

# Tatort Plattengrenze 2015 - Themen

1 *5. November*

Trailer

Einführung

Entstehung der Erde

2 *12. November* \*

**+ Nachtrag**

Geologische Zeiträume

Plattentektonik

Platten und Plattengrenzen

3 *19. November*

konstruktive Plattengrenzen

destruktive Plattengrenzen

konservative Plattengrenzen

4 *26. November*

Plattenrundgang

Tatort: Nepal 2015

Tatort: Izmir 1999

5 *3. Dezember*

Alles über Erdbeben

Magnitude

Intensitäten

6 *10. Dezember*

Berühmte Fälle

San Francisco

Tohoku

\* *im Bernoullianum Hörsaal 223*

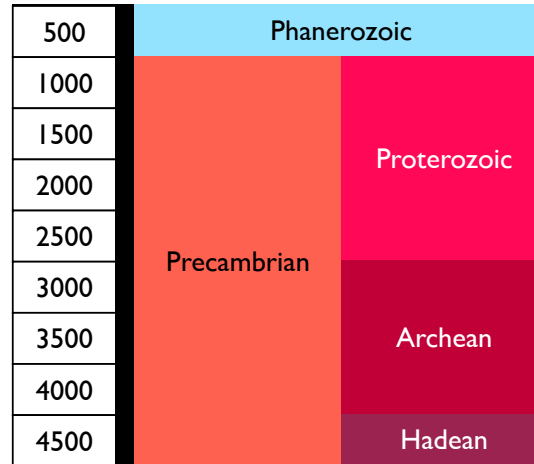
**von 4.5 Ga bis heute**

# Geologische Zeiträume

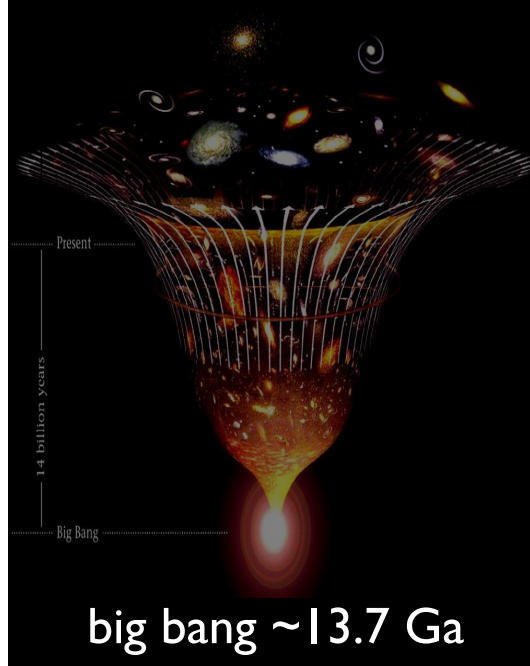
Entstehung ...

... der Erde

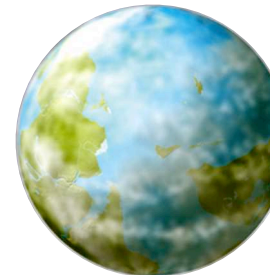
... des Universums



supernova ~ 4.5 Ga



heutige  
3. Atmosphäre



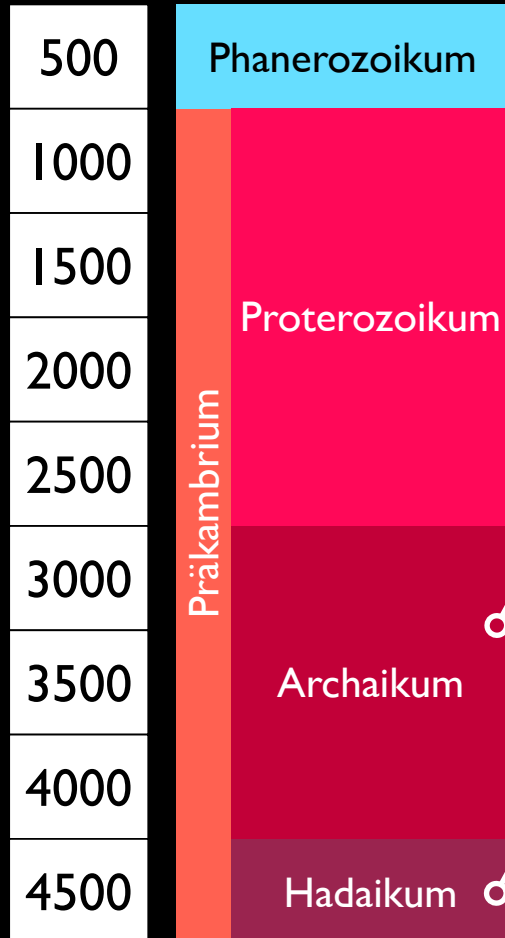
1. Atmosphäre

1 a	1 Jahr
1 Ma	10 <sup>6</sup> Jahre
1 Ga	10 <sup>9</sup> Jahre

1 a ~ 3 · 10<sup>7</sup> s  
30 Megasekunden

# Hadaikum

~4.5 bis ~4.0 Ga



"Leben erscheint"

"vor dem Leben"



φανερός  
(phanerós)  
= sichtbar  
ζῷον (zôon)  
= Lebewesen  
πρότερος  
(próteros)  
= vorherig

Äonothem	Ärathem	System	
Phanerozoikum Dauer: 541 Ma	Känozoikum Erdneuzeit Dauer: 66 Ma	Quartär	
		Neogen	
		Paläogen	
	Mesozoikum Erdmittelalter Dauer: 186,2 Ma	Kreide	
		Jura	
		Trias	
	Paläozoikum Erdaltertum Dauer: 288,8 Ma	Perm	Karbon
			Devon
		Silur	Ordovizium
			Kambrium

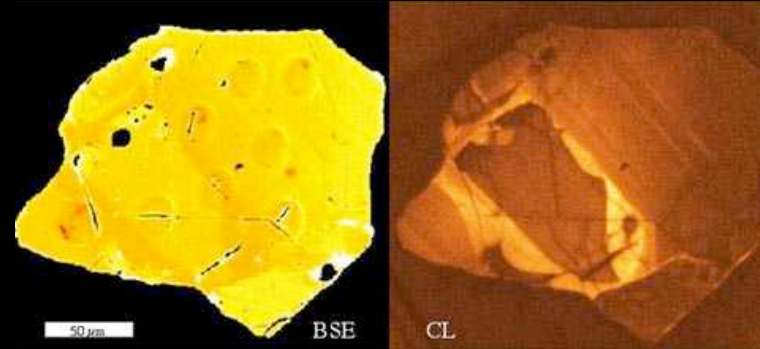
# Hadaikum: älteste Gesteine - älteste Mineralien



Mondgestein (4.47 Ga)



Acasta Gneiss (4.03 Ga) NW Territories, Canada



Zirkon in Sandkorn, West Australien (4.35 Ga)

Aufpassen bei Altersangaben:

ältestes

Alter des Minerals  
(=Alter magmatisches Ereignis)

jüngstes

Alter des Sedimentgesteins

Alter der Deformation

[en.wikipedia.org/wiki/Oldest\\_dated\\_rocks](http://en.wikipedia.org/wiki/Oldest_dated_rocks)

# Entwicklung der Atmosphäre

4.58 Ga - Uratmosphäre  
(Akkretion):

Wasserstoff H<sub>2</sub>  
Helium He  
Methan CH<sub>4</sub>

Ammoniak NH<sub>3</sub>  
Edelgase

Entfernung durch Aufheizung, Sonnenwind, geringe Anziehung

4.5 Ga - I. Atmosphäre  
(Entgasung Vulkanismus):

Wasserdampf H<sub>2</sub>O (80%)  
Kohlendioxid CO<sub>2</sub> (10%)  
Schwefelwasserstoff H<sub>2</sub>S (5-7%)  
Stickstoff N<sub>2</sub>

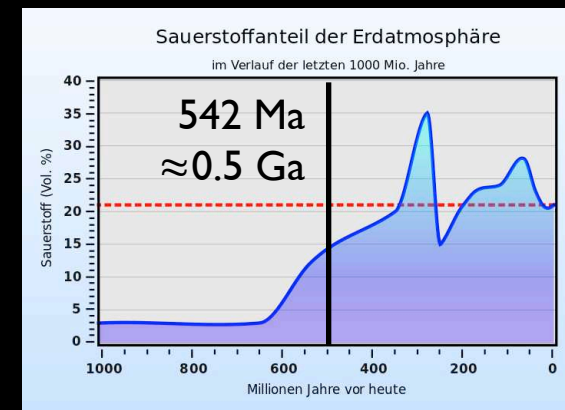
Wasserstoff H<sub>2</sub>  
Kohlenmonoxid CO  
Helium He  
Methan CH<sub>4</sub>  
Ammoniak NH<sub>3</sub>

3.4 Ga - 2. Atmosphäre  
(Lösung von C in Ozeanen):

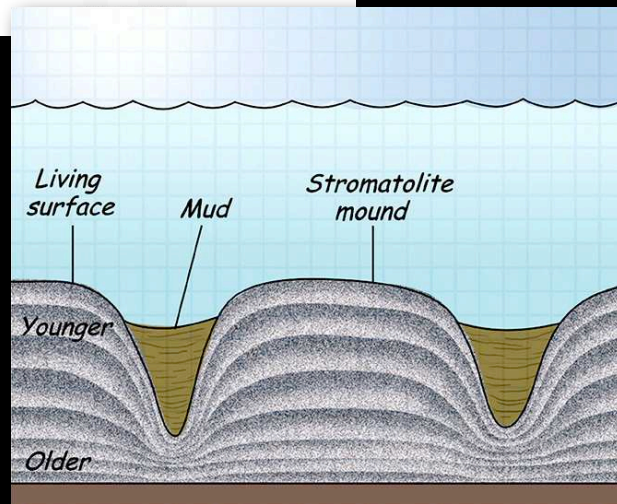
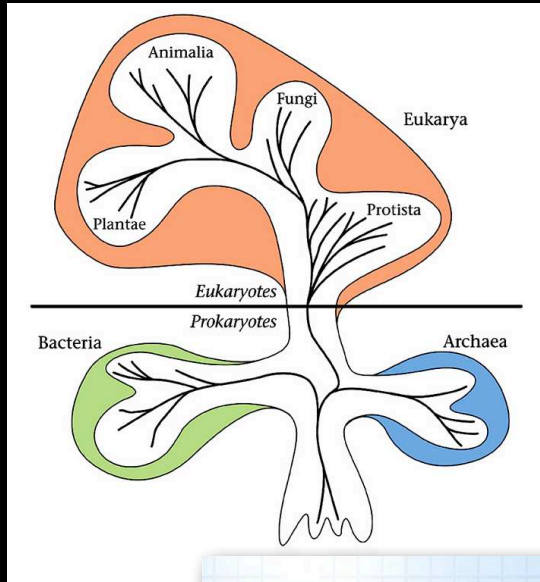
Stickstoff N<sub>2</sub>  
Kohlendioxid CO<sub>2</sub>  
Wasserdampf

ab 3.5 Ga - 3. Atmosphäre  
(Photosynthese):

Stickstoff N<sub>2</sub>  
Sauerstoffstoff O<sub>2</sub> (80%)  
Ozon O<sub>3</sub>

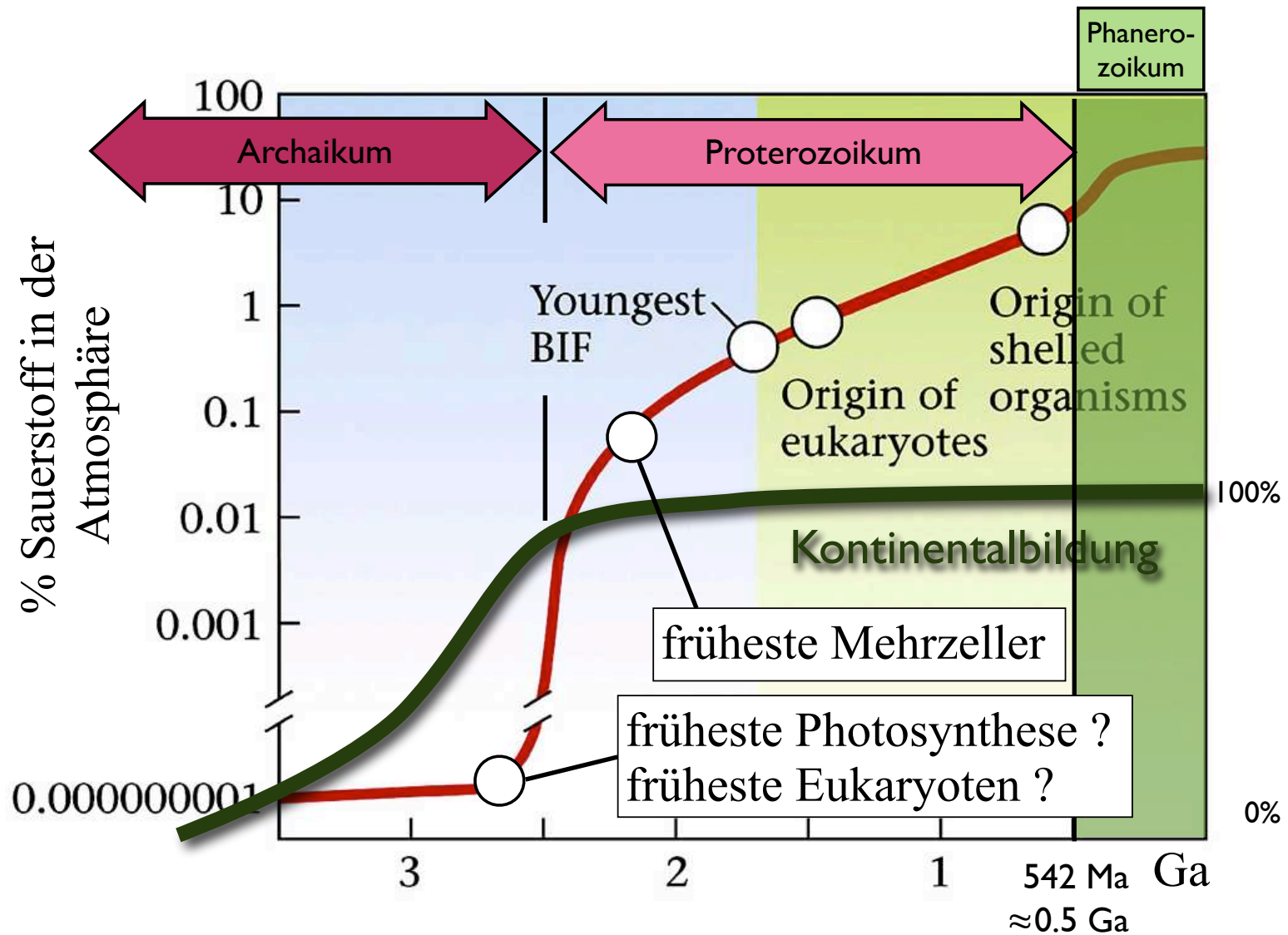


# Archaikum: Entwicklung von Stromatolithen



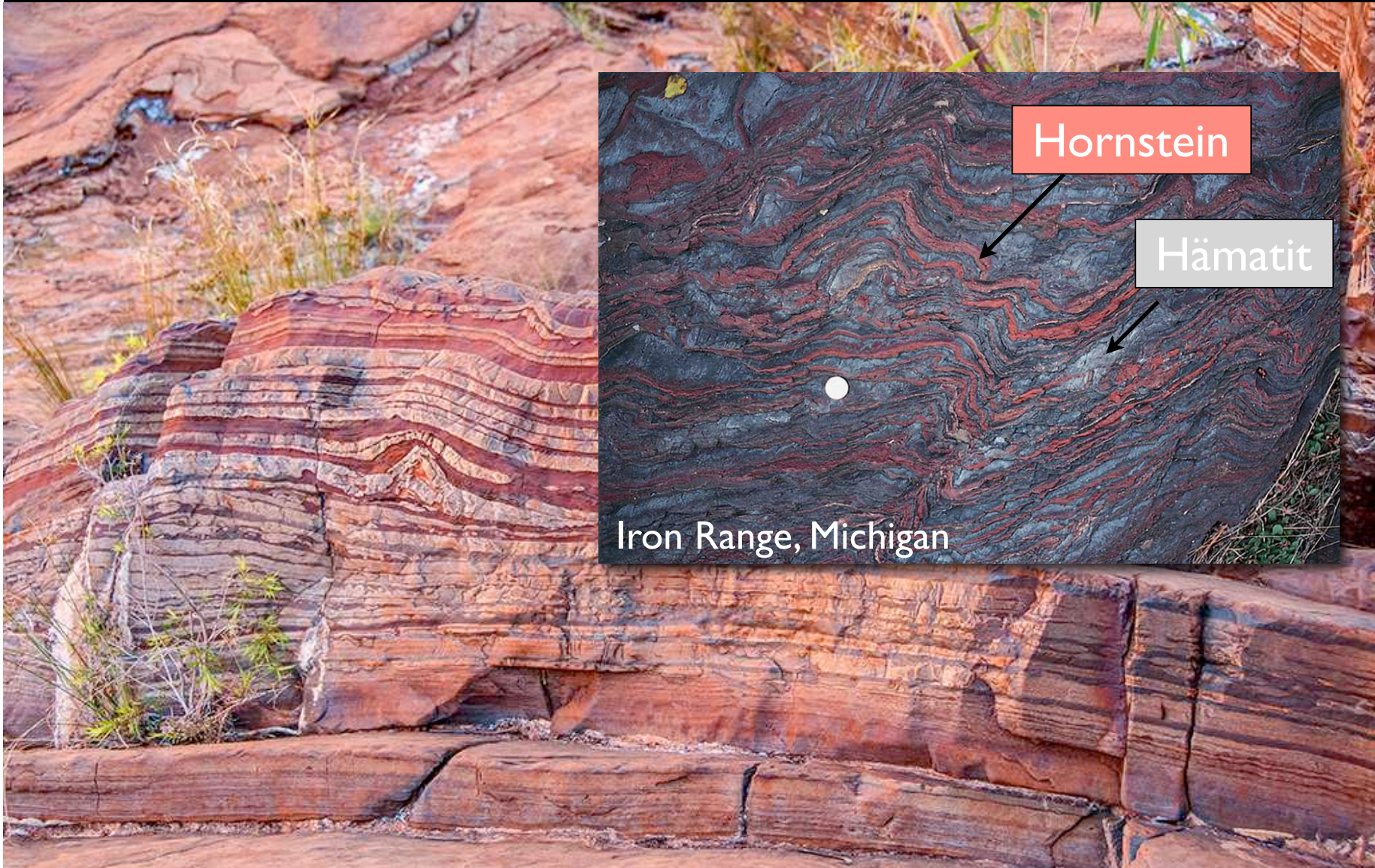
Früheste Lebensform ~3.5 Ga: Cyanobacteria

# Sauerstoffgehalt in der Erdatmosphäre



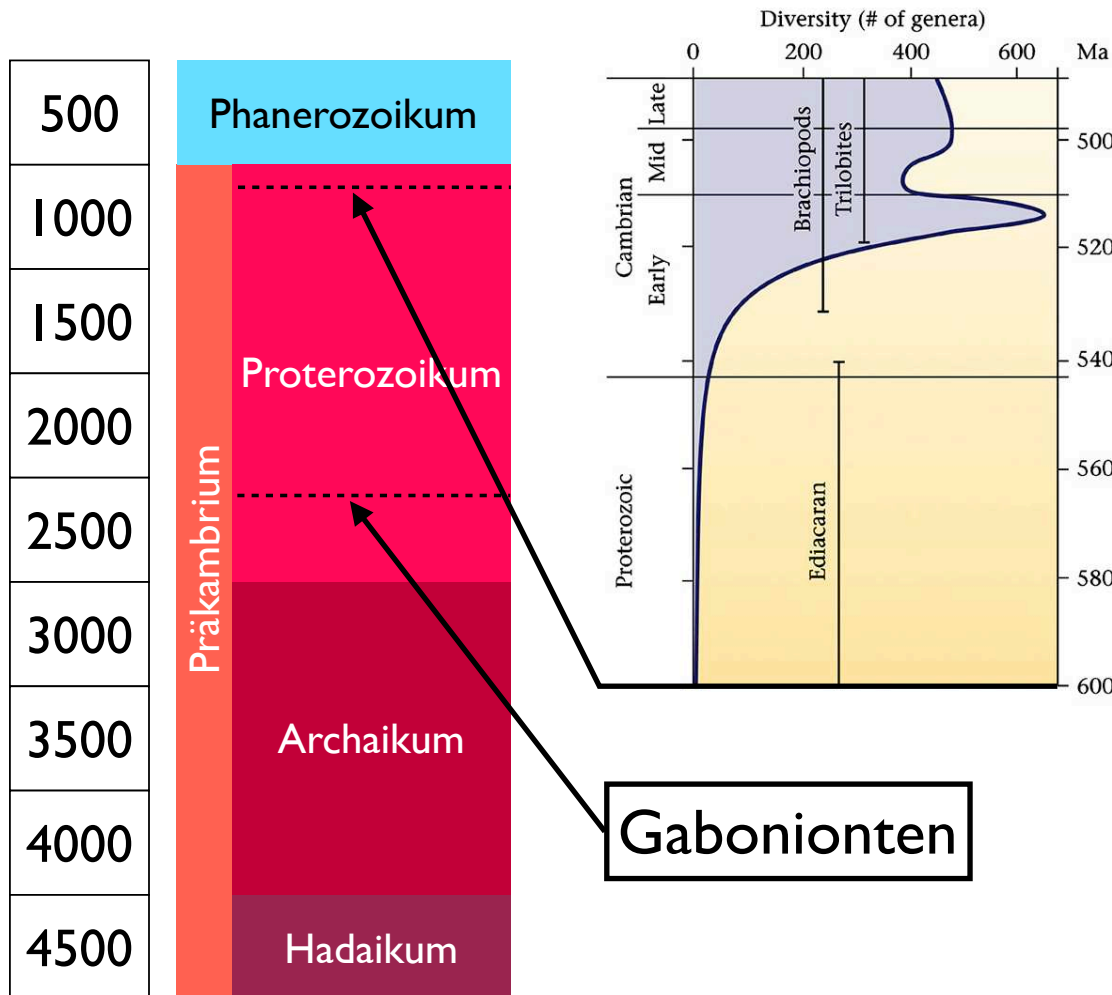


# Banded Iron Formation (BIF) - Bändererz



Banded iron formation, Karijini National Park, Western Australia, Wiki

# Phanerozoikum ... wird sukzessive älter

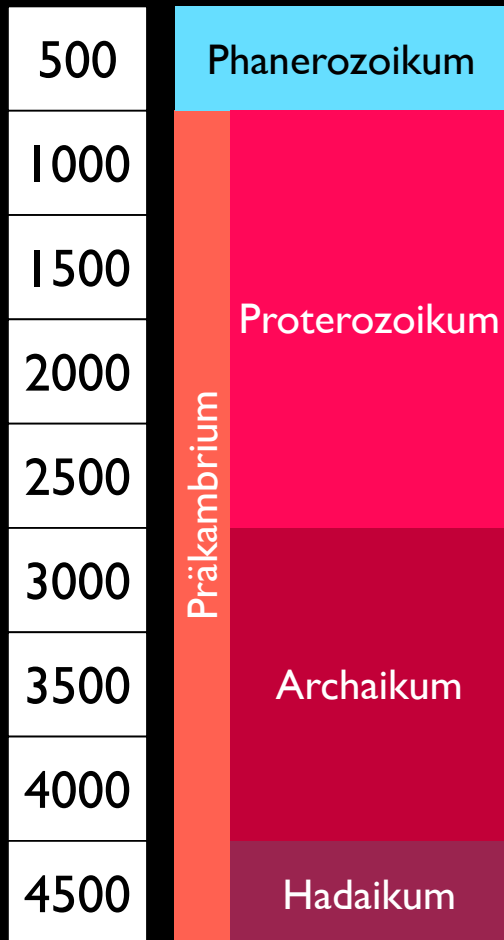


Phanerozoikum:  
"Leben erscheint"  
ursprünglich 542 Ma

Ediacara Fauna  
(1958 entdeckt)  
"Leben erscheint"  
neu: 580 - 600 Ma

Gabonionten  
(2008 entdeckt)  
"Leben erscheint"  
jetzt: 2.1 Ga !

