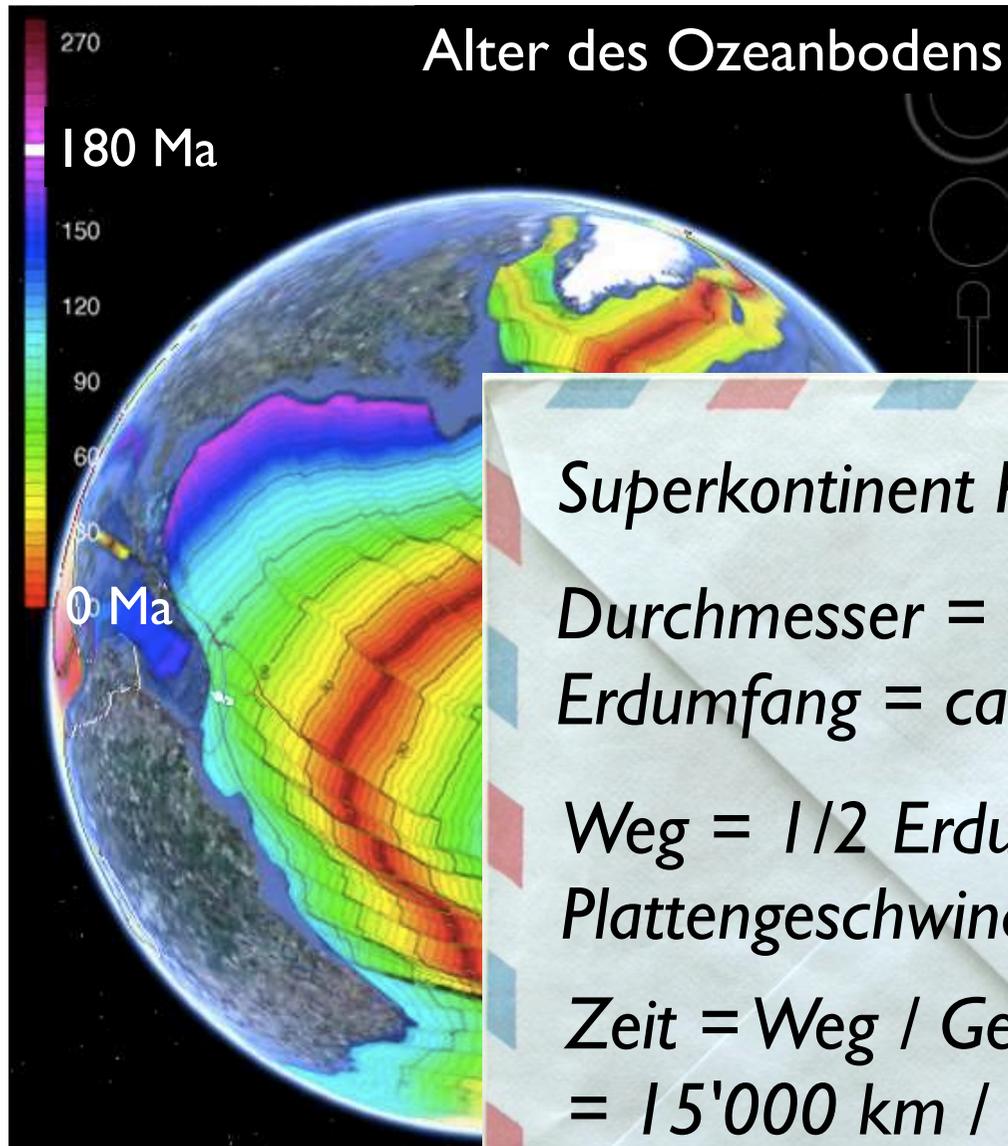
= 70 000 km · 7 cm / Jahr

= 70 · 10⁶ m · 0.07 m / Jahr ≈ 5 km² / Jahr

Erdoberfläche ≈ 500 Mio km²

Verdoppelung der Erdoberfläche in 100 Mio Jahren

... weitere Folgen



3 cm / Jahr
= 3'000'000 cm / Mio Jahre
= 30 km / Ma ...
... oder 5400 km / 180 Ma

Superkontinent Pangäa bricht auseinander

Durchmesser = ca. 10'000 km

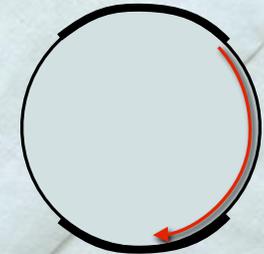
Erdumfang = ca. 40'000 km

Weg = $1/2$ Erdumfang - $1/2$ Durchmesser

Plattengeschwindigkeit = 3 cm / Jahr

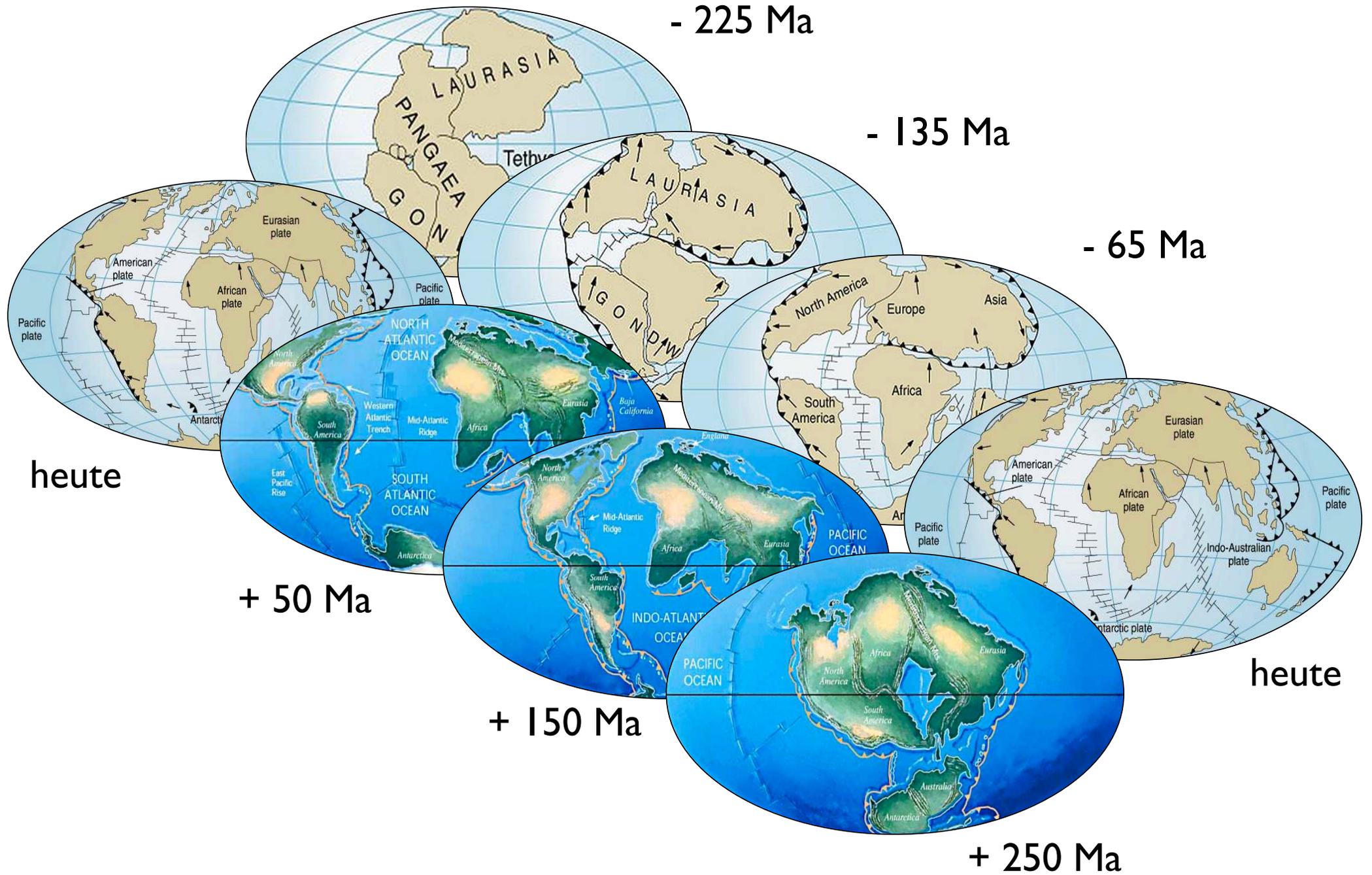
Zeit = Weg / Geschwindigkeit

= 15'000 km / (3 cm / Jahr)



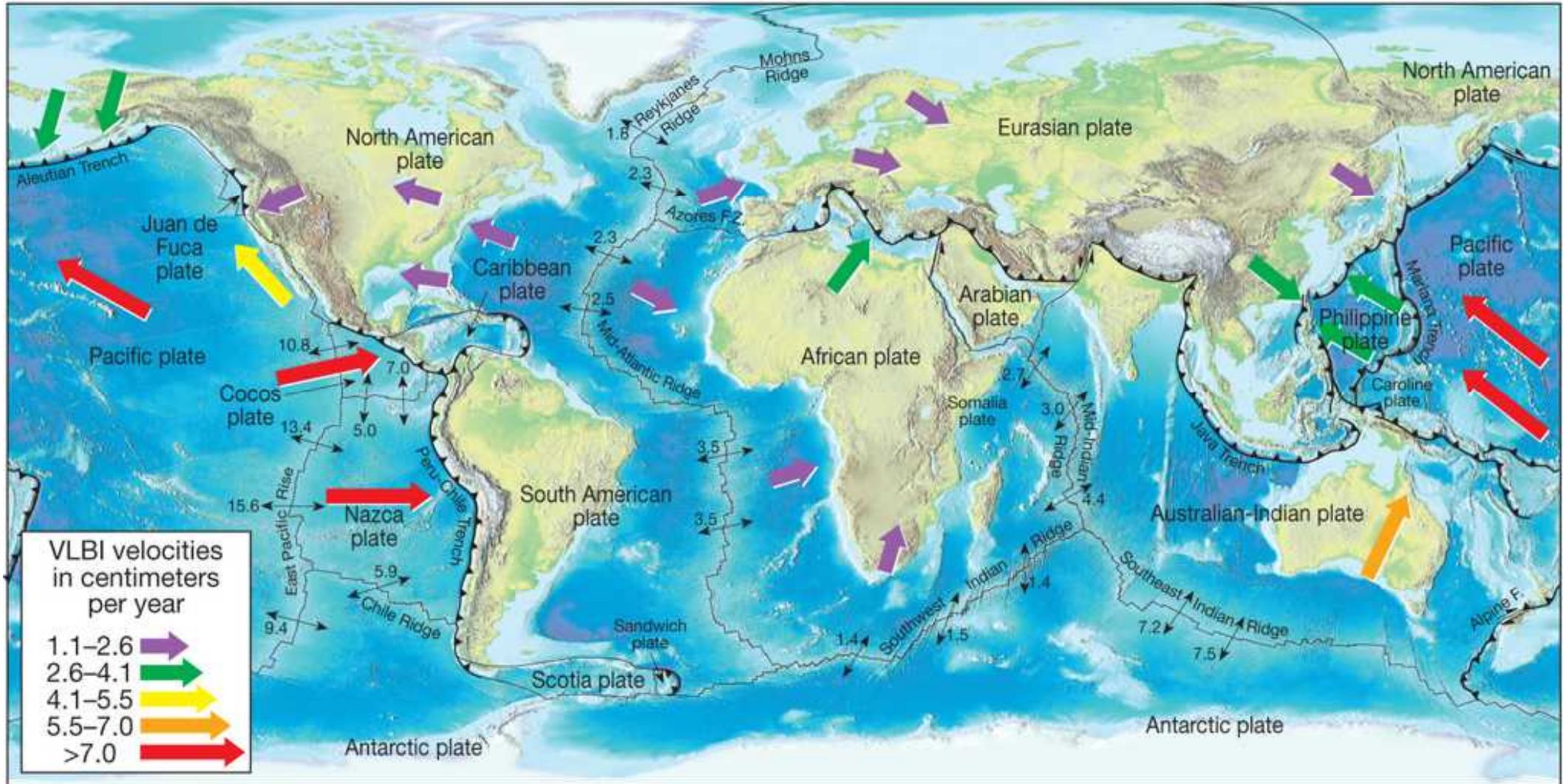
Pangäa Ultima in 500 Mio Jahre

Wilson cycle



aktuelle Plattengeschwindigkeiten

... dank VLBI

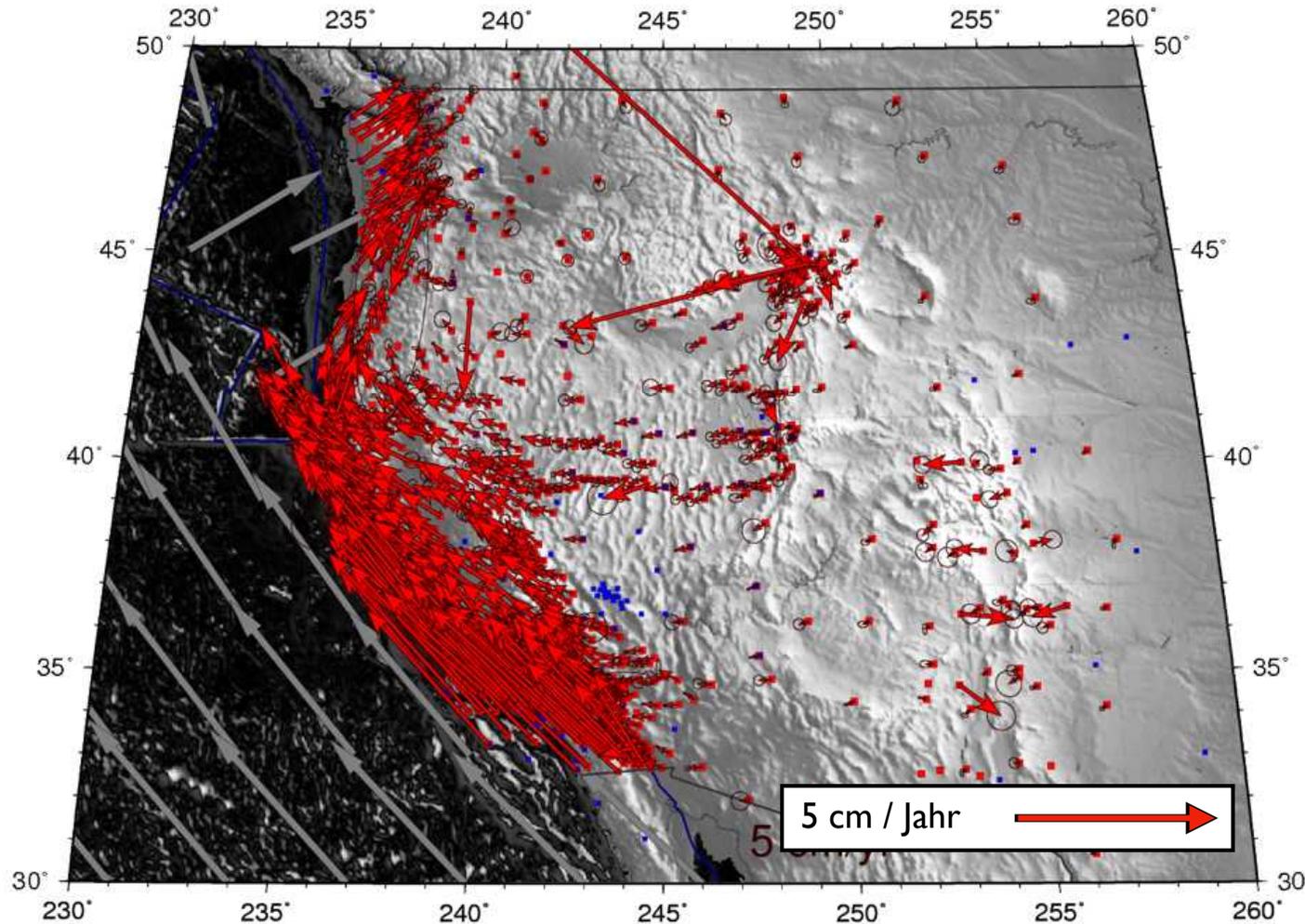


Very Long Baseline Interferometry (VLBI)

VLBI-Beobachtung zwischen den Stationen Kashima (Japan) und TIGO (Chile)
⇒ Eurasia 2-4 cm / Jahr

aktuelle Plattengeschwindigkeiten

... dank GPS



Bewegung von
Bodenstationen

3 cm / Jahr =
Wachstumsgeschwindigkeit
eines Fingernagels

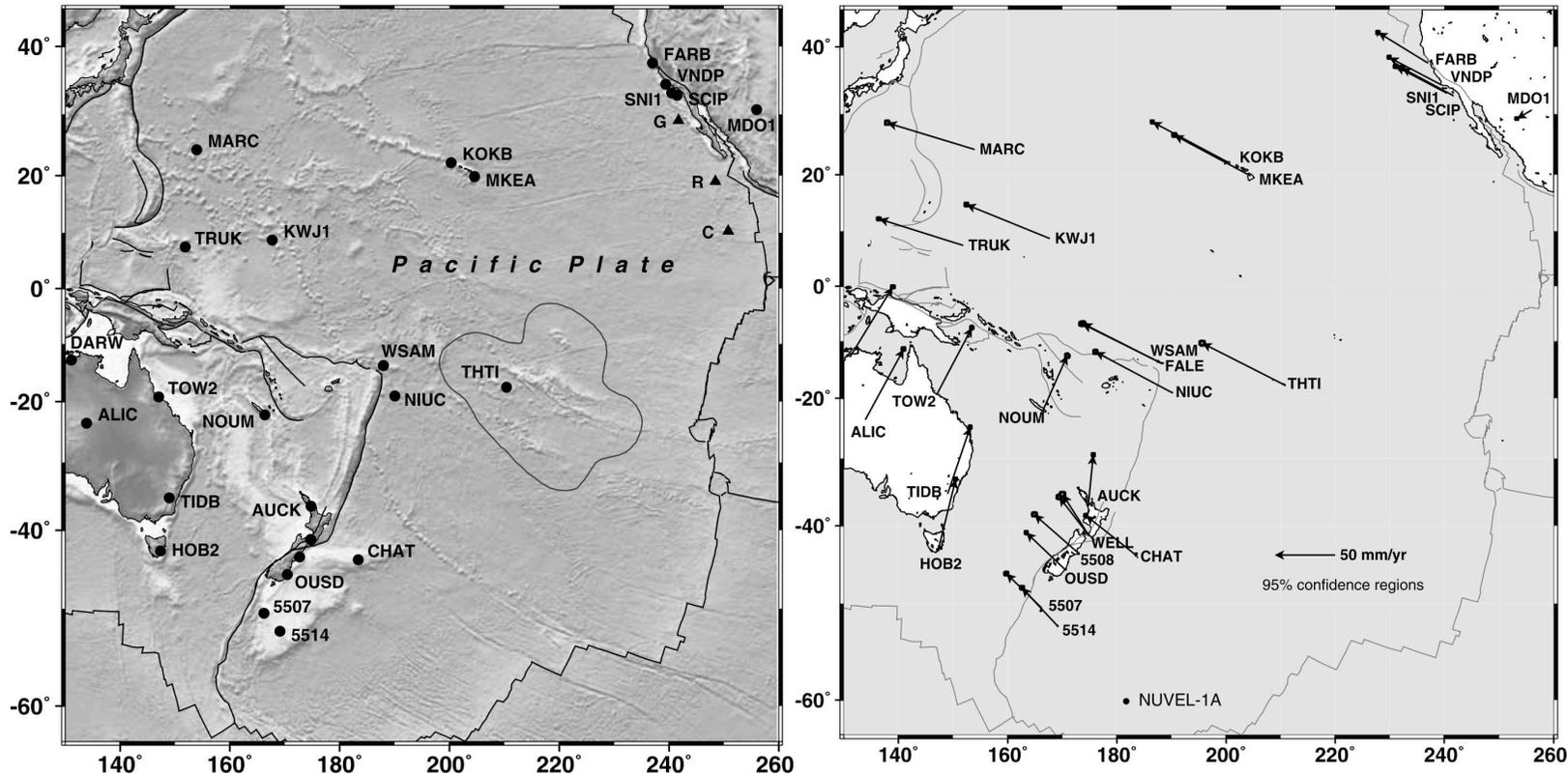


Rotationsrate Eurasia

Rotationspol = 61°N , 86°W (Hudson Bay USA // 1000km W von Australien),
Rotationsrate bezüglich Pazifische Platte = $0.8591^{\circ}/\text{Ma}$
es braucht 419 Ma um 360° zurückzulegen

da war noch eine Frage ...

... GPS von Ozeanboden ?



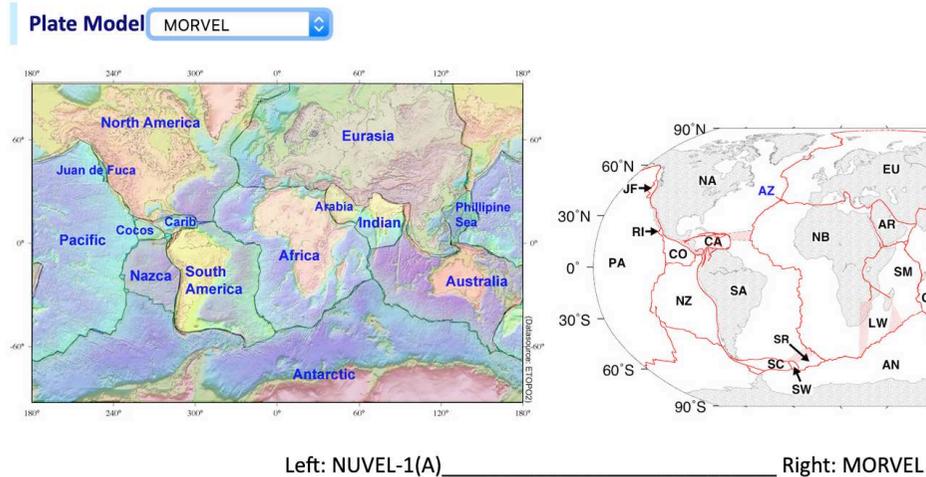
Stationen auf verschiedenen Inseln

5507	Auckland Island	MARC	Marcus Island
5514a	Campbell Island	MKEA	Mauna Kea
CHAT	Chatham Island	THTI	Niue NIUC Tahiti
FALE	Faleolo, Samoa	TRUK	Chuuk
KOKB	Kokee Park	WSAM	Western Samoa
KWJI	Kwajalein		

plate motion calculator

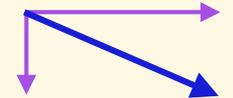
http://ofgs.aori.u-tokyo.ac.jp/~okino/platecalc_new.html

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



Calculation results

plate velocity : 21 [mm/yr]=[km/my]
direction: 112.9 [deg. from North]
north component of velocity : -8 [mm/yr]=[km/my]
east component of velocity : 19 [mm/yr]=[km/my]



Moving Plate Eurasia

Fixed Plate (not used in absolute models) North America

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

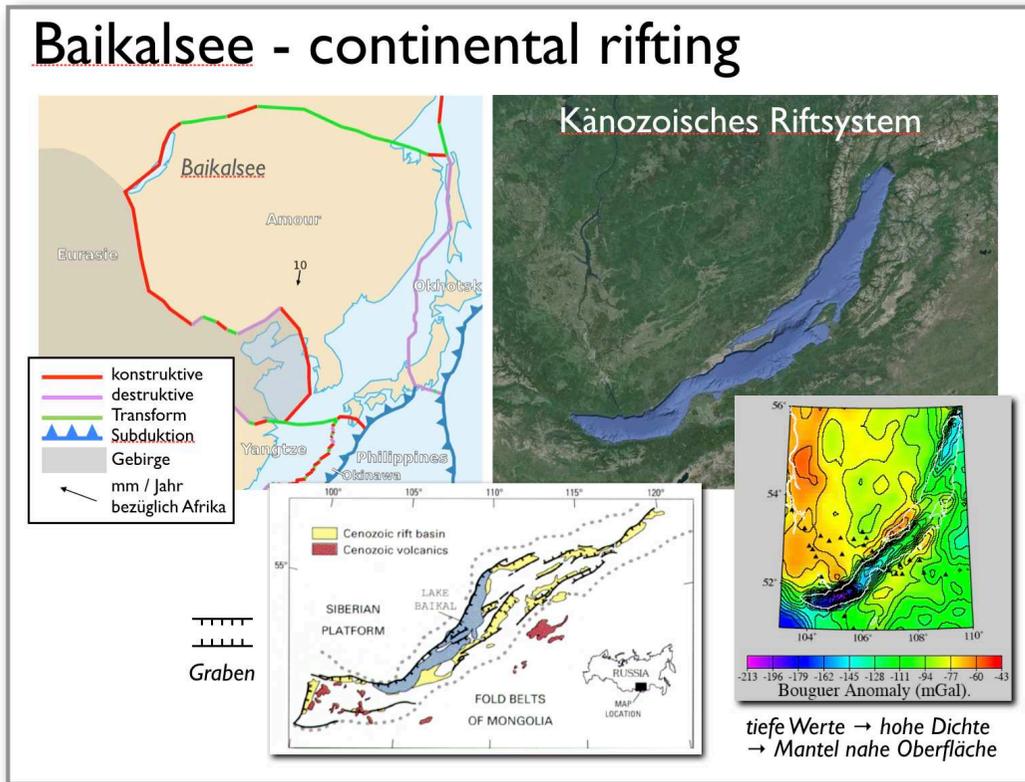
Longitude [deg] 7.57327 east: positive(+) west: negative (-)

Parameters used for calculation

- Plate Model: MORVEL
- Moving Plate: eu
- Fixed Plate: na
- rotation vector omega: -0.00131,0.00112,0.00324
- Latitude of Euler pole: 61.9893255273478 [deg.]
- Longitude of Euler pole: 139.470849851582 [deg.]
- Angular velocity: 0.210269309693959 [deg./m.y.]
- Latitude inputted: 47.55839 [deg.]
- Longitude inputted: 7.57327 [deg.]

wie erkennt man continental rifting ?

