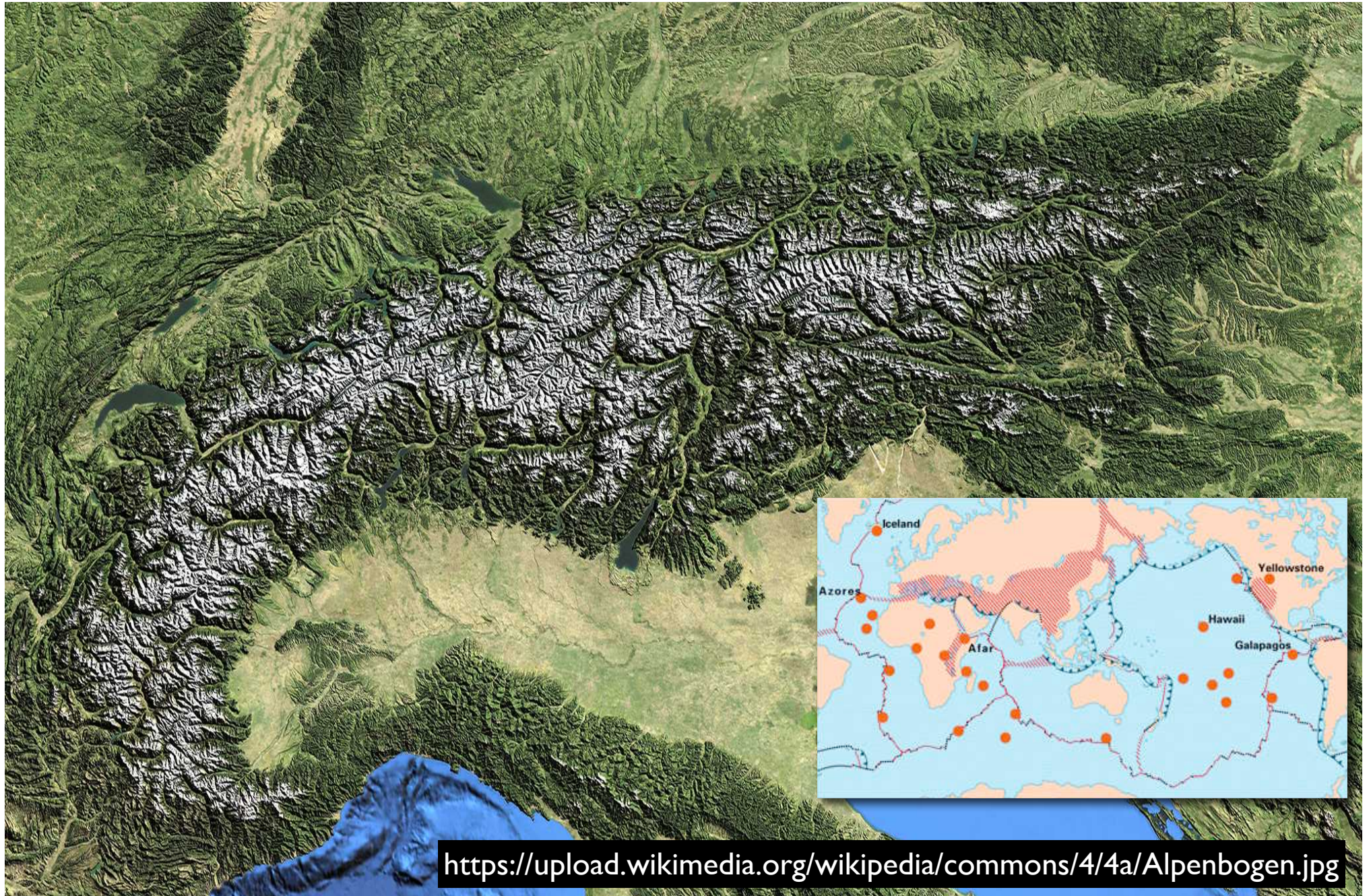


- | | | | |
|---|--|---|---|
| 1 | <i>2. November</i>
Was ist Plattentektonik ?
Was sind Platten ?
Plattenrundgang | 4 | <i>23. November</i>
Destruktive Plattengrenzen
Alles über Erdbeben ...
Magnituden - Intensitäten |
| 2 | <i>9. November</i>
Entwicklung der Plattentektonik
Geosynklinale, Kontinentaldrift →
Sea floor Spreading - Subduktion | 5 | <i>30. November</i>
Konservative Plattengrenzen
... noch mehr über Erdbeben
Berühmte Fälle |
| 3 | <i>16. November *</i>
Geophysikalische Spurensicherung
Vom Rifting zur Subduktion
Mittelozeanische Rücken | 6 | <i>7. Dezember</i>
Hotspots |

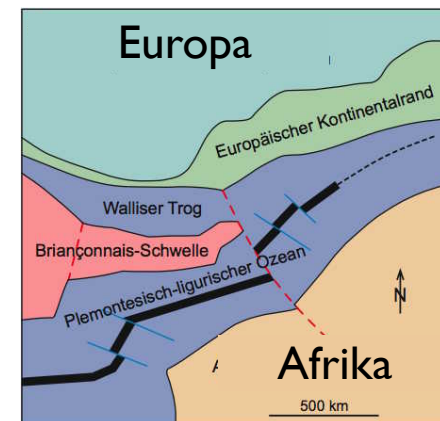
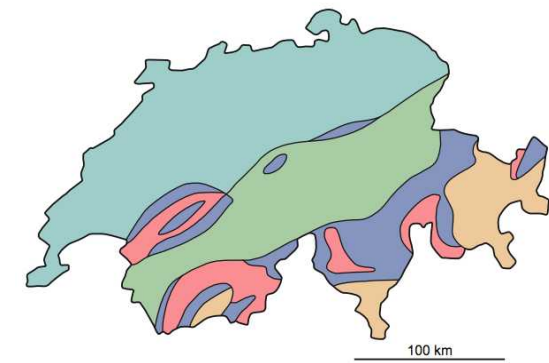
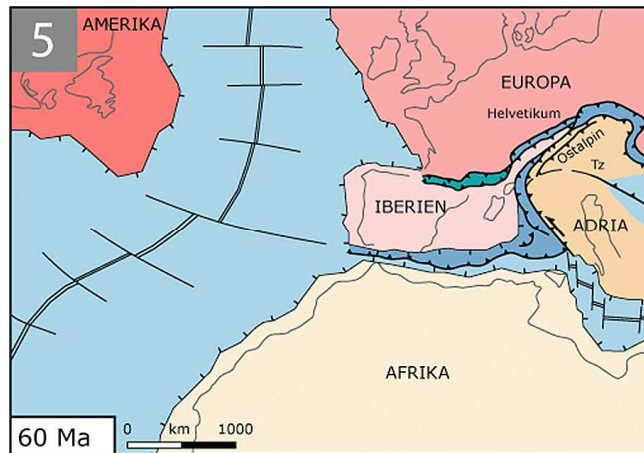
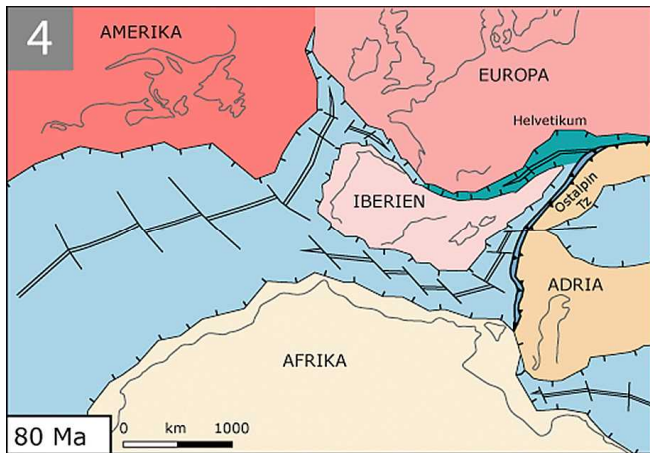
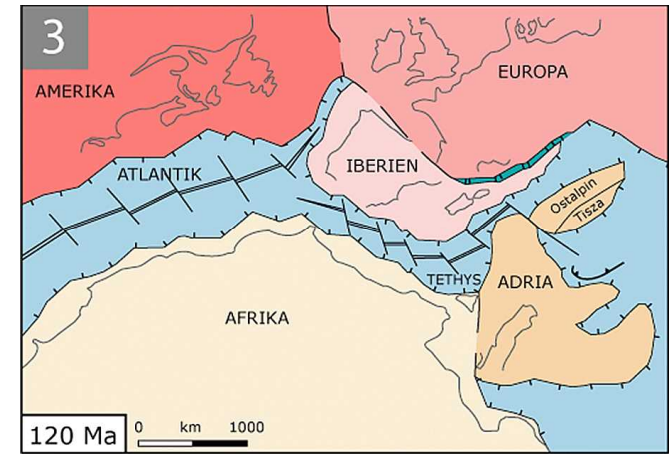
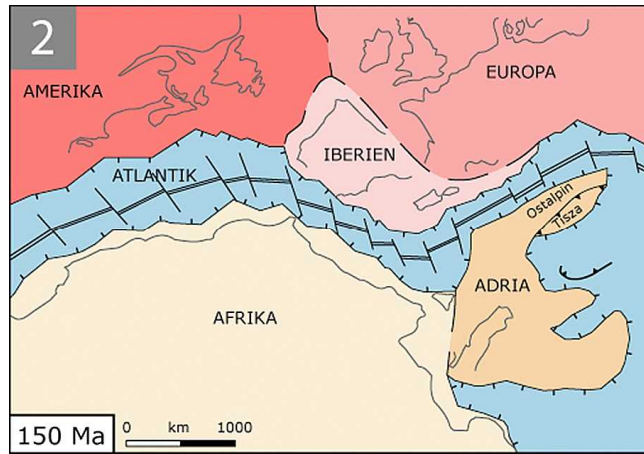
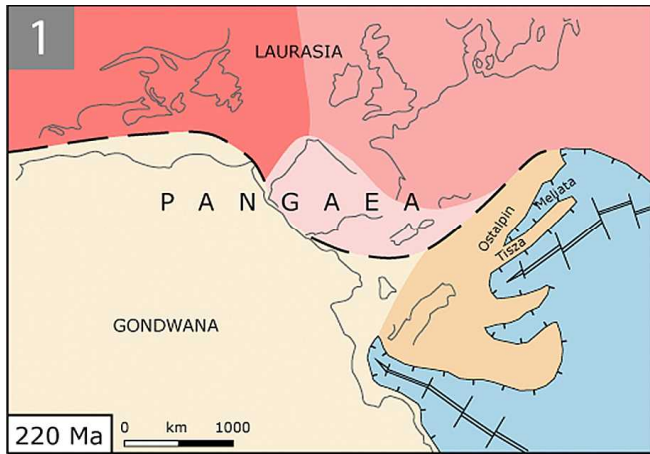
* im Bernoullianum Hörsaal 223

Alpen



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Alpenbogen.jpg>

'The Alps - in five easy steps'