# Frühes Phanerozoikum (Paläozoikum)



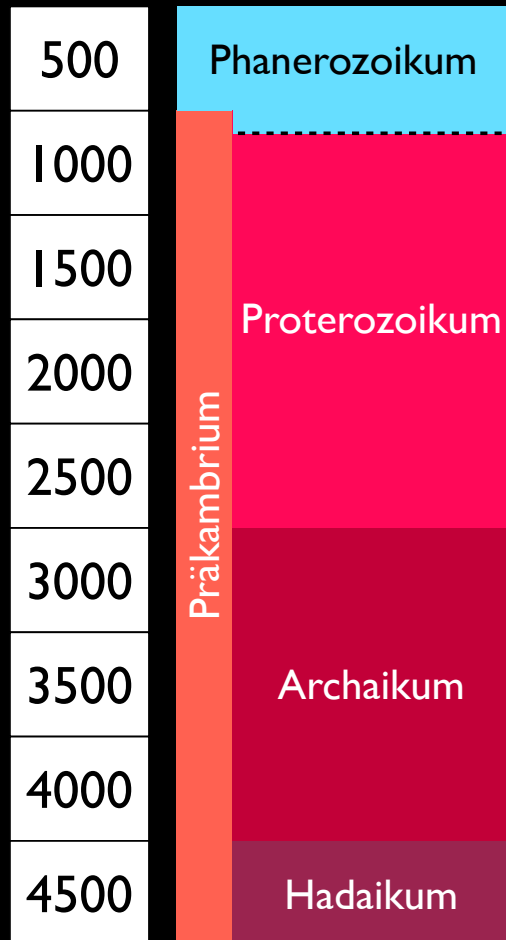
Trilobiten, Nautiliden



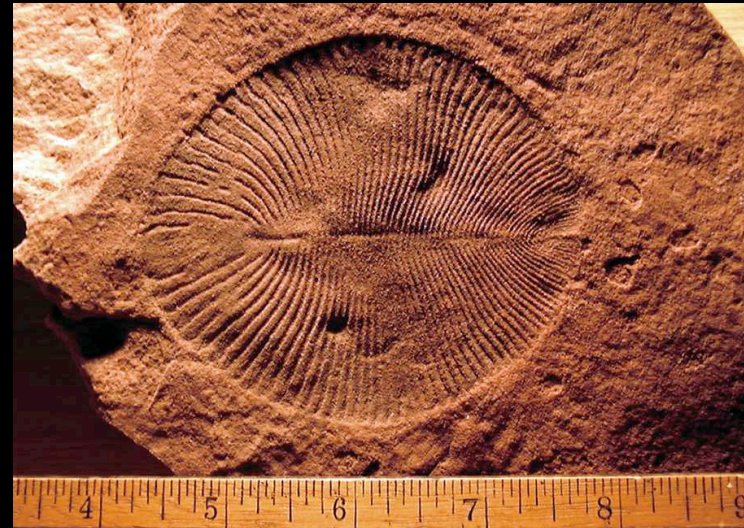
Riesenlibelle (Meganeura)



# Spät - Proterozoikum: Ediacara Fauna



Dickinsonia

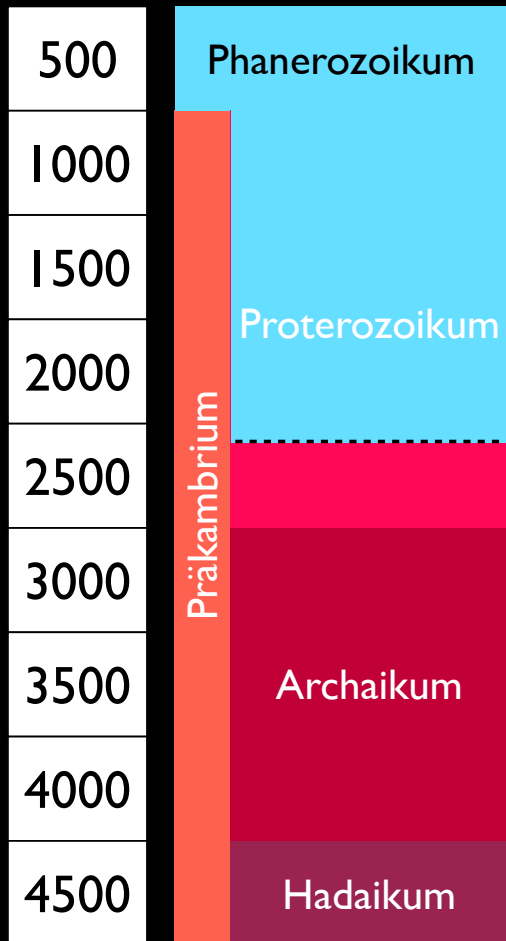


Rekonstruktion: Opabinia



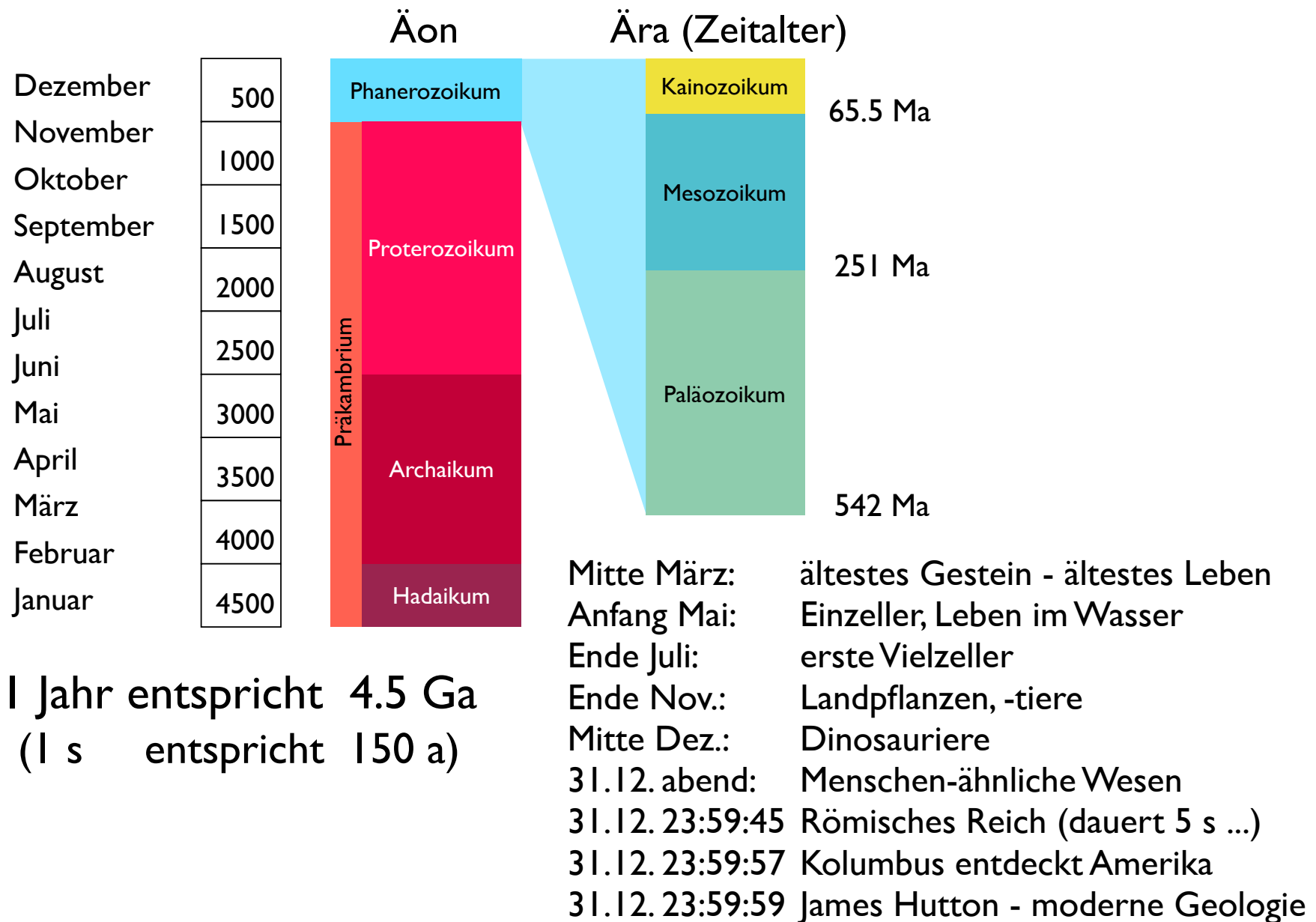
1933 in Australien entdeckt  
1958 richtig interpretiert

# Proterozoikum 2.1 Ga: Gabonionta



2008 in Gabun entdeckt

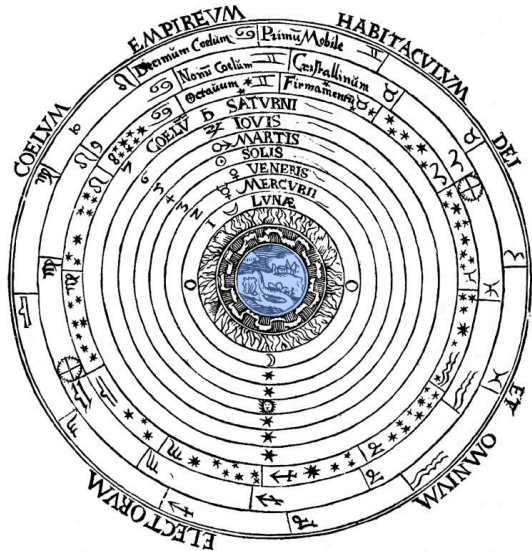
# Zeitraffer



# Erdwissenschaften vor der Plattentektonik

# Unser Sonnensystem

geozentrisches Weltbild



Claudius Ptolemäus  
~100 - 175

heliocentrisches Weltbild



De Revolutionibus Orbium Coelestium



Tycho Brahe  
1546 - 1601

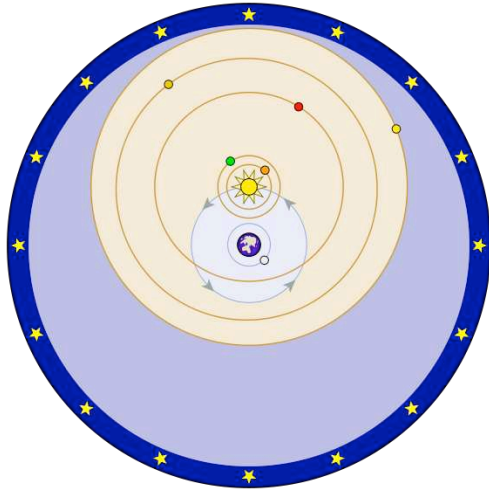


Nicolaus Copernicus  
1473 - 1543

"So lenkt die Sonne, gleichsam auf königlichem Thron sitzend, in der Tat die sie umkreisende Familie der Gestirne. Auch wird die Erde keineswegs der Dienste des Mondes beraubt [...]. Indessen empfängt die Erde von der Sonne und wird mit jährlicher Frucht gesegnet."



# die Kopernikanische Wende



Tycho Brahe  
1546 - 1601

Tycho Brahe (noch  $\pm$ Geozentriker):  
dennoch genaue Bahnberechnung



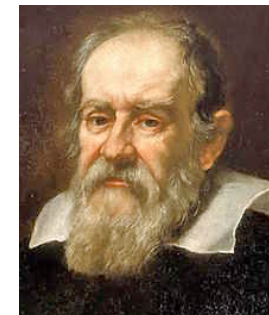
De Revolutionibus Orbium Coelestium



Nicolaus Copernicus  
1473 - 1543



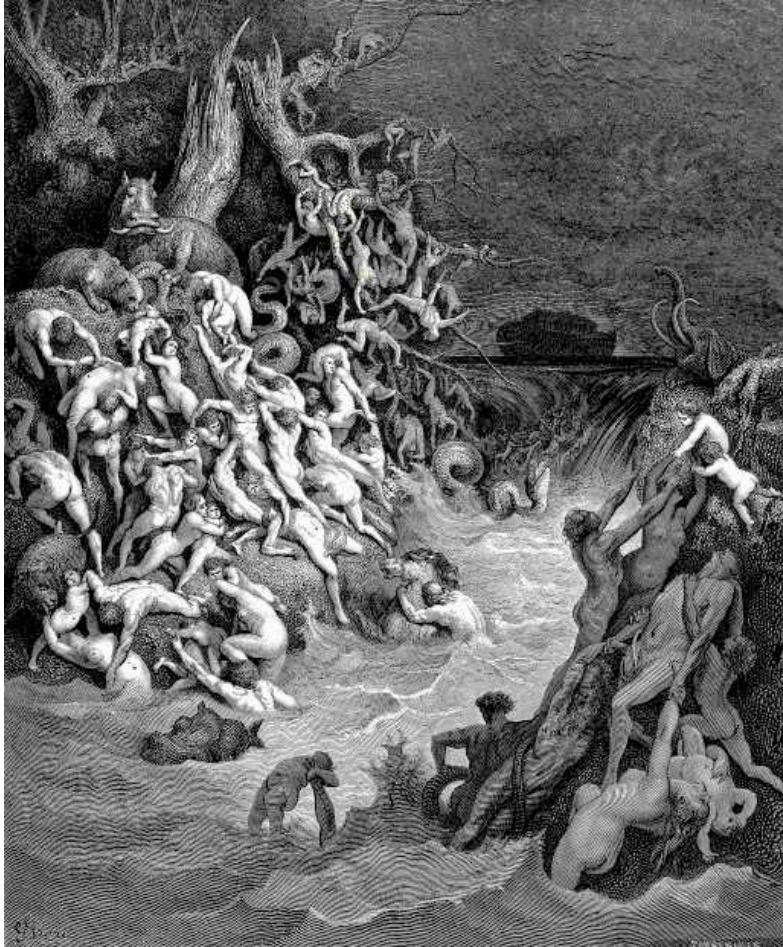
Johannes Kepler  
1571 - 1630



Galileo Galilei  
1564 - 1642

Kopernikus: Kreisbahnen - ungenaue Bahnberechnung  
Kepler: Elliptische Bahnen - genaue Bahnberechnung  
Galilei: Beobachtungen - durch Kepler erklärbar

# Anfänge der geologischen Wissenschaften



Katastrophen- (Kataklysmen-) theorie:  
Oberflächenformationen sind durch  
Katastrophen (z.B. Sintflut) entstanden



Baron Georges Léopold  
Chrétien Frédéric Dagobert  
Cuvier (1769-1832)

# Entdeckung des Ablagerungsprozesses

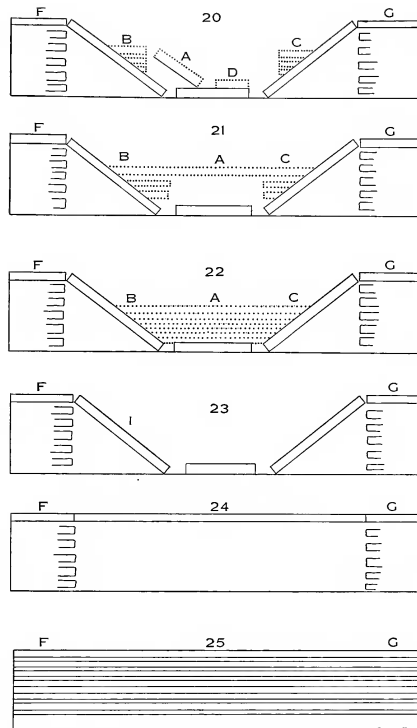


Figure 20 shows the hills and valleys produced there by the breaking of the upper sandy strata.

Figure 21 shows a portion of the lower strata in the new beds destroyed, while the upper strata remain unbroken.

Figure 22 shows new strata, made by the sea, in the valleys.

Figure 23 shows the mountains and valleys caused by the breaking of the upper strata.

Figure 24 shows the huge cavities eaten out by the force of fires or waters while the upper strata remained unbroken.

Figure 25 shows the vertical section of Tuscany at the time when the rocky strata were still whole and parallel to the horizon.