Station 3



Plattentektonik sagt:

- Rifting produziert Grabenbrüche
- im Graben Schwereanomalie: negative Bougueranaomalie

konstruktive Plattengrenze

Achtung: das war falsch!

woher wissen wir das ?

- Freiluft - Anomalie → isostatisches Gleichgewicht
- Bouguer - Anomalien → Dichteverteilung in der Lithosphäre...

Freiluft - Anomalie Isostasie

Freiluft-Anomalie Δg_F

Im Kontinentalbereich erklärt man:

$\Delta g_F > 0$ (= typisch) durch die zusätzliche Gesteinsmasse /
Krustenverdickung unter dem Messpunkt

$\Delta g_F < 0$ durch sehr geringe Dichte der Gesteinsmasse
unter dem Messpunkt

Im Ozeanbereich erklärt man:

$\Delta g_F > 0$ durch oberflächennahes, dichtes (Mantel-) material

$\Delta g_F < 0$ (= typisch) durch die fehlende Anziehung durch
das Wasser, vor allem bei grosser Wassertiefe

Freiluft - Anomalie

Freiluft-Anomalie $\Delta g_F = g_{\text{obs}} - (g_{\text{normal}} + C_F)$

$C_F = \text{Freiluft Korrektur}$

$\Delta g_F = 0$ beobachteter Wert = korrigierte Normalschwere

Im Kontinentalbereich erklärt man:

$\Delta g_F > 0$ (= typisch) durch die zusätzliche Gesteinsmasse / Krustenverdickung unter dem Messpunkt

$\Delta g_F < 0$ durch sehr geringe Dichte der Gesteinsmasse unter dem Messpunkt

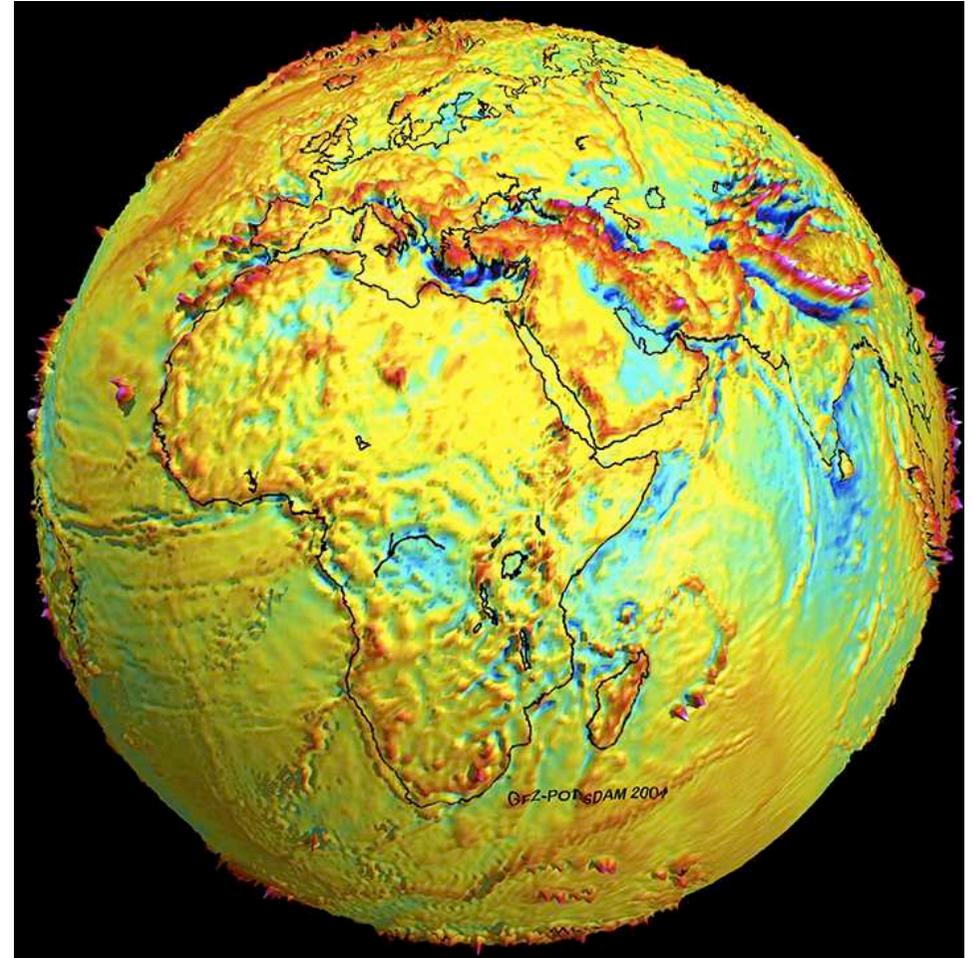
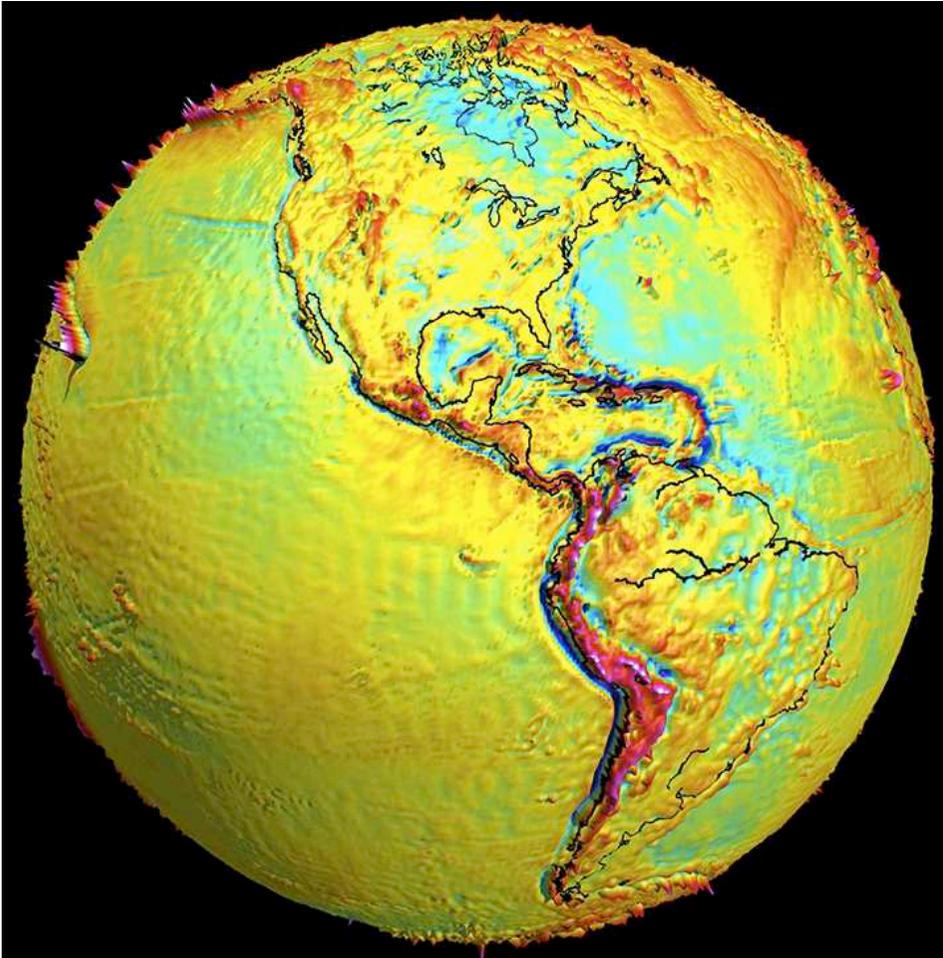
Im Ozeanbereich erklärt man:

$\Delta g_F > 0$ durch oberflächennahes, dichtes (Mantel-) material

$\Delta g_F < 0$ (= typisch) durch die fehlende Anziehung durch das Wasser, vor allem bei grosser Wassertief

korrigiert für Höhenlage (m.ü.M.)

Satellitenbeobachtungen



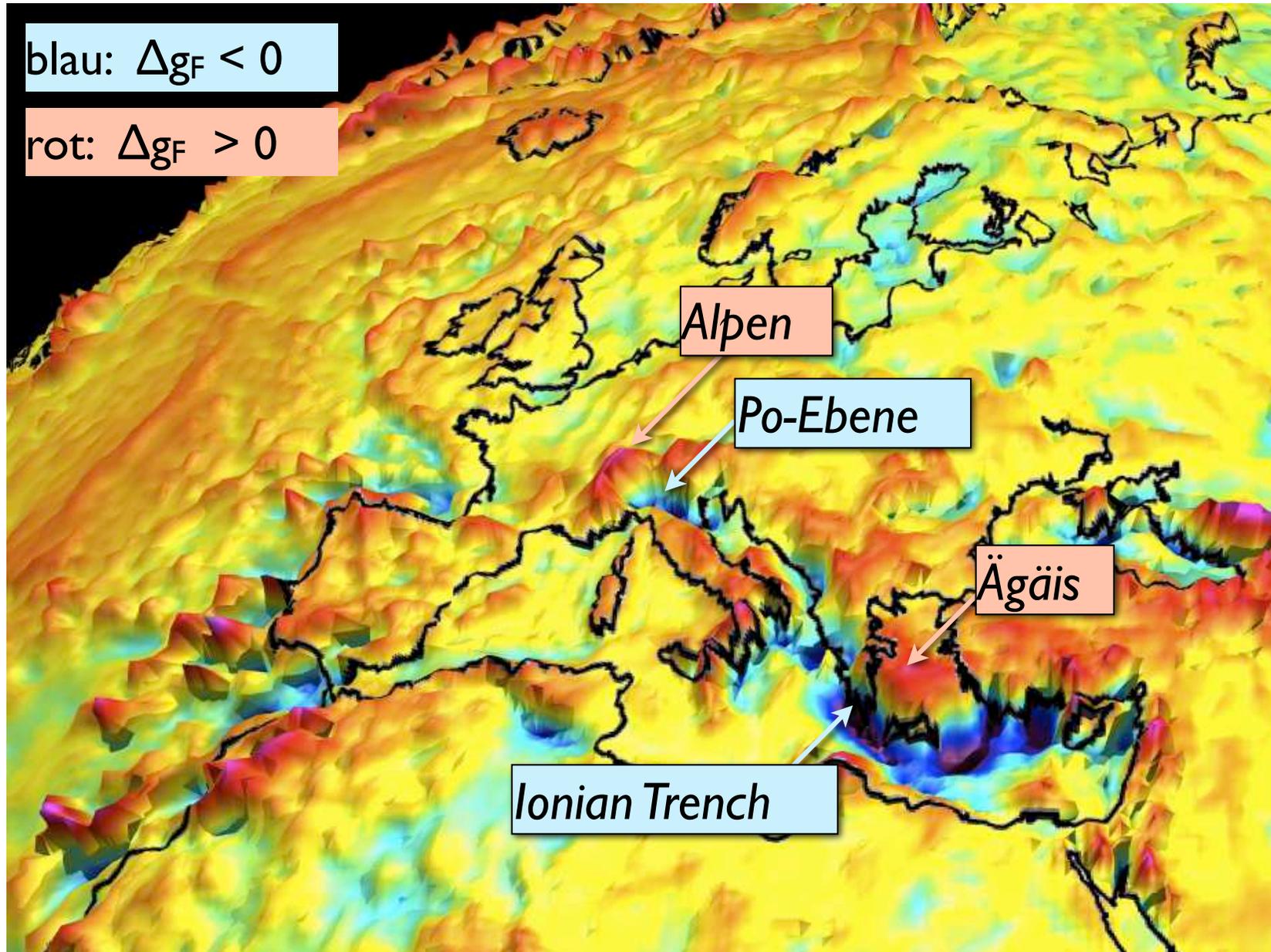
Freiluft-Anomalie: gelb = 0 (Gleichgewicht)

blau: $\Delta g_F < 0$ (Graben)

rot: $\Delta g_F > 0$ (Gebirge)

GRACE Gravity Recovery and Climate Experiment
CHAMP CHALLENGING Minisatellite Payload

Freiluft-Anomalie Europa



Bouguer-Anomalie Dichteveränderungen

Bouguer-Anomalie $\Delta g_B = g_{\text{obs}} - (g_{\text{normal}} + C_F + C_B)$

C_F = Freiluft Korrektur

C_B = Bouguer Korrektur

$\Delta g_B = 0$ beobachteter Wert = korrigierte Normalschwere

Im Kontinentalbereich erklärt man:

$\Delta g_B > 0$ durch besonders dichte Gesteinsmassen unter dem Messpunkt

$\Delta g_B < 0$ (= typisch) durch eine geringe Dichte der Gesteinsmasse unter dem Messpunkt, z.B. Gebirgswurzel

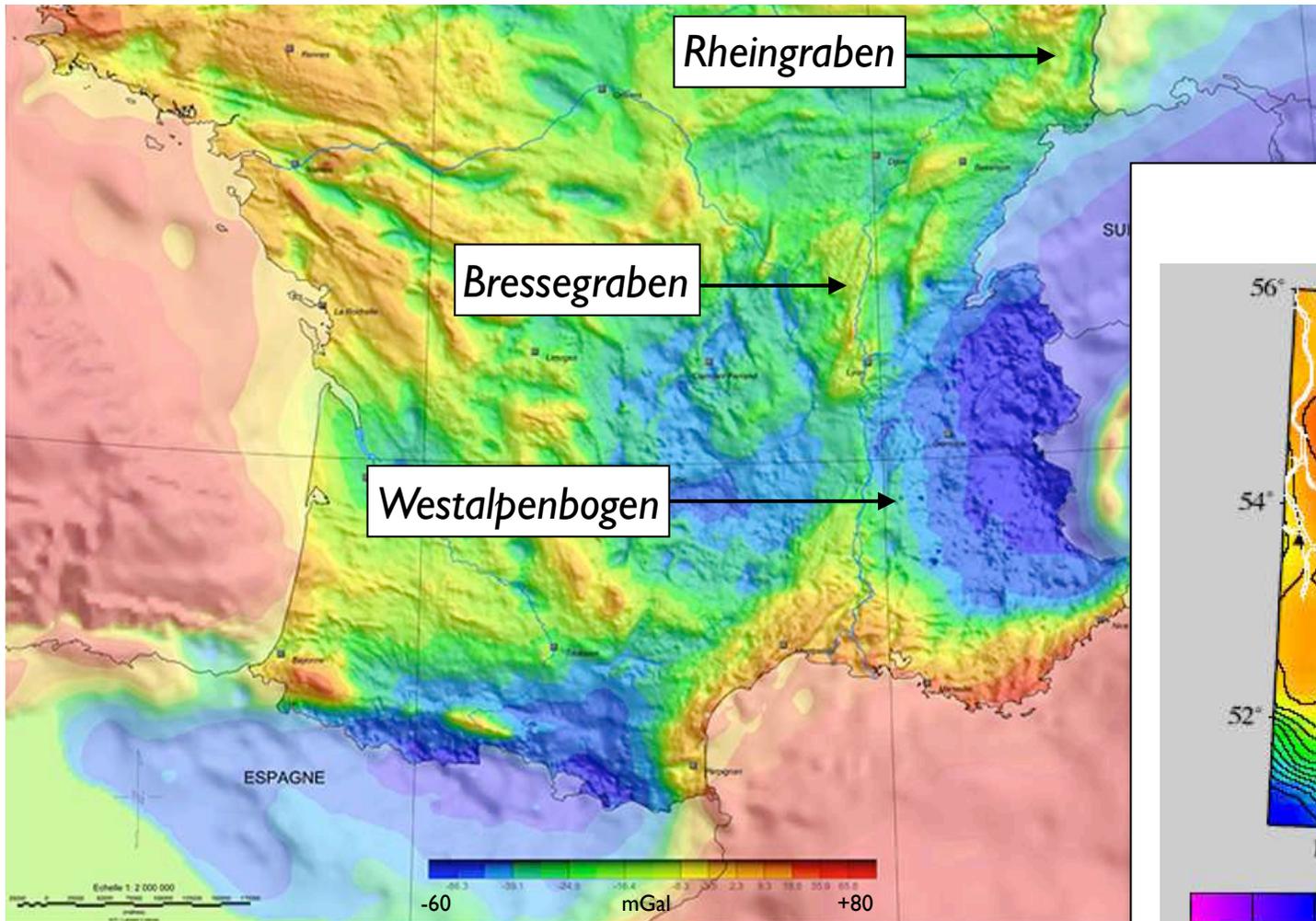
Im Ozeanbereich erklärt man:

$\Delta g_B > 0$ (= typisch, = Artefakt) Dichtedefizit des Wasser

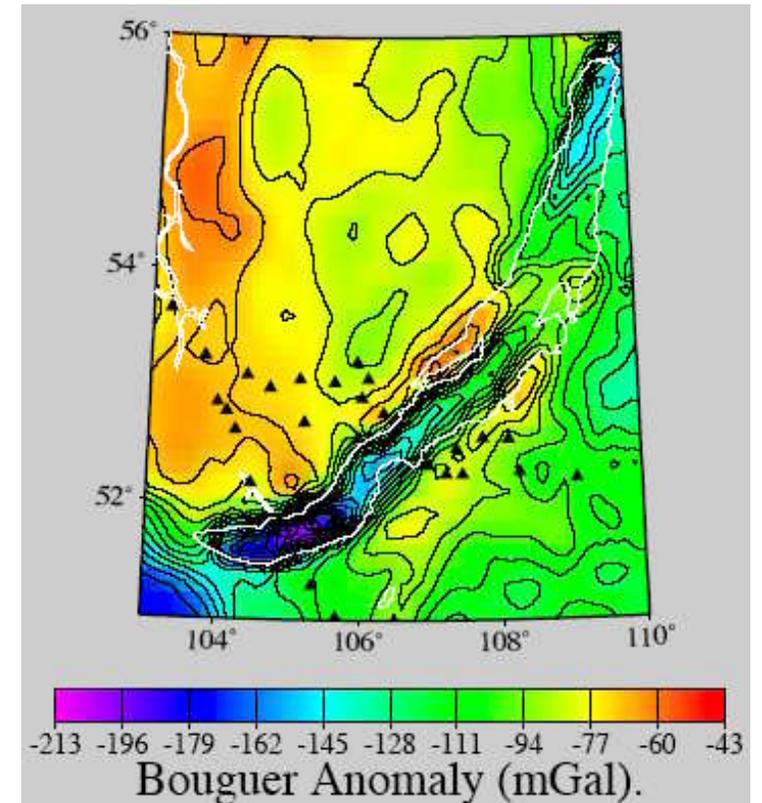
Δg_B - Absenkung durch tiefe Tröge mit leichtem Sedimentmaterial, z.B. Subduktionszonen

korrigiert für Bouguer-Platte = Gesteinskörper aus Granit 2670 kg/m³

Bouguer-Anomalie



Korrektur



blau: $\Delta g_B < 0$ (Gebirge, geringe Dichte)

rot: $\Delta g_B > 0$ (Ozean: Artefakt)

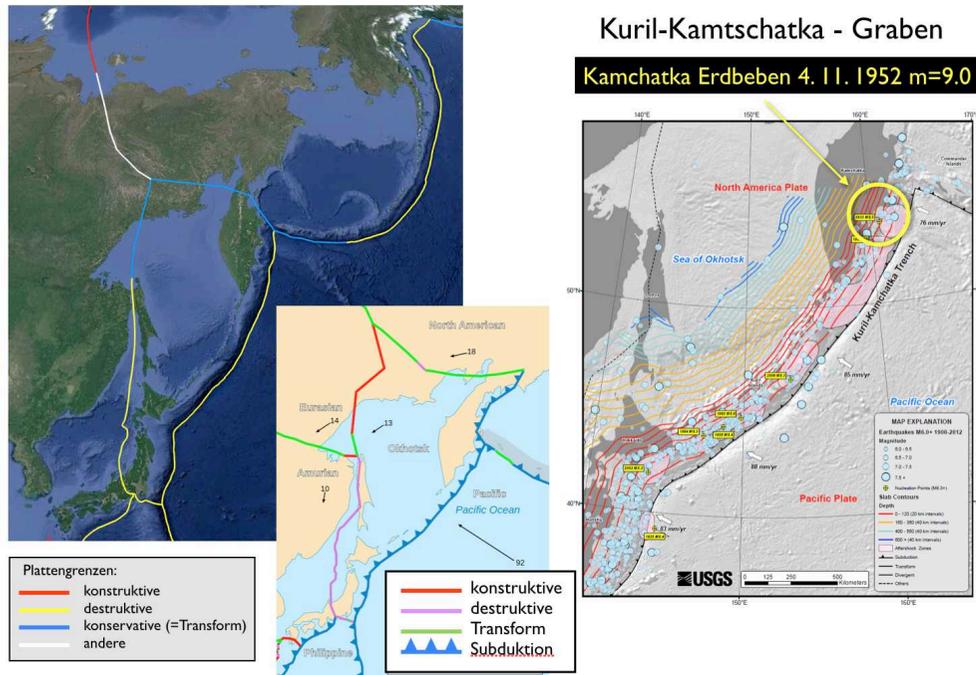
tiefe Werte

- geringe Dichte
- verdünnte Lithosphäre
- Sedimentfüllung

wie kommt man auf Subduktionen ?

Station 4

Okhotsk - Kuril-Kamtschatka-Graben



Plattentektonik sagt:

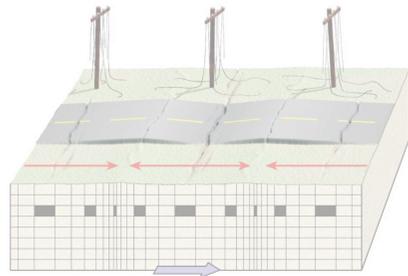
- an Subduktionen taucht Platte ab
- kalte Platte produziert Erdbeben ...
- ... bis in grosse Tiefe

destruktive Plattengrenze

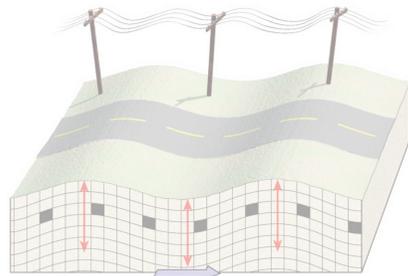
woher wissen wir das ?