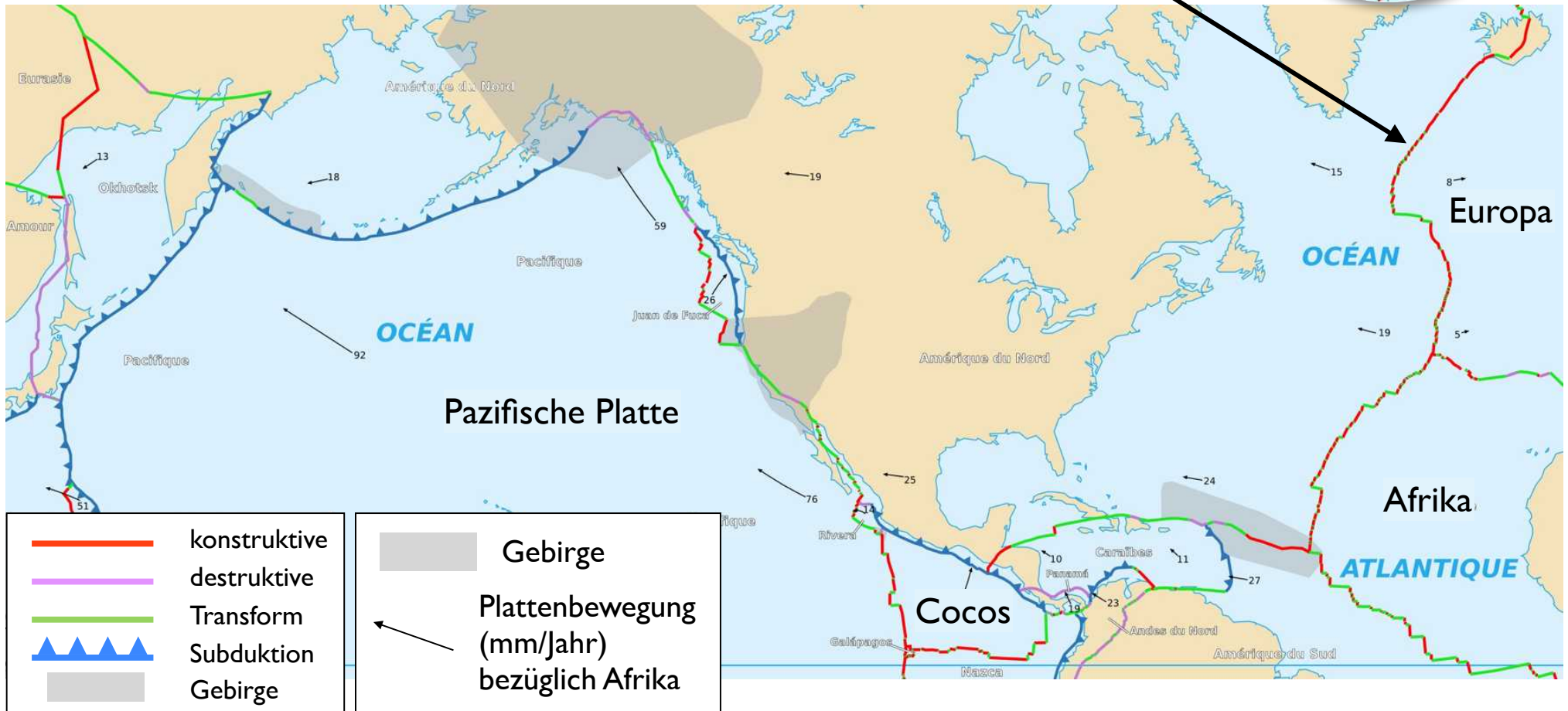


Westlicher Nachbar: Nordamerikanische Platte

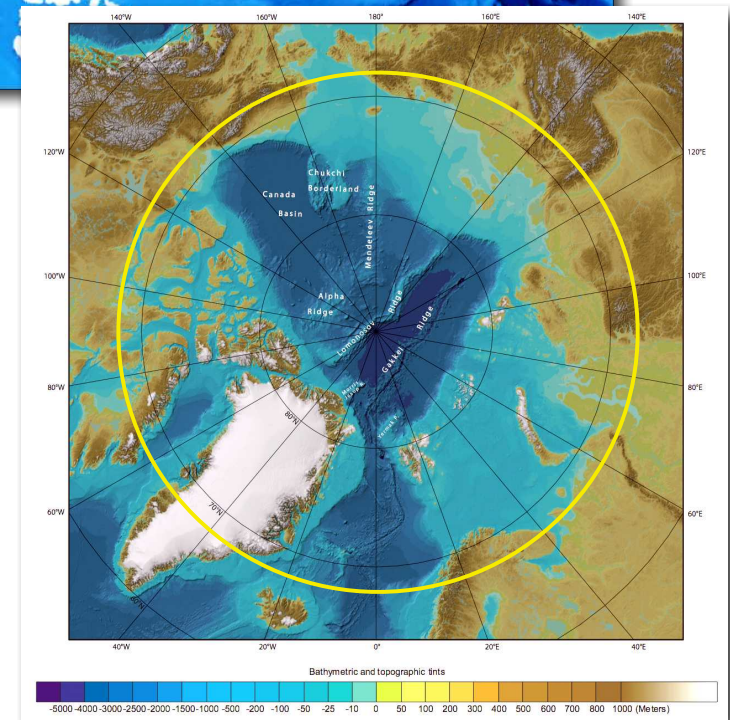
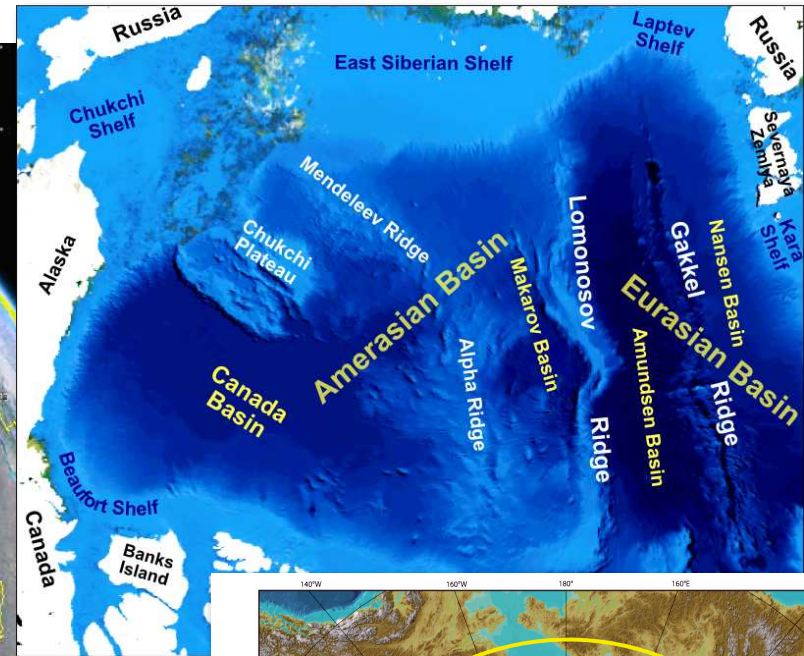
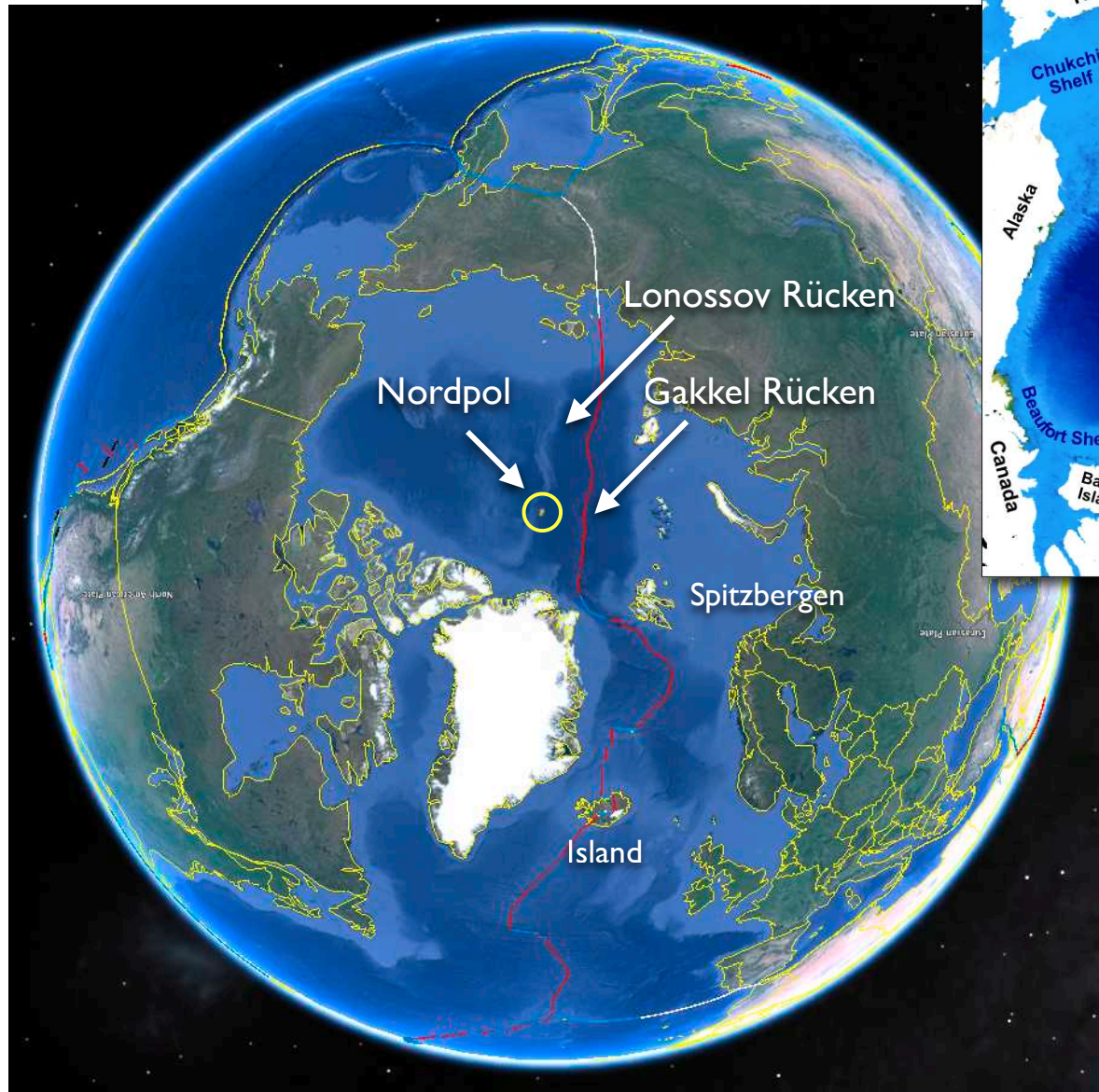
1	Pazifische Platte
2	Afrikanische Platte
3	Antarktische Platte
4	Nordamerikanische Platte
5	Eurasische Platte
6	Australische Platte
7	Südamerikanische Platte