Nikolaus Steno  
(1638-1686)

"De solido intra solidum" (1669)

"von unten nach oben" = "von alt nach jung"

Superpositionsprinzip:

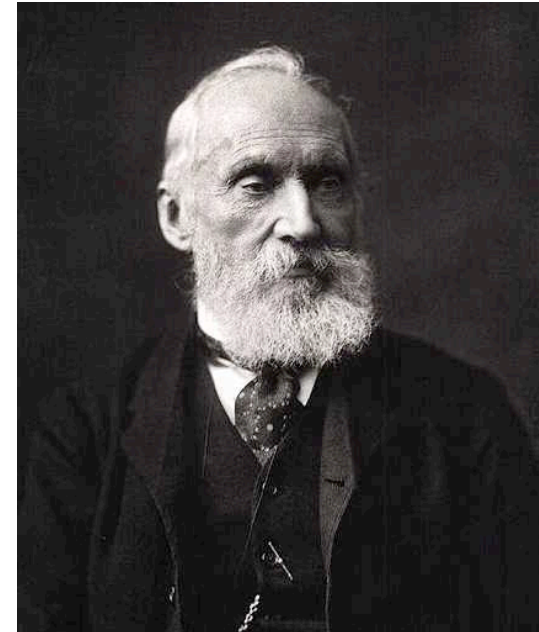
unten (= Liegendes) ist älter

oben (= Hangendes) ist jünger

# erste Altersabschätzungen



Jean Baptiste Joseph Fourier  
(1768 - 1830)

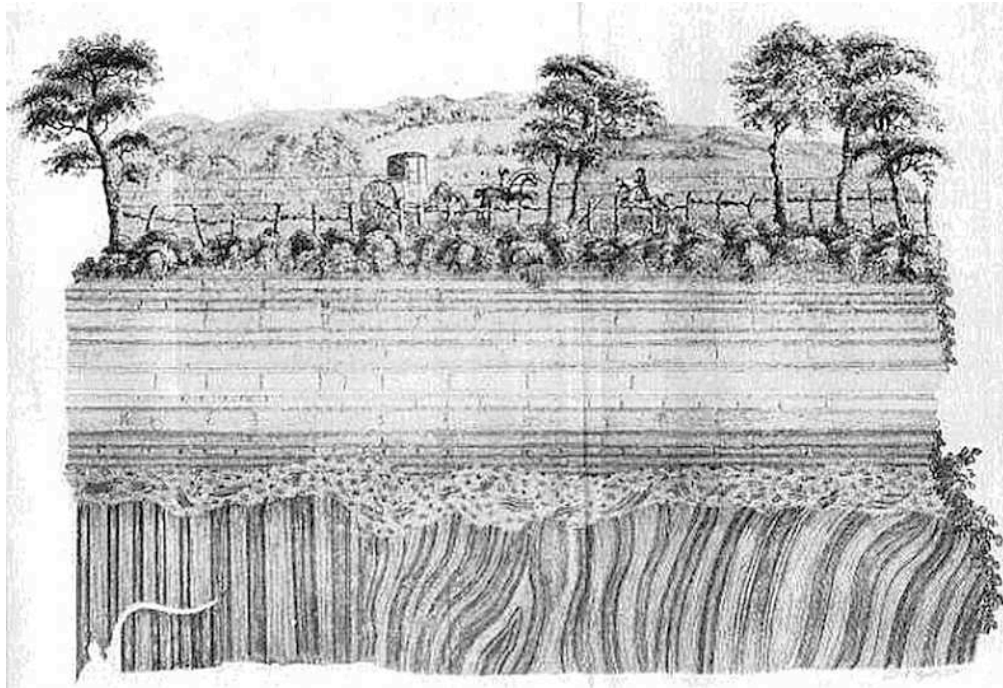


William Thomson,  
1<sup>st</sup> Baron Kelvin of Largs  
(1824 - 1907)

Annahmen:

Temperaturzunahme mit Tiefe:  $1^{\circ}\text{F} / 50 \text{ feet}$  ( $20^{\circ}\text{C} / \text{km}$ ) (aus Messung)  
Anfangstemperatur:  $7000^{\circ}\text{F}$  ( $3900^{\circ}\text{C}$ ) (geschmolzenes Gestein)  
eingesetzt in Fourier-Gleichung: Erdalter  $\approx 100 \text{ Ma}$

# Aktualismus - (engl. uniformitarianism)



Jedburgh Unconformity

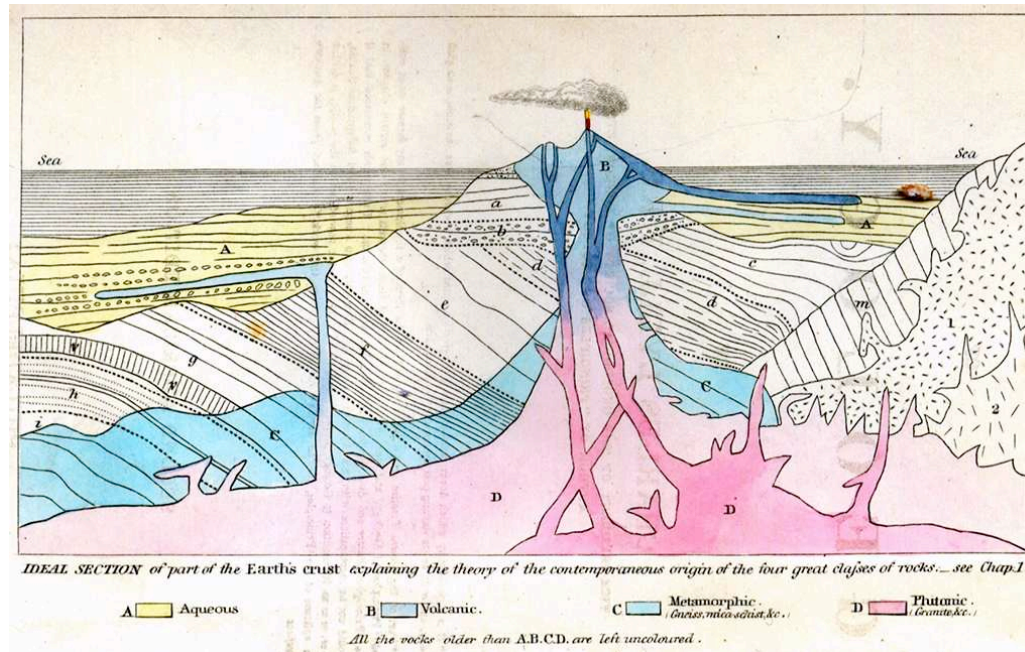
*"Theory of the Earth" (1785)*

*"... we find no vestige of a beginning, no prospect of an end..."*



James Hutton  
(1726 - 1797)

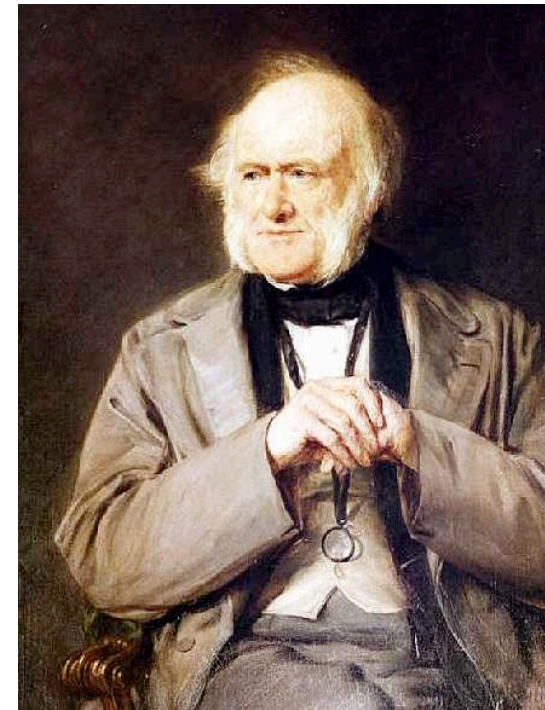
# Aktualismus - (engl. uniformitarianism)



"The Principles of Geology" (1830)

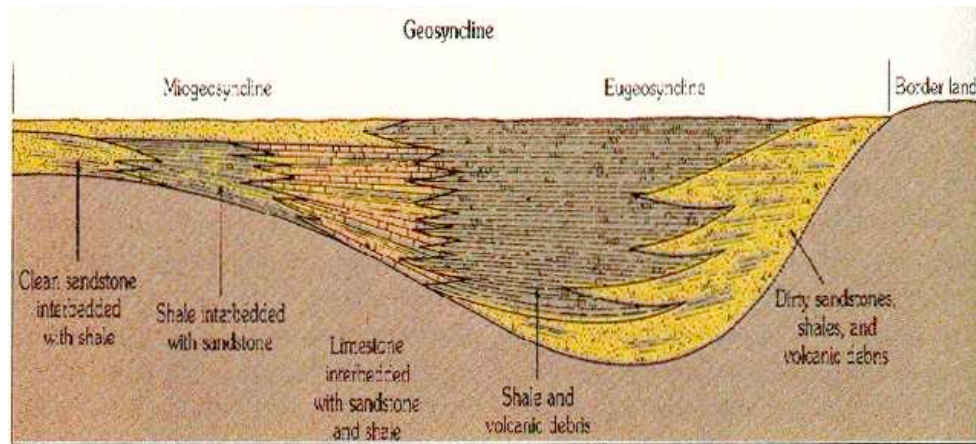
"... the present is the key to the past..."

Physikalische, chemische, biologische  
Gesetzmässigkeiten, die heute gültig sind,  
waren auch in der Vergangenheit gültig



Charles Lyell  
(1797 - 1875)

# Geosynklinal - Theorie



Phasen der Gebirgsbildung:

1. Bildung eines Troges - Ablagerung von Sedimenten
2. Zusammenschub - Faltung
3. Hebung und Erosion

*"It [the geosynclinal theory] constitutes a great—probably one of the greatest—unifying principles in geologic science."  
(Knopf, A., 1948)*

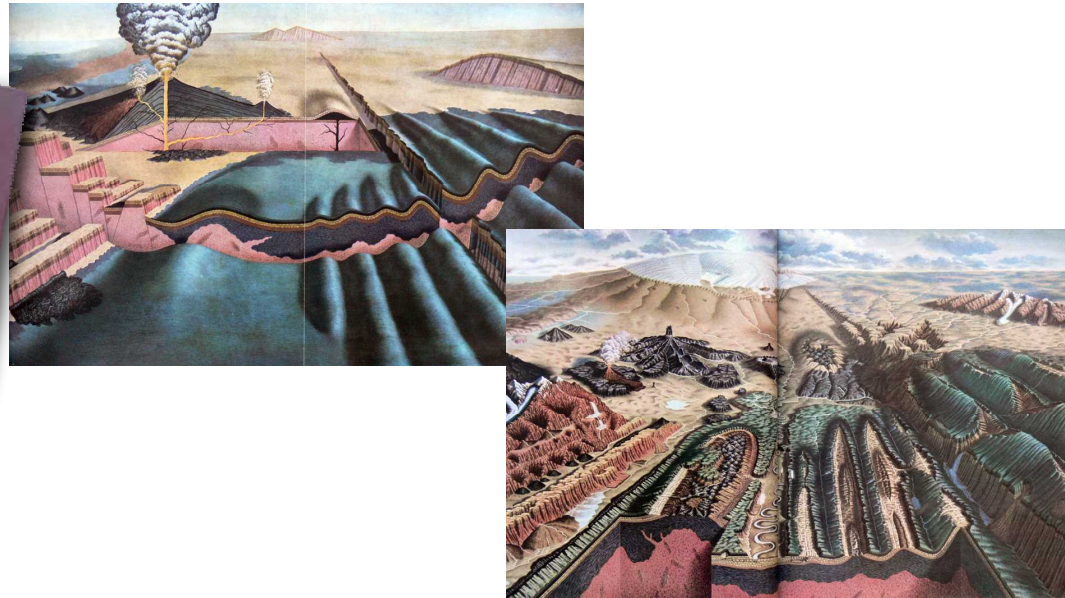
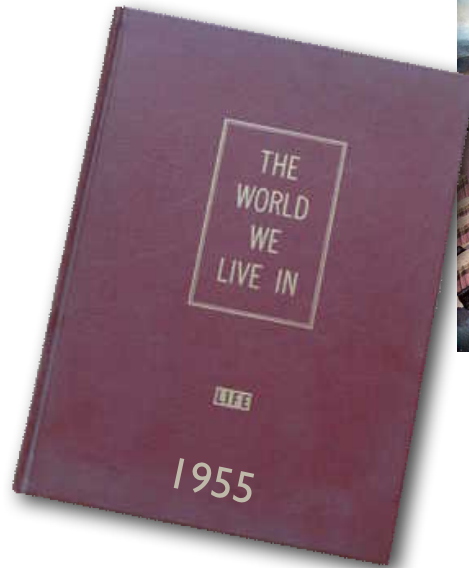


James Hall  
(1811 - 1898)



James Dwight Dana  
(1813 - 1895)

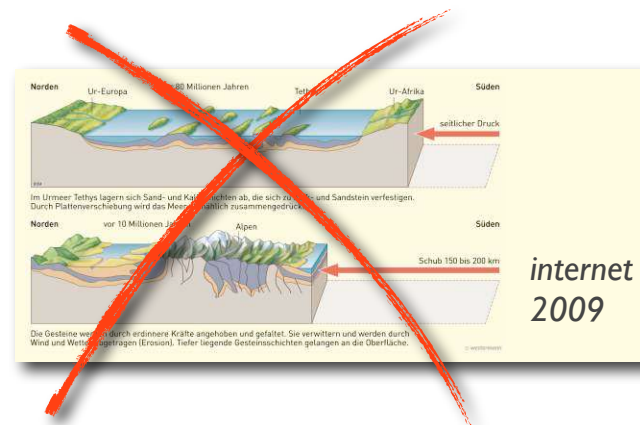
# das zähe Leben der Geosynklinale



"It [the geosynclinal theory] constitutes a great—probably one of the greatest—unifying principles in geologic science."  
(Knopf, A., 1948)

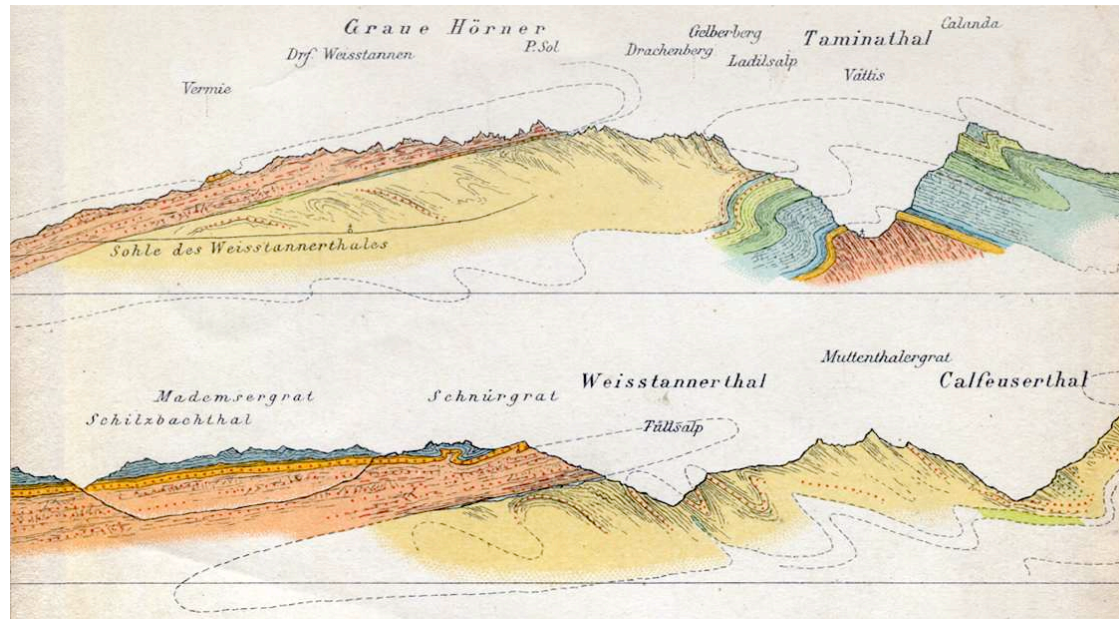
**Aber...**

"The trouble with geosynclines is like the Trouble with Harry [A. Hitchcock 1955]; they are dead."  
(Dietz, R.S., 1965)

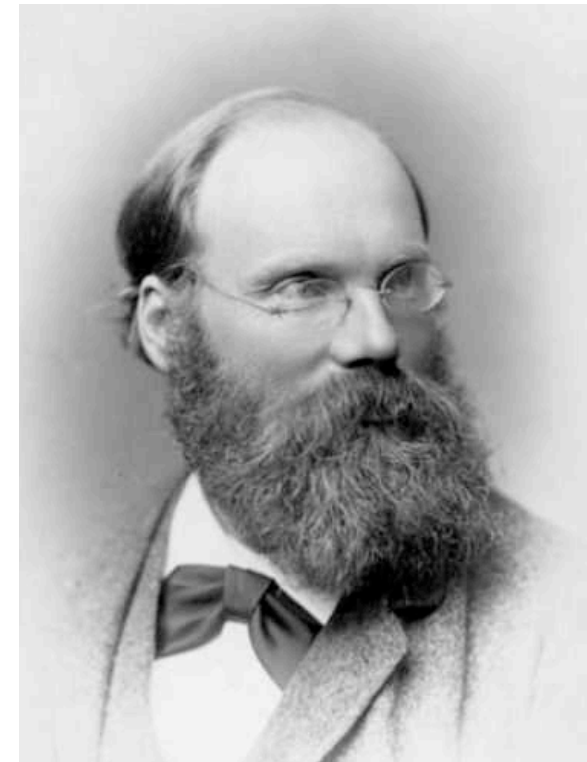




# Problem mit der horizontalen Verkürzung



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



Albert Heim  
(1849 - 1937)

Glarner Hauptüberschiebung als Doppelfalte

# Abstecher Geophysik

# Uran - Blei Datierung

# Alter der Erde

## Radioaktiven Zerfall von Uran

	Alter (Ga)	Methode Material	
1930	1.5 - 3	Uran Blei Gestein	Otto Hahn
1953	4.55	Blei-Isotopen Meteorit	Clair Patterson



Otto Hahn  
(1879 - 1968)

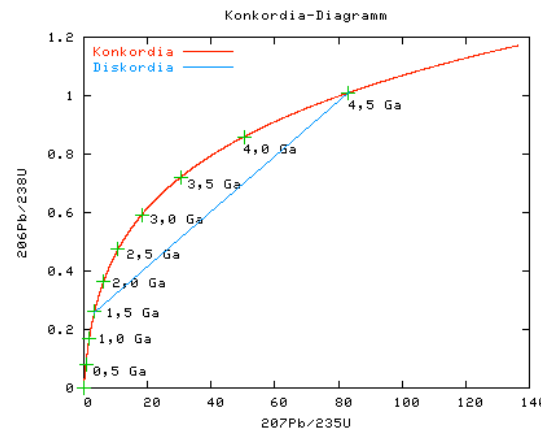


Clair Patterson  
(1922 - 1995)

## Pb/U Isotopenverhältnisse

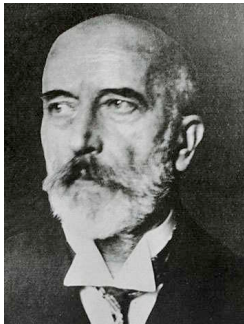
$$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}} = e^{\lambda_{238}t} - 1$$

$$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}} = e^{\lambda_{235}t} - 1$$

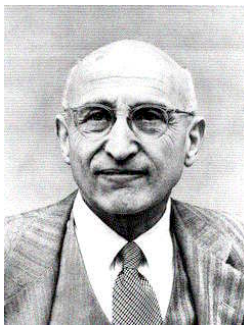


# Seismologie

# Schalenbau der Erde



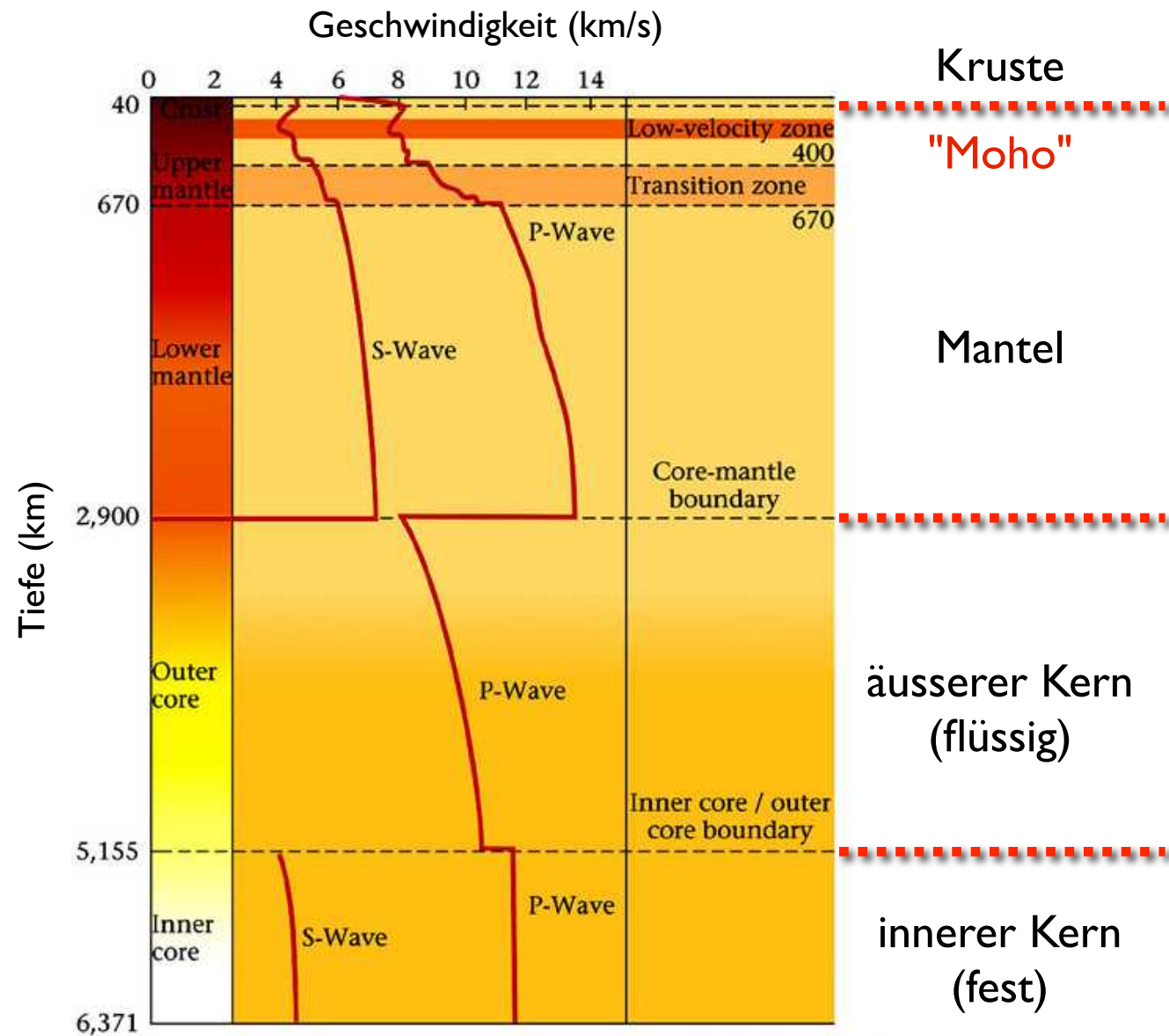
Andrija Mohorovičić  
(1857 - 1936)



Beno Gutenberg  
(1889 - 1960)

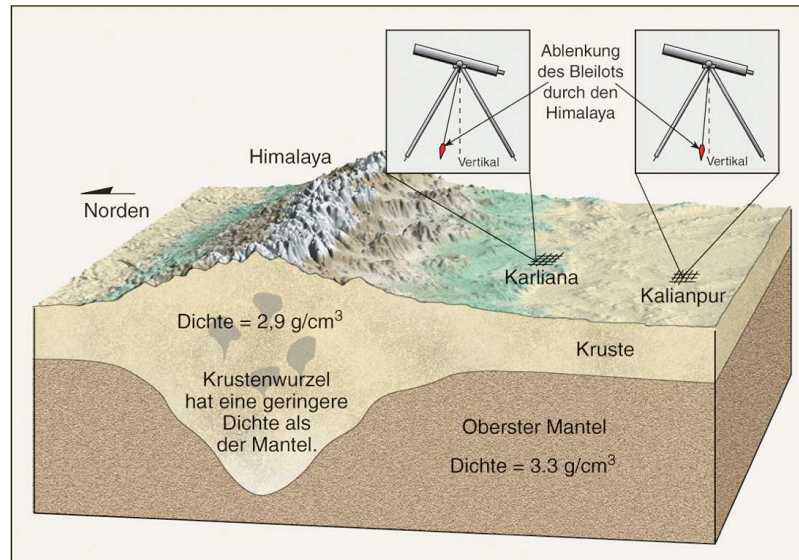


Inge Lehmann  
(1888 - 1993)