- Seismologie - weltweite Aufzeichnung von Erdbeben
- Lokalisierung der Epizentren
- Kompilation Erdbebenkarte

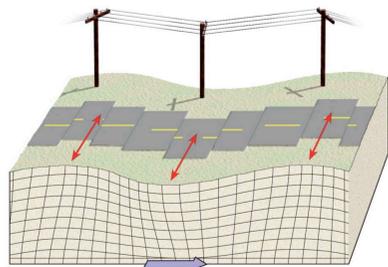
was ist denn eigentlich ein Erdbeben ?



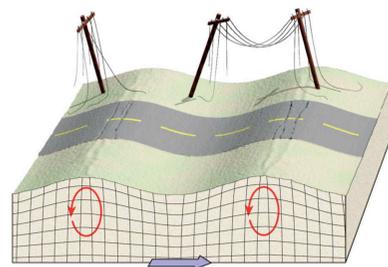
P-Wellen



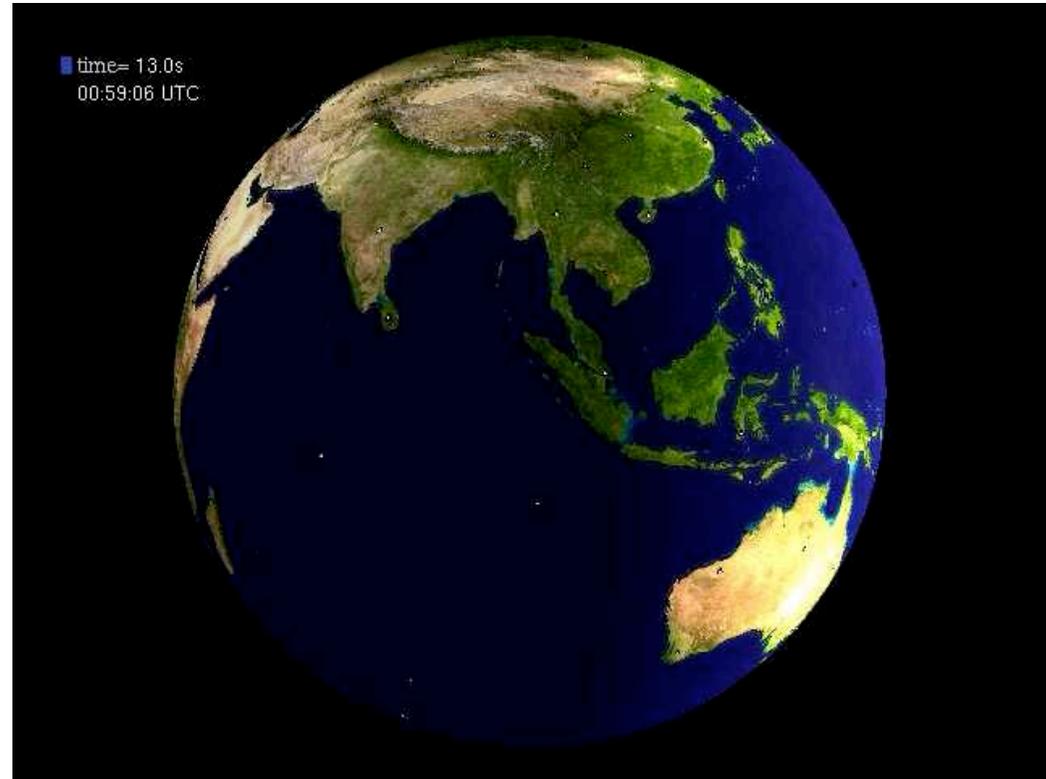
S -Wellen



Q-Wellen

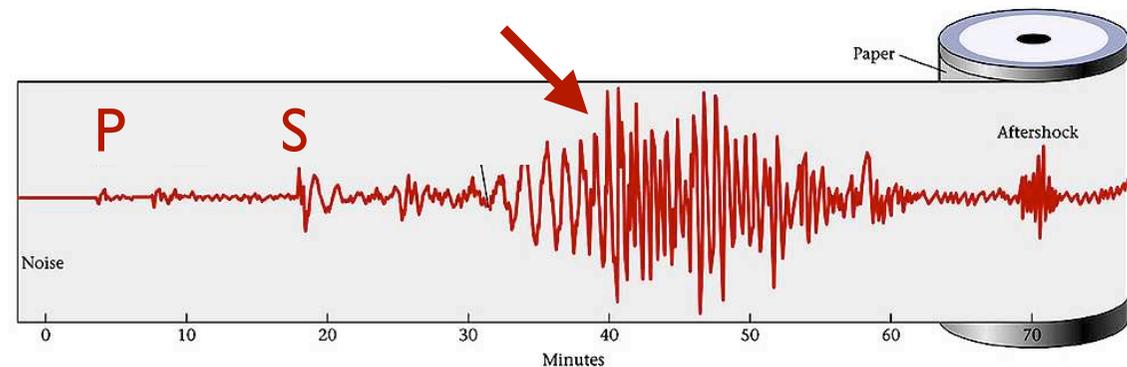


R -Wellen



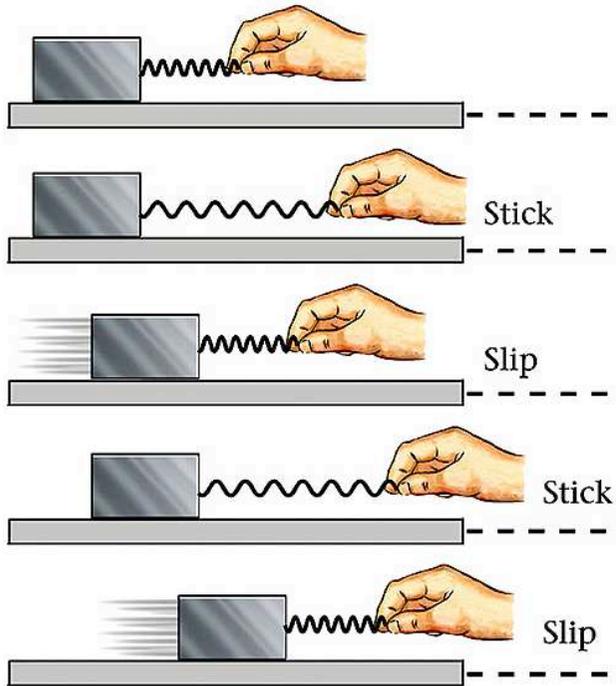
Sumatra Erdbeben 2004

Geschwindigkeit der Oberflächenwellen:
3-4 km/s (12'000 km/h)



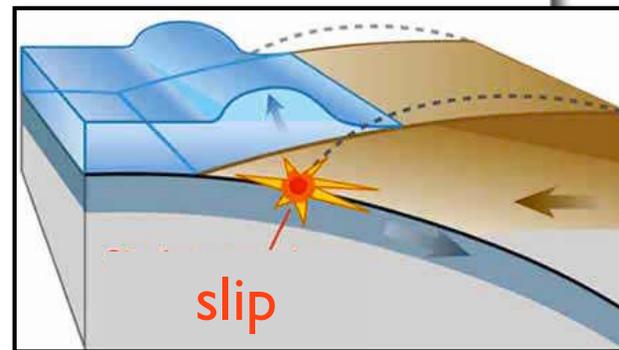
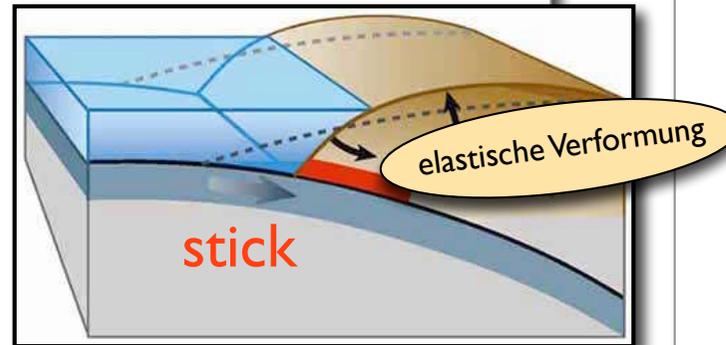
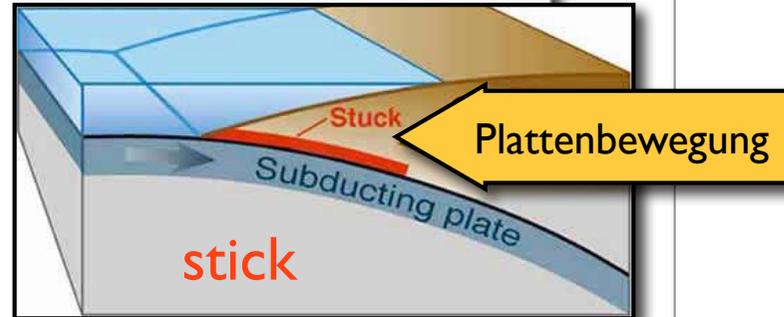
... und wie wird ein Erdbeben ausgelöst ?

Aufbau der elastischen Spannung

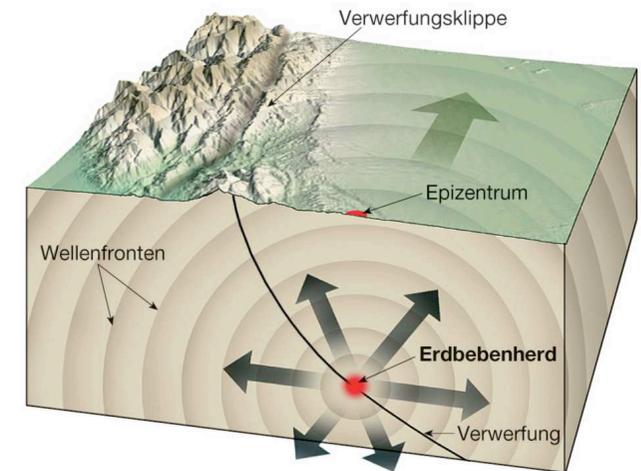


Stick-slip Modell für Verwerfungen

Jahre - Jahrhunderte

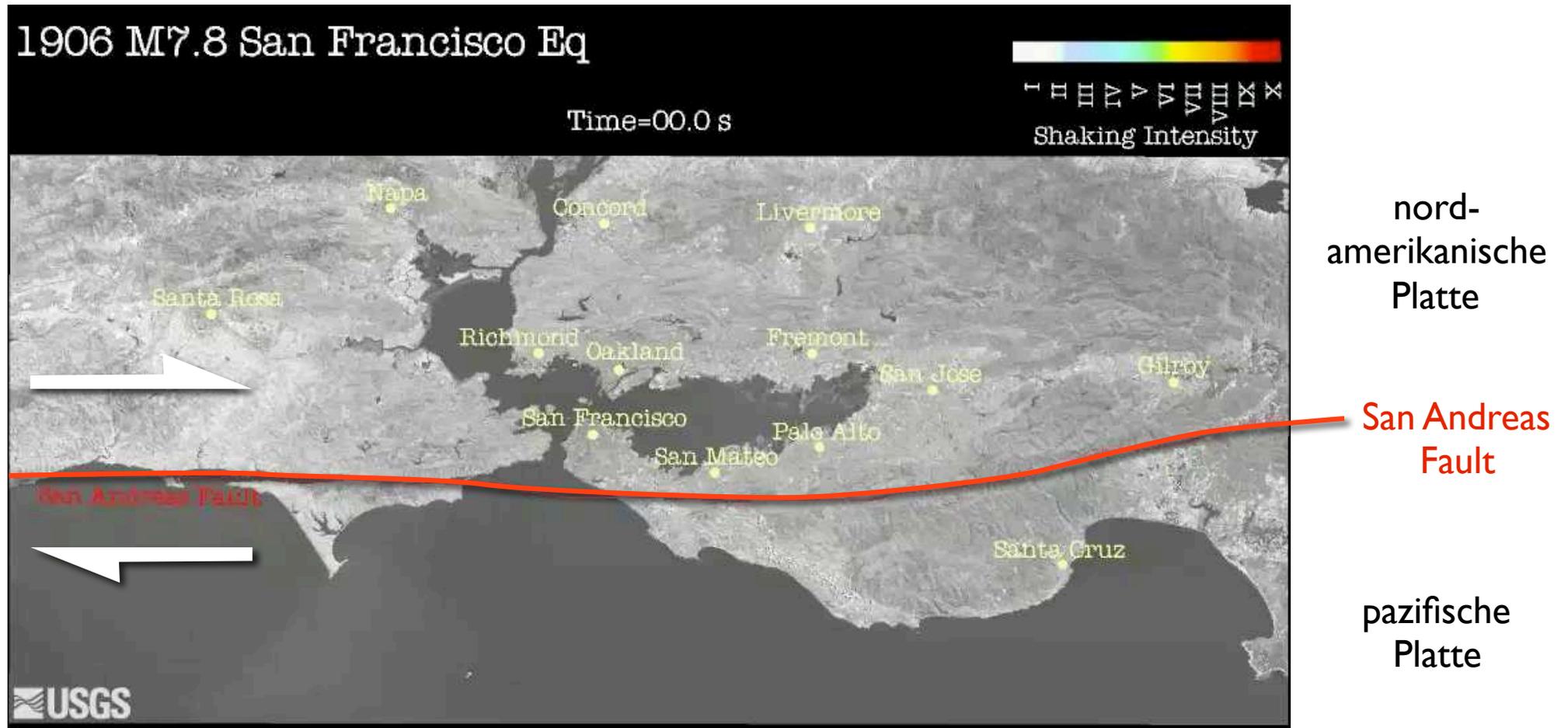


Ausbreitung der Erdbebenwelle



Sekunden

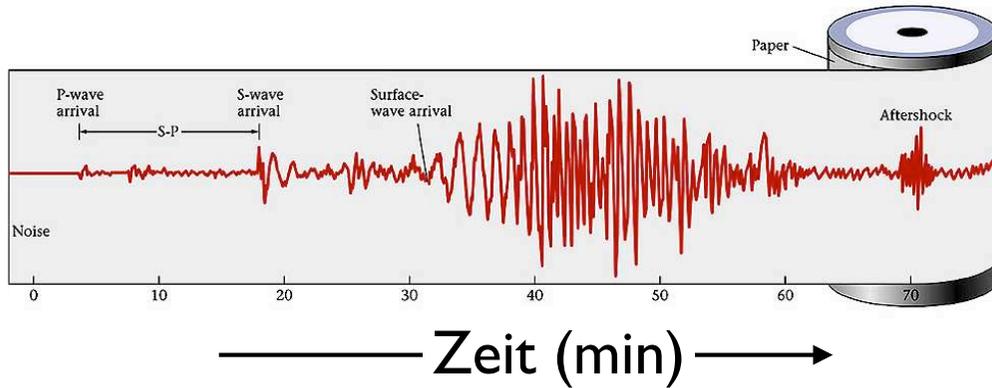
technische Daten eines Erdbebens



Ausbreitungsgeschwindigkeit des Bruches (rupture speed)	2.7 km/s
Geschwindigkeit der Erdbebenwellen (Oberflächenwellen)	~4 km/s
Geschwindigkeit der Gesteinskörper (slip velocity)	5 km/h

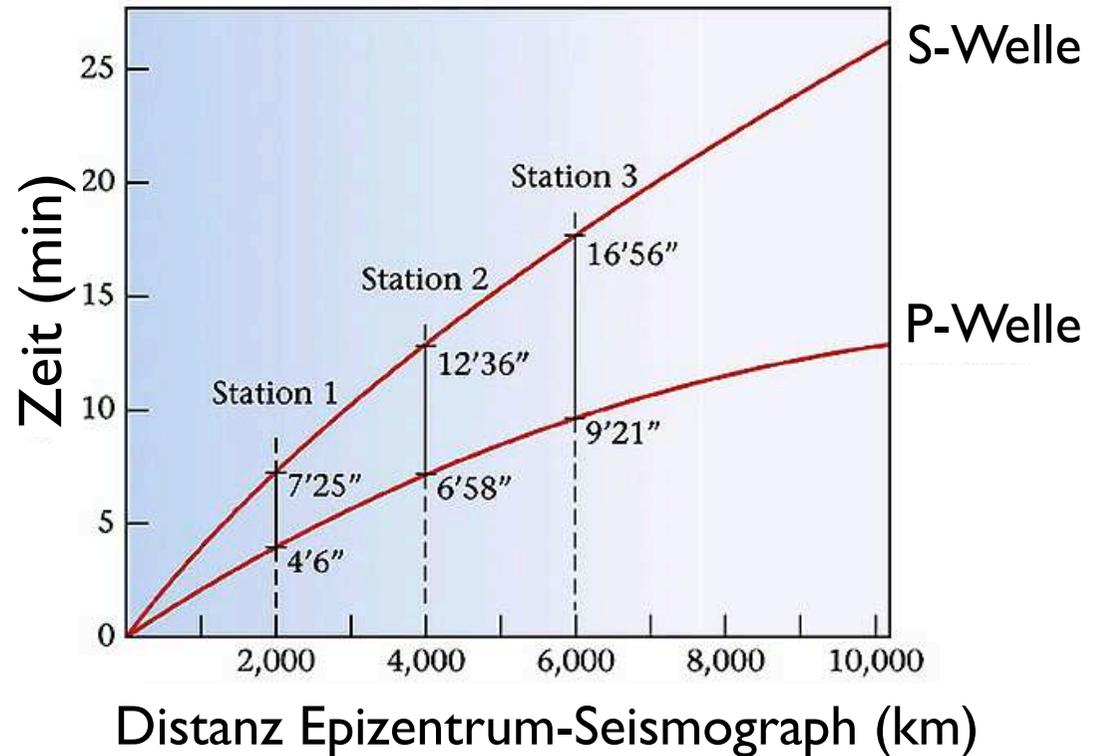
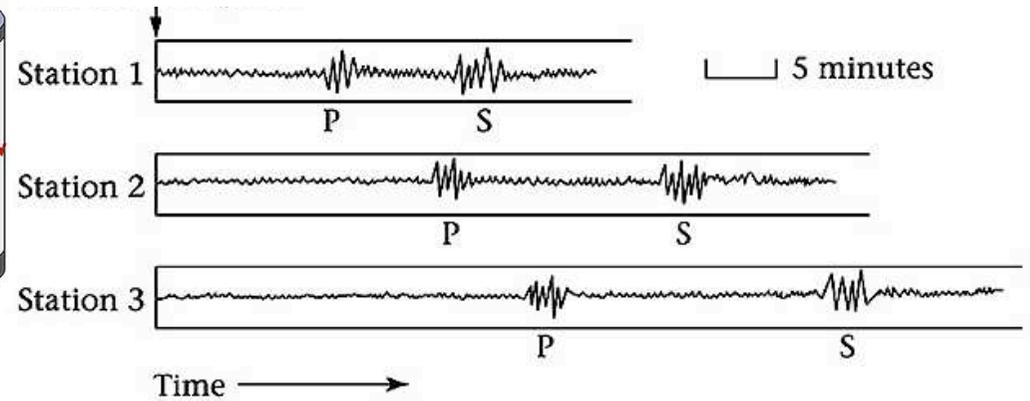
maximaler Versatz	8.4 m
Dauer des Hauptbebens	45 - 60 s
Länge der Bruchfläche	477 km

Aufzeichnung von Erdbebenwellen

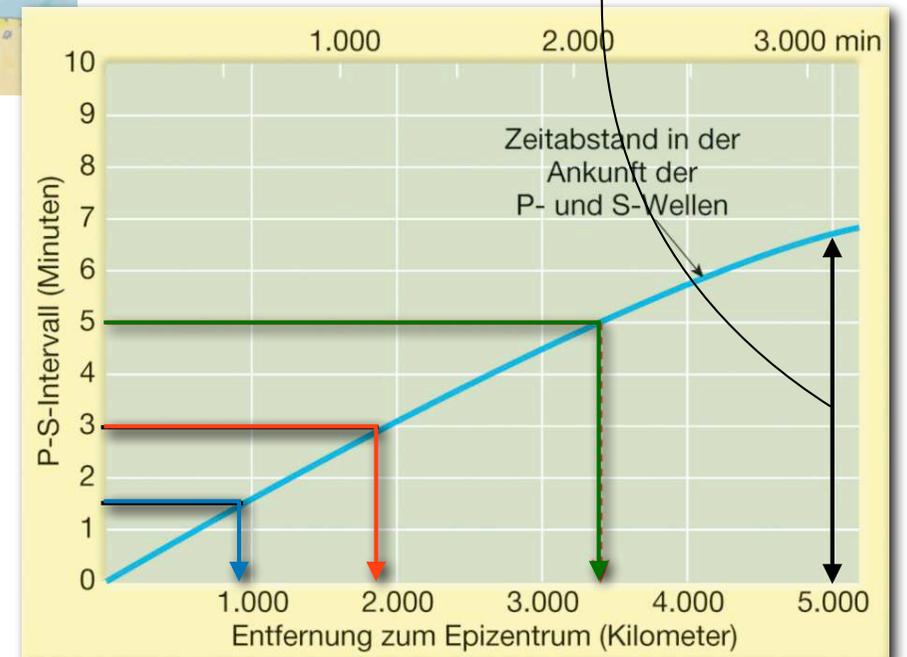
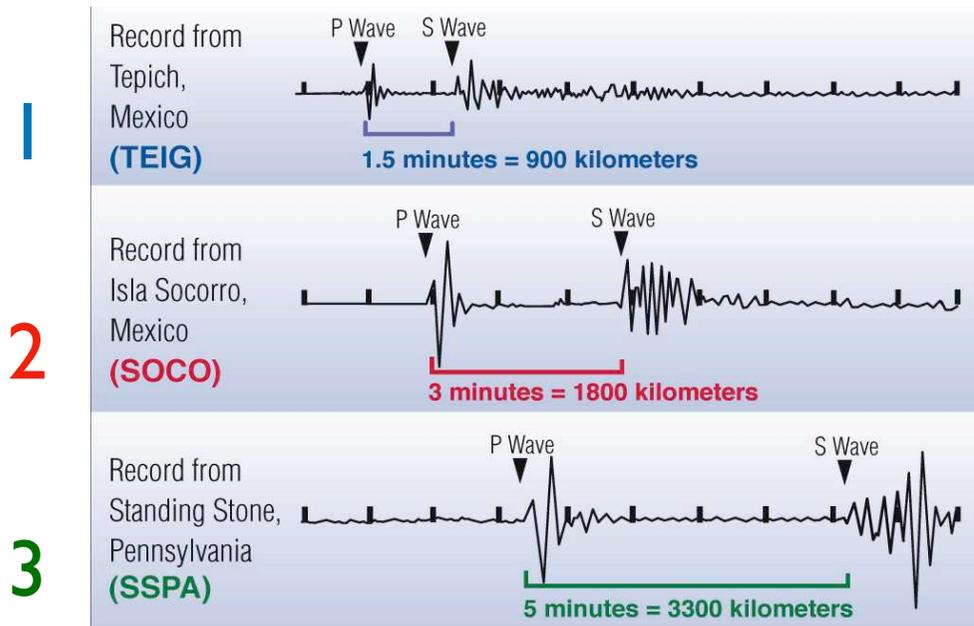
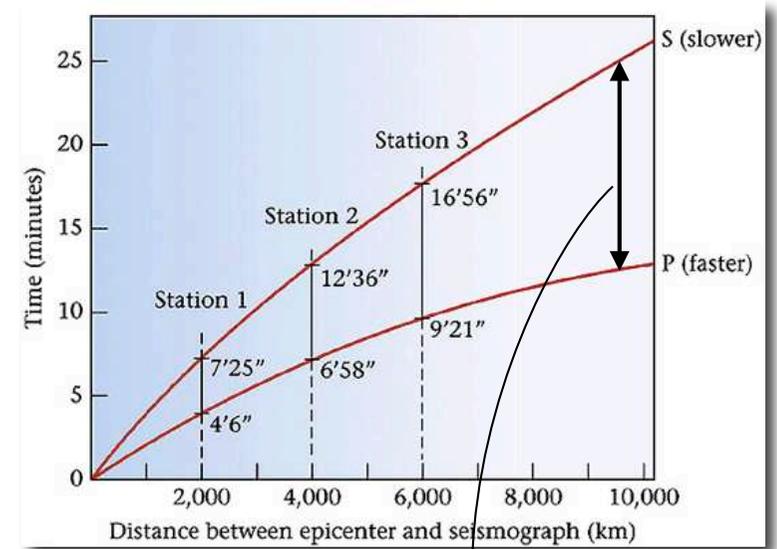