Mittelatlantischer Rücken



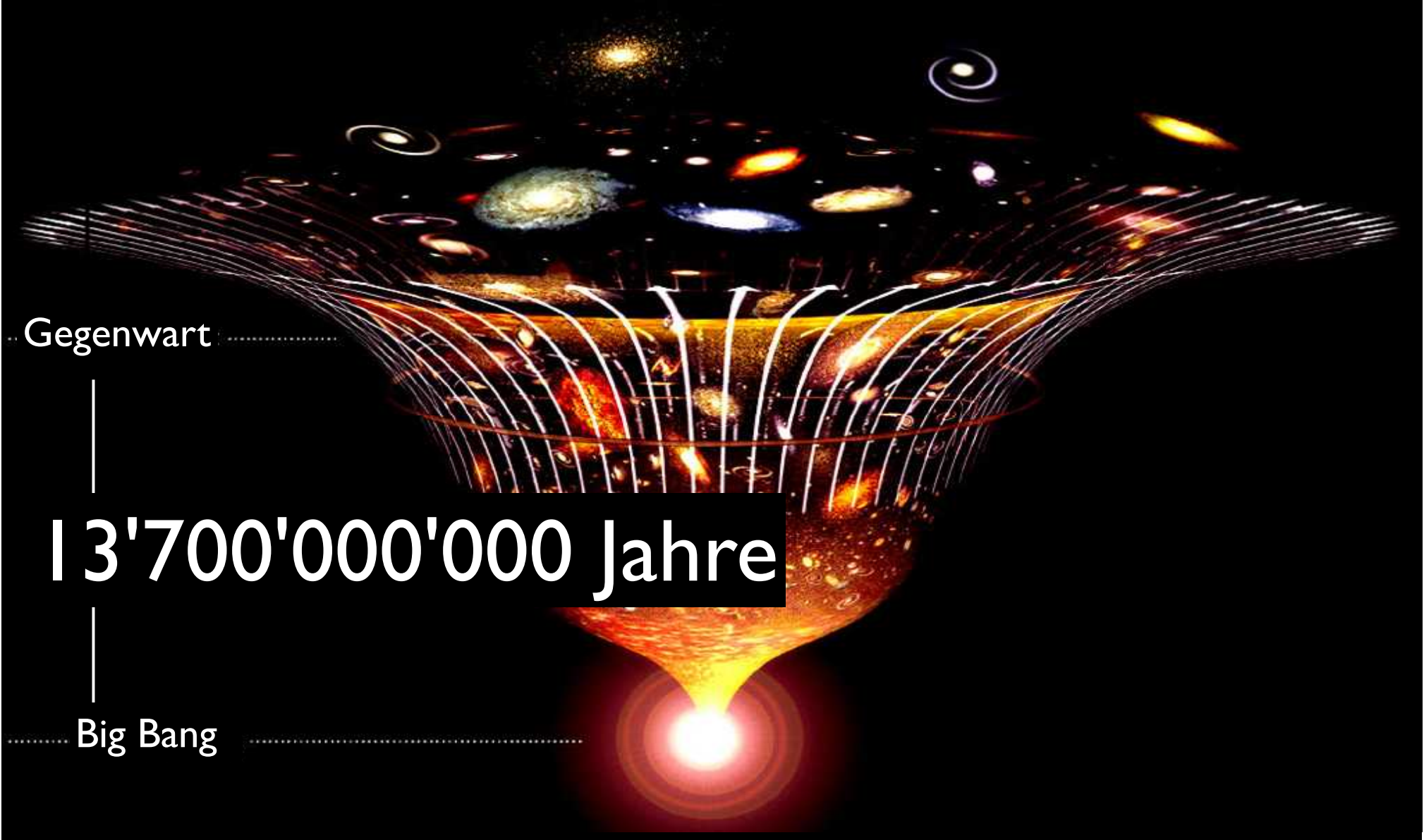
bzw. nördlicher Nachbar ...



Entstehung des Universums

13.7 Ga - 4.567 Ga

... vom big bang bis heute



Gegenwart

13'700'000'000 Jahre

..... Big Bang

Zeitliche Dimensionen

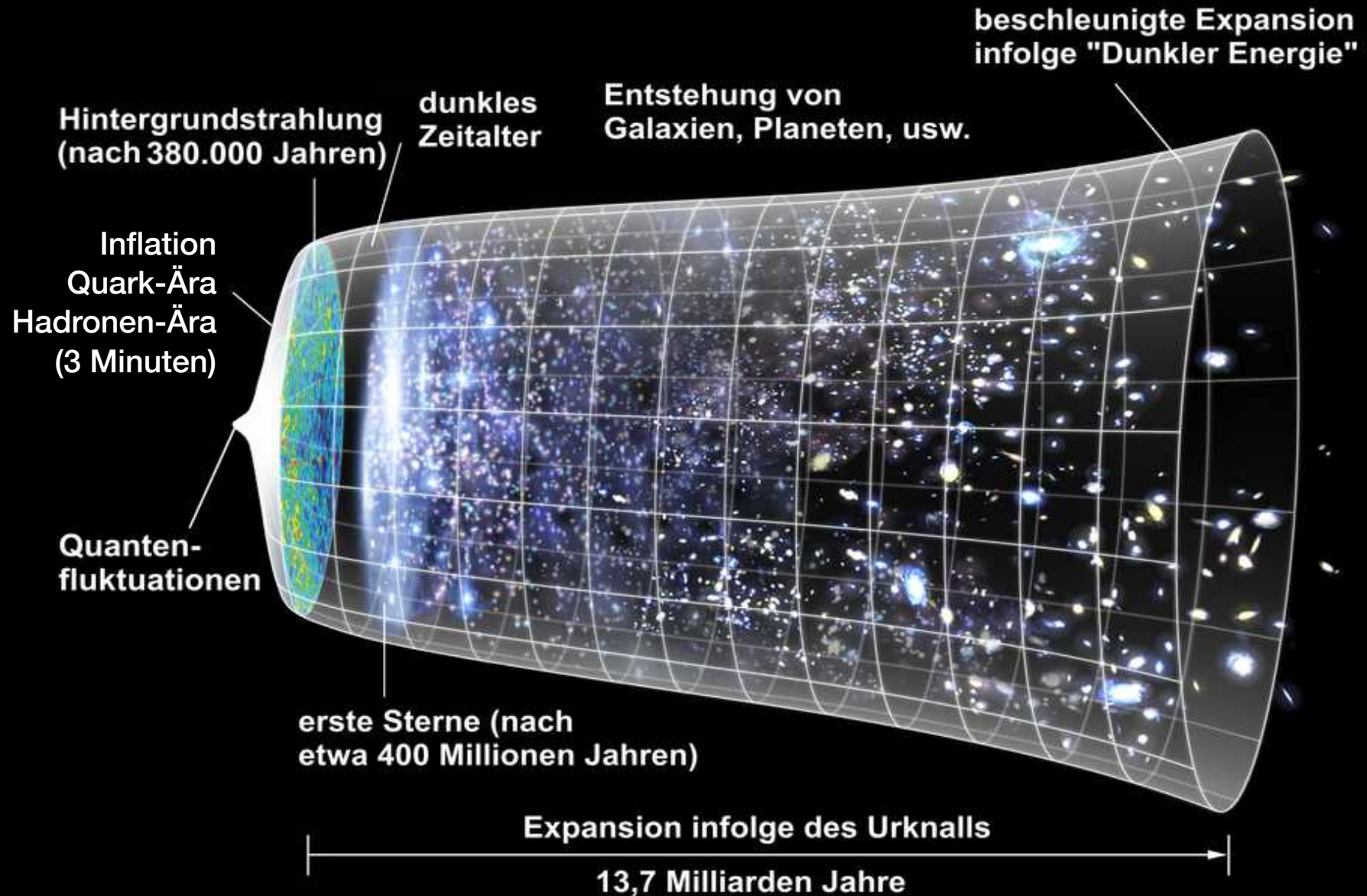
Gegenwart

13.7 Ga

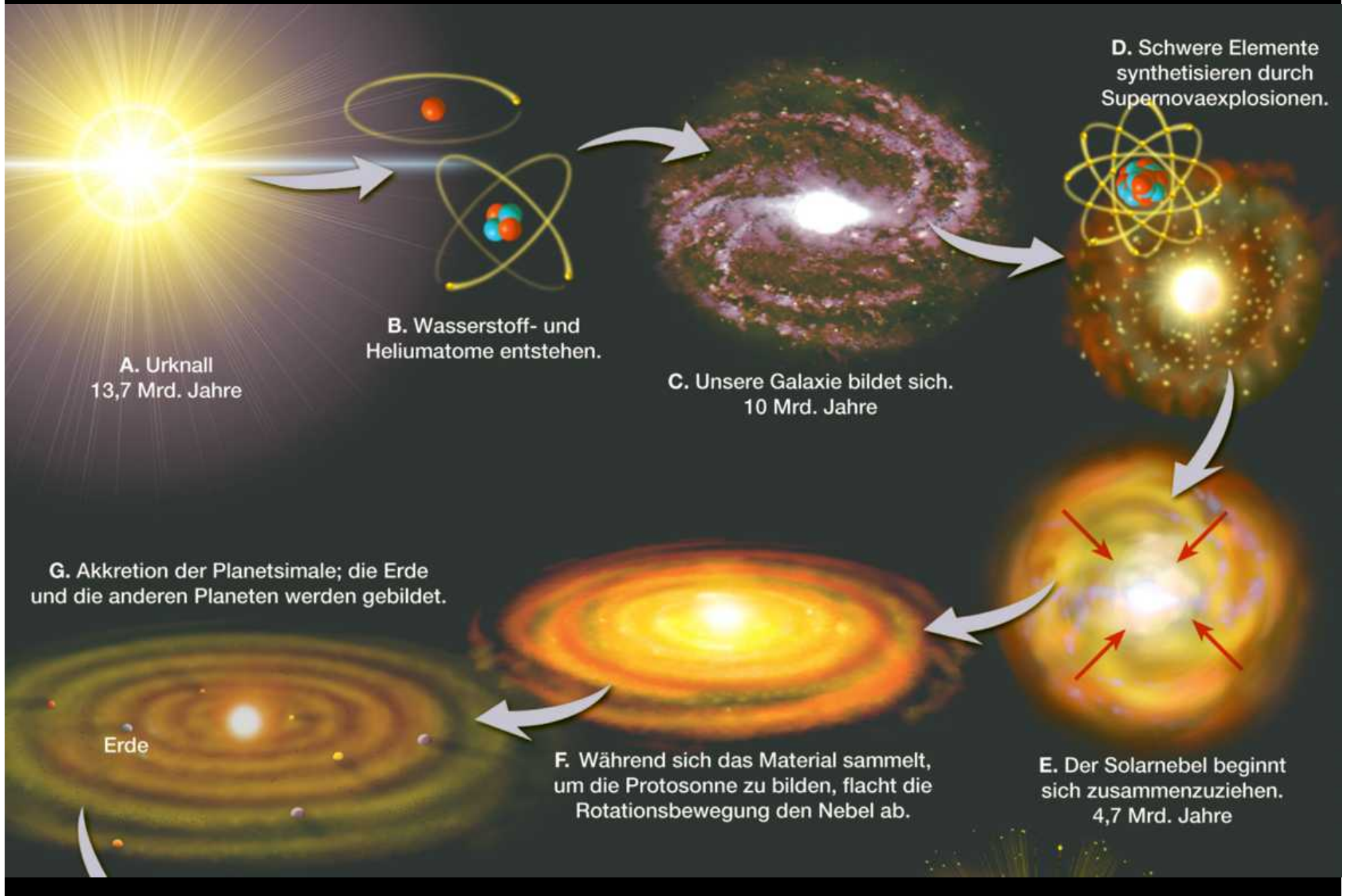
Big Bang

			Jahr
	1	1	a
kilo	1'000	$1 \cdot 10^3$	
mega	1'000'000	$1 \cdot 10^6$	Ma
giga	1'000'000'000	$1 \cdot 10^9$	Ga