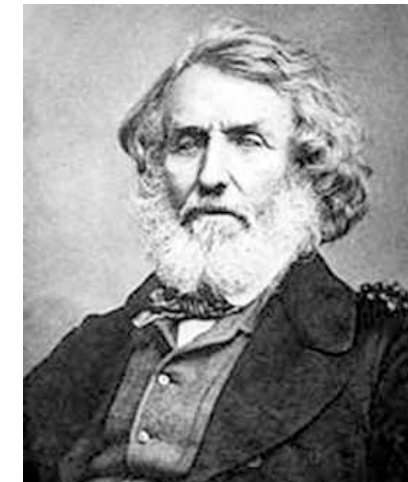


# Gravimetrie

# "Schwimmgleichgewicht"



Pierre Bouguer  
(1698 – 1758)



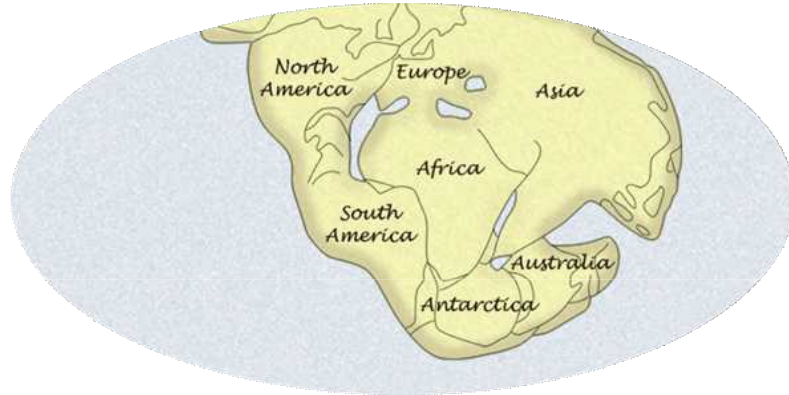
Sir George Everest  
(1790 - 1866)

*19. Jh. Everest misst im Himalaya (1823-1843)  
18. Jh. Bouguer misst in den Anden (1735-1745)*

*Beide: zu wenig Lotabweichung  
⇒ Berg sitzt nicht auf ebener dichter Plattform -  
⇒ "Gebirgswurzel" ⇒ "Isostasie"*

# **vom Kontinentaldrift zur Plattentektonik**

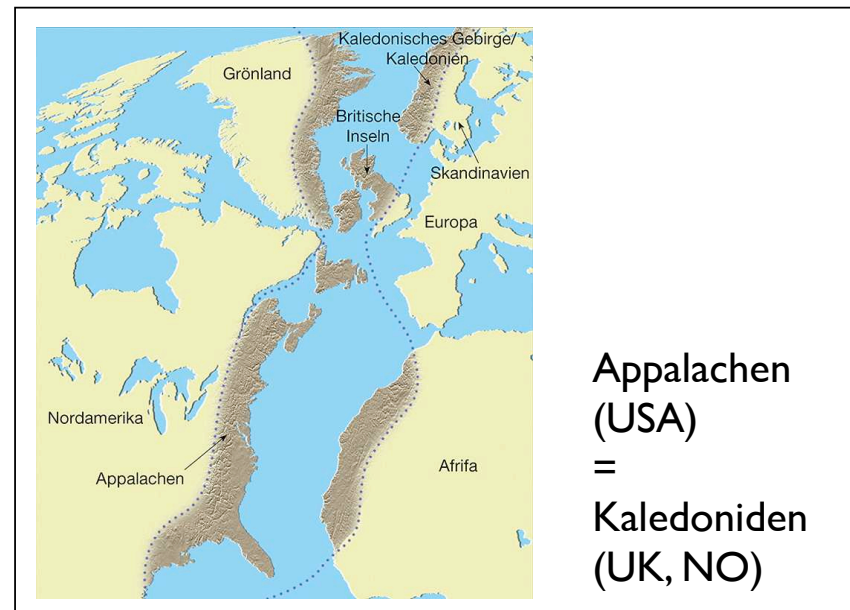
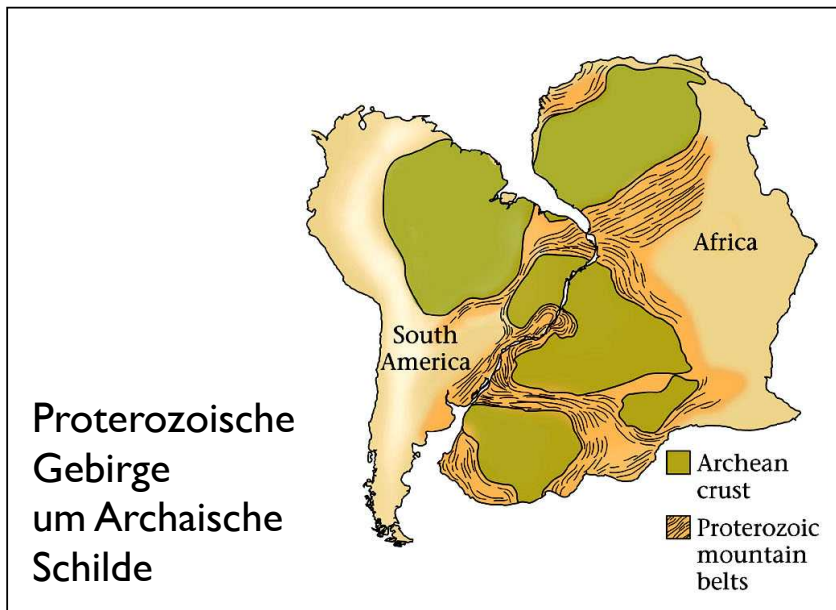
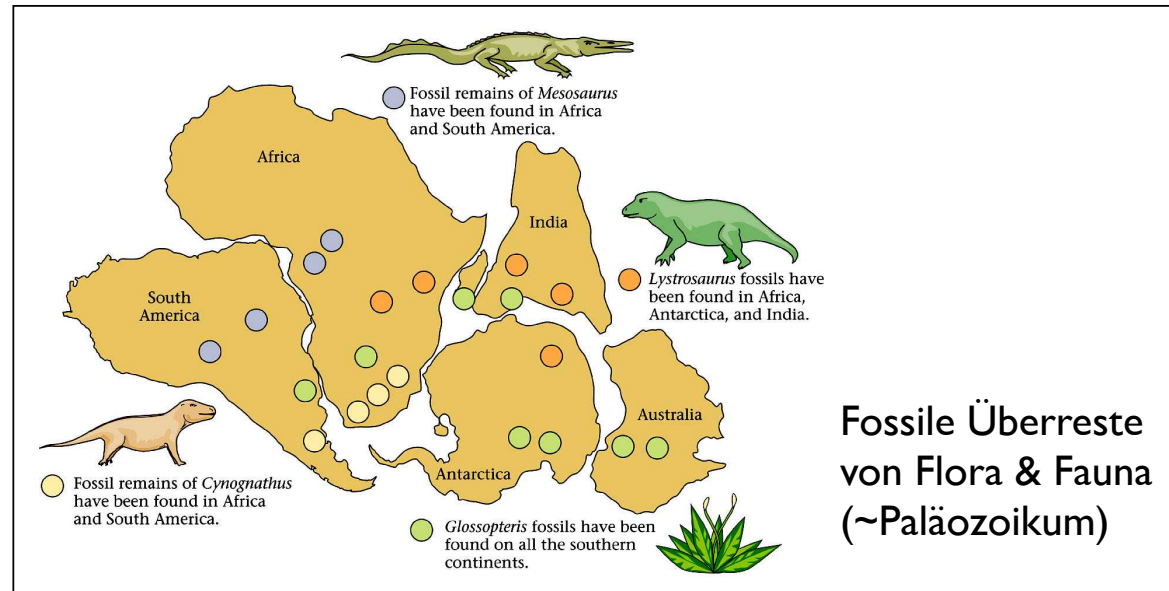
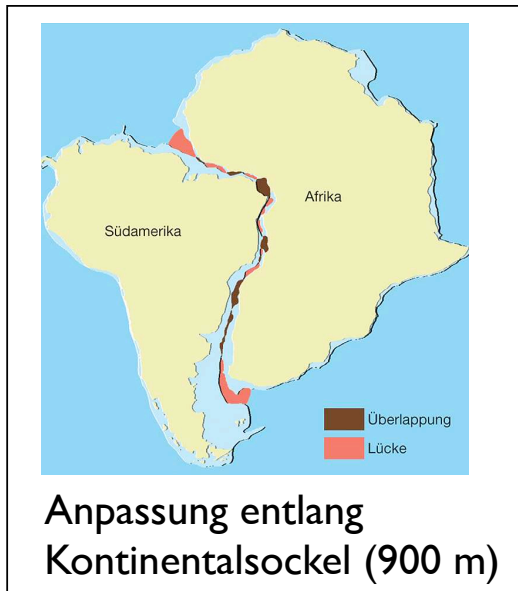
# Kontinentaldrift - Hypothese



Alfred Lothar Wegener  
(1880 - 1930)

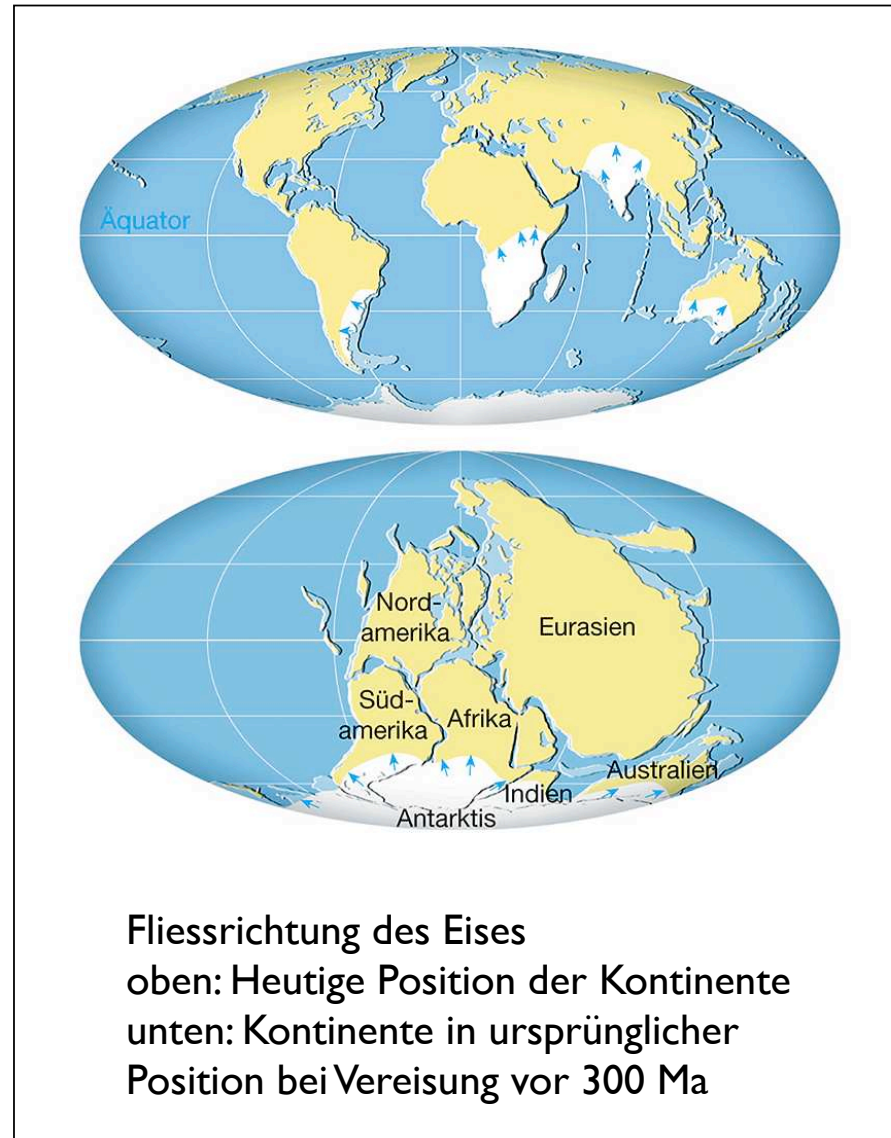
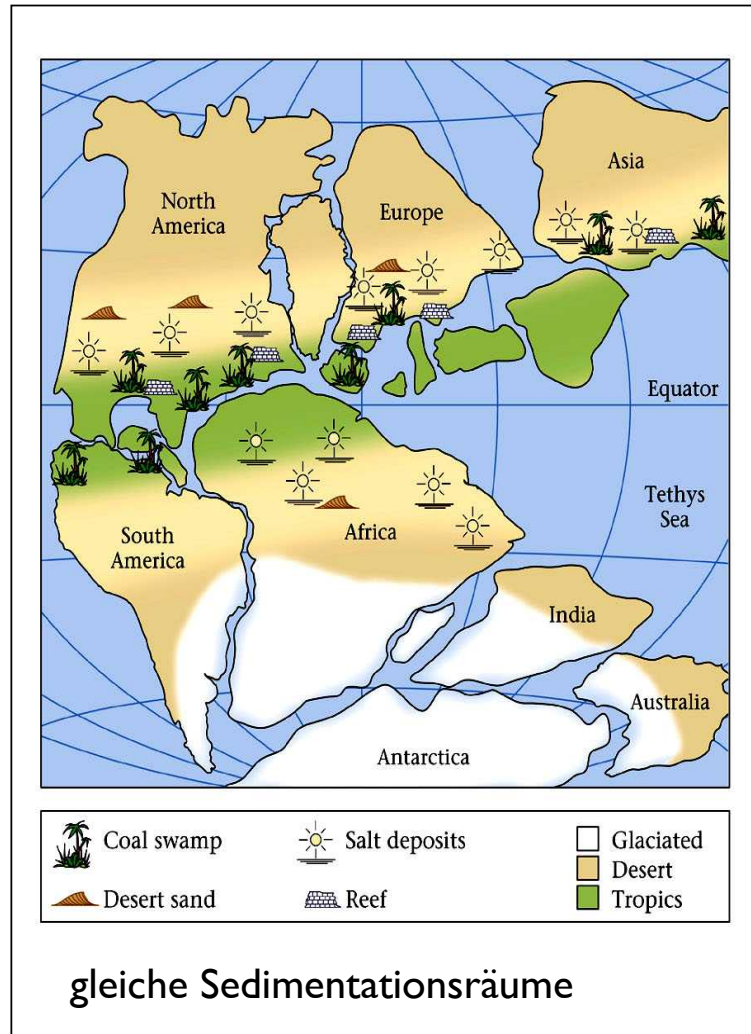
Hypothese (1912):  
Superkontinent "Pangäa" bricht auseinander  
- vor 200 Ma - Kontinente beginnen zu driften

# Evidenz für die Existenz von Pangäa

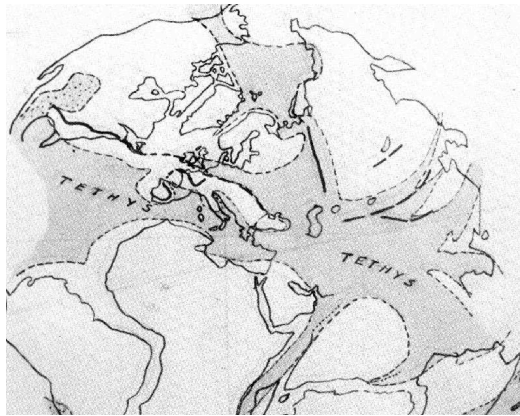




# Evidenz für die Existenz von Pangäa



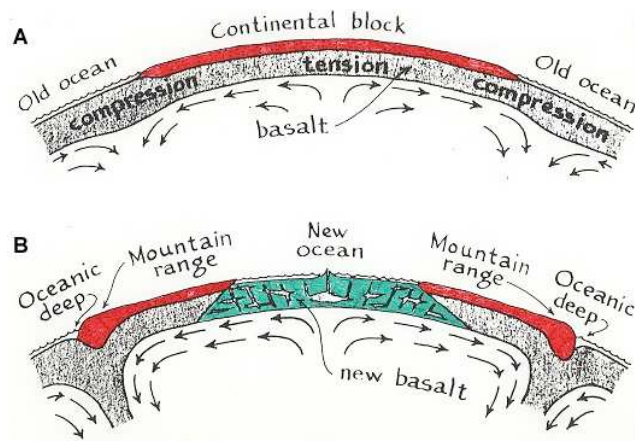
# Kontinentaldrift findet Unterstützung



"Our wandering Continents" (1937)  
Pangäa → Laurasia + Gondwana



Alexander Logie du Toit  
(1878 - 1948)



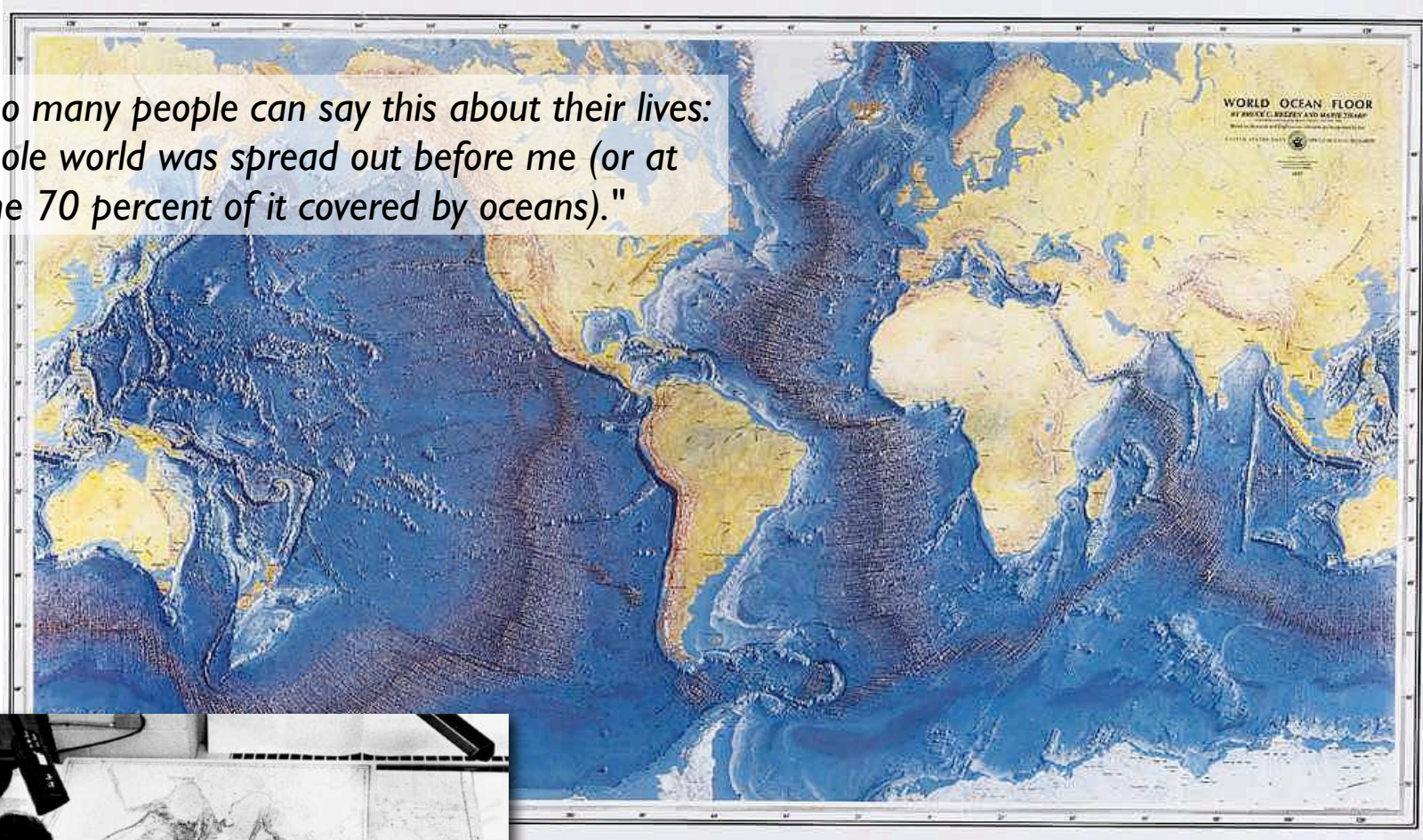
"Principles of Physical  
Geology" (1944)  
"Spekulation" über  
Kontinentaldrift



Arthur Holmes  
(1890 - 1965)

# 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)."*



Marie Tharpe (1920 - 2006)

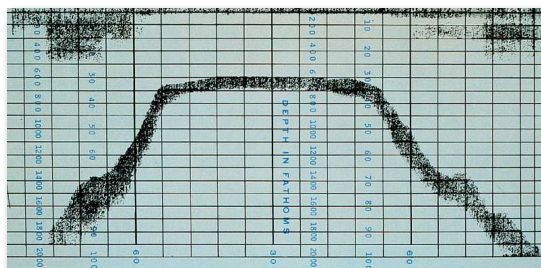
# Seafloor Spreading - Entstehung von Ozeanböden



Harry Hammond Hess  
(1906 - 1969)



Robert Sinclair Dietz  
(1914 - 1995)



Echolot-Aufzeichnung des "ersten Guyots",  
entdeckt von Harry Hess, Universität Princeton

Hess (1960):  
Bericht an "Office of  
Naval Research":  
Erdkruste entsteht an  
Ozeanrücken.