P - Welle schneller
S - Welle langsamer

Ankunftszeiten

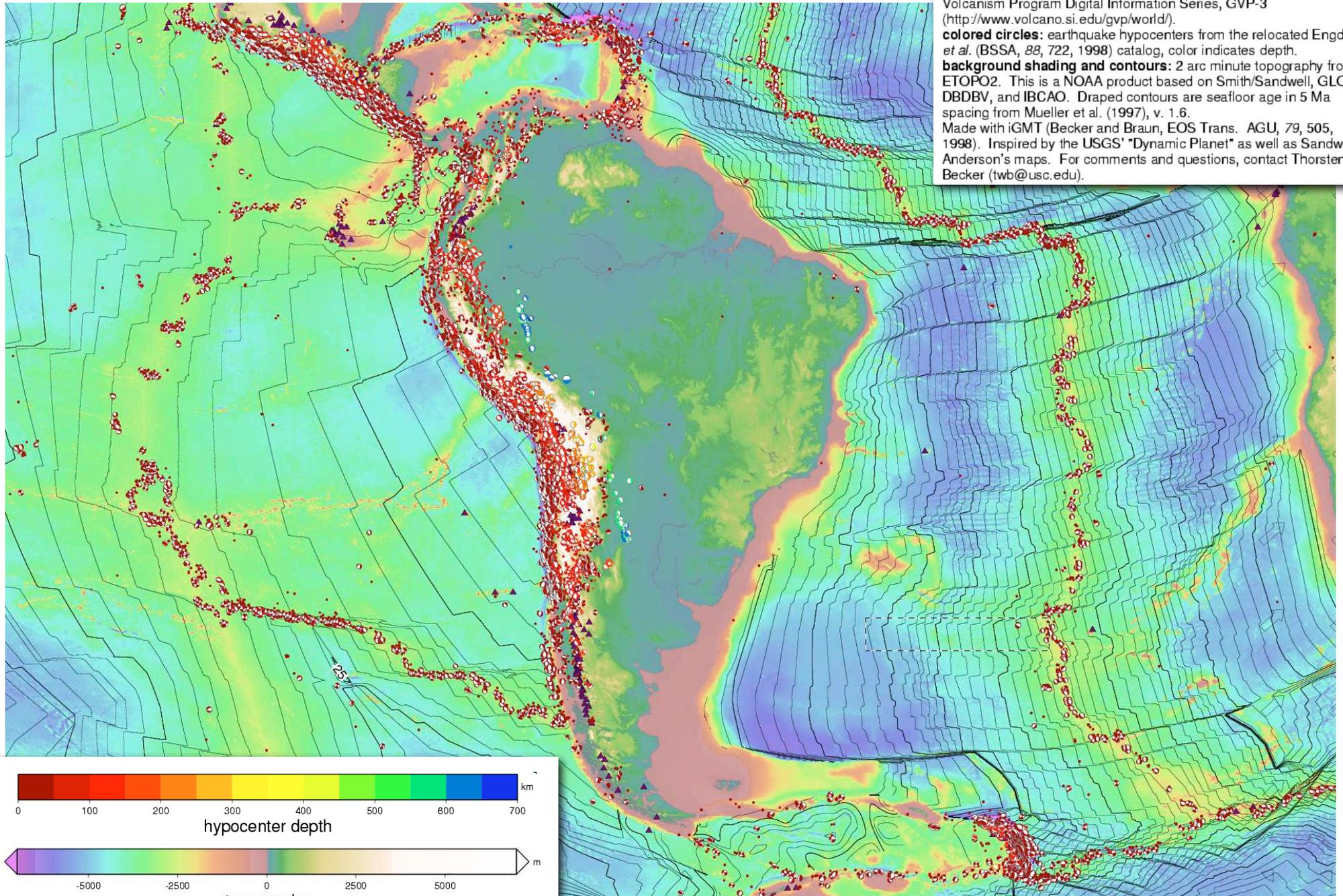


wo ist das Epizentrum ?



world map of seismicity

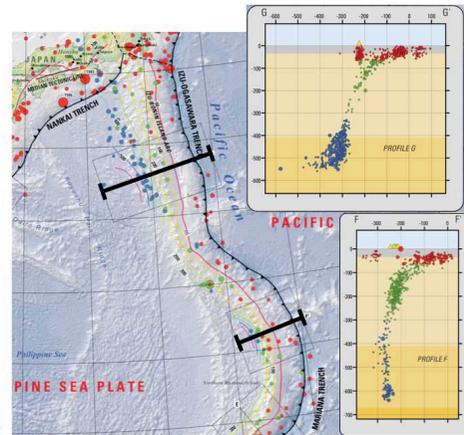
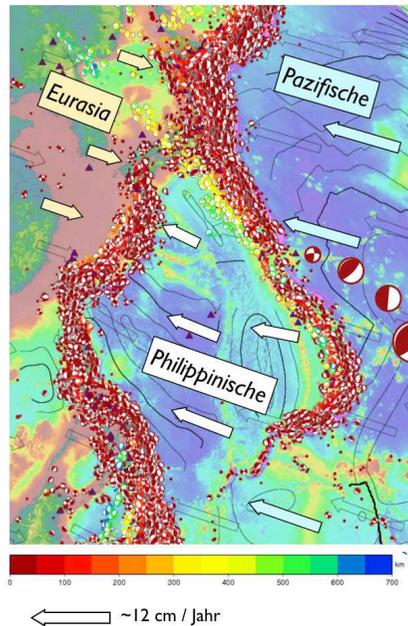
open vectors: crustal velocity model (non-rigid in places) in no-net-rotation reference frame from Kreemer *et al.* (GJI, 154, 5, 2003). Maximum velocity (in the Pacific at ~186E/16S) is ~12.2 cm/yr.
magenta triangles: holocene volcanoes from Siebert L, Simkin T (2002-): *Volcanoes of the World: an Illustrated Catalog of Holocene Volcanoes and their Eruptions*. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program Digital Information Series, GVP-3 (<http://www.volcano.si.edu/gvp/world/>).
colored circles: earthquake hypocenters from the relocated Engdahl *et al.* (BSSA, 88, 722, 1998) catalog, color indicates depth.
background shading and contours: 2 arc minute topography from ETOPO2. This is a NOAA product based on Smith/Sandwell, GLOBE, DBDBV, and IBCAO. Draped contours are seafloor age in 5 Ma spacing from Mueller *et al.* (1997), v. 1.6. Made with iGMT (Becker and Braun, EOS Trans. AGU, 79, 505, 1998). Inspired by the USGS' "Dynamic Planet" as well as Sandwell & Anderson's maps. For comments and questions, contact Thorsten Becker (twb@usc.edu).



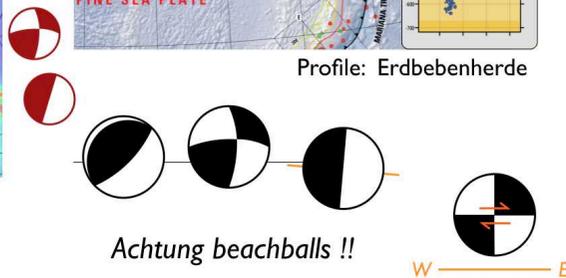
welcher Typ von Plattengrenze ist das ?

Station 5

Philippinische Platte: nur Subduktion !



Profile: Erdbebenherde



Plattentektonik sagt:

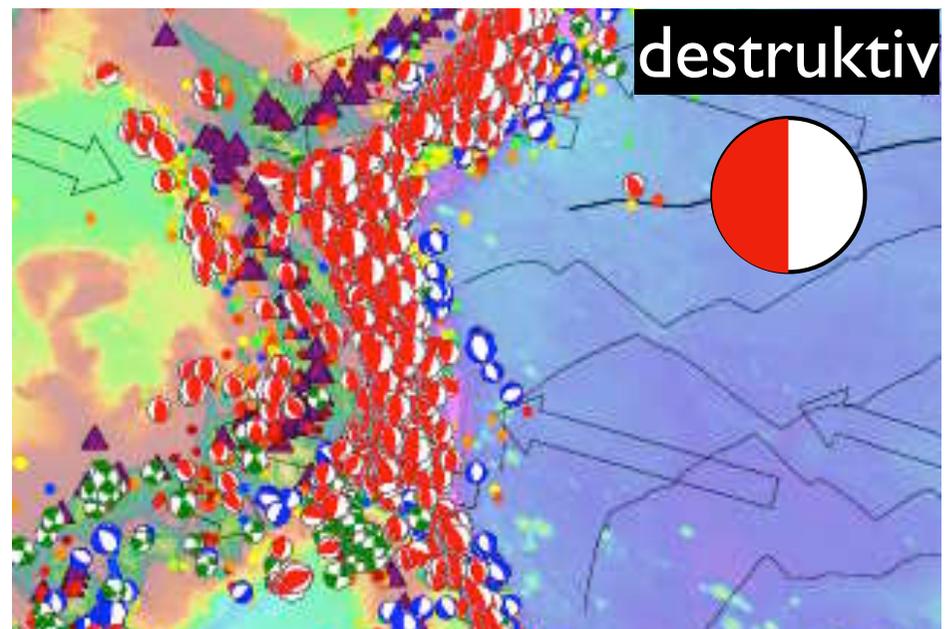
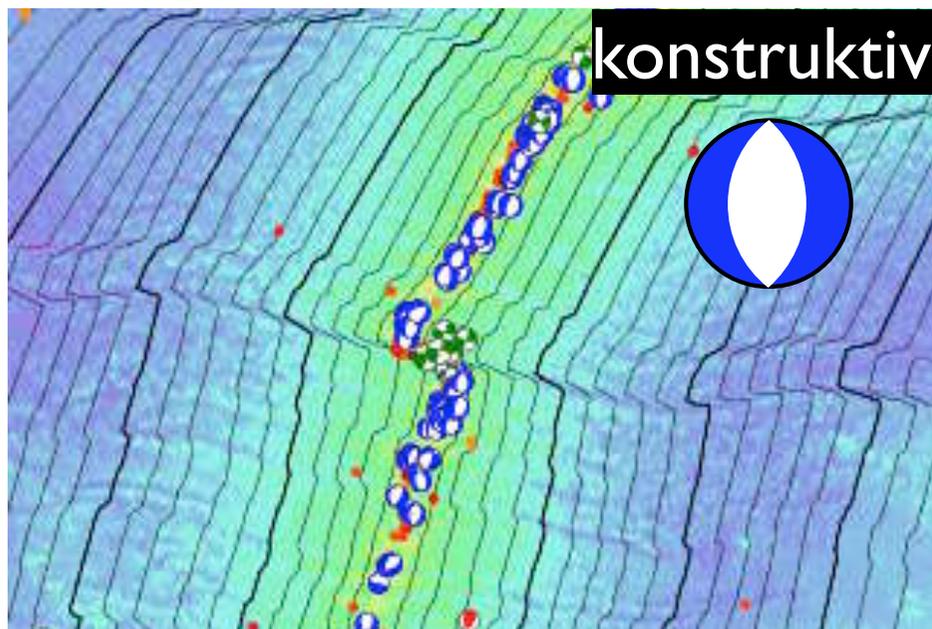
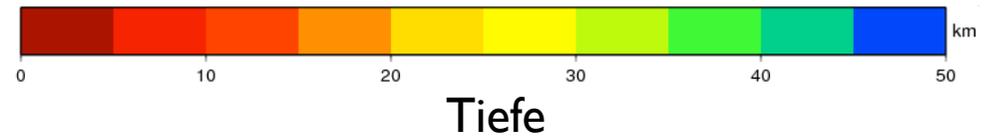
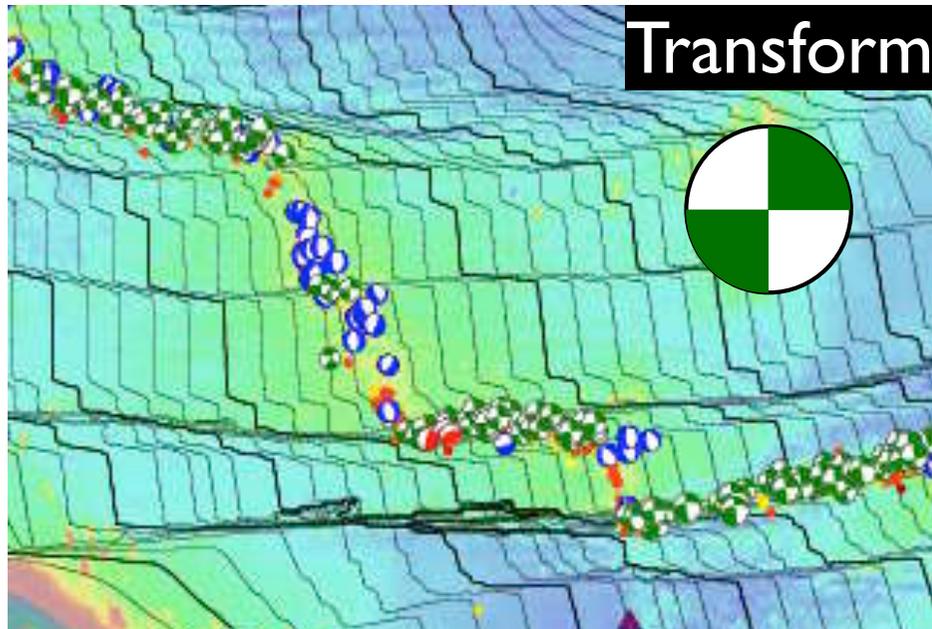
- an Subduktionen taucht Platte ab
- Überschiebung der obenliegenden Platte
- die abtauchende Platte gelangt in den konvektierenden Mantel

destruktive Plattengrenze

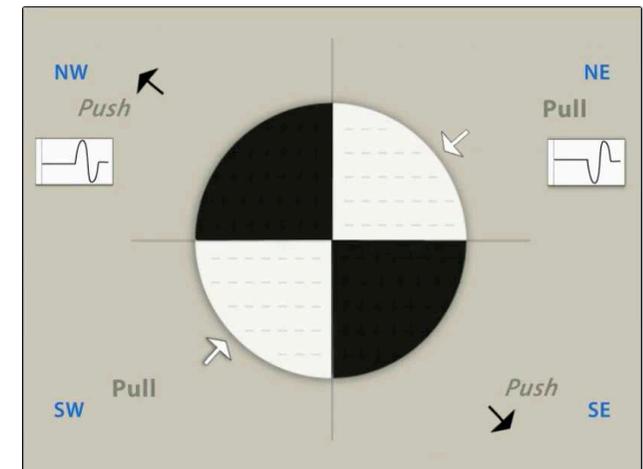
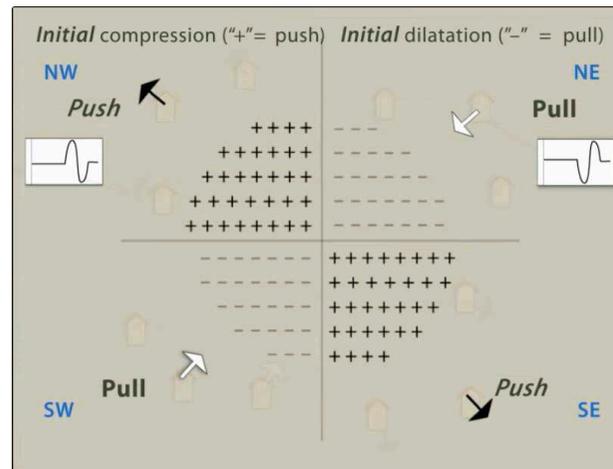
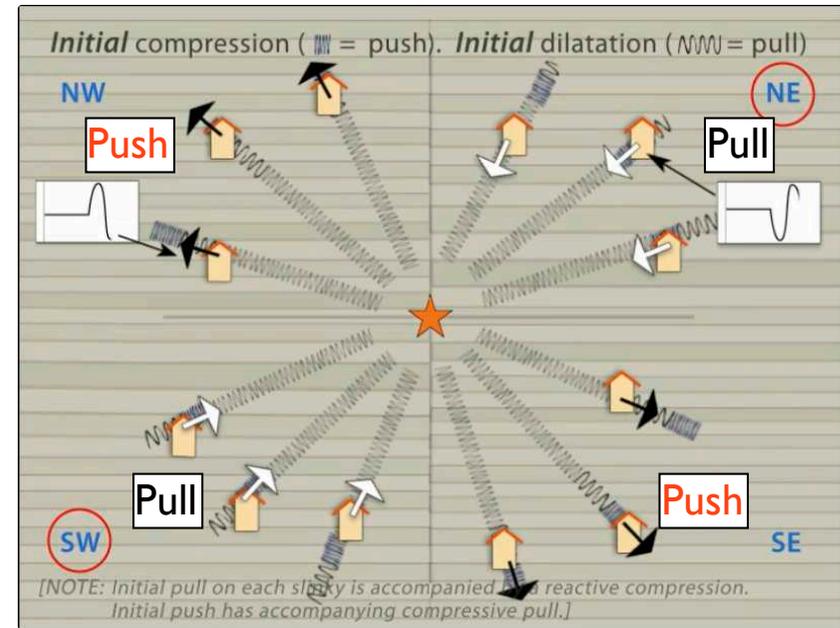
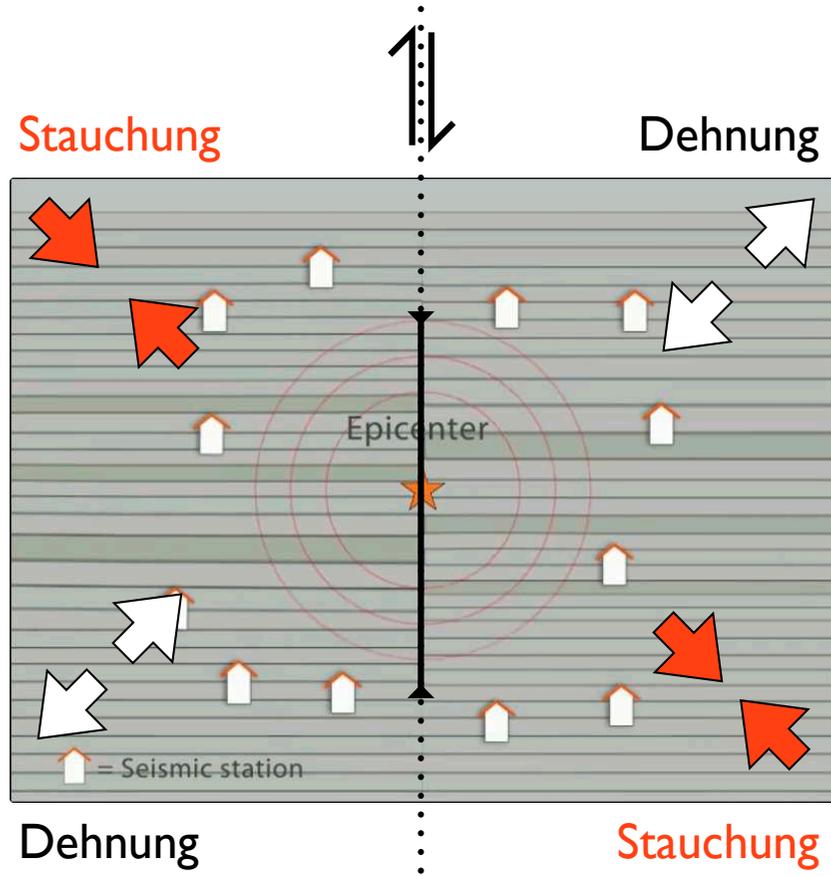
woher wissen wir das ?