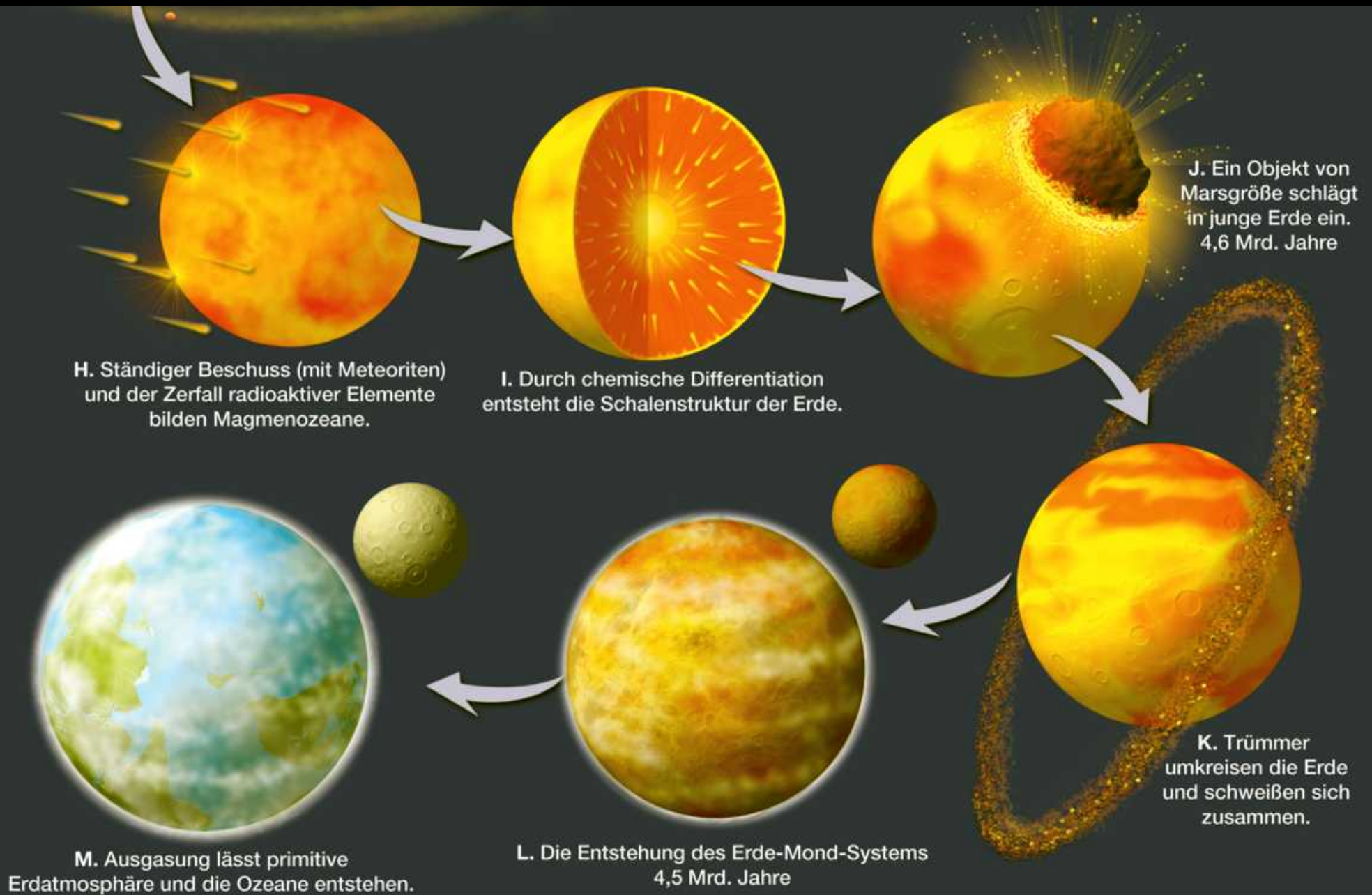
Entstehung des Universums



Entstehung des Sonnensystems

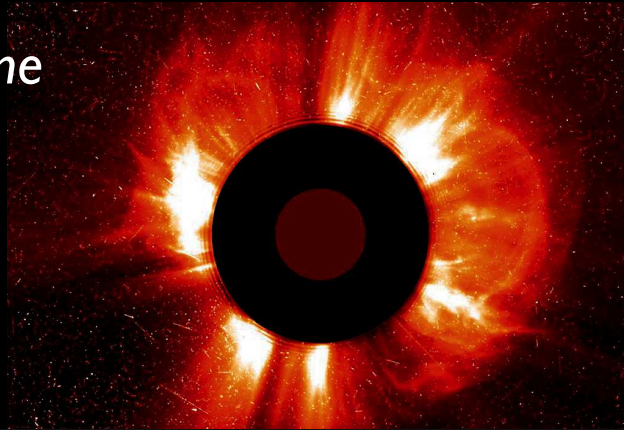


Entstehung der Erde



Bildung von Elementen

Sonne



Crab Nebula



1	2											10						
H	He											He						
3	4							5	6	7	8	9	10					
Li	Be							B	C	N	O	F	Ne					
11	12							13	14	15	16	17	18					
Na	Mg							Al	Si	P	S	Cl	Ar					
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
55	56	La-Lu		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	Ac-Lr		104	105	106	107	108	109	110	111							
Fr	Ra			Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg							

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Sterne wirken als "Element-Fabriken"
 kleine Sterne (10 Ga): Elemente mit $N < 6$
 grosse Sterne (20 Ma): Elemente mit $N < 26$

schwere Elemente ($N > 26$) werden
 in Supernova - Explosionen synthetisiert

Entstehung unserer Galaxis



10 Ga: Unsere Galaxis entsteht.

Gravitationszentren durch Ungleichverteilung der Masse im Universum
Rotation durch Ungleichgewicht der Drehmomente

s. auch en.wikipedia.org/wiki/Galaxy_formation_and_evolution

Spiralgalaxie


*Messier 101 Galaxis ('Windrädchen')
im Sternbild Grosser Bär*



Wenn ungestört wird eine Galaxis zur Scheibe / zum Ellipsoid

Galaxis Kollision

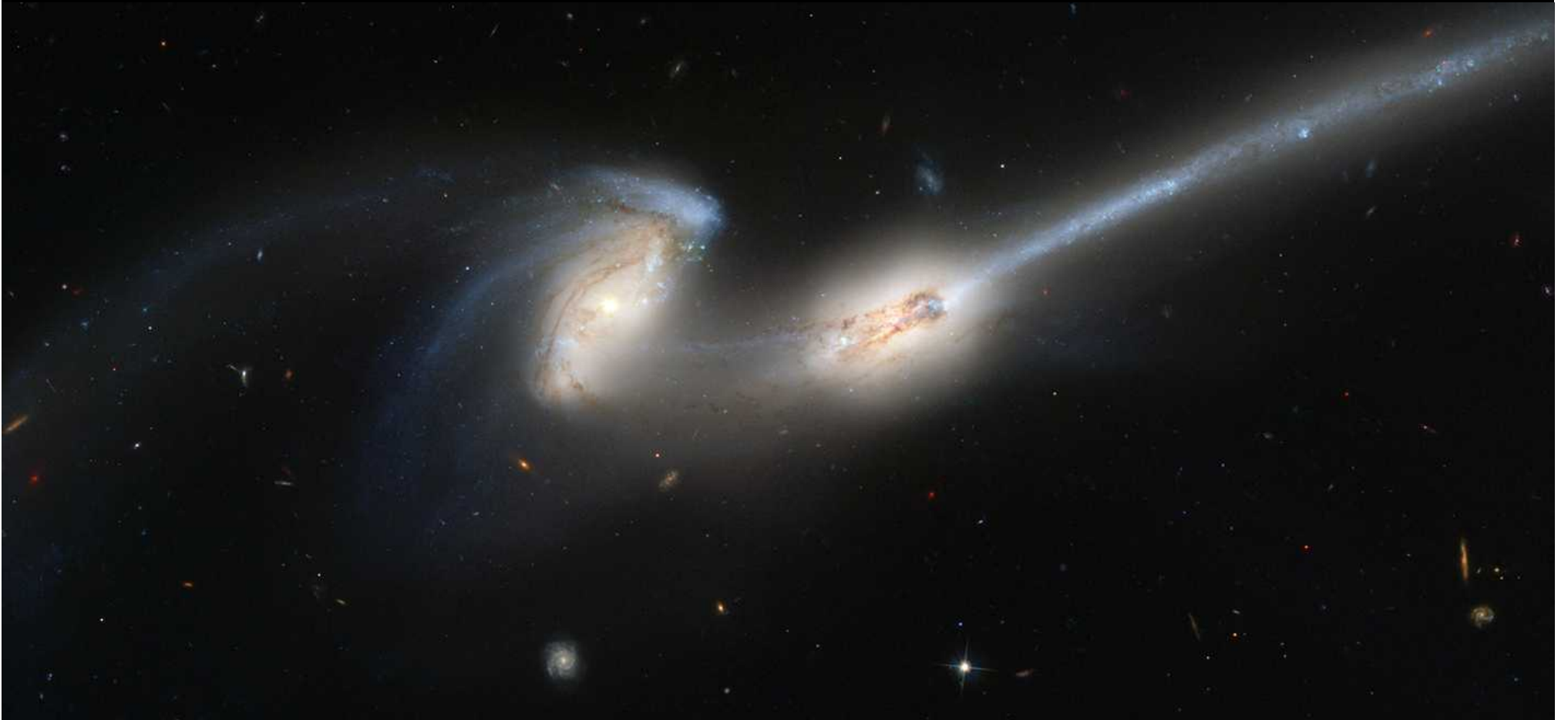
Galaxis ESO 510-G13

A photograph of the galaxy ESO 510-G13, showing a bright, curved band of light against a dark background of stars. The galaxy is oriented horizontally and exhibits a distinct curvature, which is a result of a past collision with another galaxy. The central region is particularly bright, and the overall structure is elongated and slightly warped. The background is filled with numerous individual stars of varying brightness, some of which are prominent due to their size and distance.