Dietz (1961):  
Beobachtung Hawaiian Islands  
Spekulation: "conveyor belt"  
(Förderband)

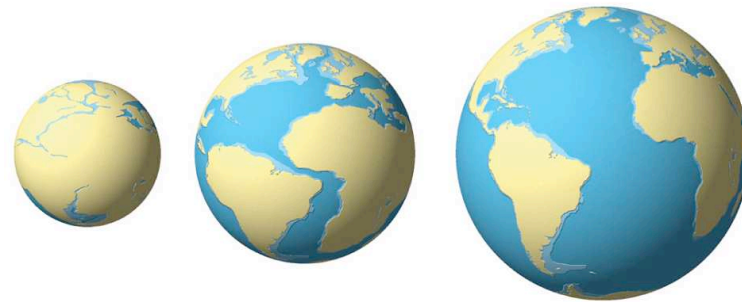
⇒ erste Hypothesen

# Expanding Earth ?!



Marie Tharpe  
(1920 - 2006)

Bruce Heezen  
(1924 - 1977)



Expanding Earth Idee - wurde u.a.  
unterstützt von Bruce Heezen

⇒ ein Problem

# Magnetische Anomalien

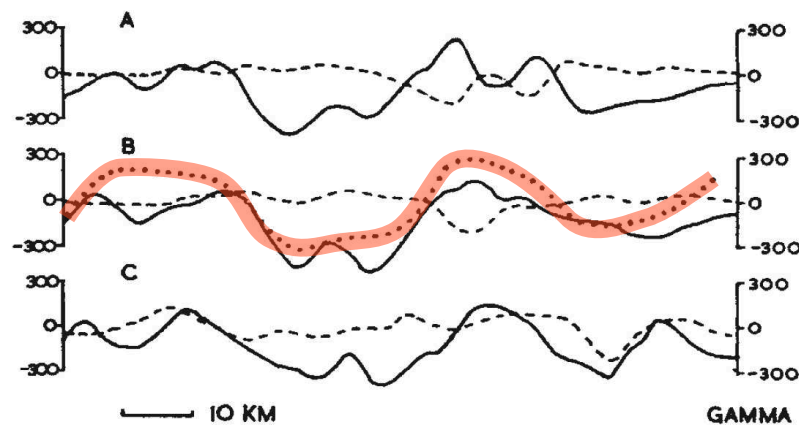
September 7, 1963

NATURE

## MAGNETIC ANOMALIES OVER OCEANIC RIDGES

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

Department of Geodesy and Geophysics, University of Cambridge

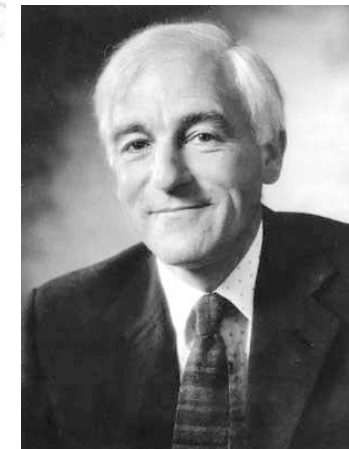


The theory is consistent with, in fact virtually a corollary of, current ideas on ocean floor spreading<sup>7</sup> and periodic reversals in the Earth's magnetic field<sup>8</sup>.

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



Frederick John Vine  
(\* 1939)



Drummond Hoyle  
Matthews  
(1931 - 1997)

# Magnetische Streifen

16 December 1966, Volume 154, Number 3755

**SCIENCE**

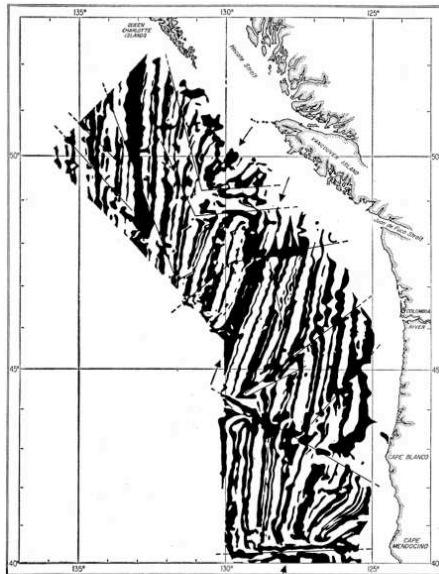
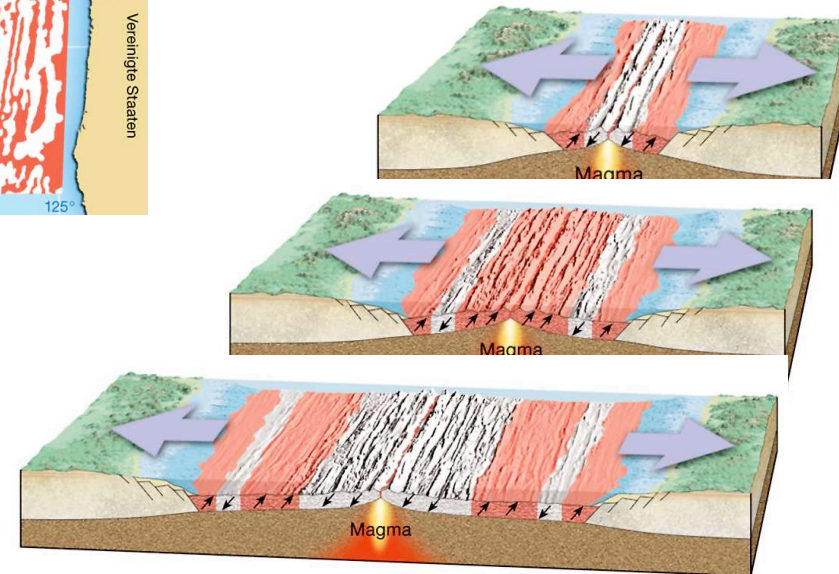
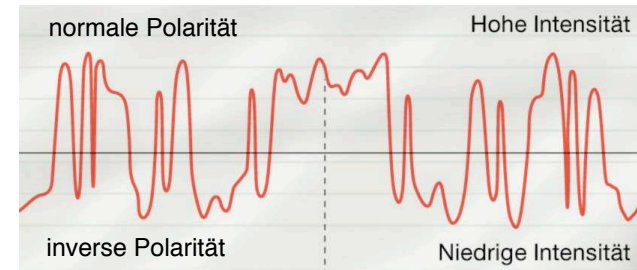
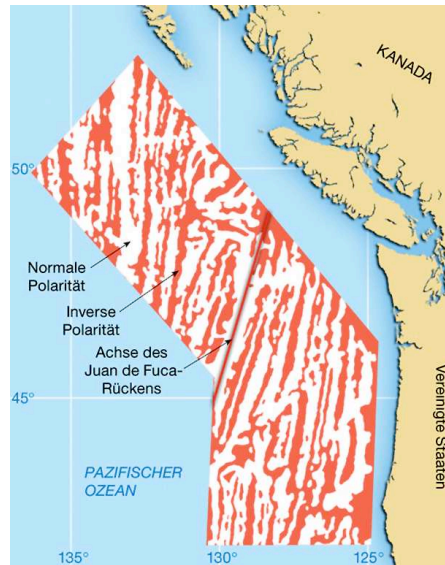


Fig. 1. Summary diagram of total magnetic-field anomalies southwest of Vancouver Island. Areas of positive anomaly are shown in black. Straight lines indicate faults offsetting the anomaly pattern; arrows, the axes of the three short ridge lengths within this area—from north to south, Explorer, Juan de Fuca, and Gorda ridges. See also Fig. 15. [Based on fig. 1 of Raff and Mason (27); courtesy Geol. Soc. Amer.]



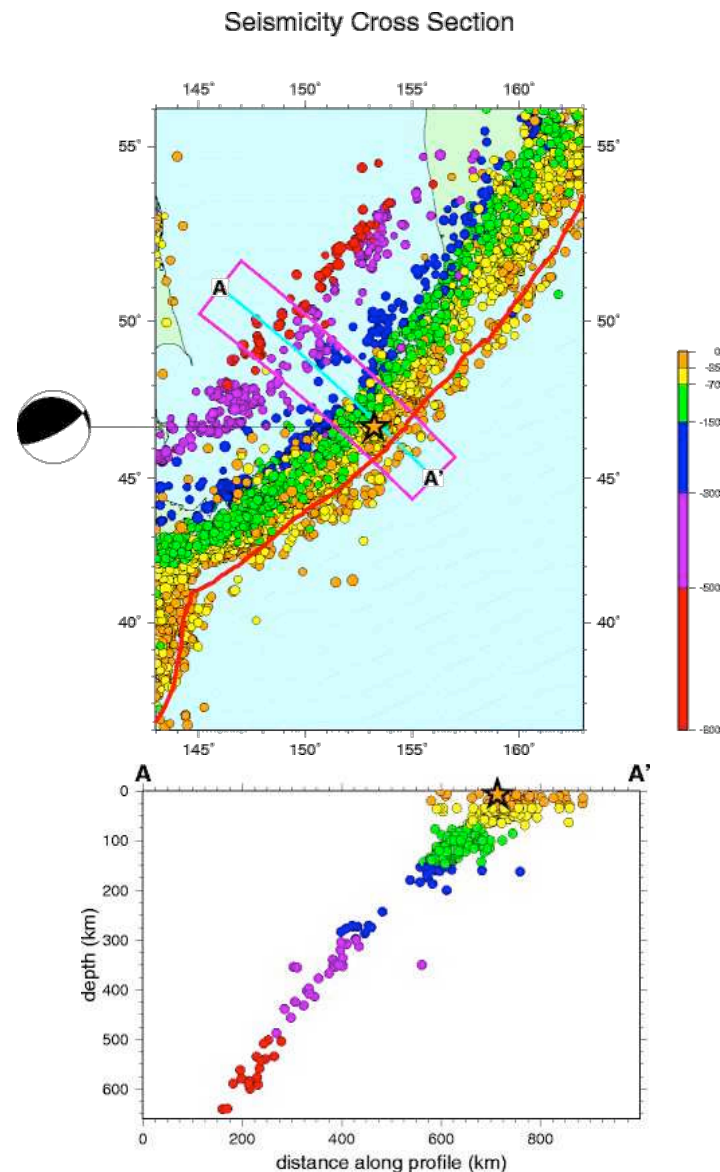
## Spreading of the Ocean Floor: New Evidence

Magnetic anomalies may record histories of the ocean basins and Earth's magnetic field for  $2 \times 10^8$  years.

F. J. Vine

⇒ lineare Quelle für Erdoberfläche

# Wadati-Benioff-Zone



Kiyoo Wadati  
(1902 - 1995)



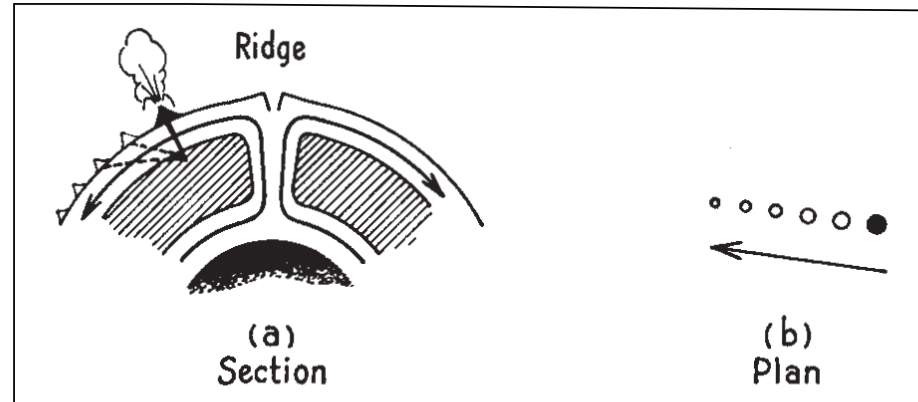
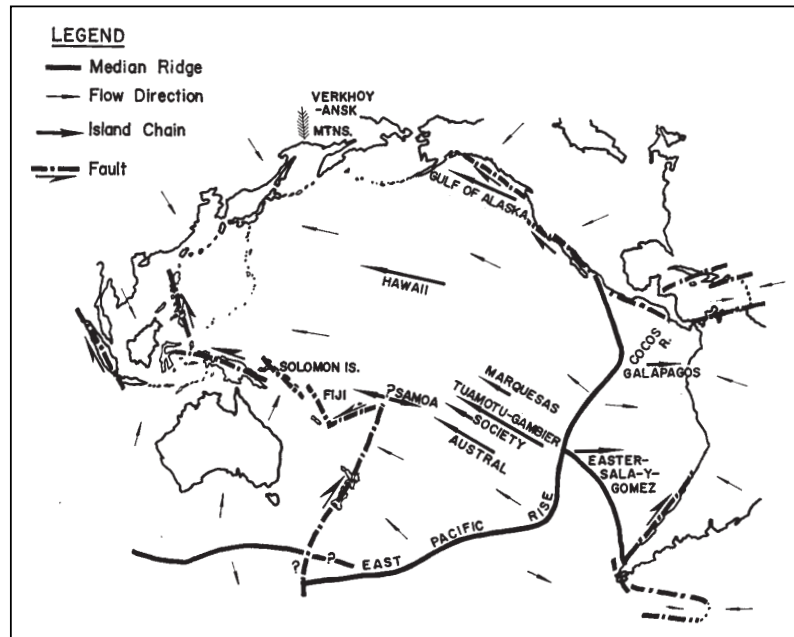
Victor Hugo Benioff  
(1899 - 1968)

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

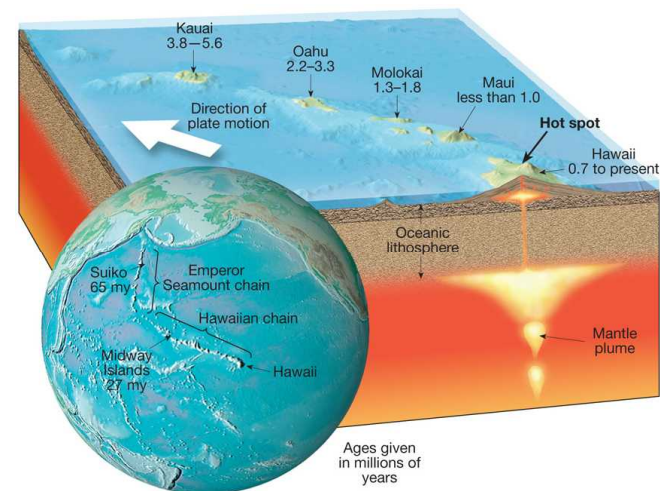
⇒ lineare Senke für Erdoberfläche



# Hotspots - eine heiße Spur



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



⇒ Platte bewegt sich als Ganzes - Platte ist steif

# Transformbrüche - das letzte Puzzlestein

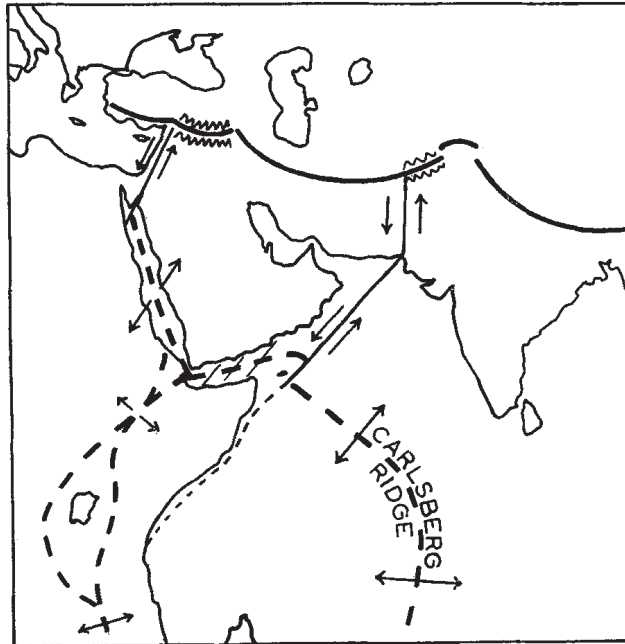


Fig. 8. Sketch illustrating the end of the Carlsberg mid-ocean ridge by a large transform fault (ridge-convex arc type) extending to the Hindu Kush, the end of the rift up the Red Sea by a similar transform fault extending into Turkey and the still younger East African rifts

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

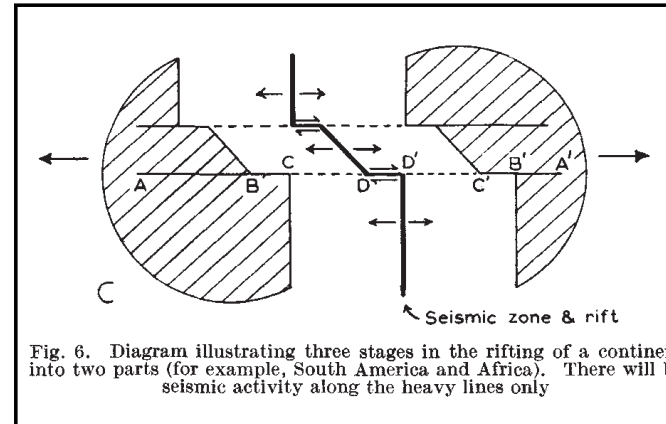
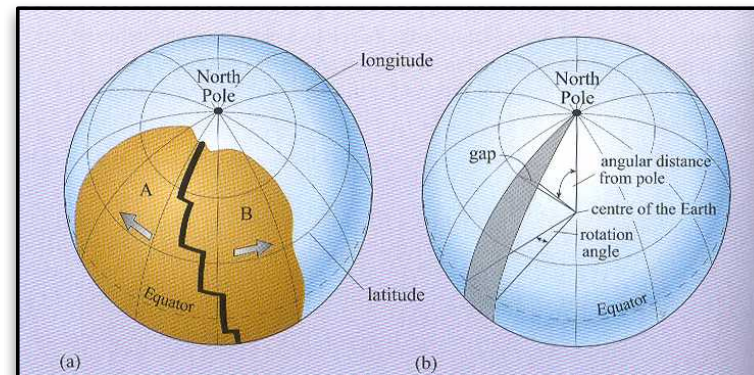


Fig. 6. Diagram illustrating three stages in the rifting of a continent into two parts (for example, South America and Africa). There will be seismic activity along the heavy lines only



⇒ Verbindung von Quelle und Senke

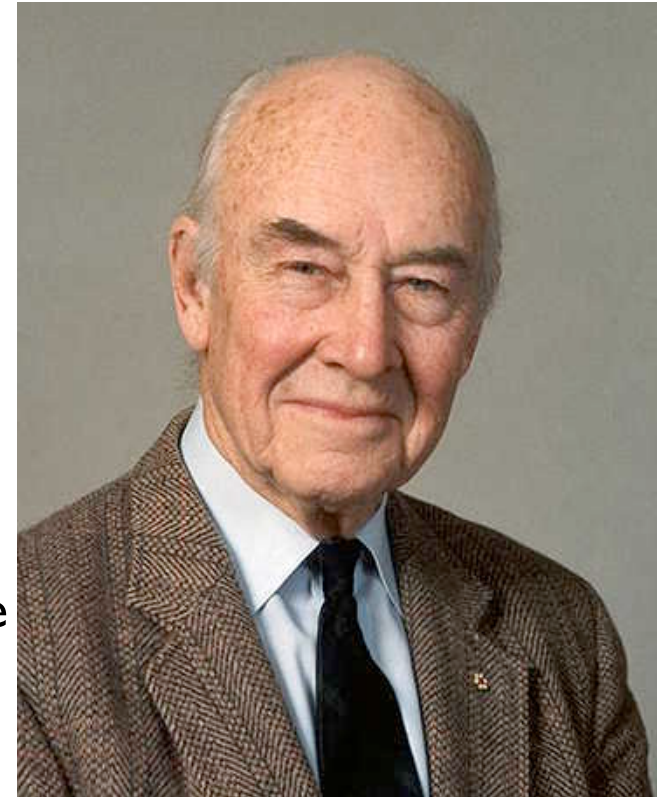
# Formulierung des Plattentektonischen Konzeptes

## (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.

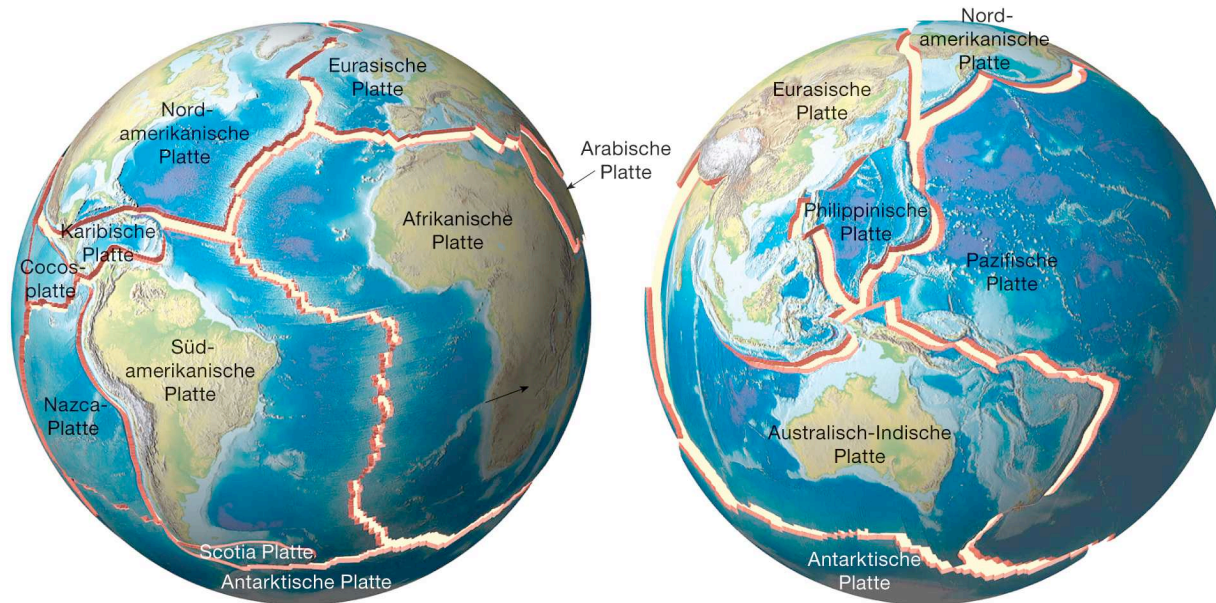
## (2) Transformbrüche (1965)