- Weiterentwicklung der Seismologie: Herdflächenlösungen
- seismische Diskontinuitäten
- seismische Tomographie

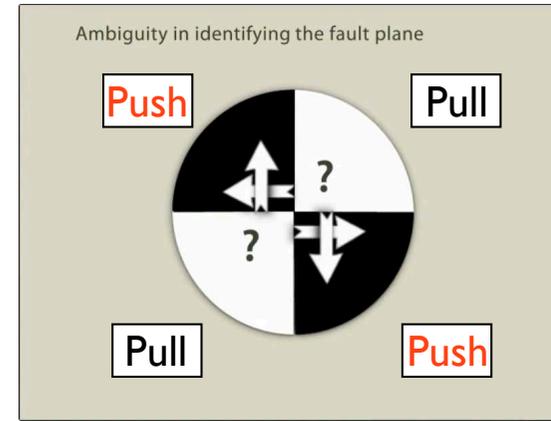
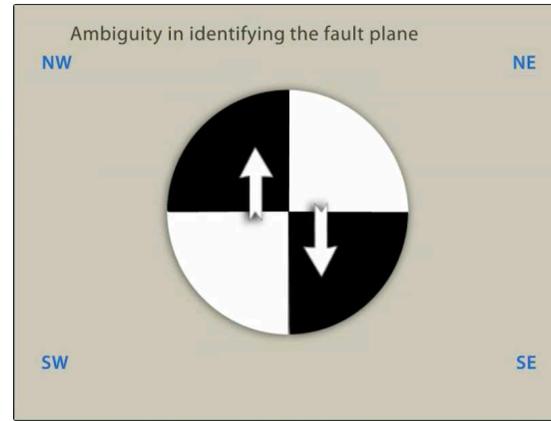
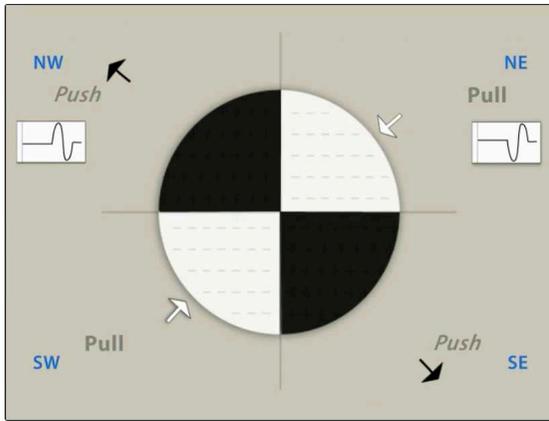
drei verschiedene Plattengrenzen



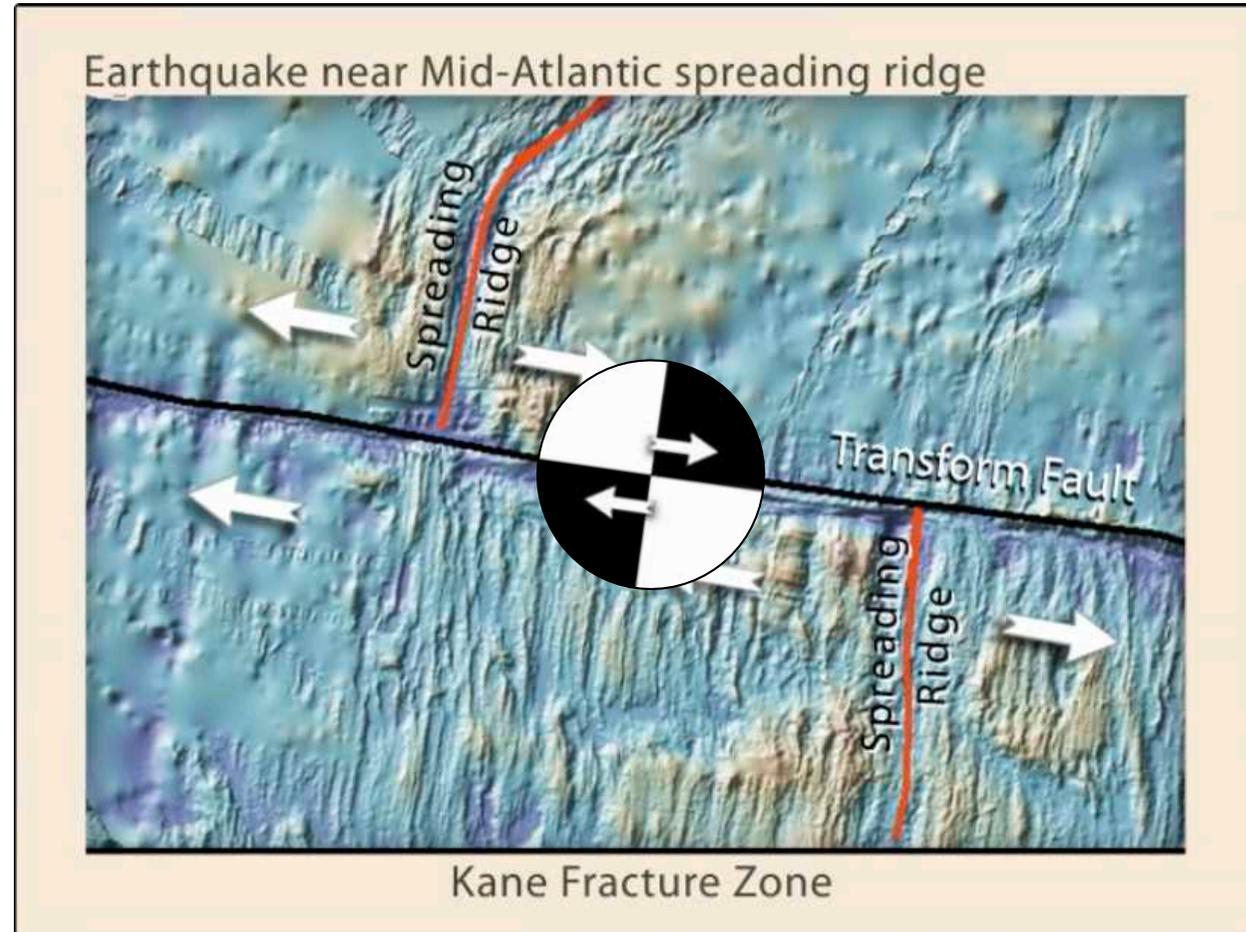
Transformbrüche – Herdflächenlösung



welches ist die aktive Verwerfung ?



geologische Einsicht



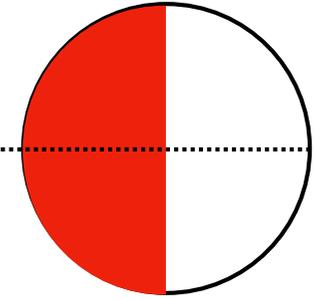
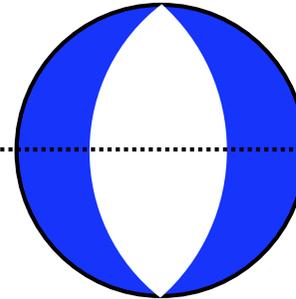
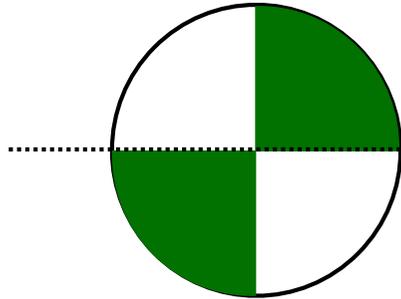
beachballs für alle Plattengrenzen

konservative

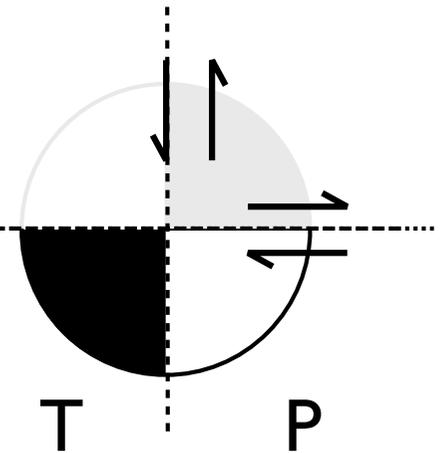
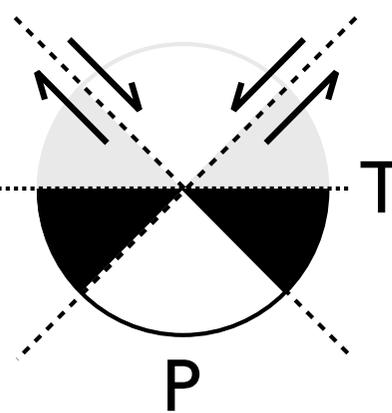
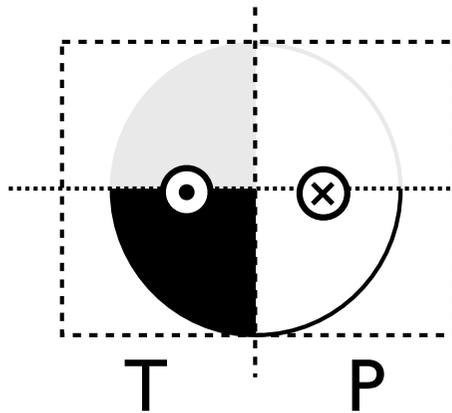
konstruktive

destruktive

auf der Karte



im Profil



- Profilspur
- Bruchfläche
- T = Tension
- P = Kompression

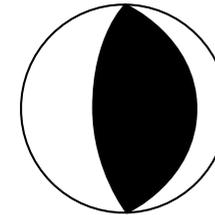
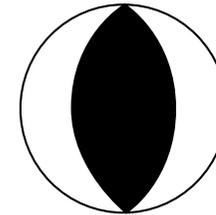
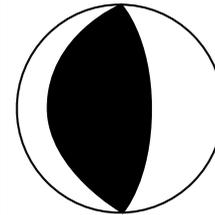
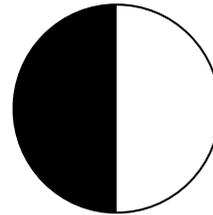
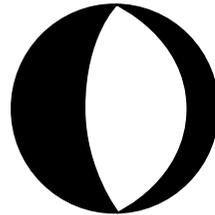
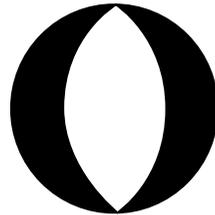
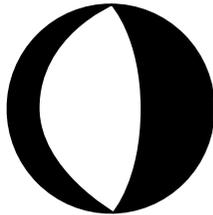
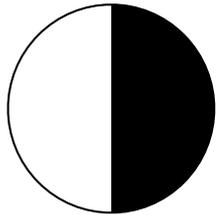
- ⇨⇨ dextraler Schersinn
- ⇦⇦ sinistraler Schersinn
- ⊙ aus der Bildebene heraus
- ⊗ in die Bildebene hinein

beachballs in der Karte und im Profil

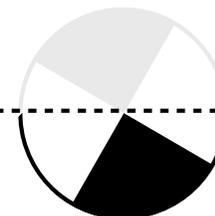
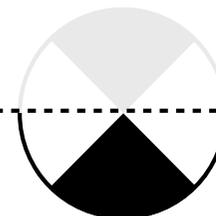
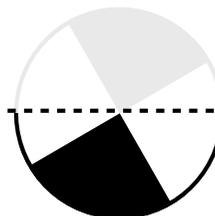
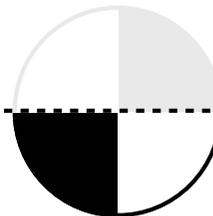
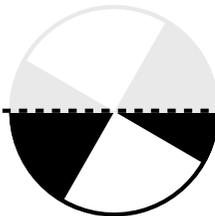
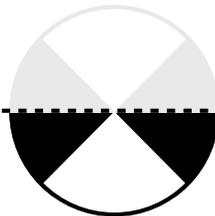
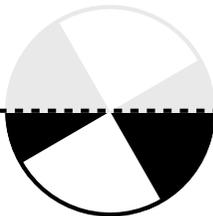
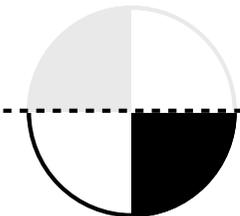
konstruktive

destruktive

in der Karte



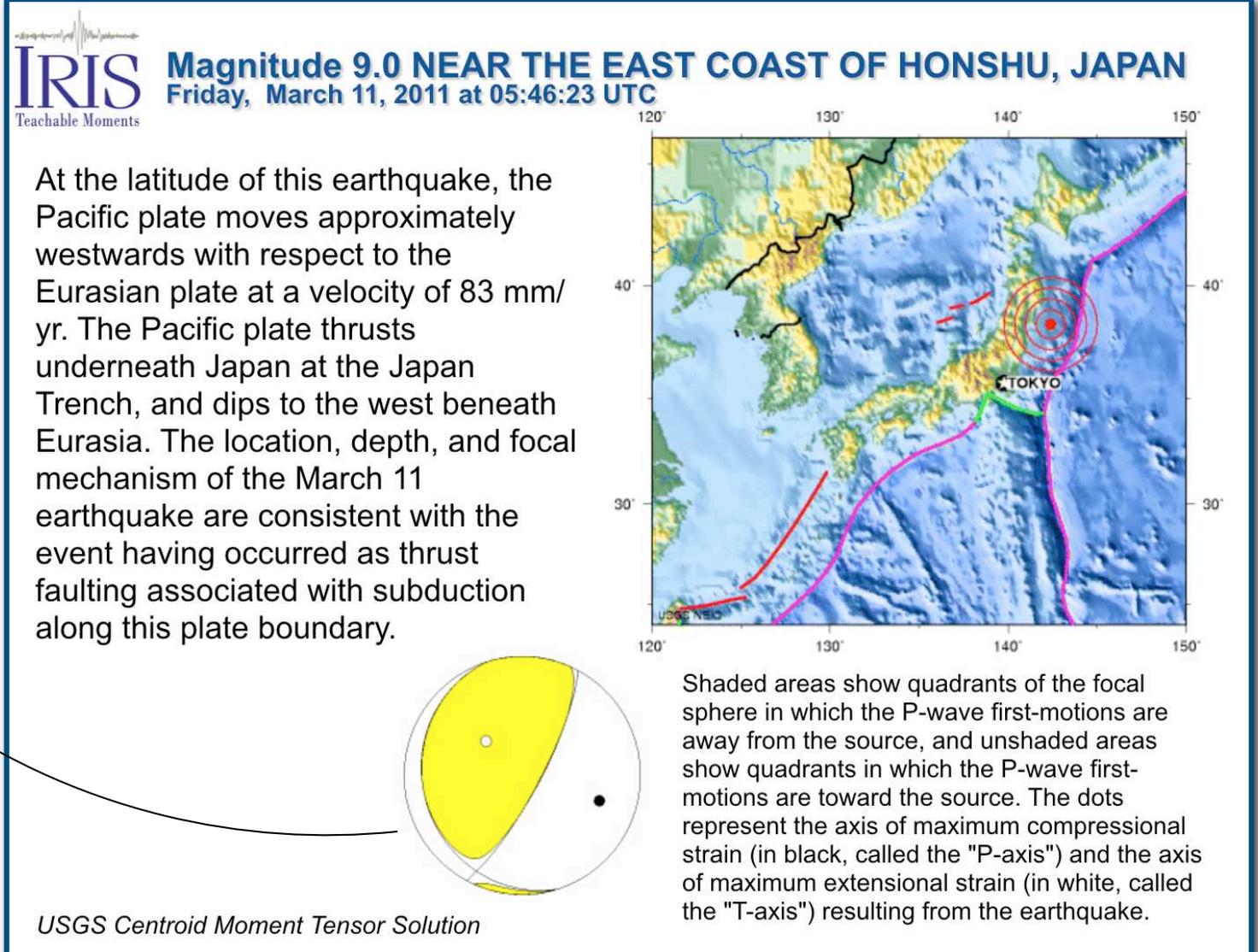
im Profil



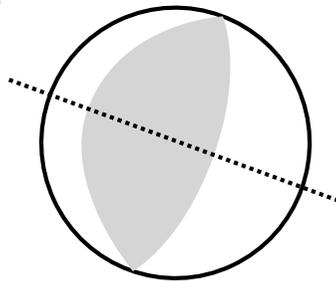
Abschiebungen
nach Ost

Überschiebungen
nach Ost

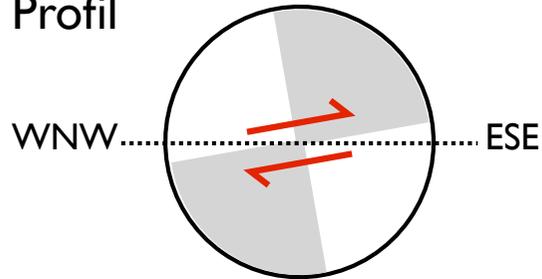
IRIS Teachable Moments: Tohoku 2011



Karte

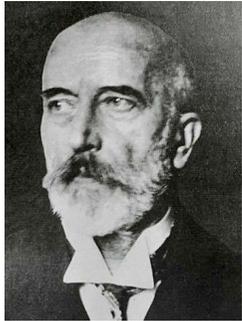


Profil

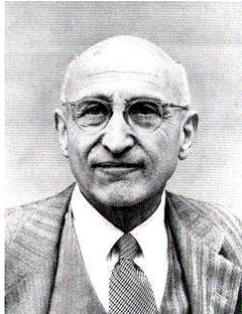


Überschiebung nach Ost = Abtauchen der Pazifischen Platte nach West

seismischer Aufbau des Erdinnern



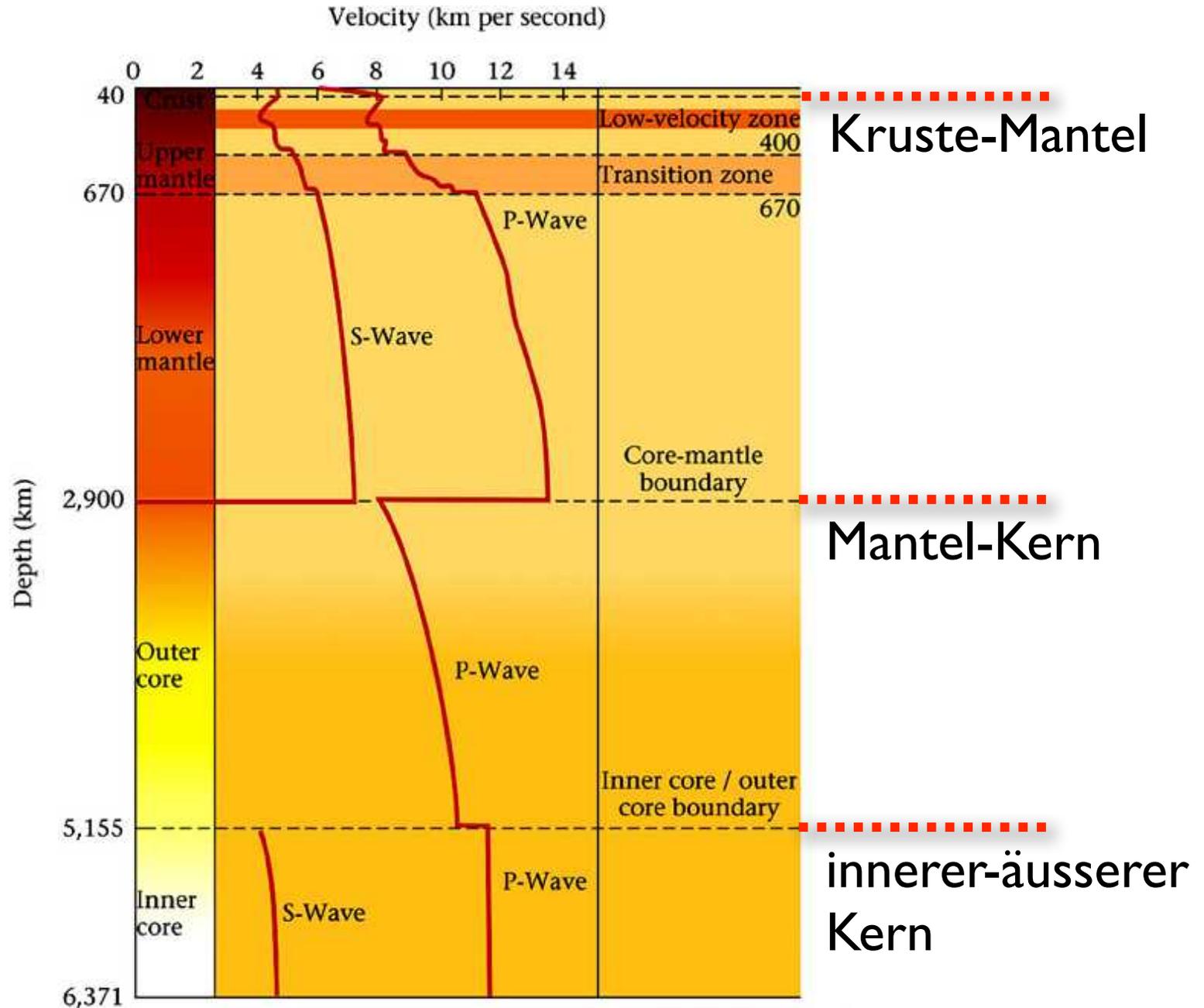
Andrija Mohorovičić
(1857 - 1936)



Beno Gutenberg
(1889 - 1960)

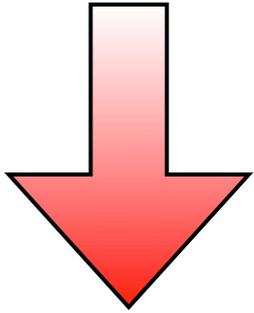


Inge Lehmann
(1888 - 1993)

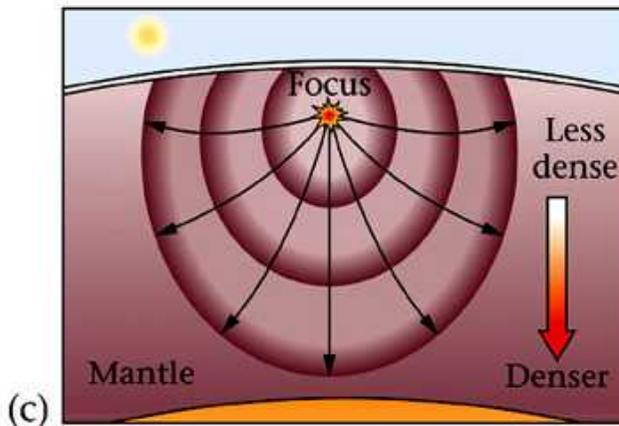
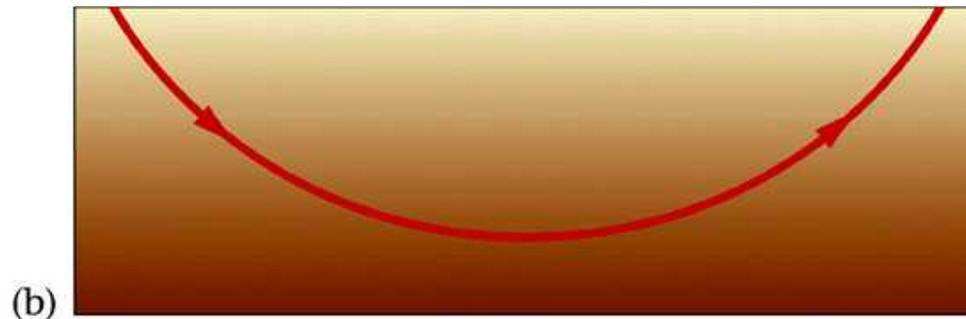
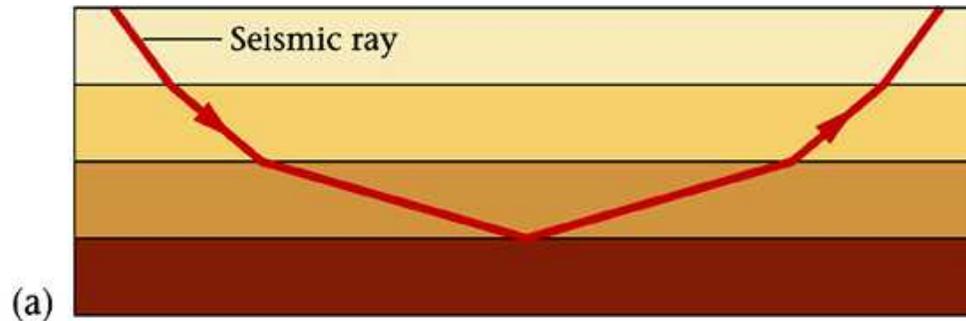


Fortpflanzung seismischer Wellen

less stiff

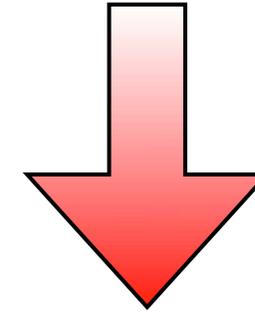


stiffer



Curved rays in a mantle whose density increases gradually with depth

slower

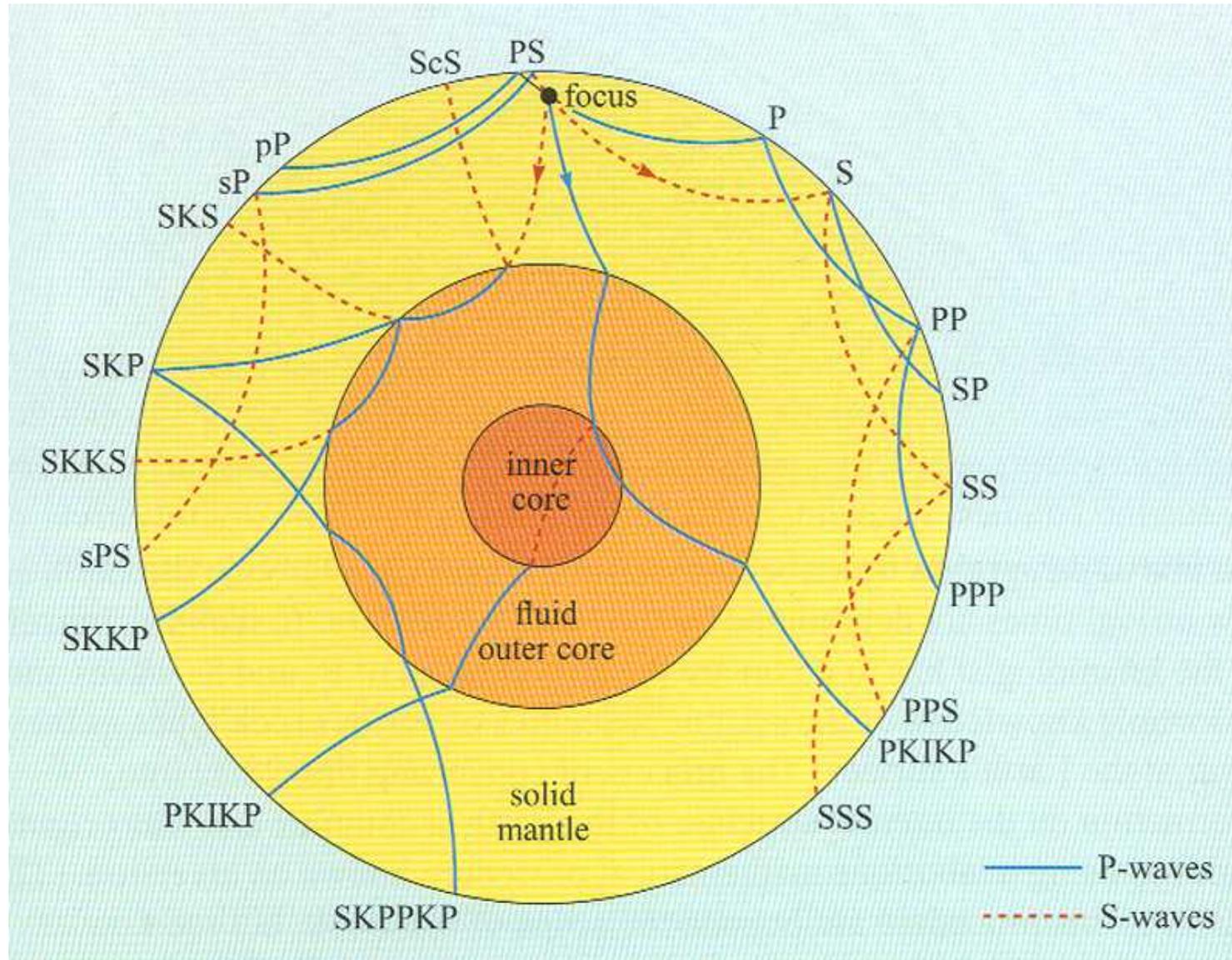


faster

$$\text{speed} = \sqrt{\frac{\text{elastic modulus}}{\text{density}}}$$

gekrümmte Trajektorien ...