Verbiegung nach Zusammenstoss mit anderer Galaxis,
wird in Millionen von Jahren wieder flach

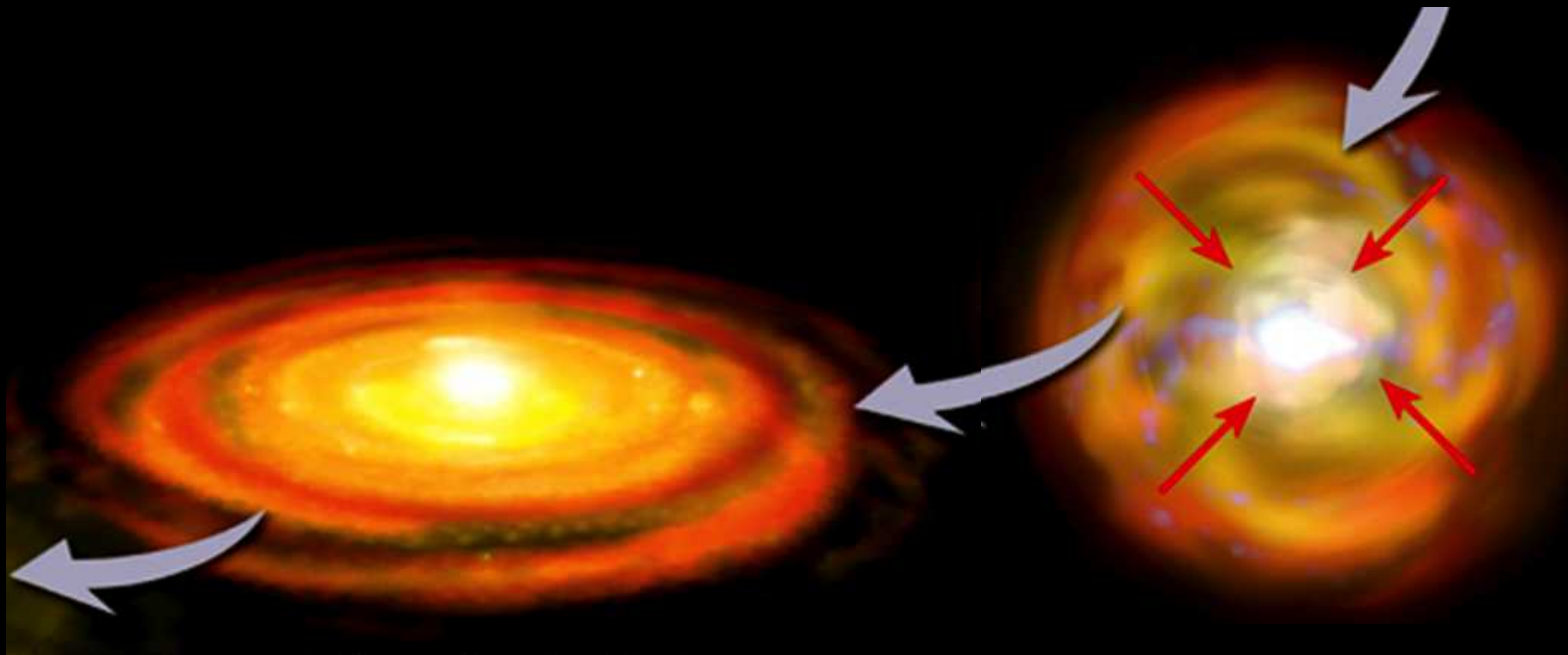
Galaxis - Fusion

*NGC 4676 (Mice Galaxies)
300 Mio Lichtjahre entfernt,
im Sternbild Coma Berenices*



Nach vollständiger Fusion wird Galaxis wieder flach

Entstehung unseres Sonnensystems



4.7 Ga: Solarnebel beginnt sich zusammenzuziehen.
Warum? (s. Galaxis)
Gravitationszentren durch Ungleichverteilung der Masse

Abplattung und Bildung einer Scheibe durch Rotation
Warum ?

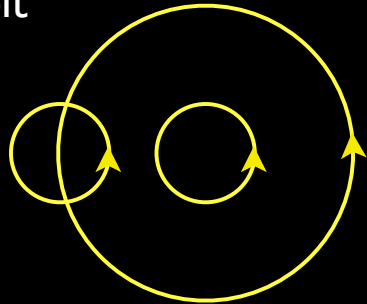
Rotation durch Ungleichgewicht der Drehmomente
s. auch en.wikipedia.org/wiki/Galaxy_formation_and_evolution

Drehsinn der Planeten

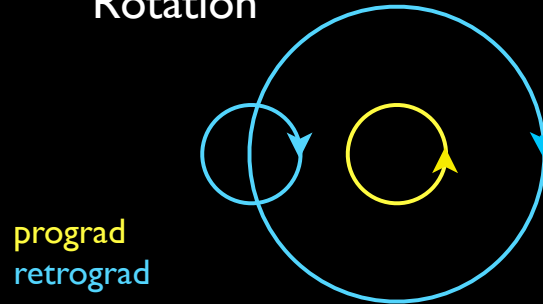
rechtläufig (prograd)
rückläufig (retrograd)

im gleichen Sinn wie die Sonne / der Stern
im gegengesetzten Sinn zur Sonne / zum Stern

Orbit



Rotation



Umlaufbahn der Planeten im Sonnensystem

alle Planeten (prograd) wie Sonne
gegen Uhrzeigersinn (vom N-Pol der Ekliptik aus)

Rotation der Sonne und der Planeten um ihre Achse

Sonne
die meisten Planeten
Venus, Uranus, (Pluto)
weitere Monde

gegen Uhrzeigersinn (vom N-Pol der Ekliptik aus)
prograd
retrograd
retrograd

Differenzierung der Erde

nach oben \Rightarrow Kruste:

Si Al

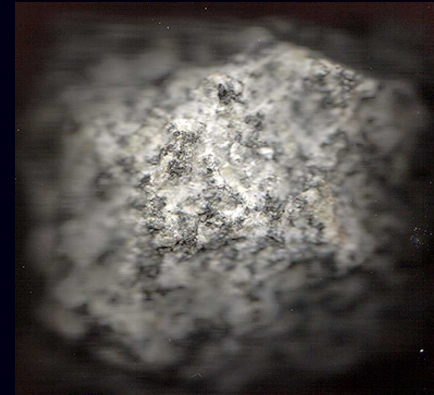
ozeanische Kruste



Basalt

Feldspat
(Plagioklas)
Klinopyroxen

kontinentale Kruste



Granodiorit

Feldspat
(Plagioklas)
Quarz
Glimmer

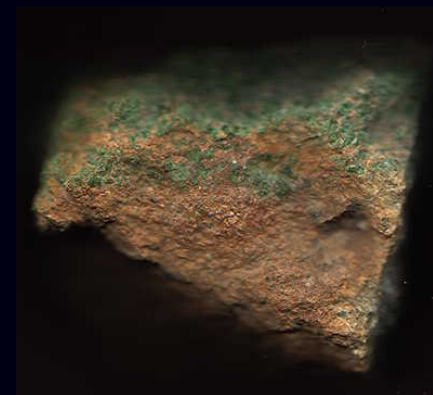


Granit

Feldspat
(Plagioklas)
Quarz
Glimmer

nach unten \Rightarrow Mantel:

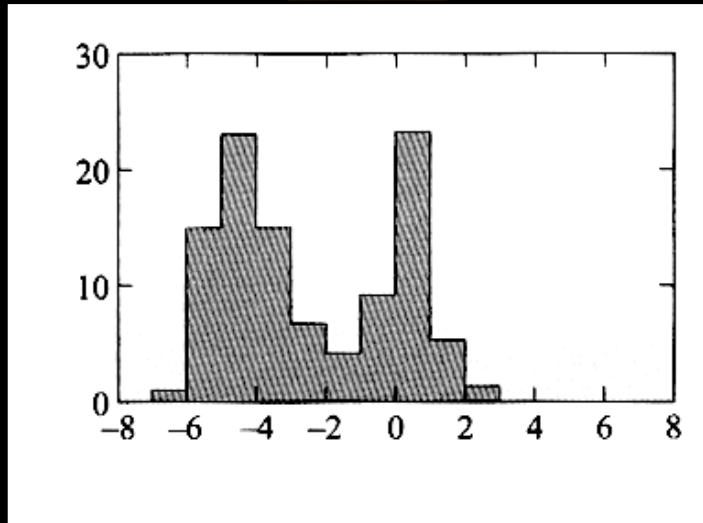
Fe Mg



Peridotit

Olivin
Orthopyroxene
Klinopyroxene

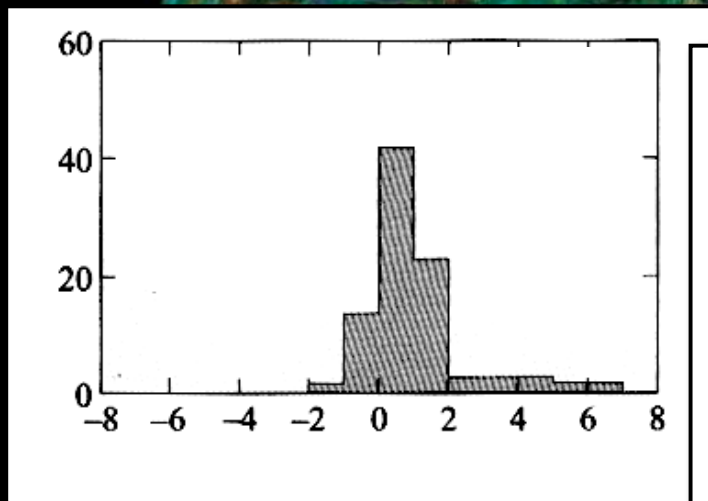
Vergleich: Mond - Erde - Planeten



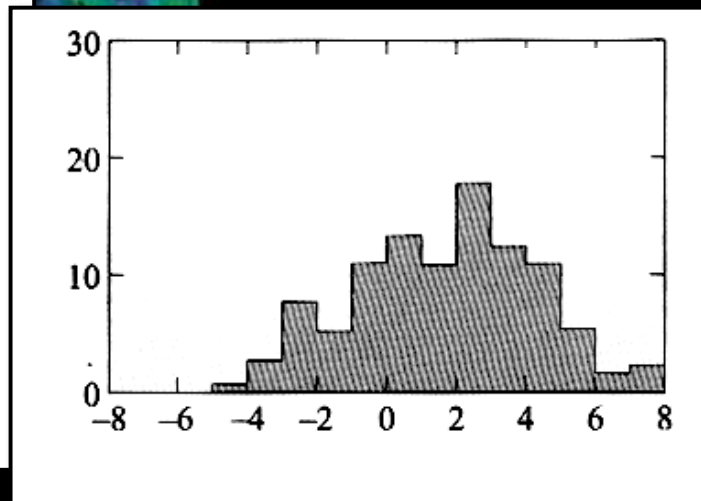
Mond
alte
Oberfl.