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



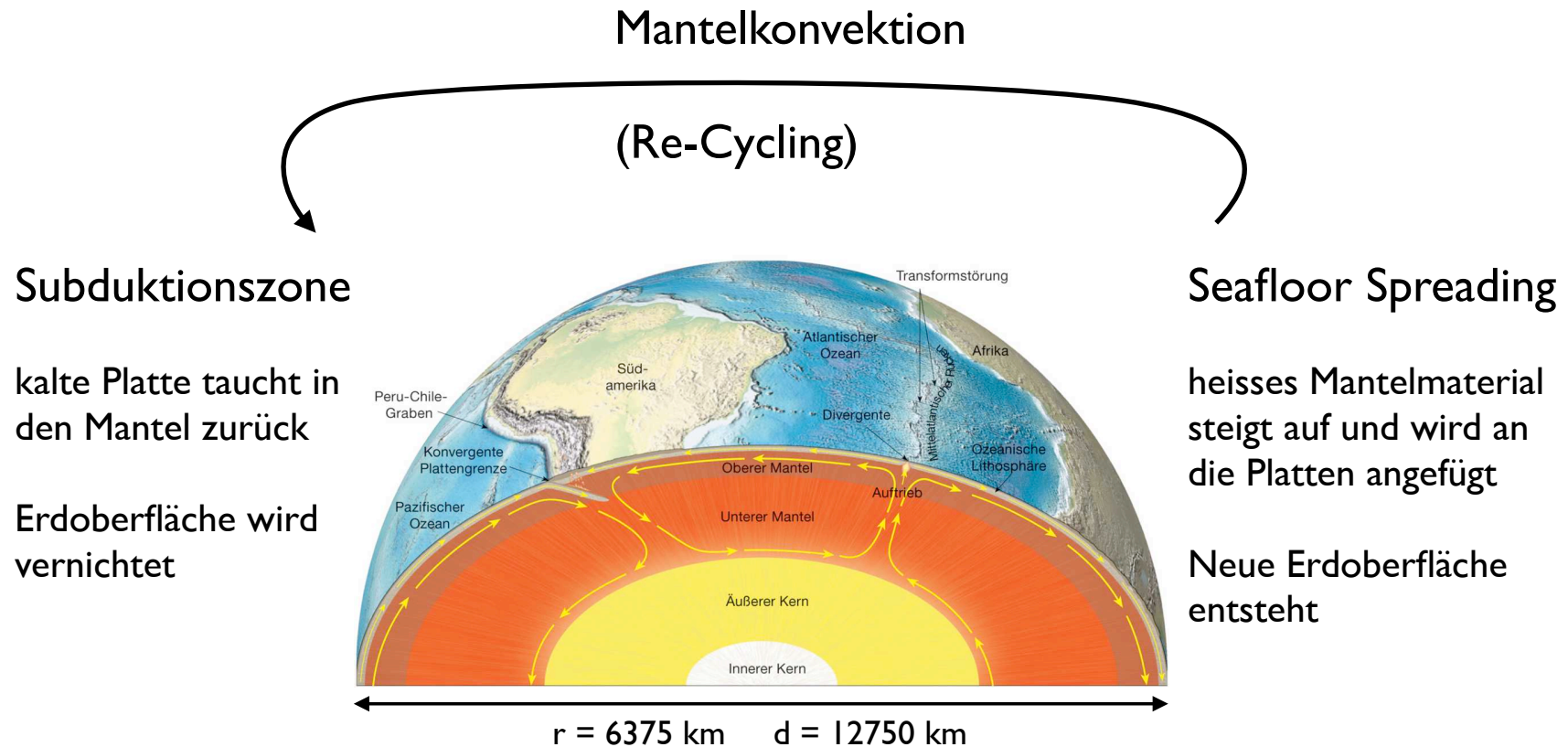
John Tuzo Wilson  
(1908 - 1993)

# Theorie der Plattentektonik



- Die Erdoberfläche ist in ca. 20 tektonische Platten unterteilt.
- Die Platten sind Lithosphärenplatten und bewegen sich  $\pm$  steif (ohne sich innerlich zu verformen) über die fließfähige Asthenosphäre hinweg.
- 1. An den mittelozeanischen Rücken (= konstruktive Plattengrenze) wird aufsteigendes Mantelmaterial an die auseinander driftenden Platten angefügt (Seafloor Spreading)
- 2. An den Subduktionszonen (= destruktive Plattengrenze) wird die Lithosphäre wieder in den Erdmantel zurück versenkt.
- 3. Transformbrüche (= konservative Plattengrenzen) verbinden die Plattengrenzen, sodass jede Platte kinematisch vollkommen von ihren Nachbarinnen entkoppelt ist.

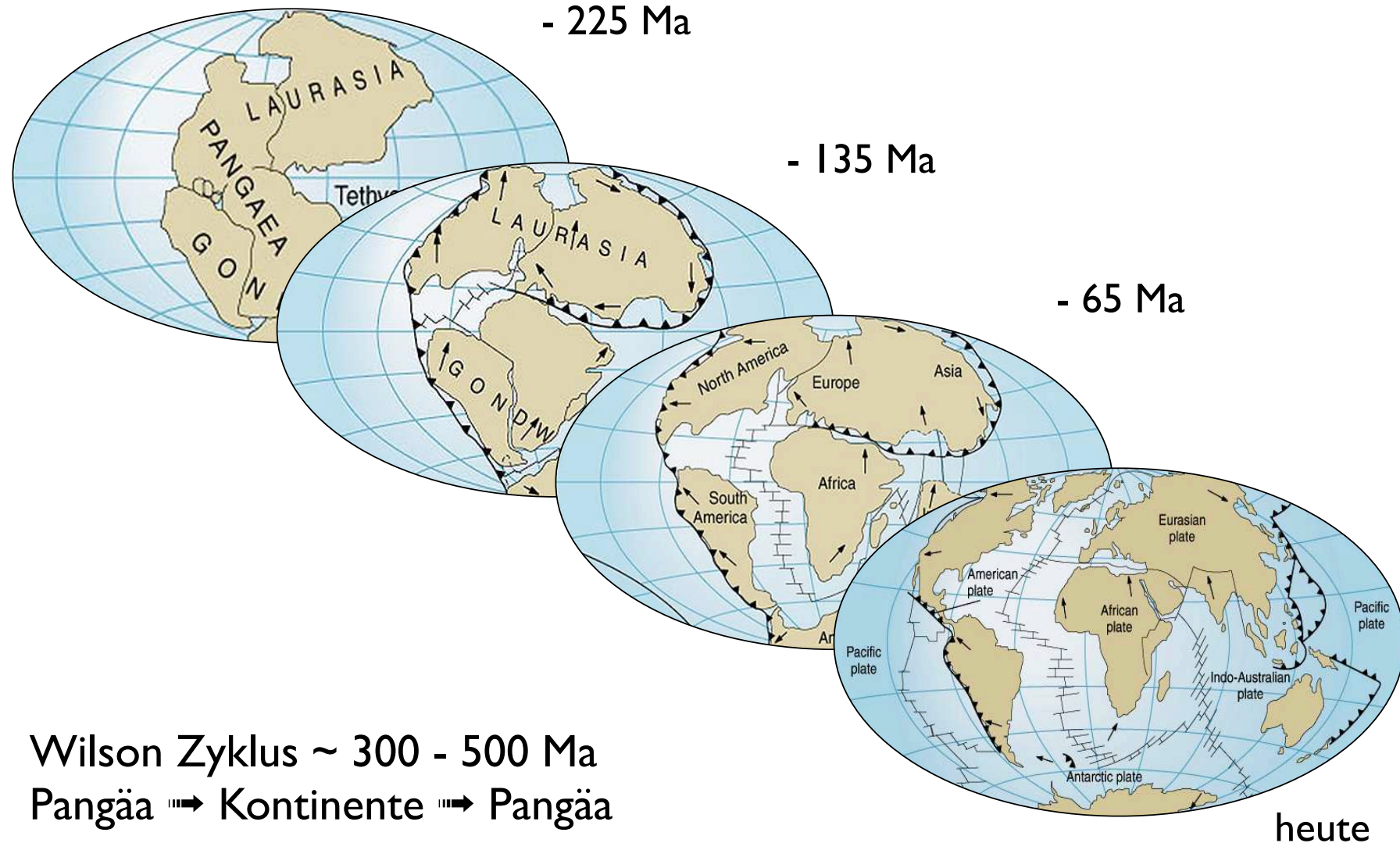
# Motor der Plattentektonik



Lithosphärenplatten definiert durch Plattengrenzen:

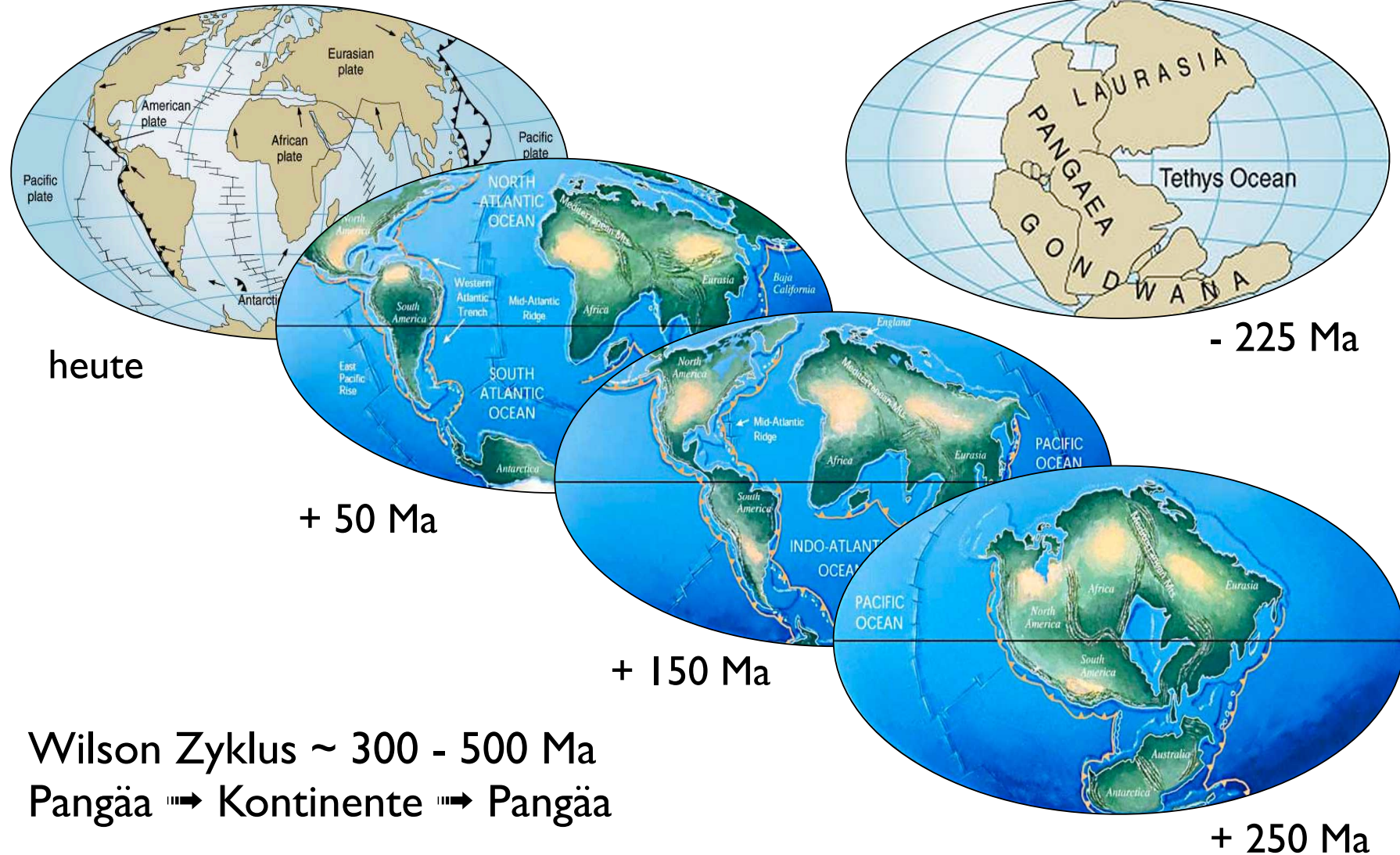
- Seafloor Spreading
- Subduktionszonen
- Transformstörungen
- Untergrenze  $\neq$  Kruste/Mantel-Grenze (Moho)
- Untergrenze = Kontakt zu Asthenosphäre

# Wilson Zyklus - von Pangäa bis heute



Wilson Zyklus ~ 300 - 500 Ma  
Pangäa ⇨ Kontinente ⇨ Pangäa

# Wilson Zyklus - die nächsten 250 Ma

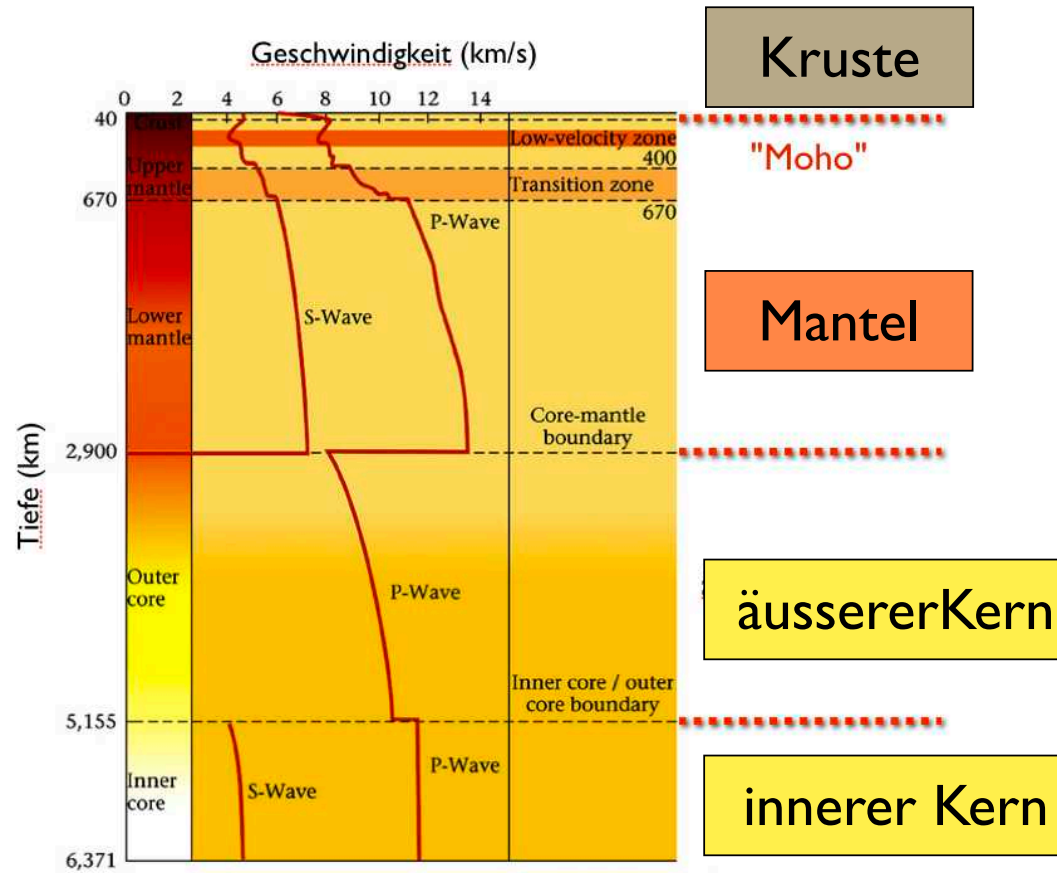
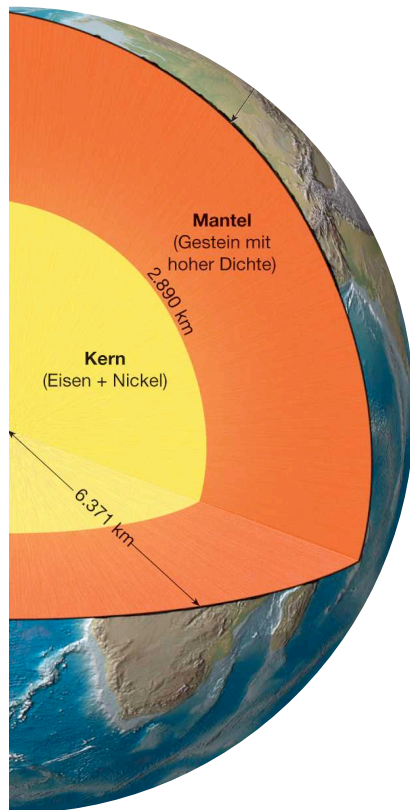


Wilson Zyklus ~ 300 - 500 Ma  
 Pangäa → Kontinente → Pangäa

**vom Schalenbau der Erde  
zu tektonische Platten**

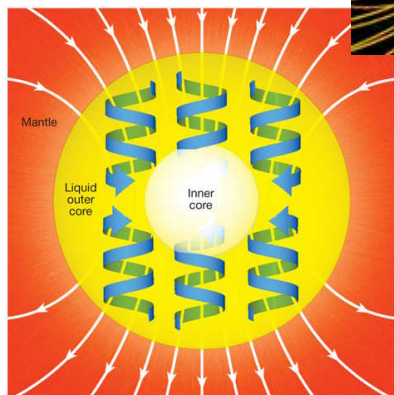
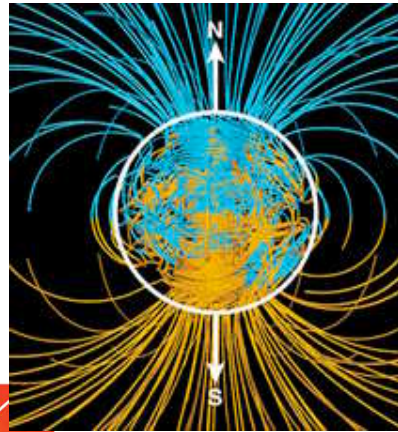
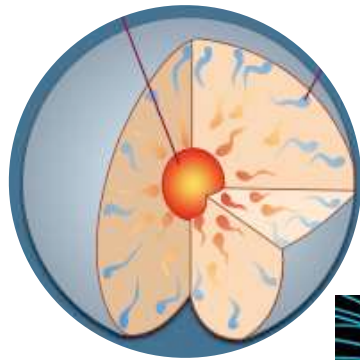


# Schalenbau der Erde - nach Gesteinstypen



Grenzen zwischen Kruste / Mantel / Kern:  
durch Erdbebenanalyse, bzw. seismisch definiert

# Zusammensetzung des Erdkerns



Fließgeschwindigkeit 1 mm/s = 3.6m/h

Entstehung:

Kern Eisen-Katastrophe (4.5 Ga)  
 fester K. Kristallisation (1- 4 Ga ?)