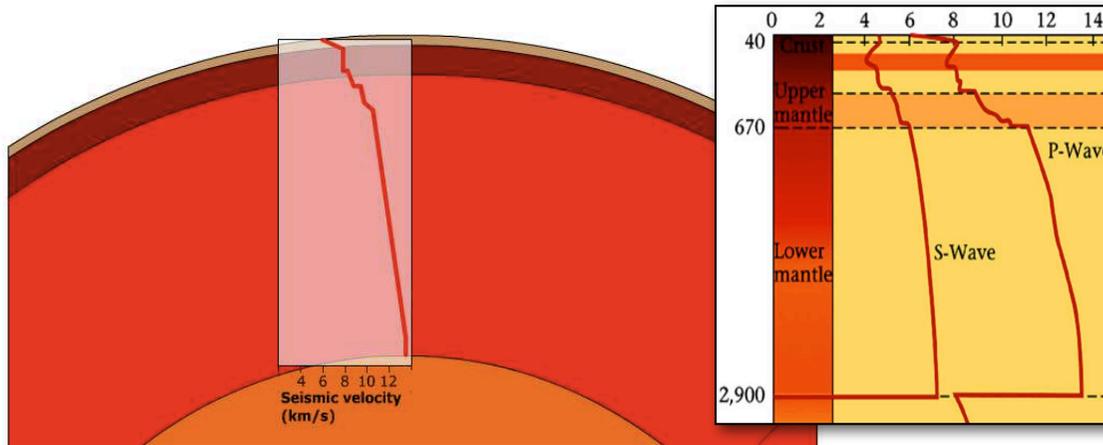
... wegen seismischer Refraktion



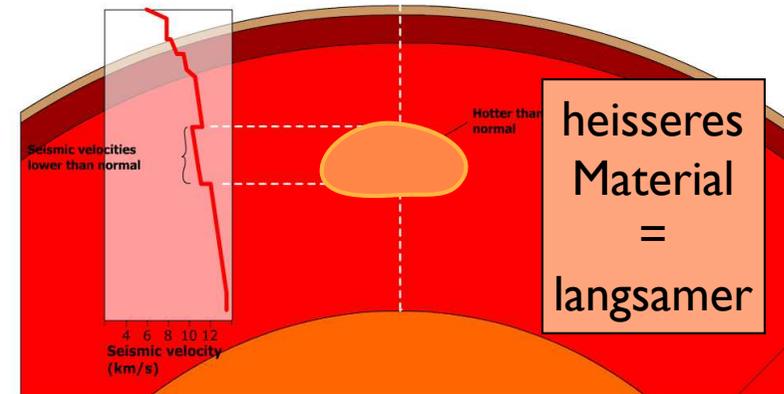
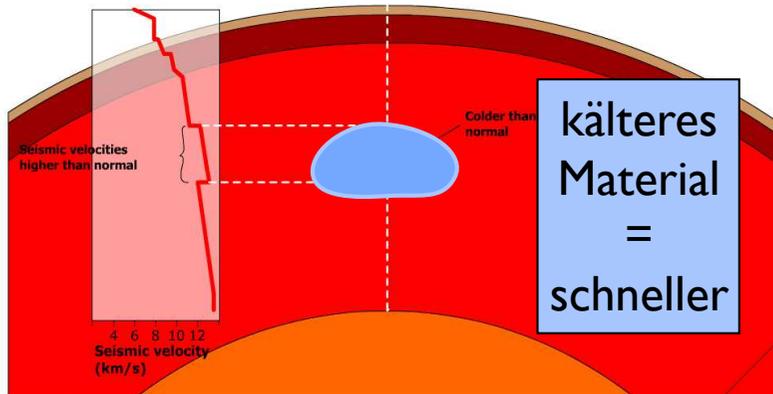
S-Wellen propagieren nicht durch Flüssigkeit

P-Wellengeschwindigkeit = f (T)

Normale P-Wellengeschwindigkeiten im Mantel



Einfluss von Temperaturvariationen

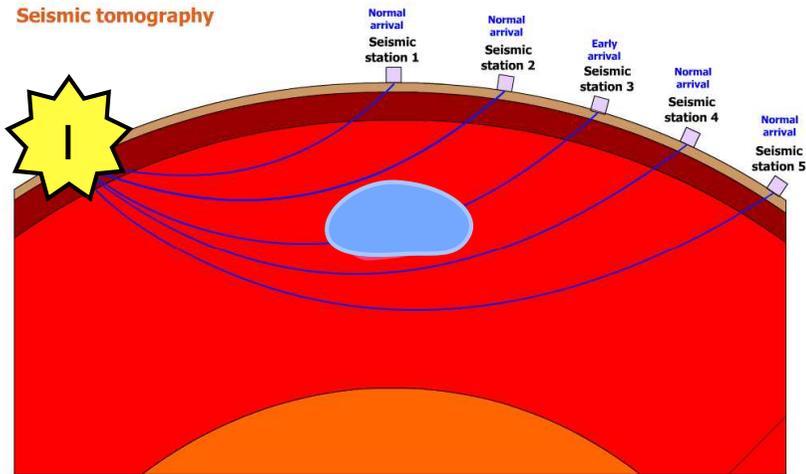


Wellengeschwindigkeit
höher
in kälterem Material

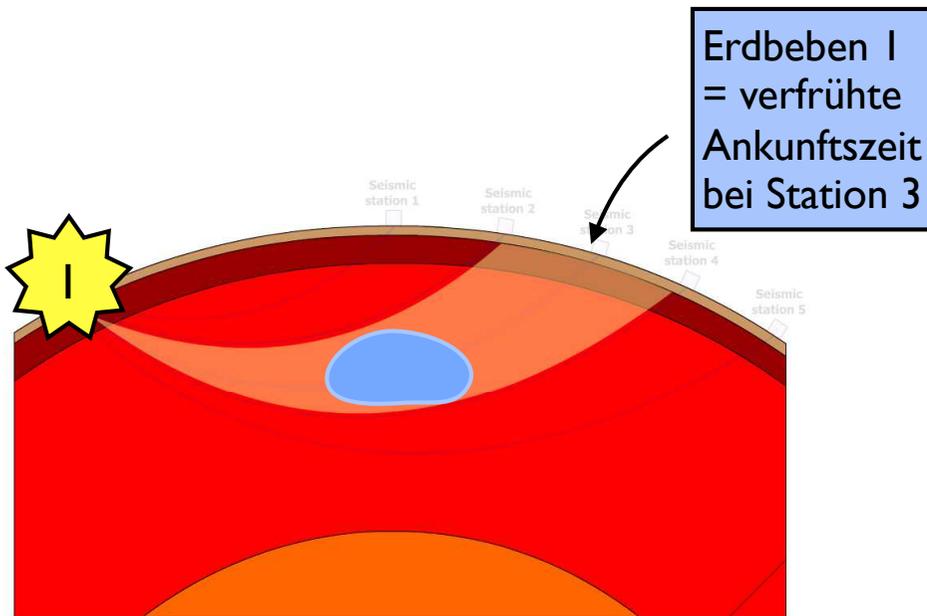
Wellengeschwindigkeit
tiefer
in wärmerem Material

P-Wellen-Ankunftszeiten

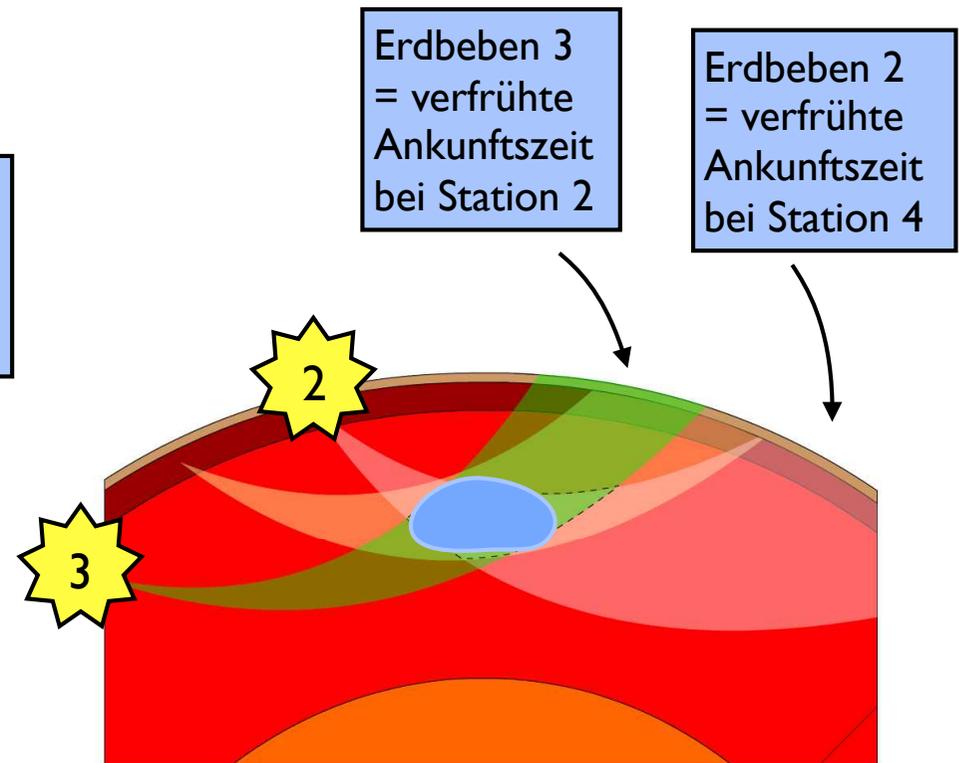
Seismic tomography



verfrühte Ankunftszeiten
⇒ kalter Körper

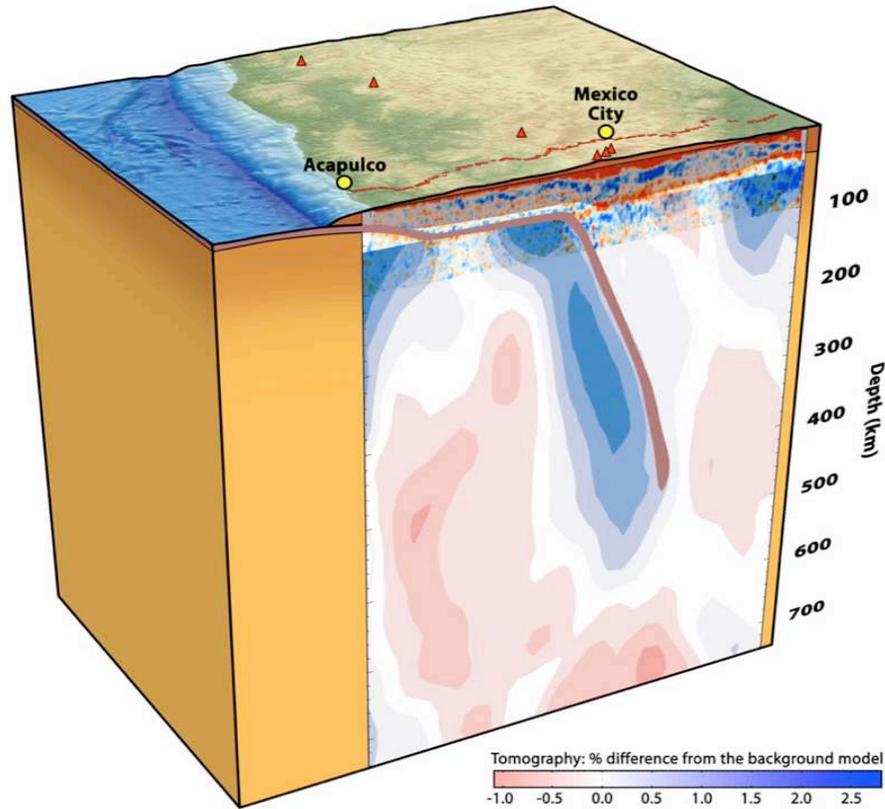


I. Erdbeben

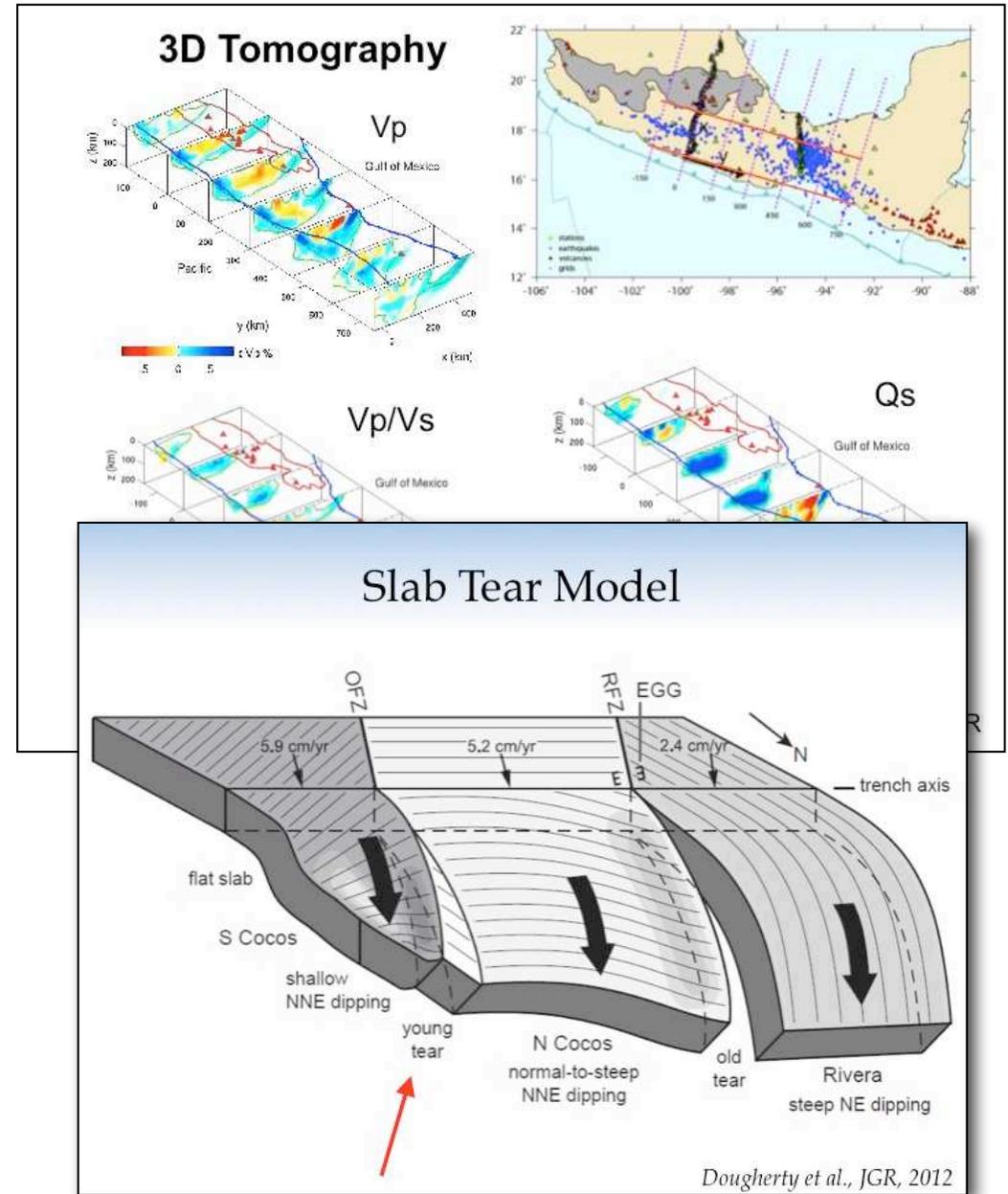


2., 3. Erdbeben

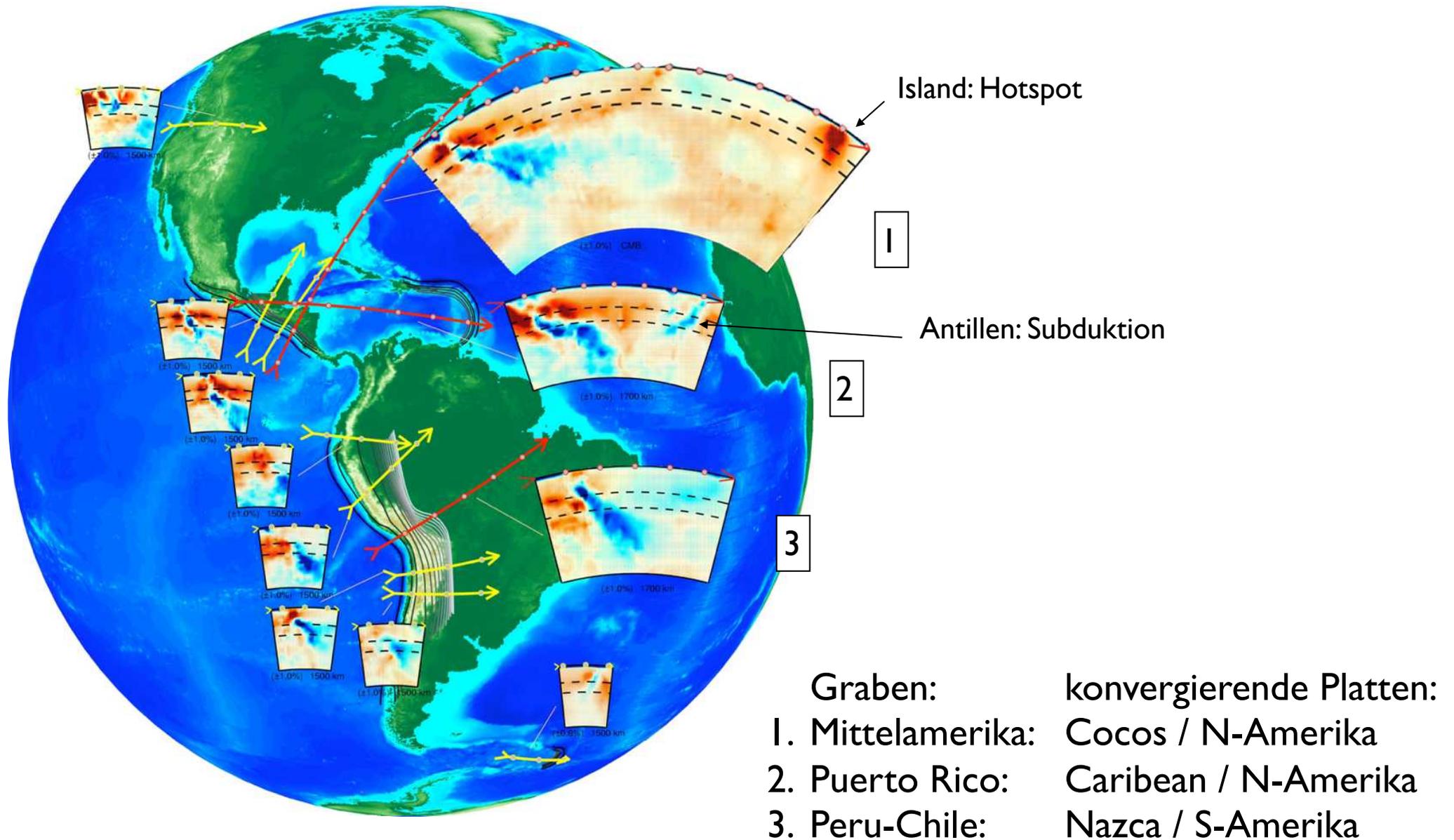
3D Visualisierung



MASE - Meso-America Subduction Experiment
<http://web.gps.caltech.edu/~clay/MexWeb/MexSubduction.html>