Erde (junge Oberfl.)

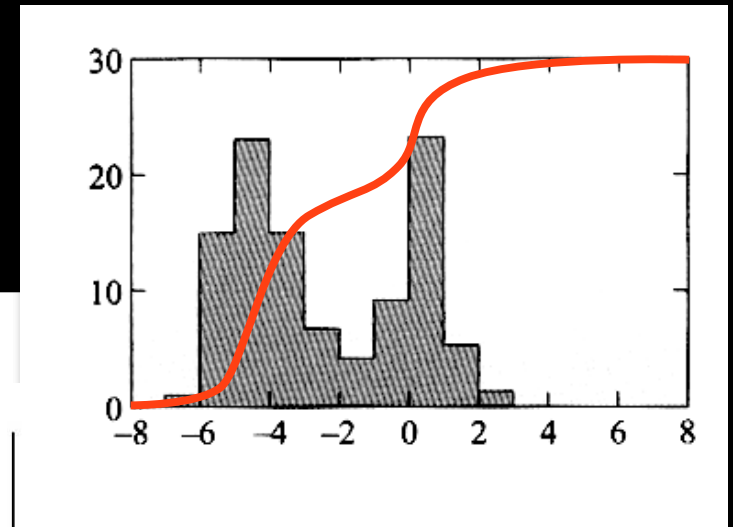
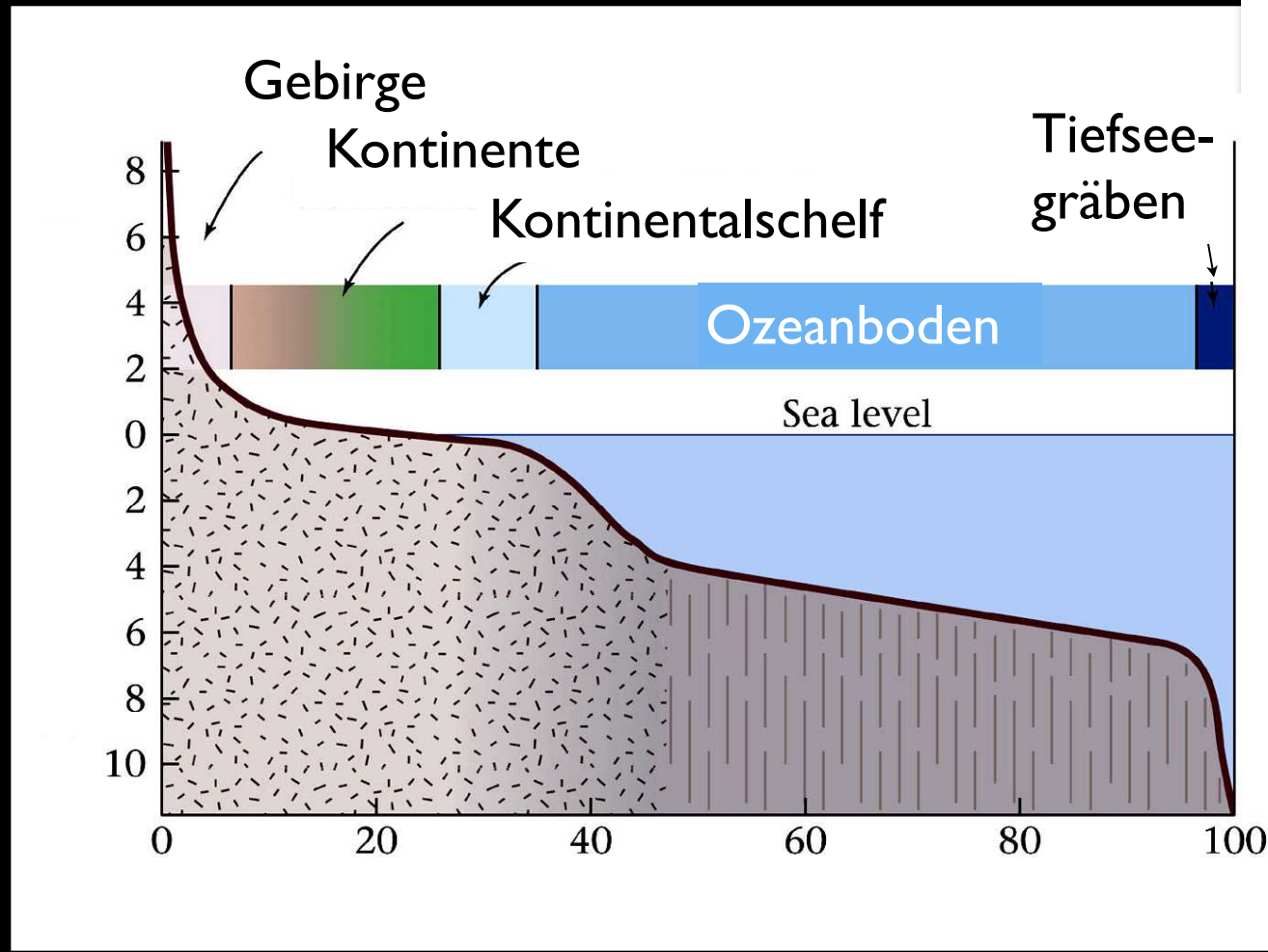


Venus^s



Mars

Hypsometrisches Histogramm



2 Typen von Oberflächen:

- ozeanisch
- kontinental

→ dynamisches Gleichgewicht

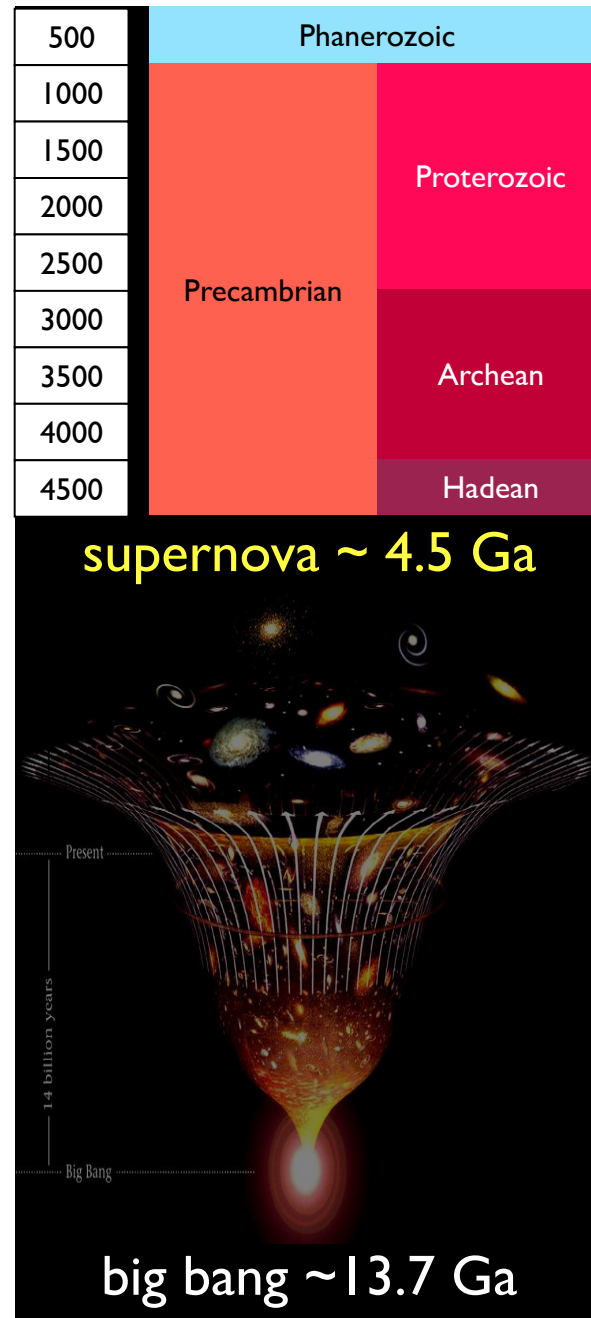
Entwicklung der Erde von 4.567 Ga bis heute

Geologische Zeiträume

Entstehung ...

... der Erde

... des Universums

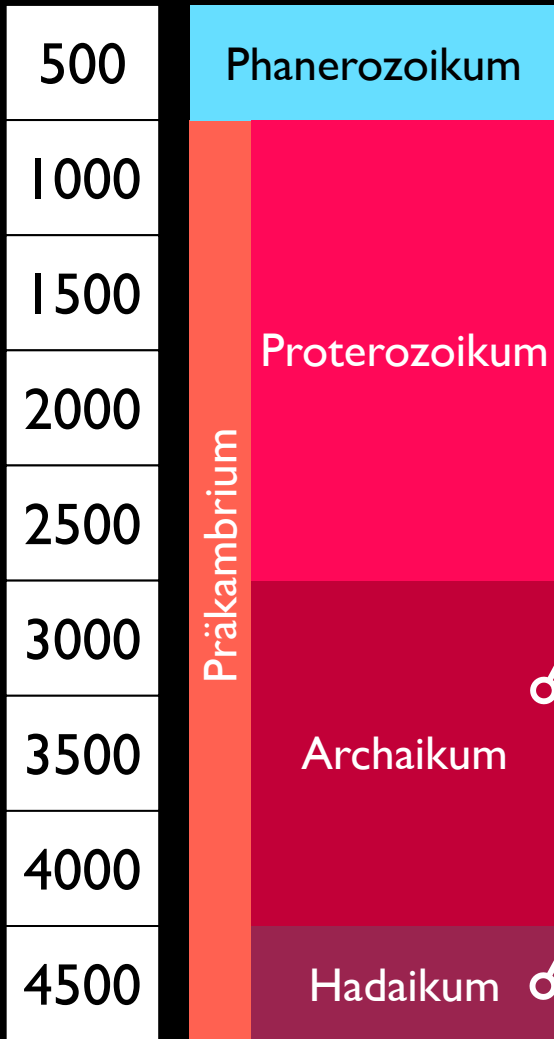


1 a	1 Jahr
1 Ma	10^6 Jahre
1 Ga	10^9 Jahre

1 a ~ $3 \cdot 10^7$ s
30 Megasekunden

Hadaikum

~4.5 bis ~4.0 Ga



"Leben erscheint"

"vor dem Leben"



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

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

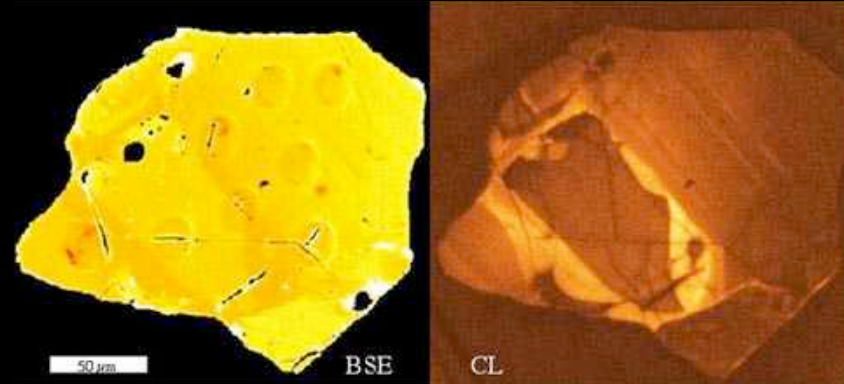
Hadaikum: älteste Gesteine - älteste Mineralien