Zusammensetzung:

Fe (80%), Ni, wenig Pb, U

mittlere Dichte:

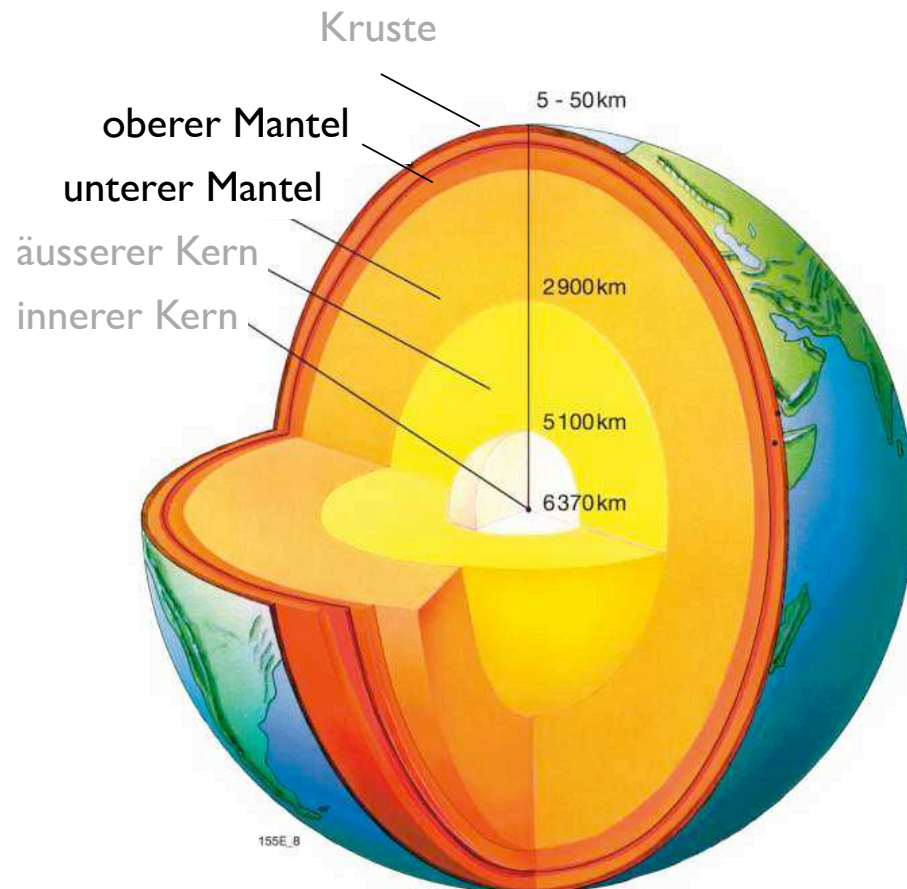
Erdkern	11'000 kg / m <sup>3</sup>	= 11 g / cm <sup>3</sup>
innerer	13'000 kg / m <sup>3</sup>	= 13 g / cm <sup>3</sup>
äusserer	10'000 kg / m <sup>3</sup>	= 10 g / cm <sup>3</sup>

Vergleich

Wasser	1'000 kg / m <sup>3</sup>	= 1 g / cm <sup>3</sup>
--------	---------------------------	-------------------------

Magnetfeld: Coriolis Kraft  
 (3.8 Ga)

# Zusammensetzung des Erdmantel



Alter: 4.5 Ga

Volumen: ~83% des Erdvolumens

Masse: ~67% der Erdmasse

Zusammensetzung:

Ultramafische Gestein

Peridotit, Pyroxenit

enthält eventuell 2-3 x Wassermenge  
der Ozeane (Kristallwasser)

Mantel = Wärmequelle:

Radioaktiver Zerfall ca 30 TW

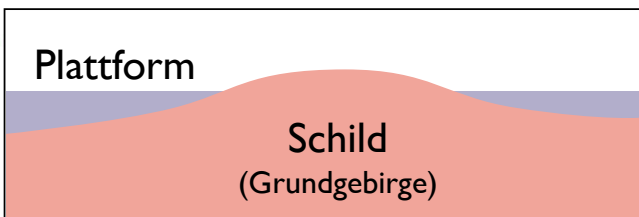
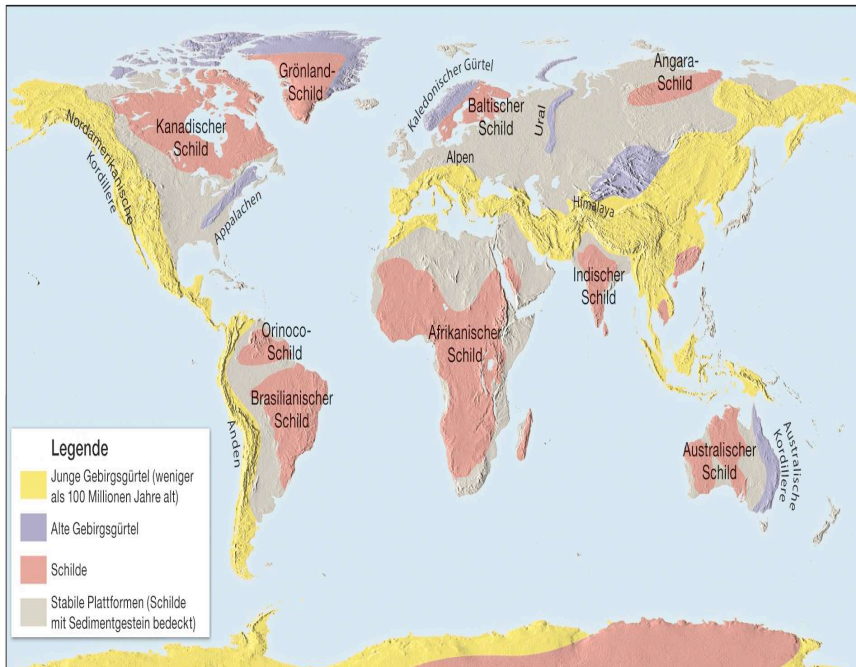
$^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$

Gesamt Wärmeproduktion der Erde: ~44 TW

Energieverbrauch Menschen: ~30TW

# Zusammensetzung der Erdkruste

## kontinentale Kruste



Entstehung:  
magmatische Prozesse, Tektonik

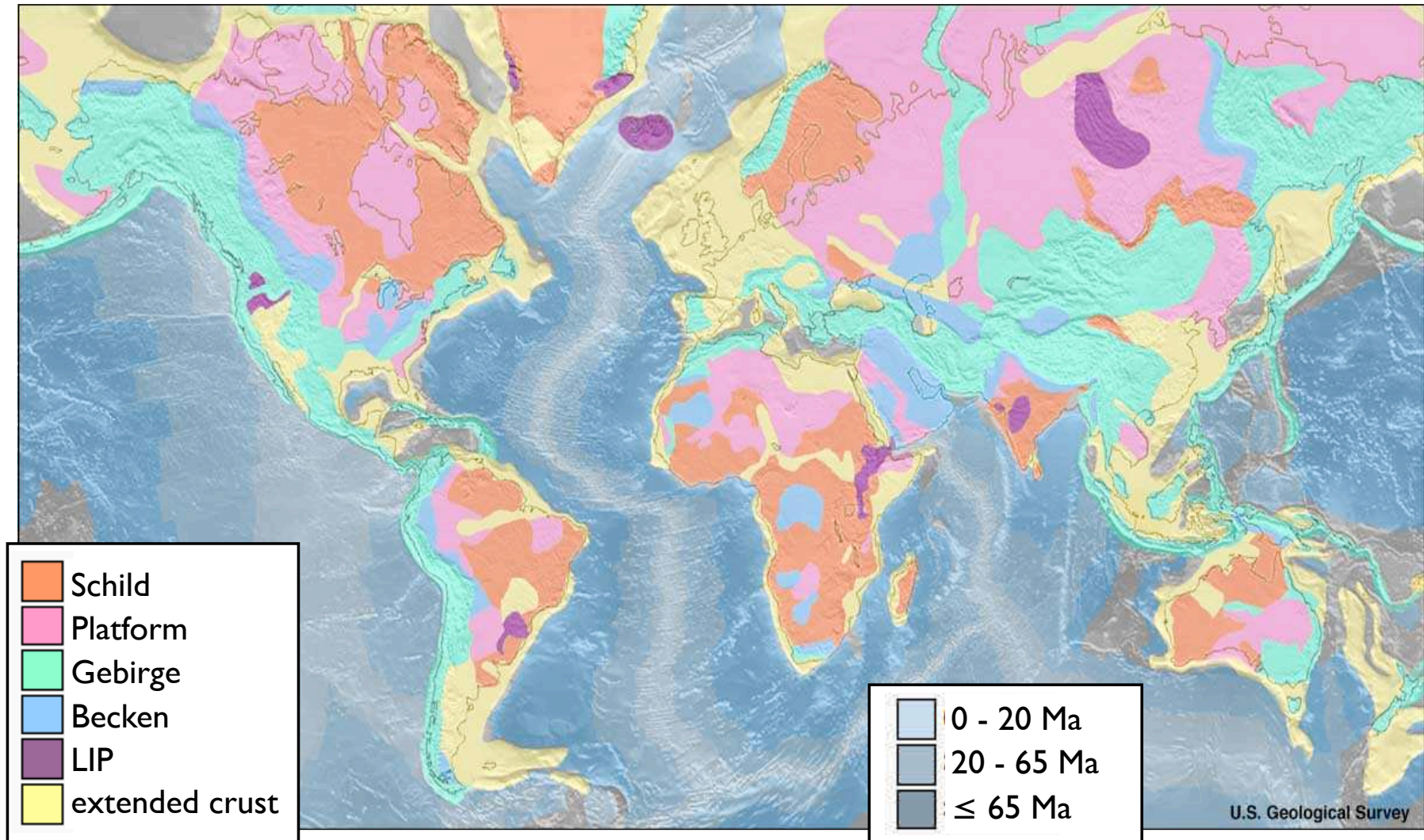
Alter:  
kontinentale bis 4 Ga  
ozeanische max. 180 Ma

Zusammensetzung:  
magmatische Gesteine  
metamorphe Gesteine  
Sedimentgesteine

mittlere Dichte:  
 $2'700 \text{ kg / m}^3 = 2.7 \text{ g / cm}^3$

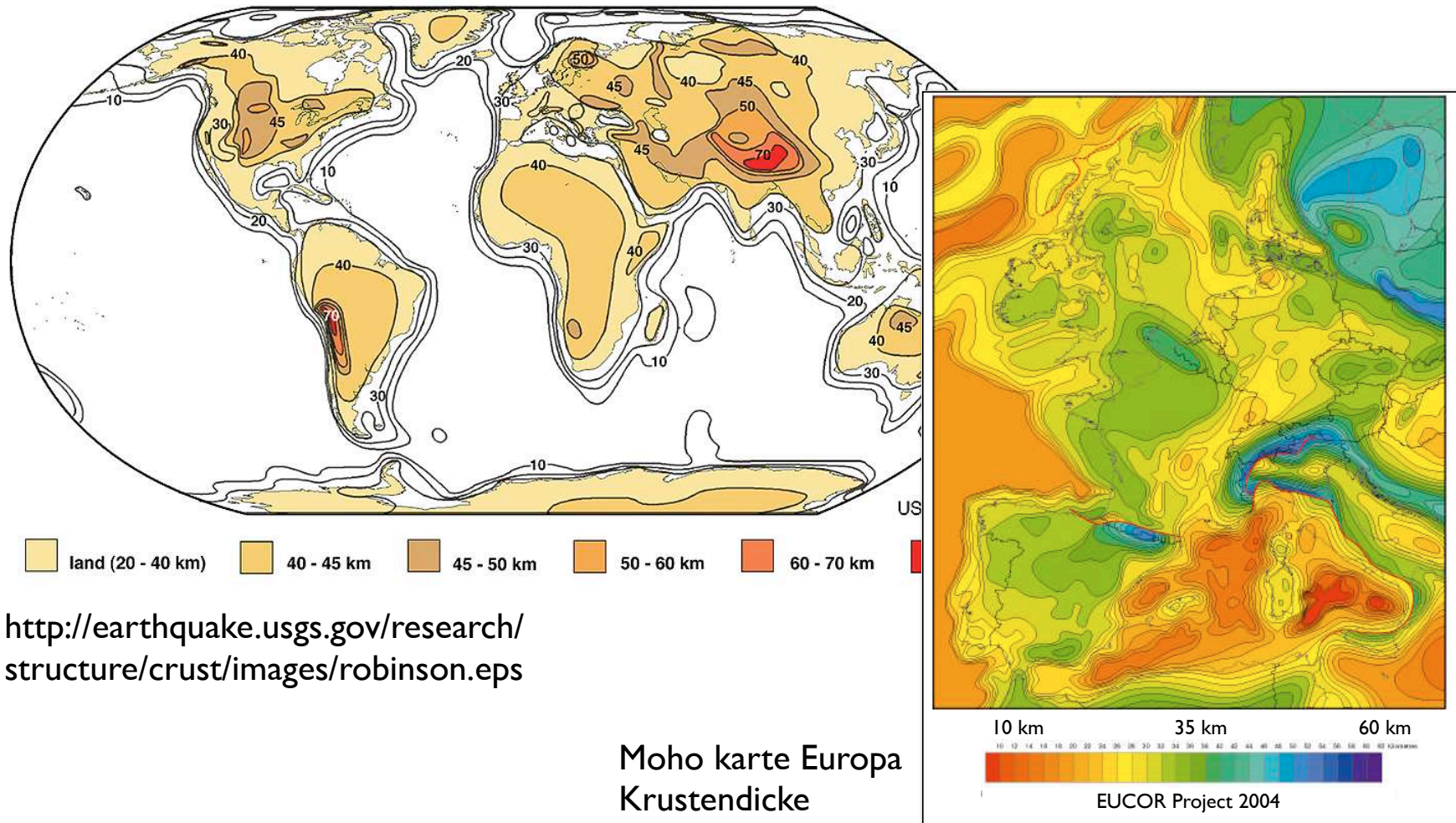
Dicke:  
kontinentale 30 - 50 km  
ozeanische 5 - 10 km

# kontinentale und ozeanische Kruste



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

# Kurstendicke



<http://earthquake.usgs.gov/research/structure/crust/images/robinson.eps>

Moho karte Europa  
Krustendicke

# typische Krusten- und Mantelgesteine

leichte Gesteine

Kontinentale Kruste:

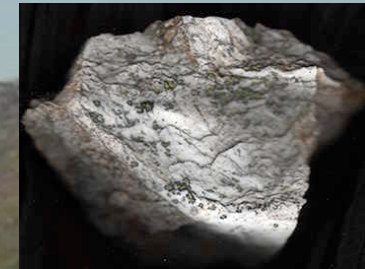
Si Al



Granodiorit



Granit



Verfalteter Gneis

schwere Gesteine

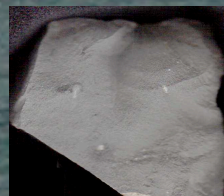
Ozeanische Kruste...

... und Mantel:

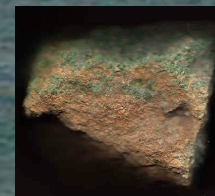
Fe Mg



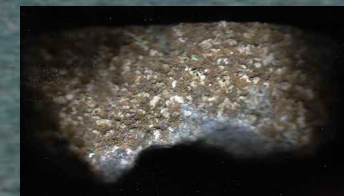
Gabbro



Basalt



Peridotit

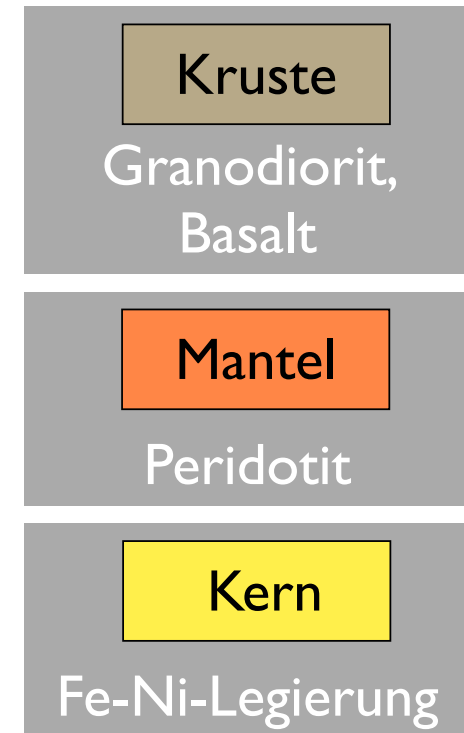
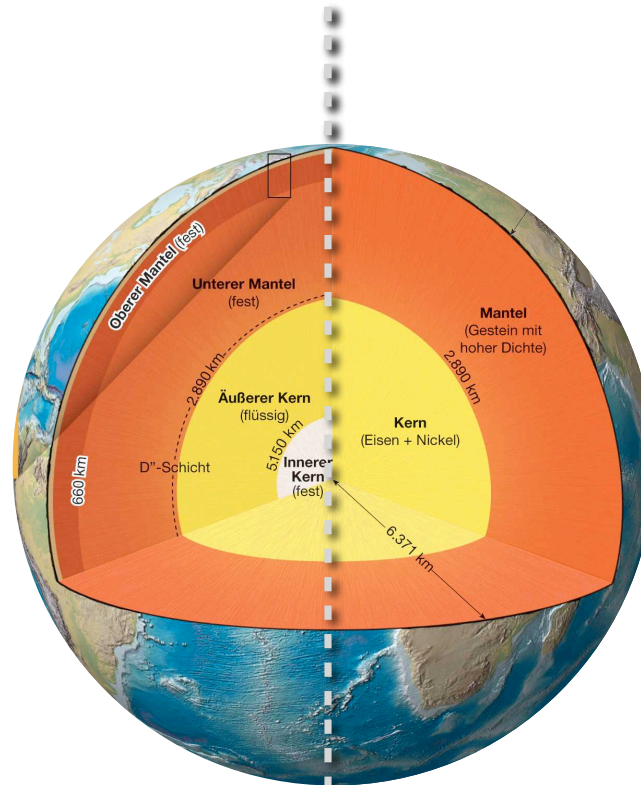
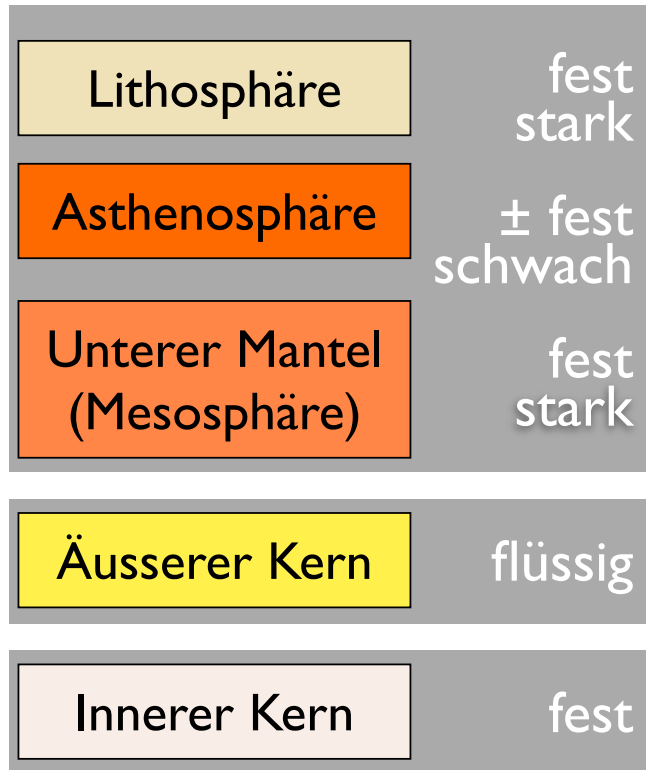


Kimberlit

Platten sind  
Lithosphärenplatten



# Schalenbau neu definiert - Festigkeit der Gesteine



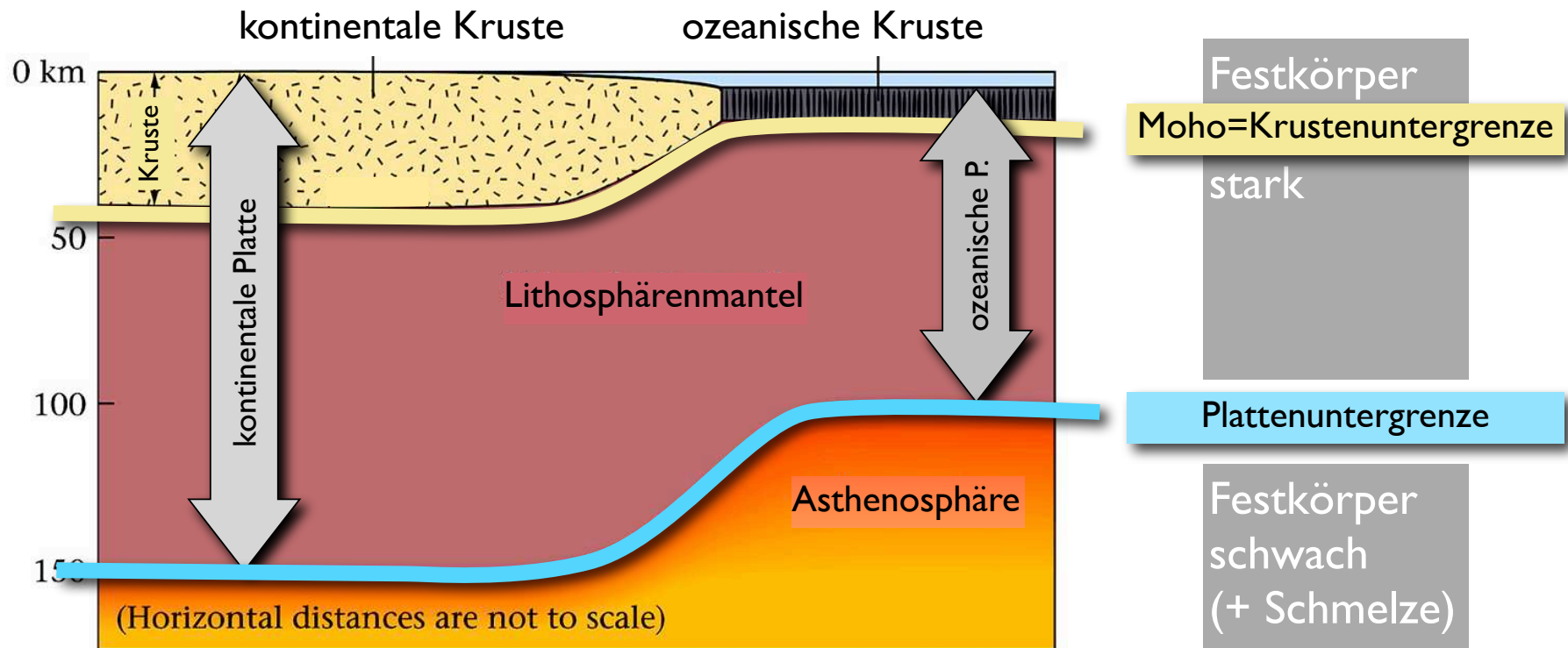
Physikalische / rheologische Eigenschaften