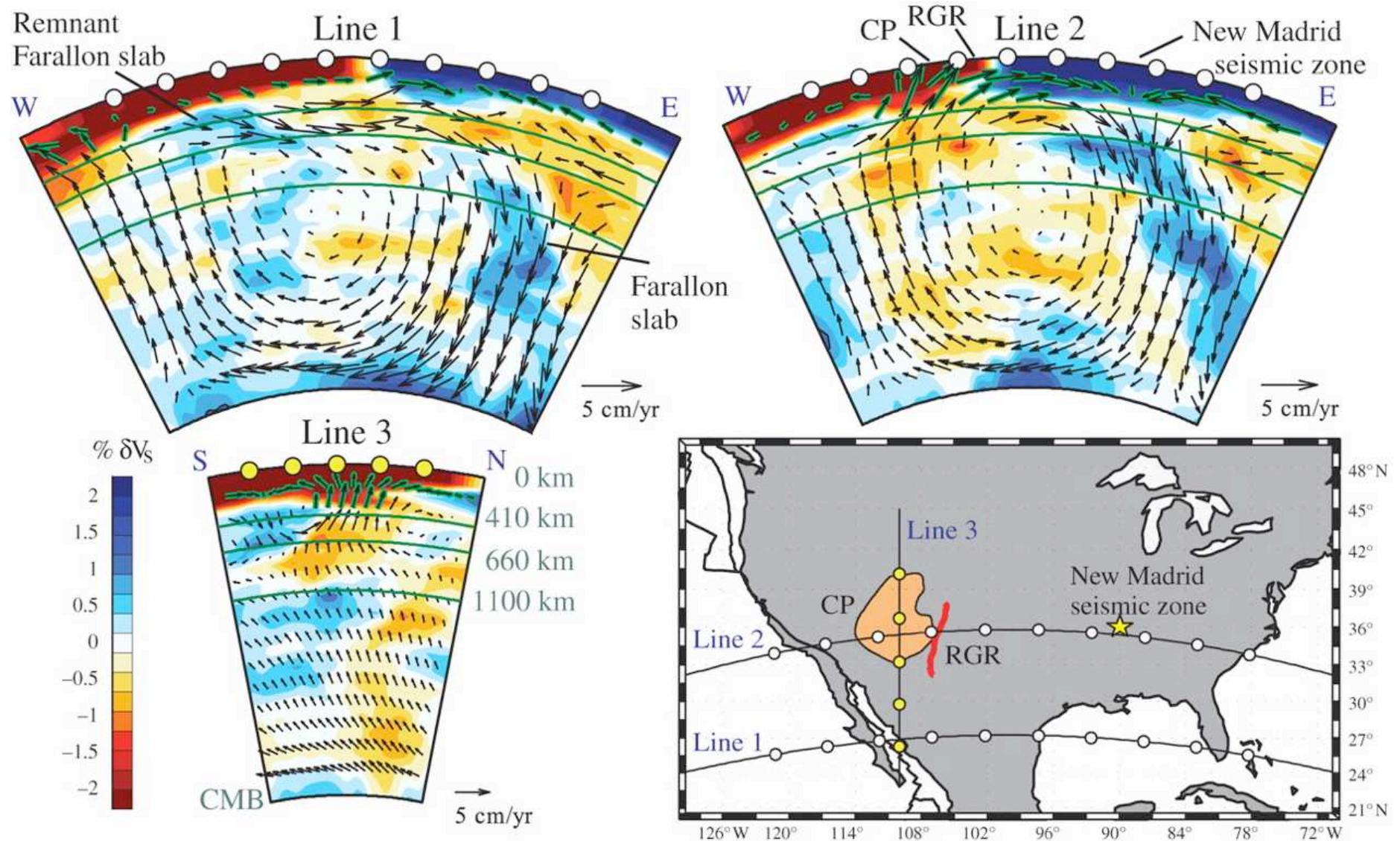


Tomographie von Subduktionszonen



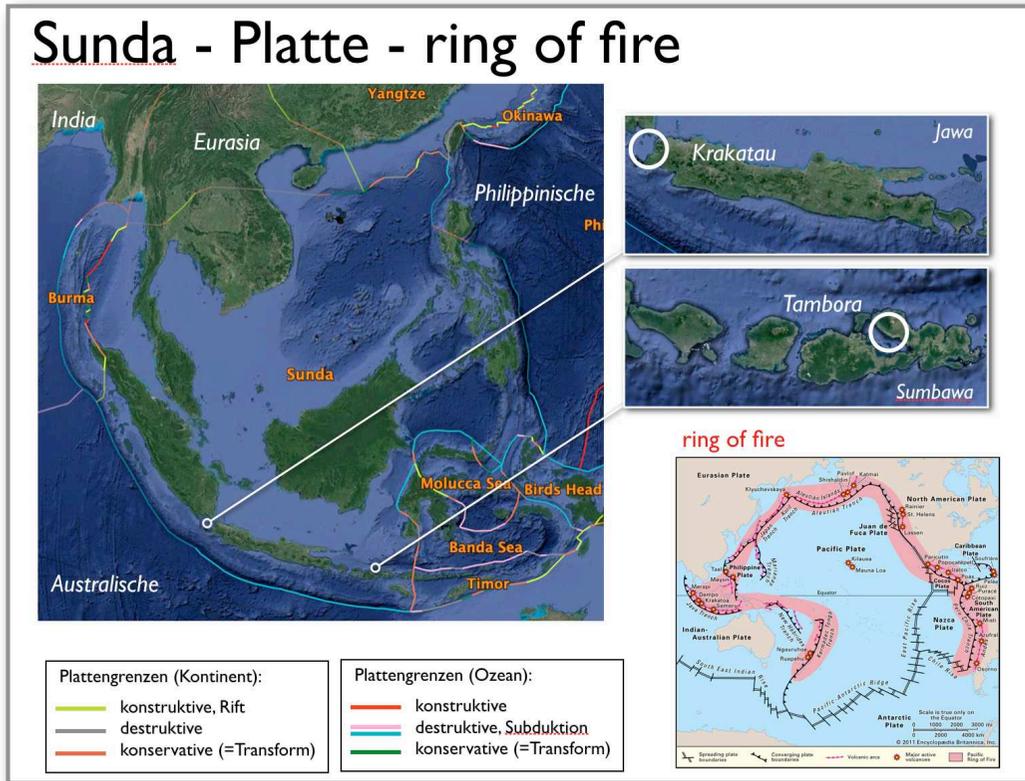
gestrichelt: Untergrenzen Lithosphäre, Asthenosphäre
 Untergrenze Profil 1: ~2900 km - 2: ~1600 km - 3: ~1800 km
<http://web.gps.caltech.edu/~clay/MexWeb/MexSubduction.html>

Interpretation: Mantelkonvektion



... und noch etwas - Wärmefluss !

Station 6



Plattentektonik sagt:

- durch die abtauchende kalte Platte entsteht in der oberliegenden Schmelze ...
- ... und dadurch Vulkanismus

destruktive Plattengrenze

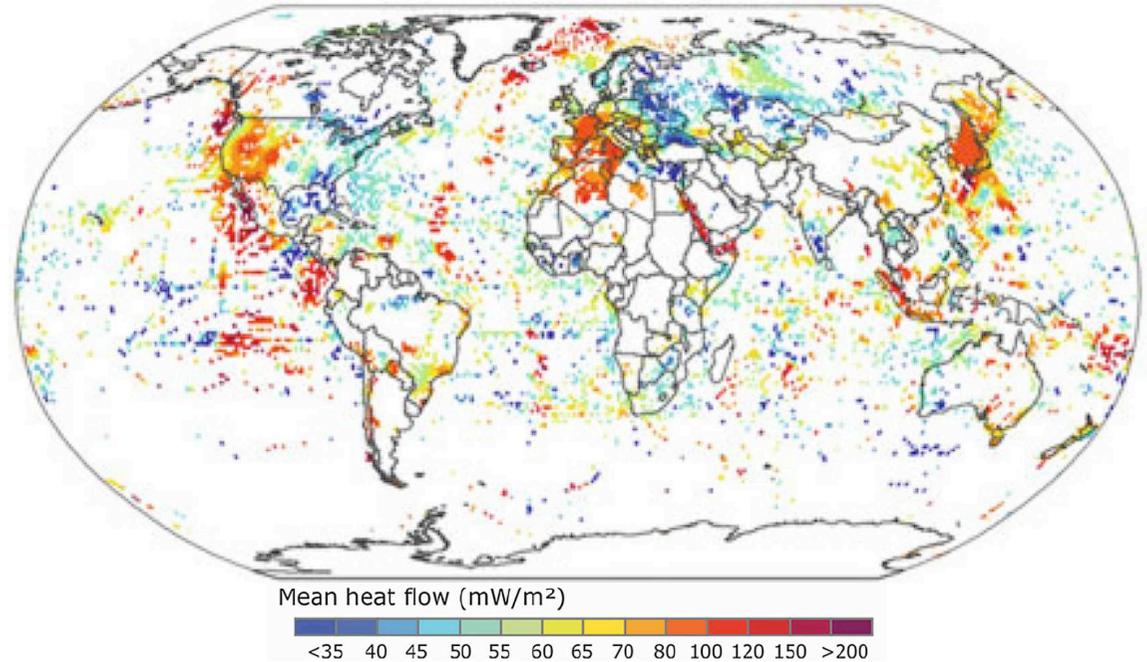
woher wissen wir das ?

- Petrologie - Zusammensetzung des vulkanischen Gesteins
- Wärmeflussmessungen - Geothermie

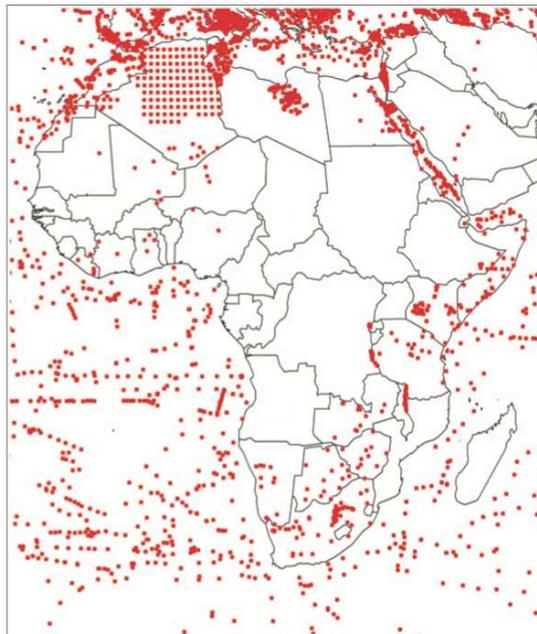
Wärmefluss ...

Datenpunkte:

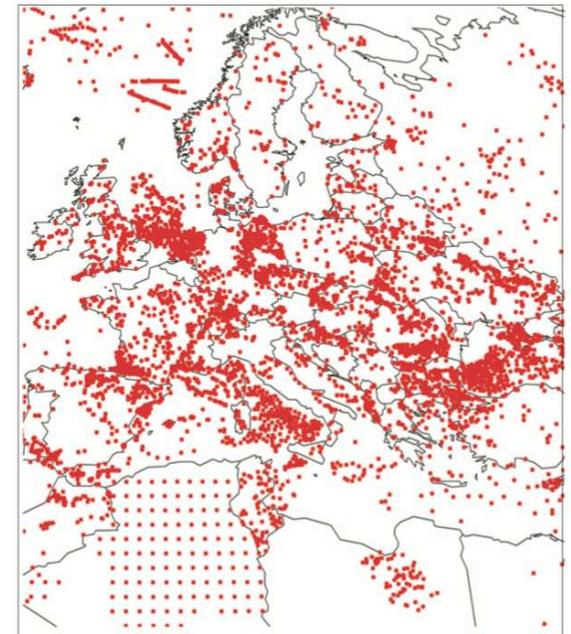
1. Ozean: hydrothermal
2. Kontinent: instrumental
3. geologisch interpretiert



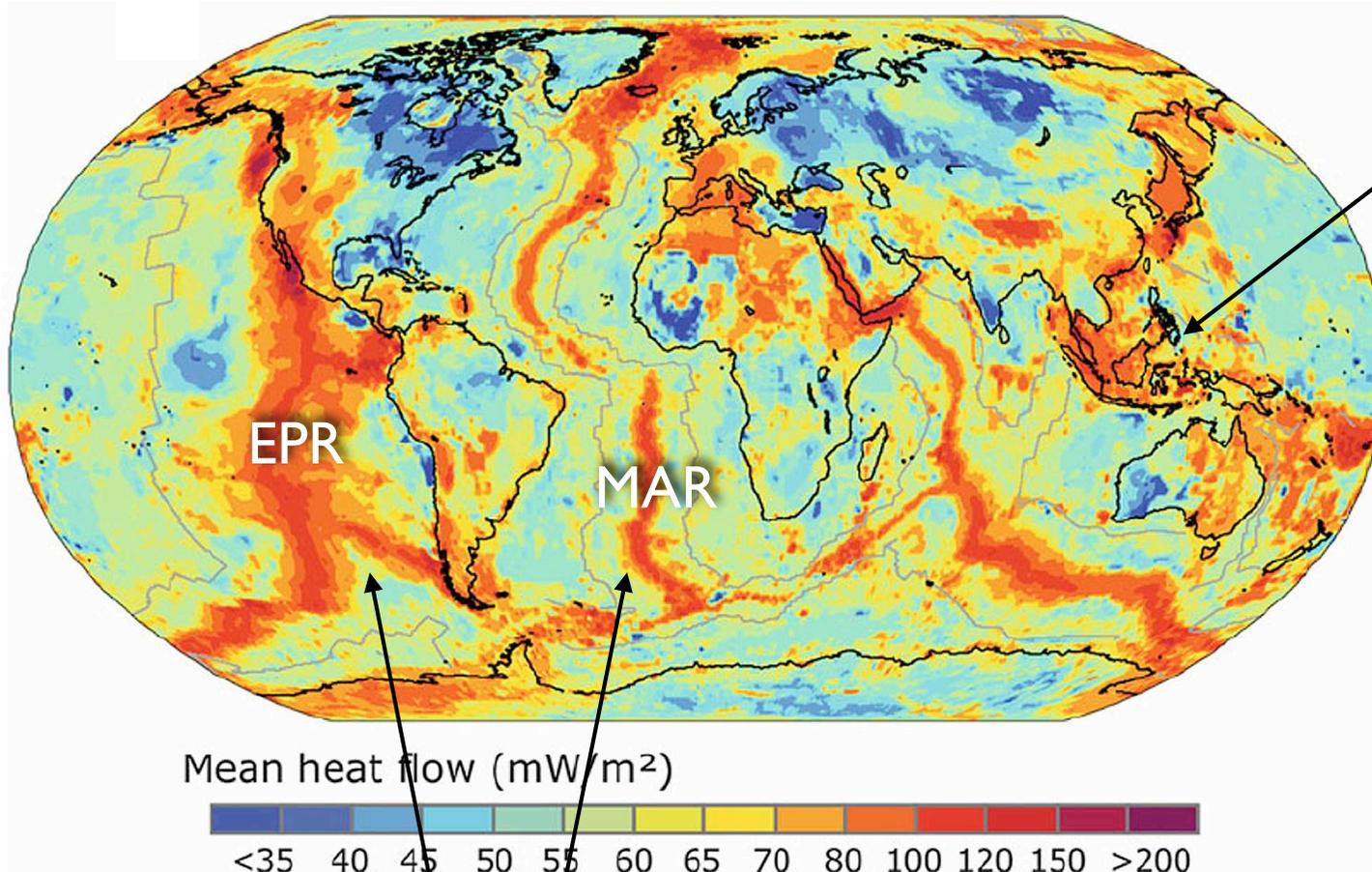
Messpunkte Afrika



Europa

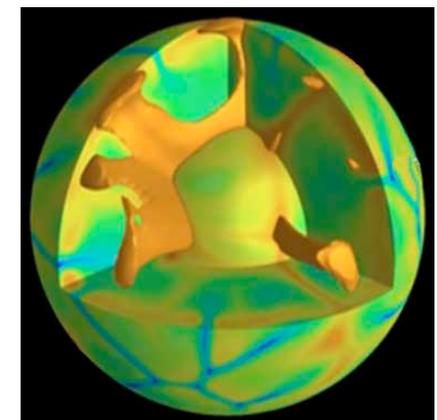


... an Subduktionen und mitteloze. Rücken



durch Aufschmelzung
Hydratisierung führt zu
Schmelzpunktniedrigung
destruktive Plattengrenze

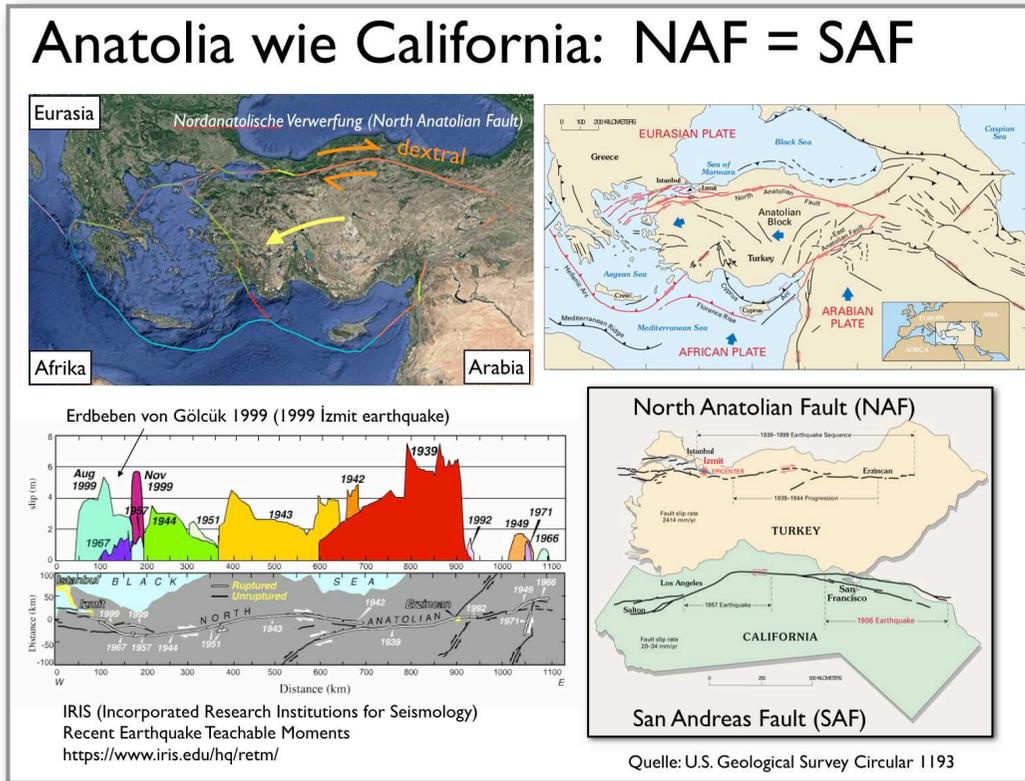
durch Konvektion
Mantelmaterial wird zur
Oberfläche transportiert
konstruktive Plattengrenze



Konvektionsmodell

transforms - der letzte Stein im Puzzle

Station 7



Plattentektonik sagt:

- an Transformbrüchen gleiten Platten aneinander vorbei
- diese gibt in der mittelozeanischen und ...
- ... kontinentalen Lithosphäre

konservative Plattengrenze

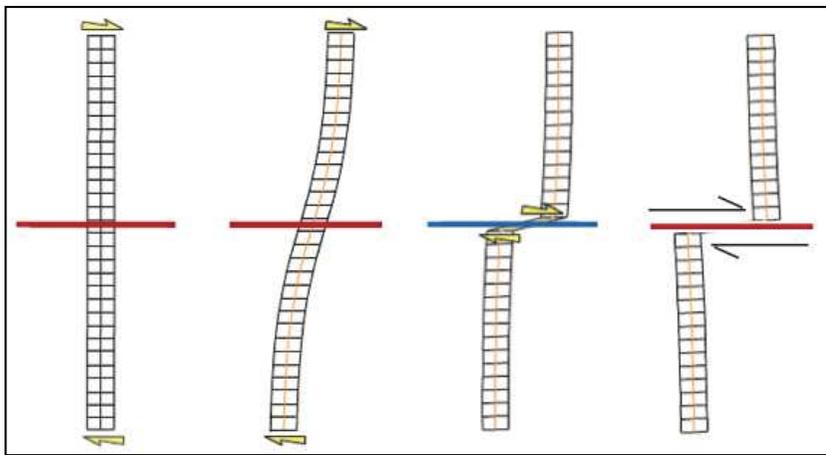
woher wissen wir das ?

- post-seismische Aufzeichnungen
- Herdflächen-Analysen

Lawson Report: genaue Dokumentation

Erkenntnis

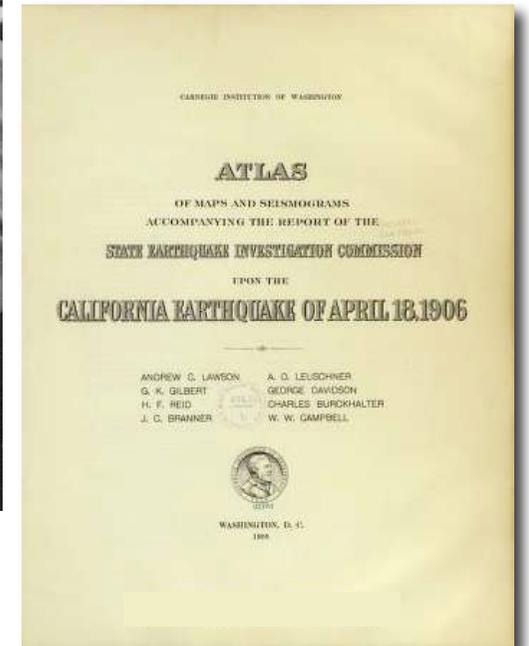
- San Andreas Fault
- Strike slip Bewegung
- Wiederholte Beben
- "Elastic rebound"
- Beziehung Geologie - Intensität
- Einfluss der Bauweise



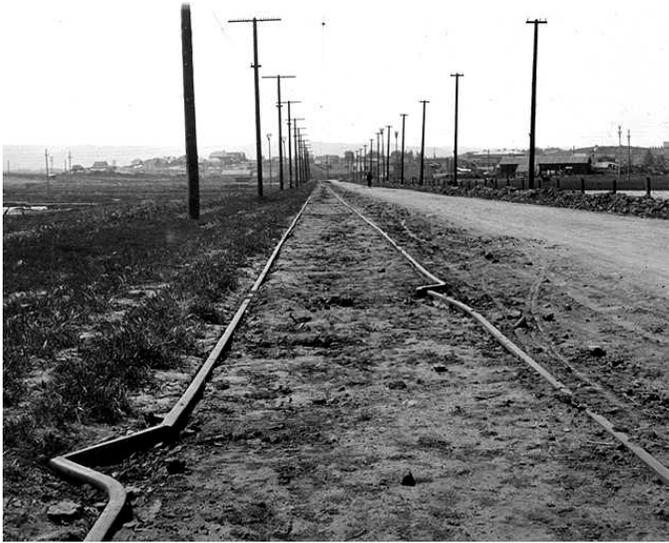
elastic rebound



Andrew Cowper Lawson
1861-1952



horizontaler und vertikaler Versatz



"Roadbed and rails of electric railway, on marsh west of San Bruno" - Pl. 97A
(J. B. Macelwane archives, Saint Louis University)



"Lurching of ground toward Salinas River near Spreckels" - nos. 137A
(J. B. Macelwane archives, Saint Louis University)

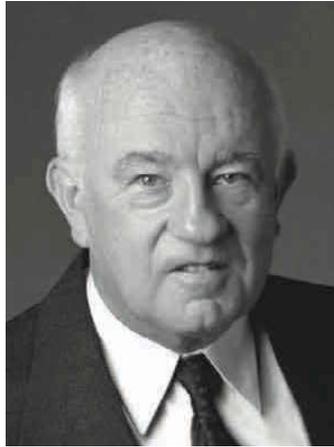


Road to Inverness, California, which had been straight before the earthquake of April 18, 1906, offset twenty-one feet where it was crossed by the earthquake fault.
- H.O.W., California Earthquake Investigation Commission.
(J. B. Macelwane Archives, Saint Louis University)

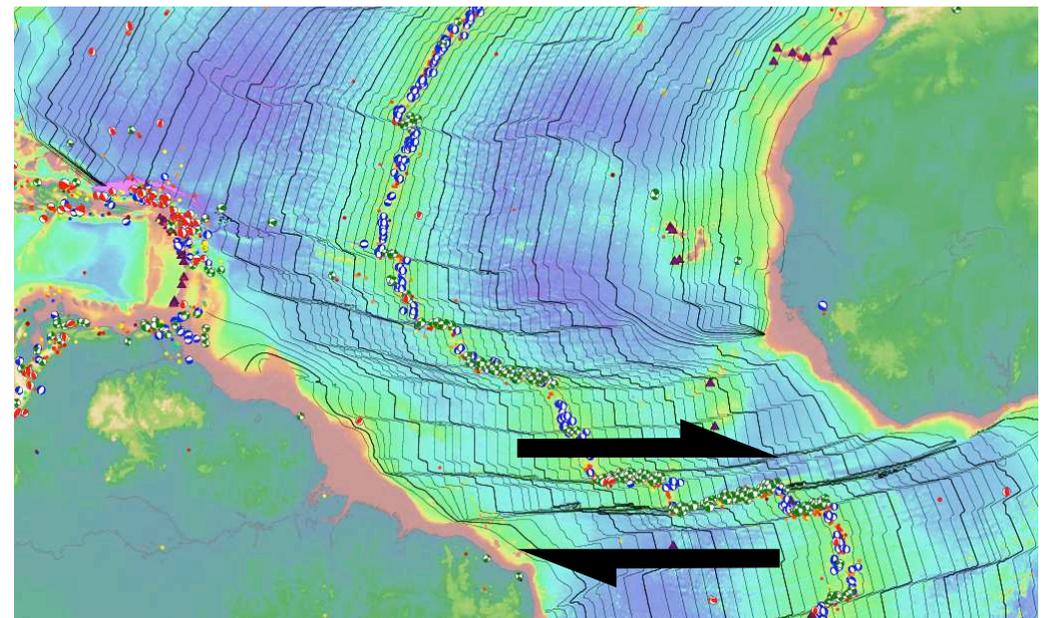
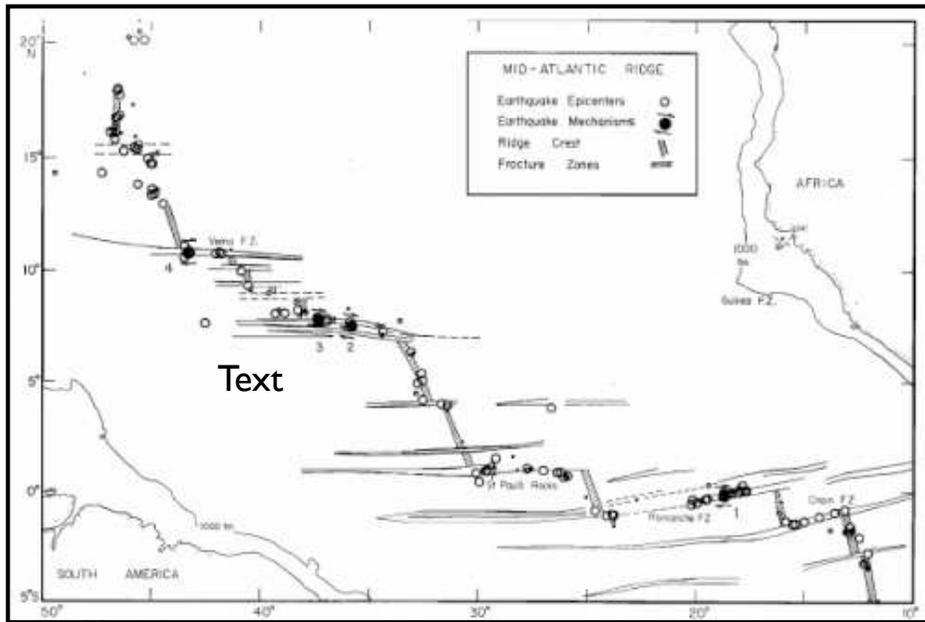
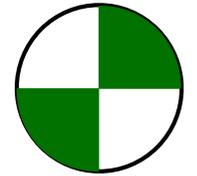
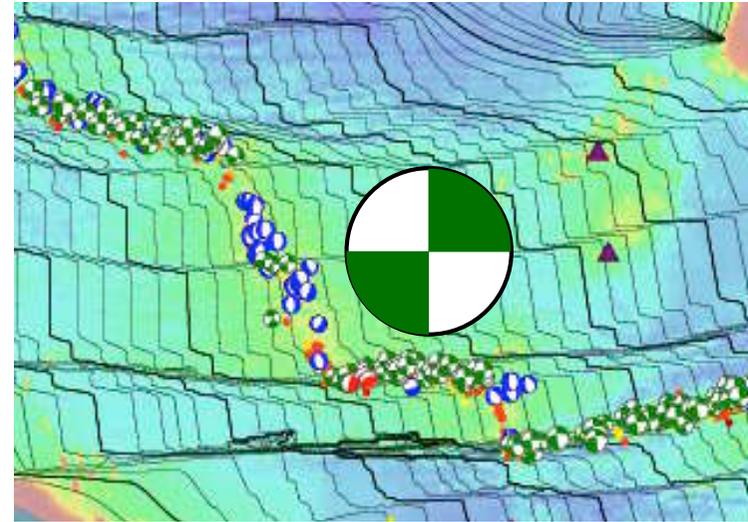
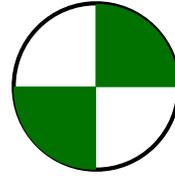


Near Bolinas in Marin County.
Picture by G.K. Gilbert showing a fence that was offset about 8.5 feet along the trace of the fault
(from Steinbrugge Collection of the UC Berkeley Earthquake Engineering Research Center)

Transformbrüche ...