Mondgestein (4.47 Ga)



Acasta Gneiss (4.03 Ga) NW Territories, Canada



Zirkon in Sandkorn, West Australien (4.35 Ga)

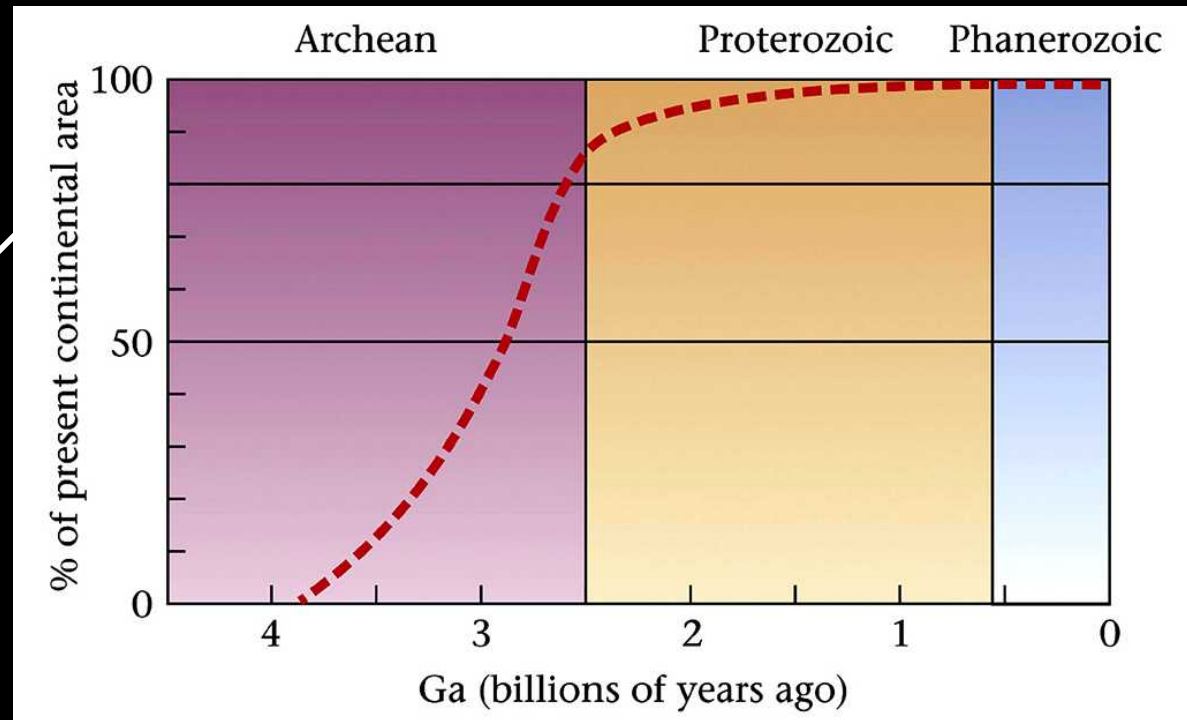
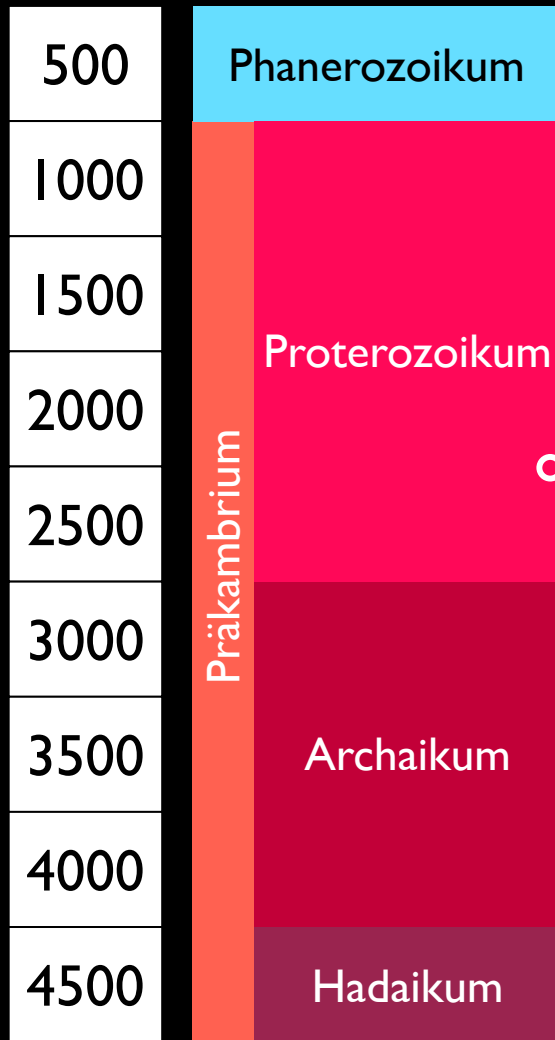
Aufpassen bei Altersangaben:

ältestes ↓ Alter des Minerals
(=Alter magmatisches Ereignis)

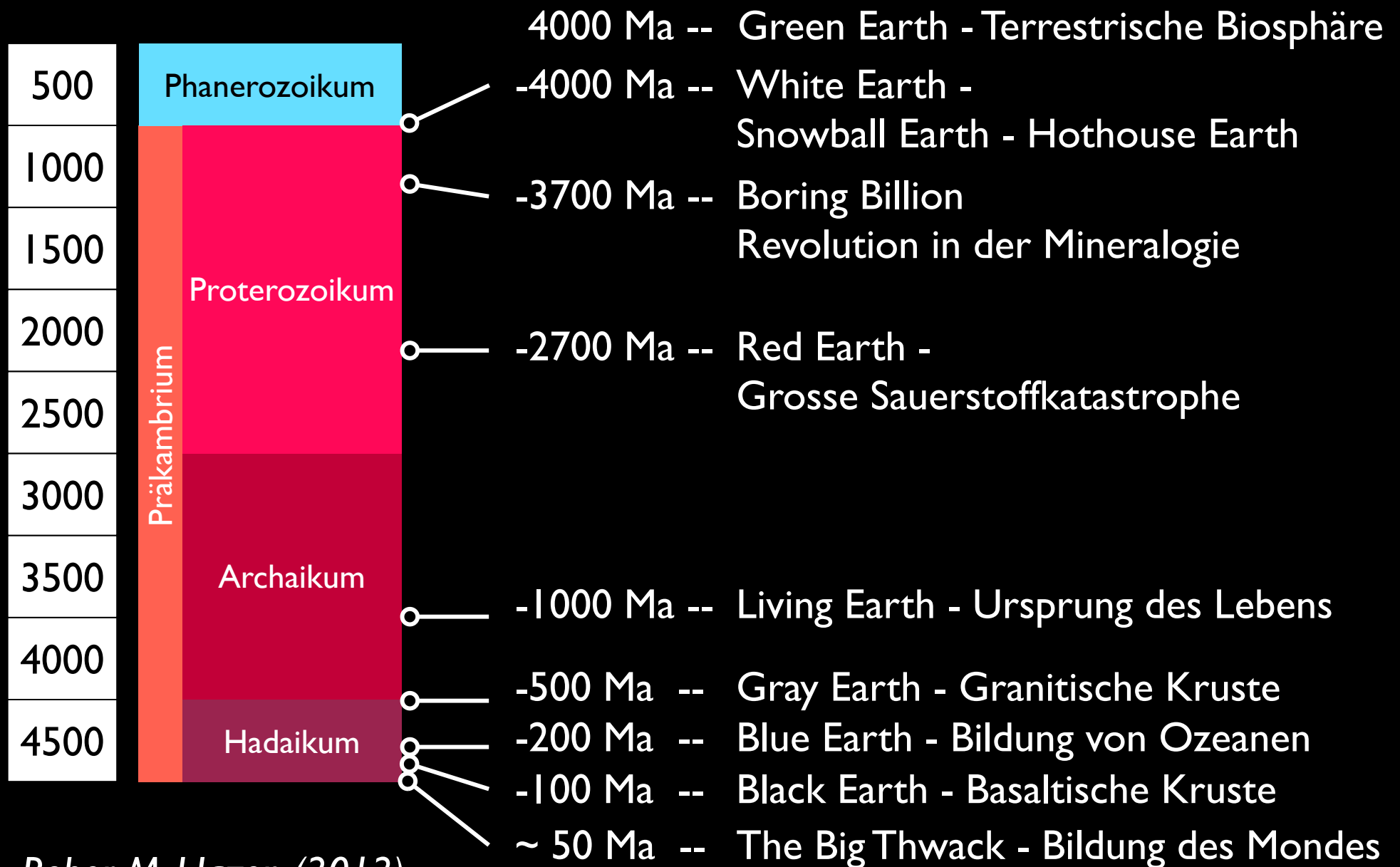
Alter des Sedimentgesteins

jüngstes ↓ Alter der Deformation

Entwicklung der Kontinente

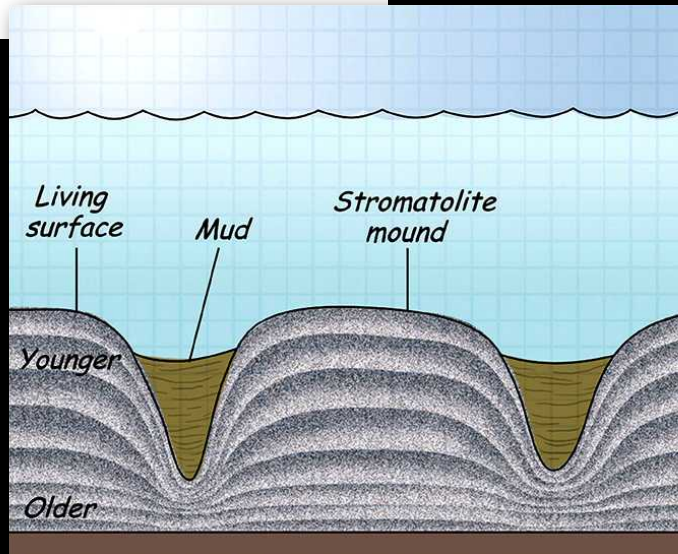
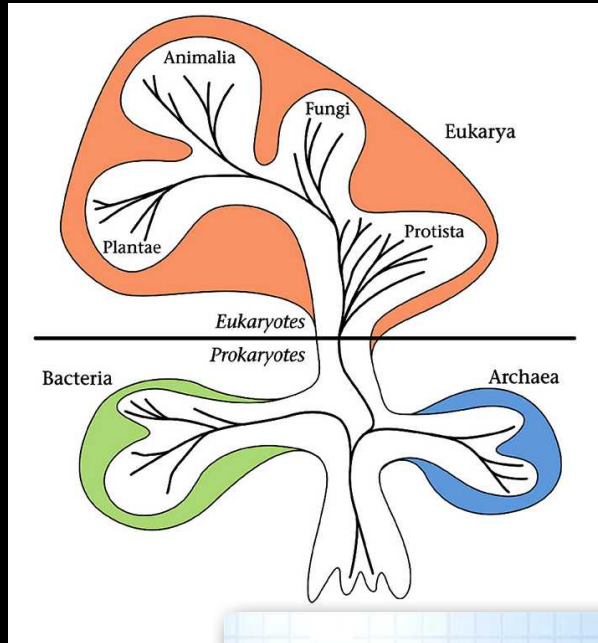