Chemische / mineralogische Zusammensetzung

# Platten sind Lithosphärenplatten $\neq$ Krustenplatten



Tektonische Platte  $\neq$  Kruste

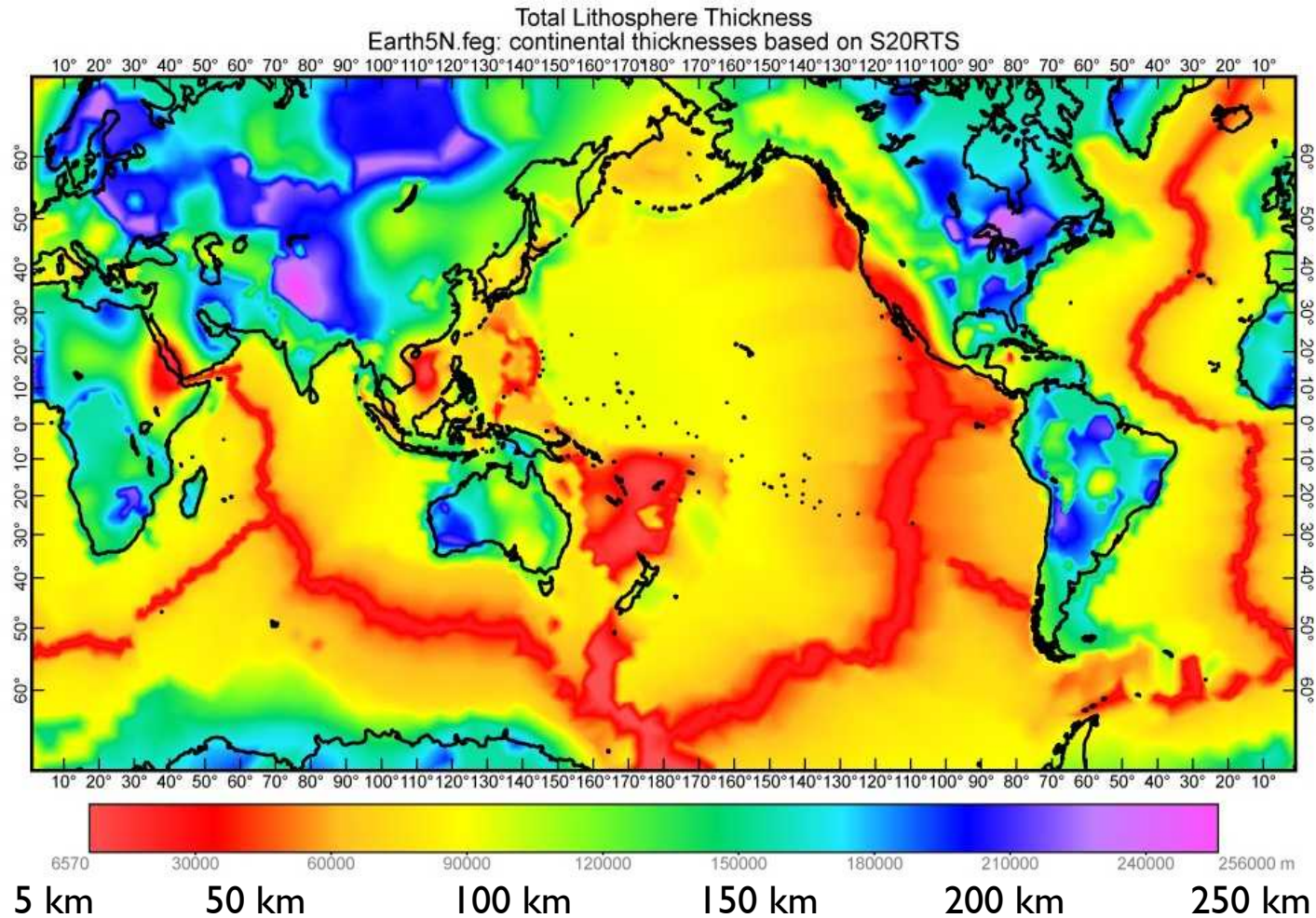


Platten sind Lithosphärenplatten:

DESHALB: Lithosphäre schwimmt auf Asthenosphäre

NICHT: ~~Kruste schwimmt auf Mantel~~

# Dicke der Lithosphäre ( $\neq$ Krustendicke)



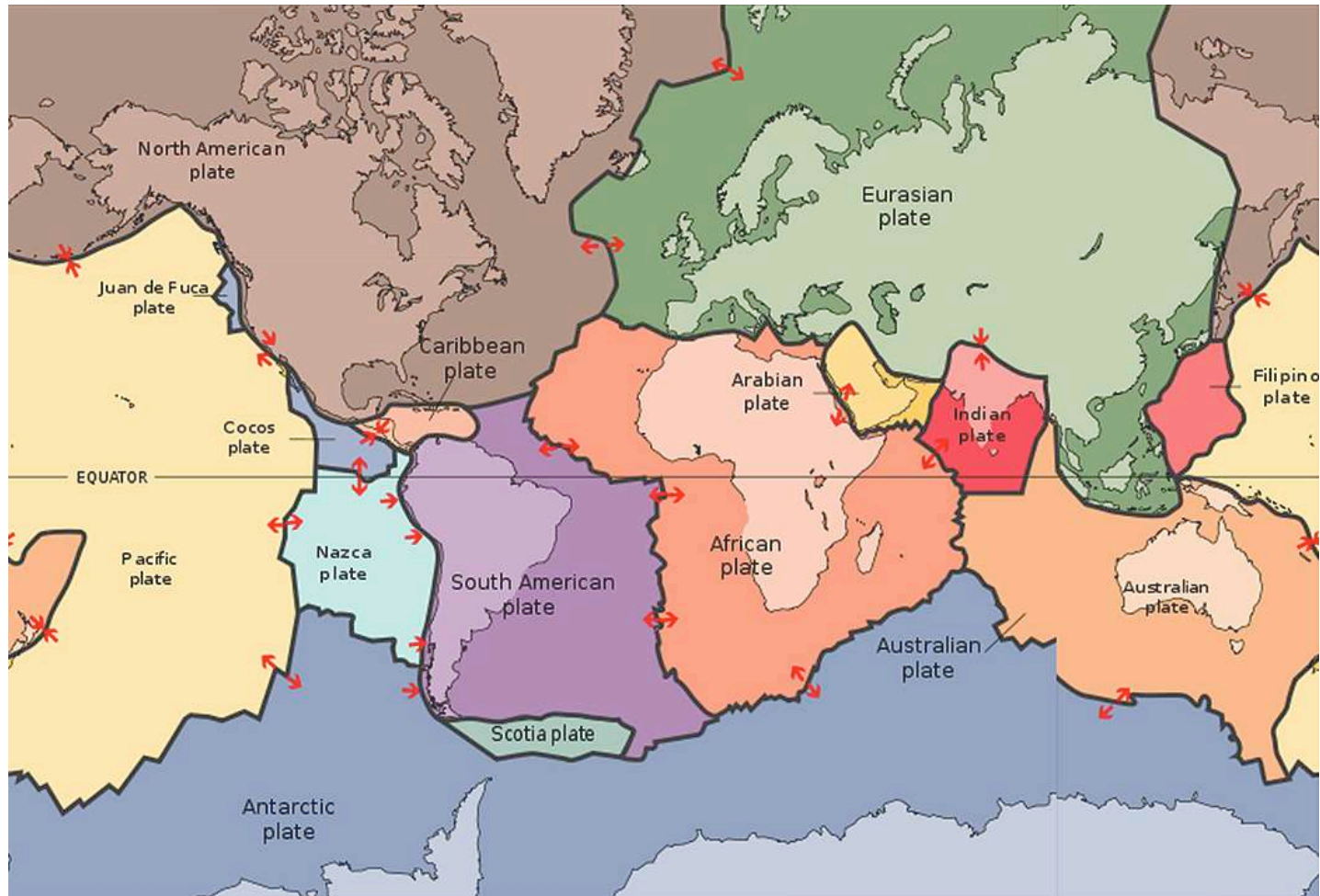
ozeanische Lithosphäre  
ozeanische Plattenanteile

dünn

kontinentale Lithosphäre  
kontinentale Plattenanteile

dick

# 7 grosse und 6 kleine Platten



dunkel: ozeanische Anteile

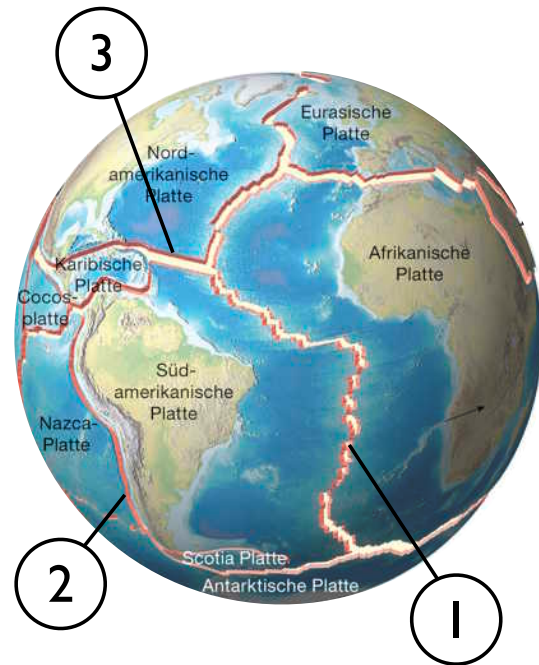
hell: kontinentale Anteile

# Plattengrenzen

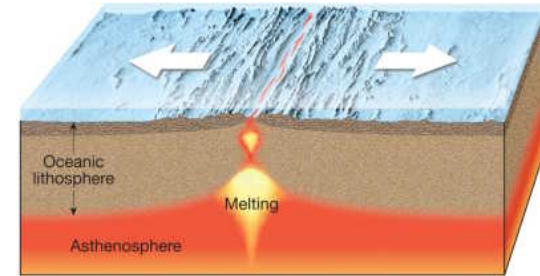
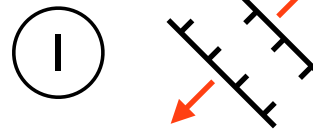
# Plattengrenzen: 3 Typen

Produktion Erdoberfläche

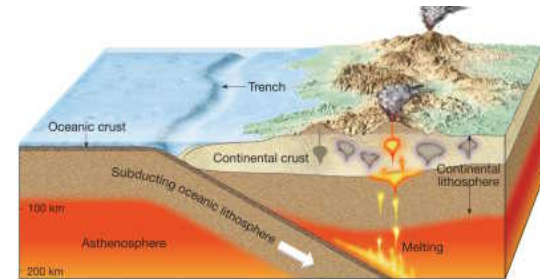
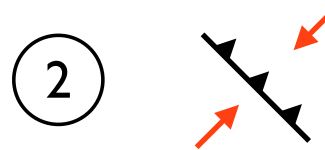
Bewegungssinn



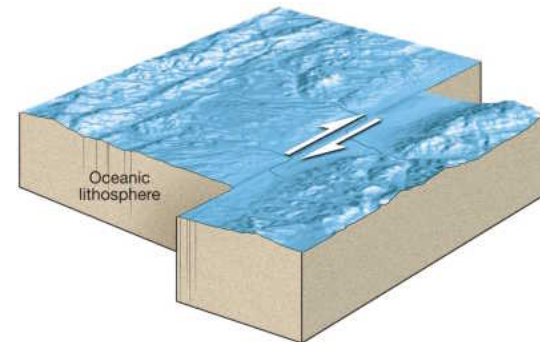
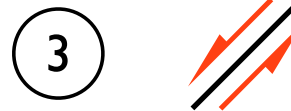
konstruktiv = distensiv



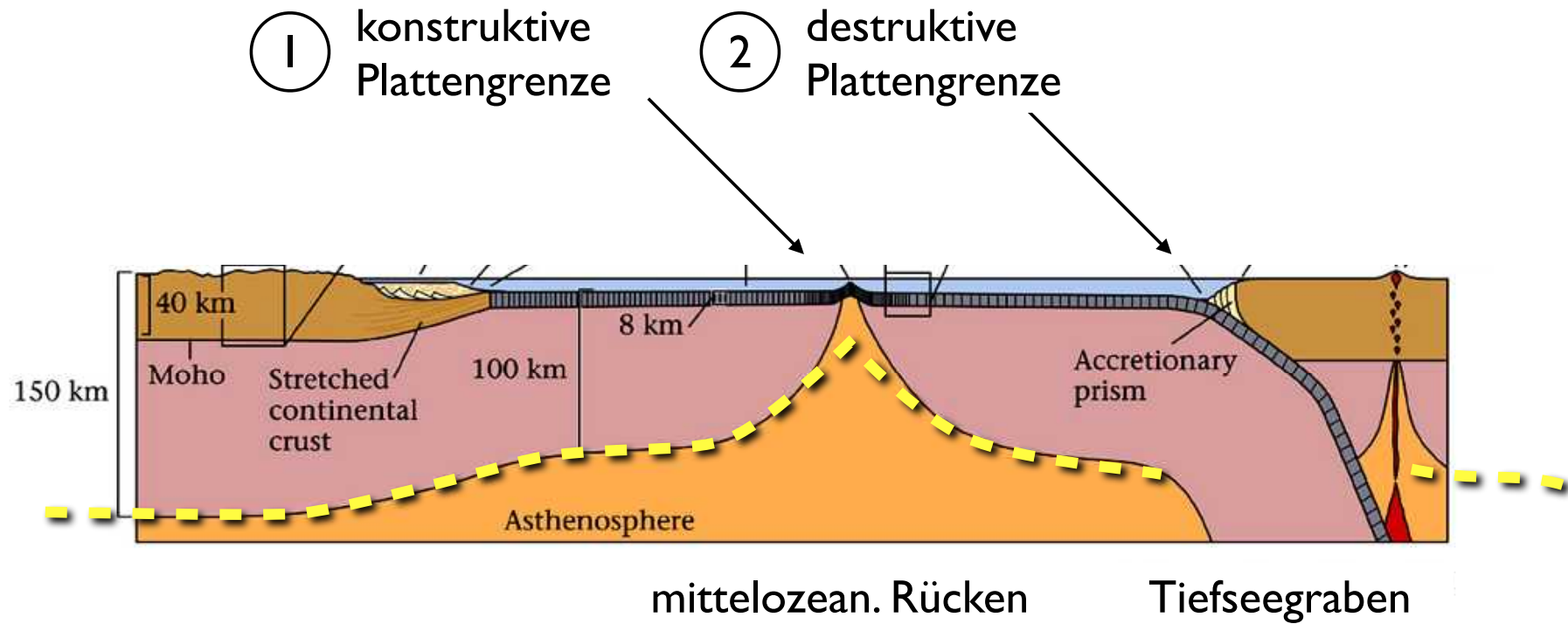
destruktiv = kompressiv



konservativ = Transform

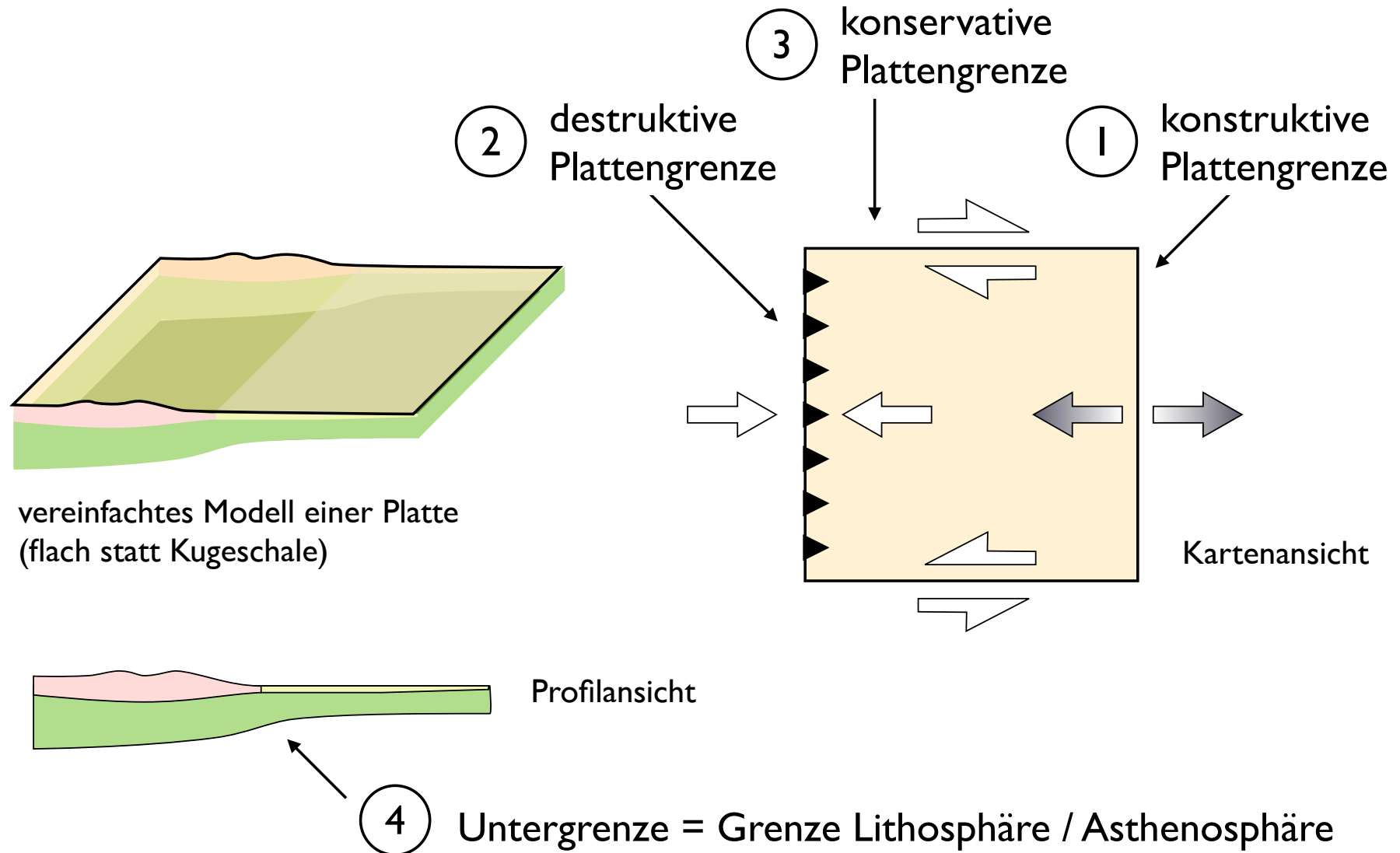


# ... und der 4. Typ - die Untergrenze



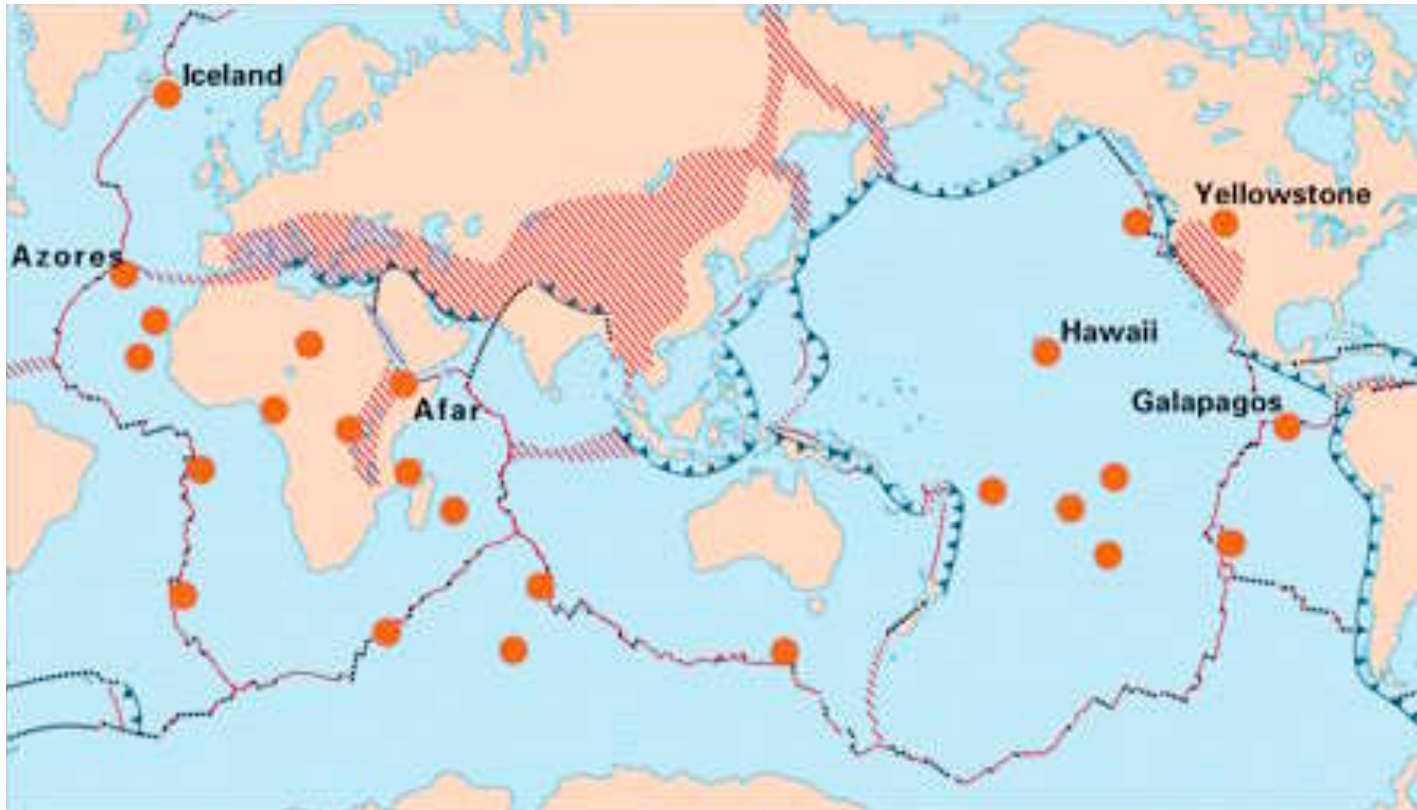
④ Untergrenze = Grenze Lithosphäre / Asthenosphäre

# ... und der 4. Typ - die Untergrenze





# Plattengrenzen und -grenzzonen



- konstruktive / divergente Plattengrenze
- ▲▲▲▲▲ destruktive / konvergente Plattengrenze
- konservative / Transform-Plattengrenze

- ▨ Platten - Grenzzonen
- Hotspots