Lynn Ray Sykes
(* 16. April 1937)



Sykes, Lynn R. (1967). Mechanisms of Earthquakes and Nature of Faulting on the Mid-Oceanic Ridges. *Journal of Geophysical Research*. p. 2131-2153.

NB ... transforms plus seafloor spreading

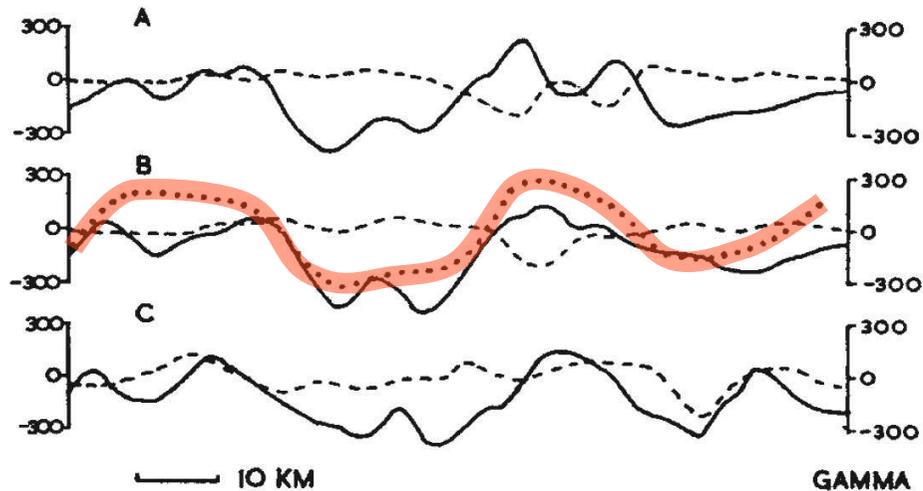
September 7, 1963

NATURE

MAGNETIC ANOMALIES OVER OCEANIC RIDGES

By F. J. VINE and DR. D. H. MATTHEWS

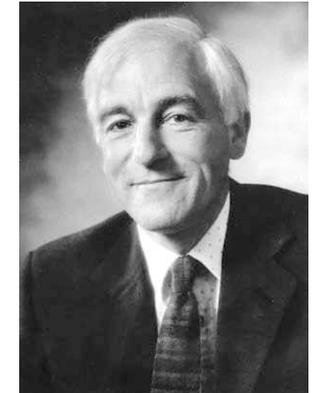
Department of Geodesy and Geophysics, University of Cambridge



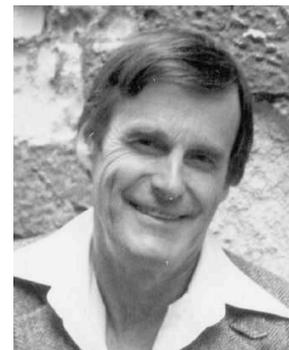
- beobachtet
- - - berechnet - mit konstanter Magnetisierung
- berechnet - mit Annahme von Feldumkehr



Frederick John Vine
(* 1939)



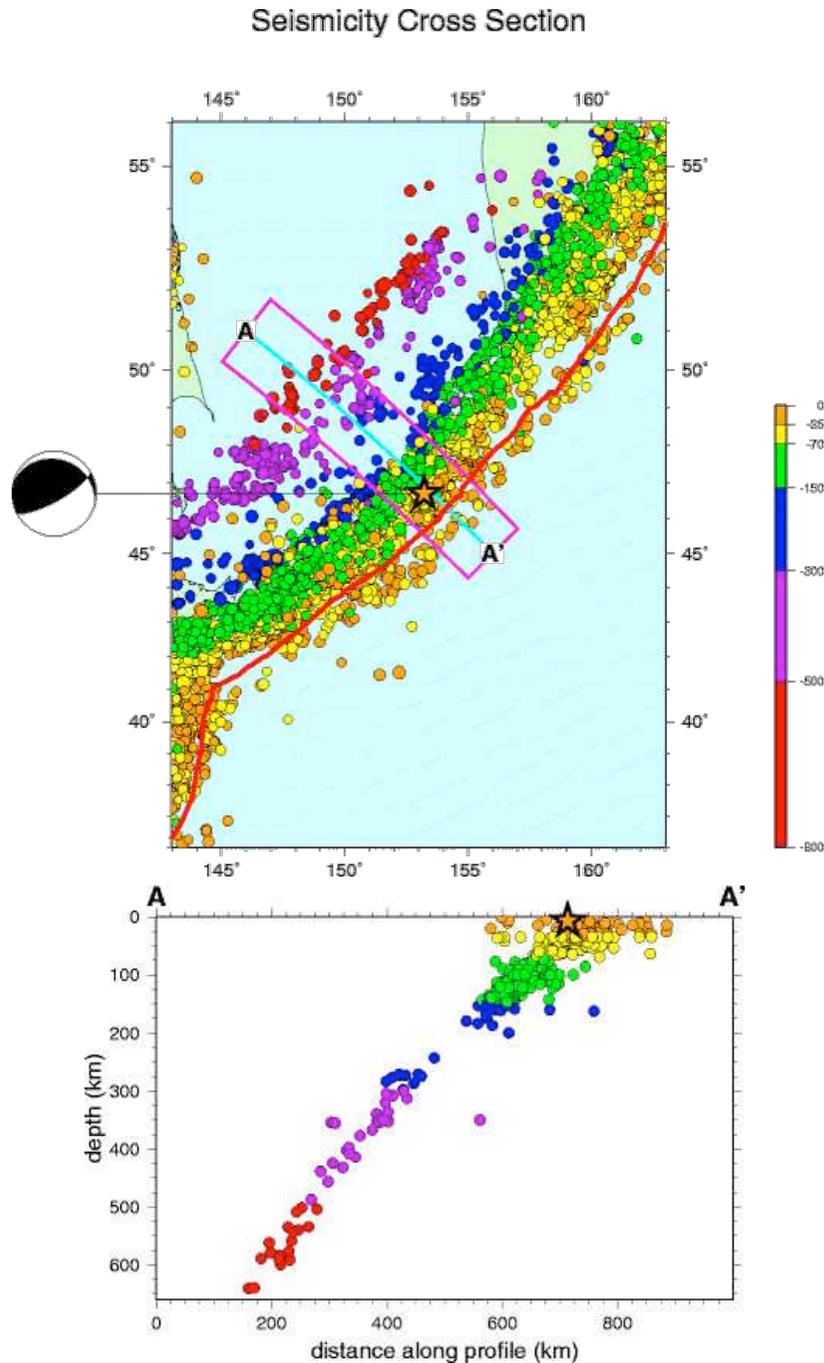
Drummond Hoyle
Matthews
(1931 - 1997)



Lawrence W. Morley
(1920-2013)

⇒ Quelle für Erdoberfläche

... plus Wadati–Benioff zone ...



Kiyoo Wadati
(1902 - 1995)



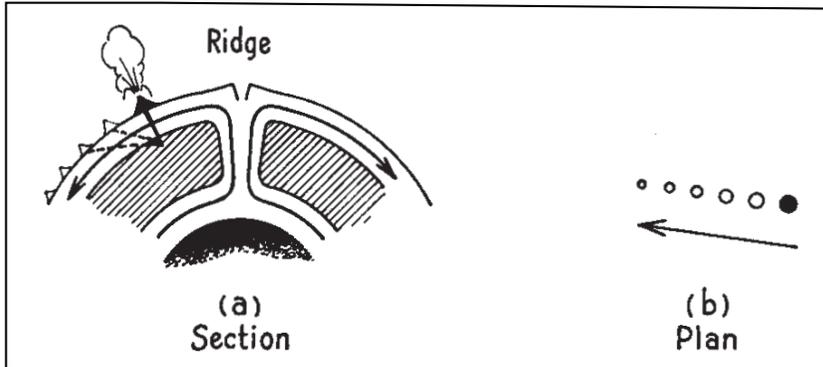
Victor Hugo Benioff
(1899 - 1968)

Wadati: deep earthquakes (>300km) are associated with oceanic trenches

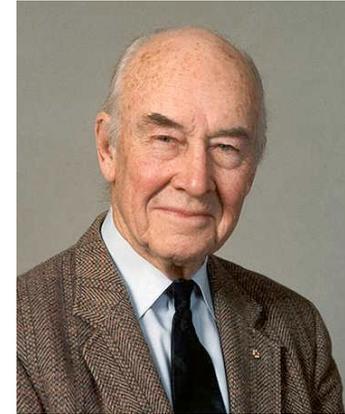
Benioff: distribution of epicenters are evidence for fault origin of ocean deeps

⇒ lineare Senke für Erdoberfläche

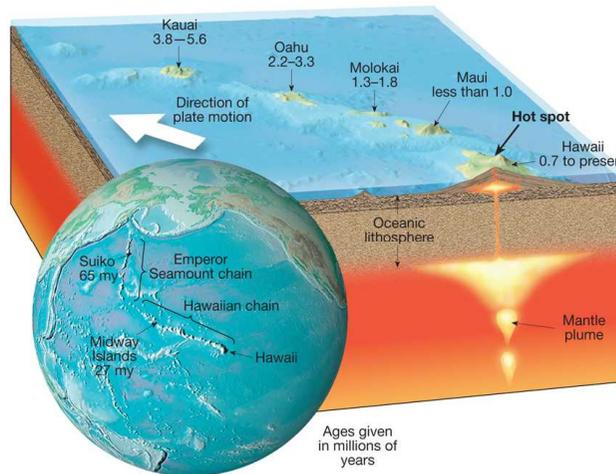
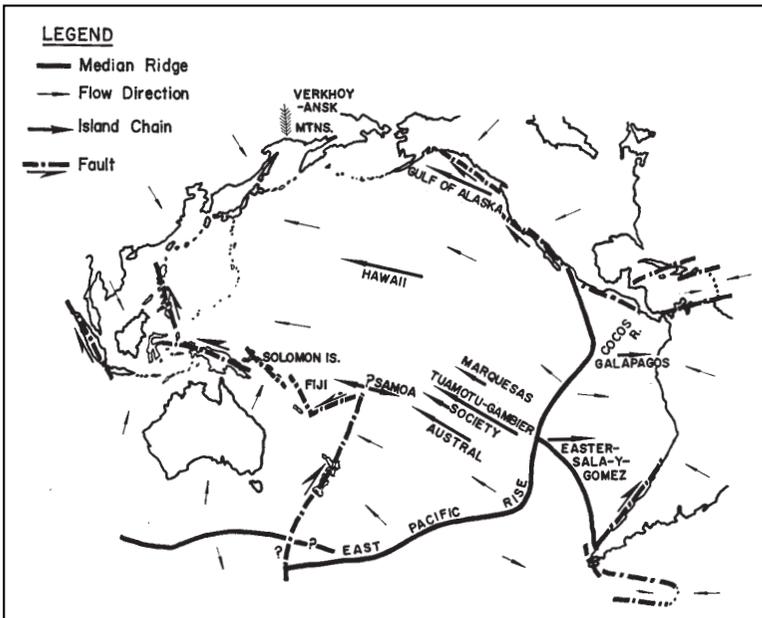
... plus hotspots \Rightarrow plate tectonic theory



(1) Hotspots (1963)
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.



John Tuzo Wilson
(1908 - 1993)



(2) Transformbrüche (1965)

Die Erde expandiert nicht, deshalb muss es auch destruktive Plattengrenzen geben. Transformbrüche verbinden Seafloor Spreading und Subduktionszonen und bilden so eine zusammenhängende Plattengrenze.

\Rightarrow steife Platten

Zusammenfassung

Plattentektonik erklärt die Dynamik der Lithosphäre

- Station 1 wie funktioniert seafloor spreading ?
- Station 2 wie bestimmt man Plattenbewegungen ?
- Station 3 wie erkennt man continental rifting ?
- Station 4 wie kommt man auf Subduktionen ?
- Station 5 welcher Typ von Plattengrenze ist das ?
- Station 6 ... und noch etwas - Wärmefluss !
- Station 7 transforms - der letzte Stein im Puzzle

wesentlich für die Formulierung der plattentektonischen Theorie sind folgende geophysikalischen Methoden:

Seismologie

Magnetik

Remote Sensing (GPS, Gravimetrie)

Steckbrief: Konstruktive Plattengrenze

Wärmefluss

sehr hoch $> 100 \text{ mWm}^{-2}$

Freiluft-Anomalie

positiv bei langsamem Spreading: Reykjanes Rücken
undeutlich bei schnellem Spreading: Ostpazifischer Rücken

Erdbeben

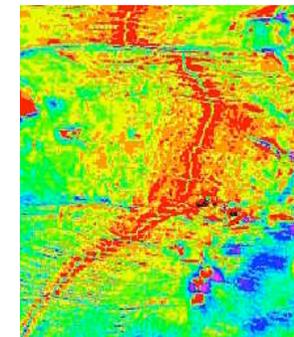
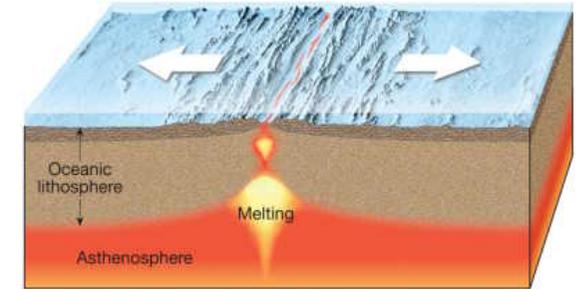
seicht: Hypozentrum $< 50 \text{ km}$
Herdfächenlösungen zeigen Dehnung (Abschiebung)

Vulkanismus

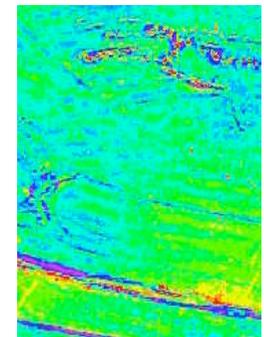
basisch (leichtfliessend): Schildvulkane, Pillowlaven
mafische Gesteine: Gabbro - Basalt
Hydrothermalquellen

Deformation

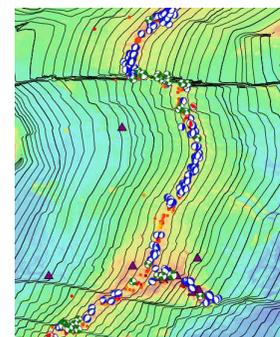
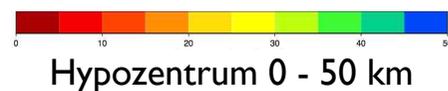
Grabenbildung



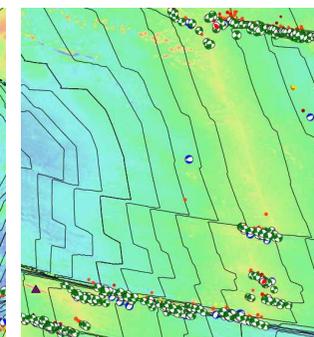
Reykianes Ridge



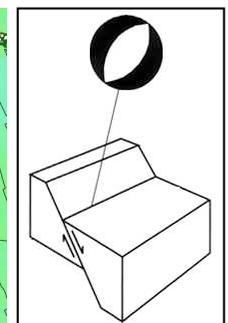
East Pacific Rise



Reykianes Ridge



East Pacific Rise



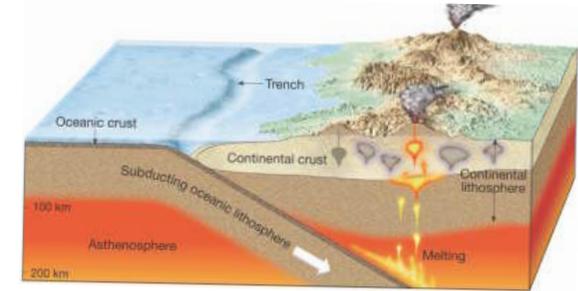
Steckbrief: Destruktive Plattengrenze

Wärmefluss

unauffällig

über abtauchender Platte eher tief $40 - 50 \text{ mWm}^{-2}$

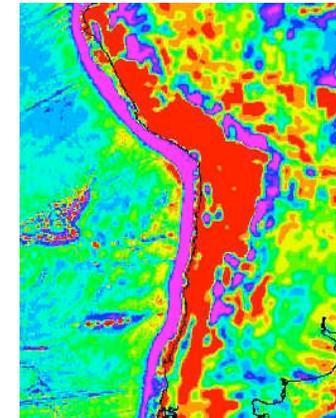
über jungem Gebirge $60 - 80 \text{ mWm}^{-2}$



Freiluft-Anomalie

hoher Kontrast Kontrast an Plattengrenze

negativ im Tiefseeegraben - positiv über Gebirgen

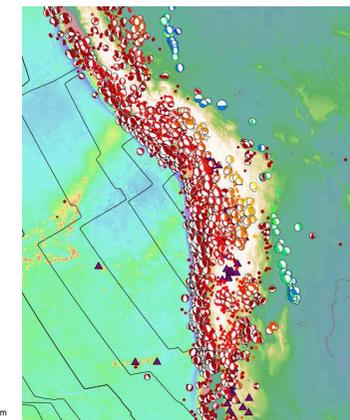


Anden

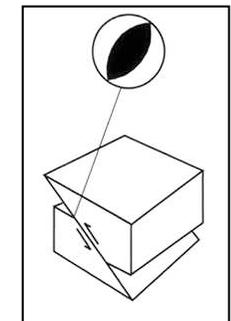
Erdbeben

tief: Hypozentrum bis 700 km (Tiefbeben, Tsunami)

Herdfächenlösungen zeigen Kompression (Überschiebung)



Anden



Vulkanismus

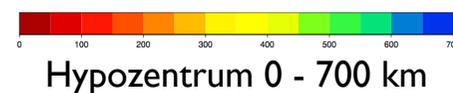
explosiv: Stratovulkane

intermediäre Gesteine: Diorit - Andesit

Deformation

Inselbögen

Gebirgsbildung



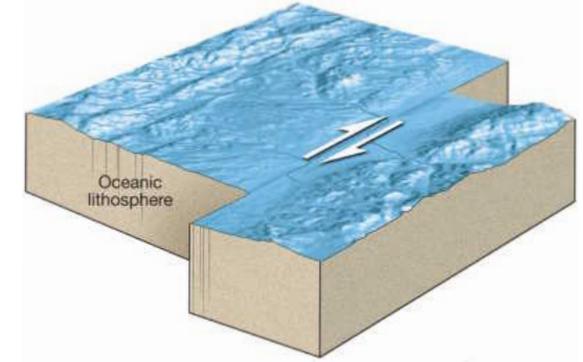
Hypozentrum 0 - 700 km

Steckbrief: Transform-Plattengrenze

Wärmefluss

unauffällig

in der Nähe von Spreizungsrücken: hoch $> 100 \text{ mWm}^{-2}$



Freiluft-Anomalie

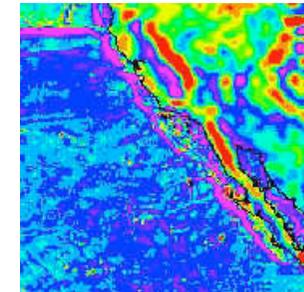
unauffällig

nur durch Versatz sichtbar

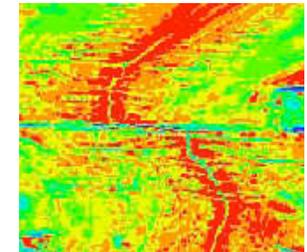
Erdbeben

seicht: Hypozentrum $< 50 \text{ km}$

Herdflächenlösungen: Scherung (Blattverschiebung)



San Andreas Fault



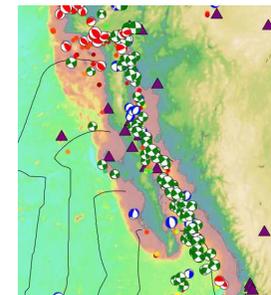
Gibbs Fracture Zone
(Reykjanes Rücken)

Vulkanismus

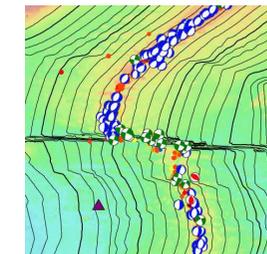
nicht ausgeprägt

in der Nähe von Spreizungsrücken:

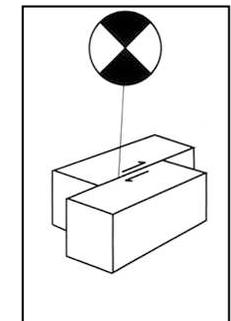
Hydrothermalquellen



San Andreas Fault



Gibbs Fracture Zone
(Reykjanes Rücken)



Deformation

Verwerfung \pm Aufwerfung oder Grabenbildung