Entwicklung der Mineralogie



Rober M. Hazen (2012)

Archaikum: Entwicklung von Stromatolithen

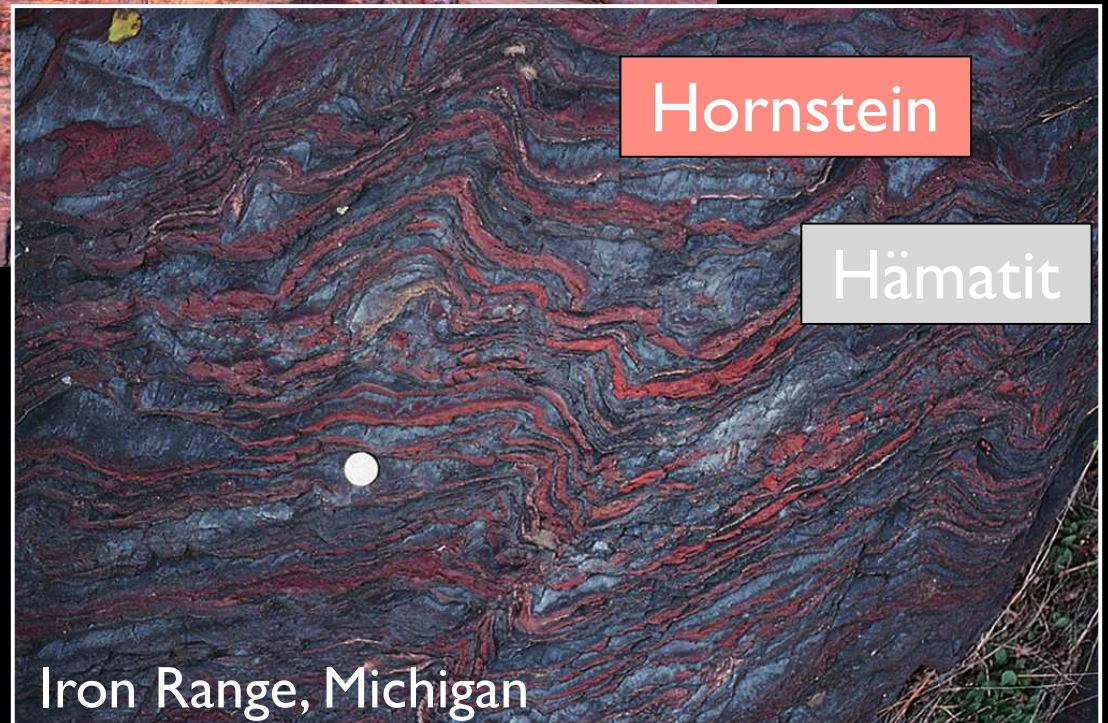


Früheste Lebensform ~3.5 Ga: Cyanobacteria

Proterozoikum - 'great oxygenation event'

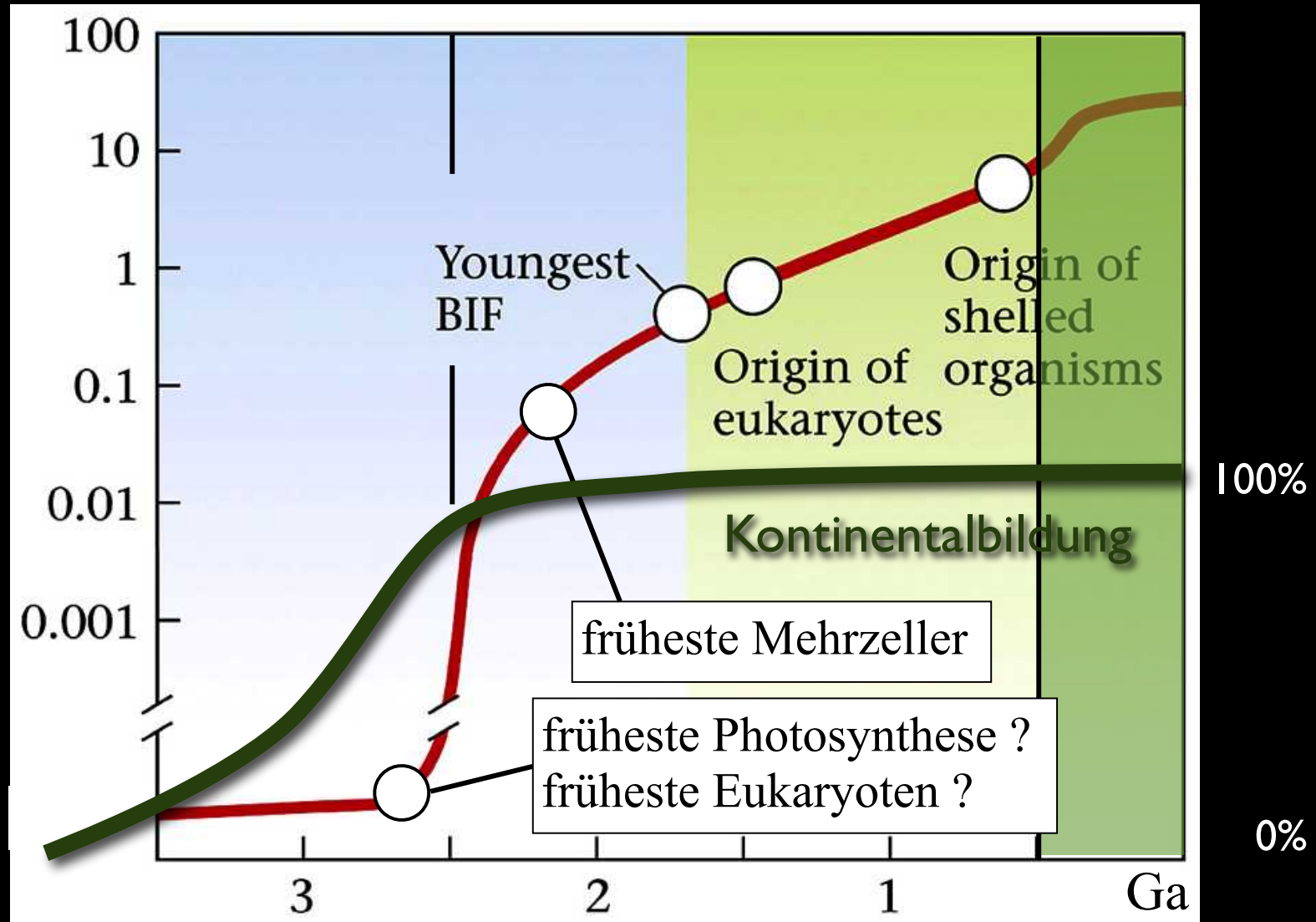


Banded Iron Formation (BIF)
Bändererz

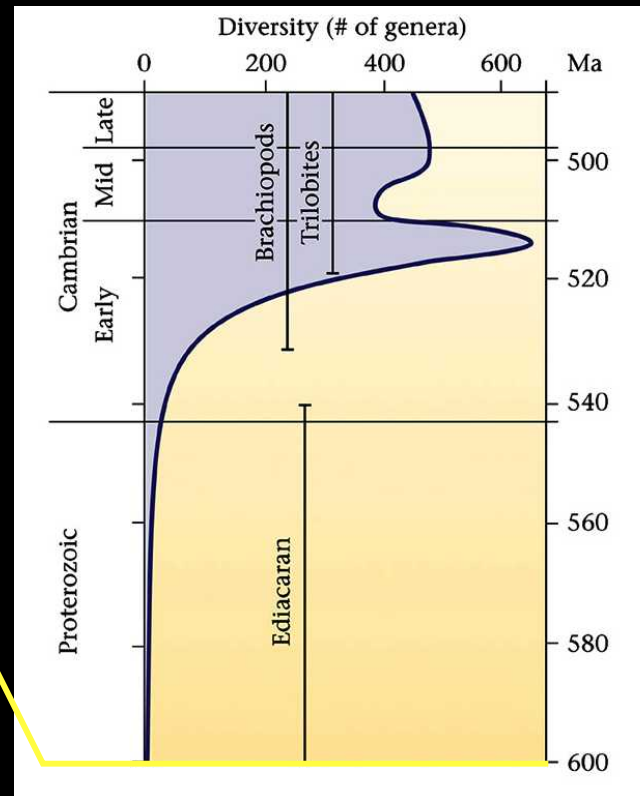
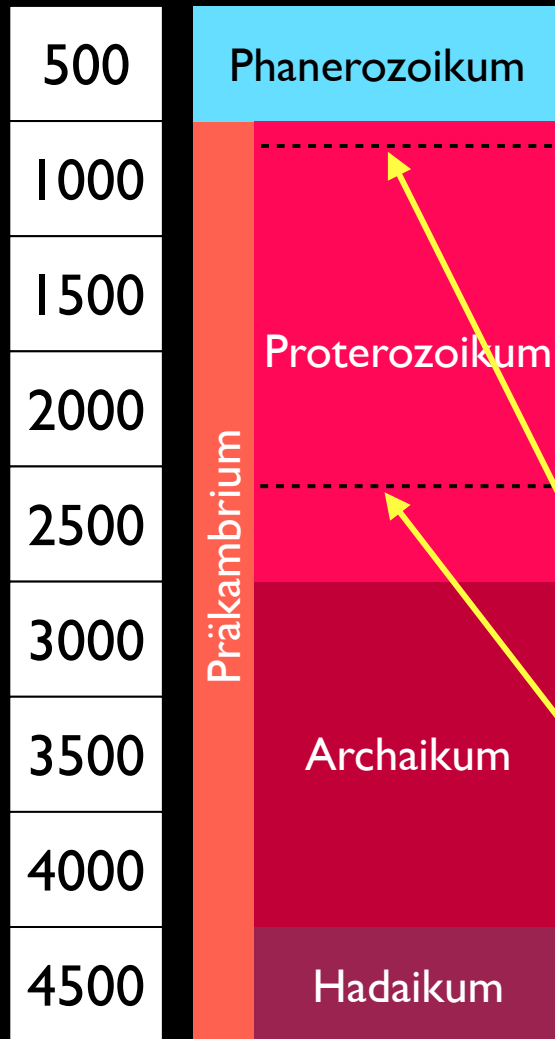


Banded iron formation, Karijini National Park, Western Australia, Wiki

Sauerstoffgehalt in der Erdatmosphäre



Phanerozoikum ... wird sukzessive älter



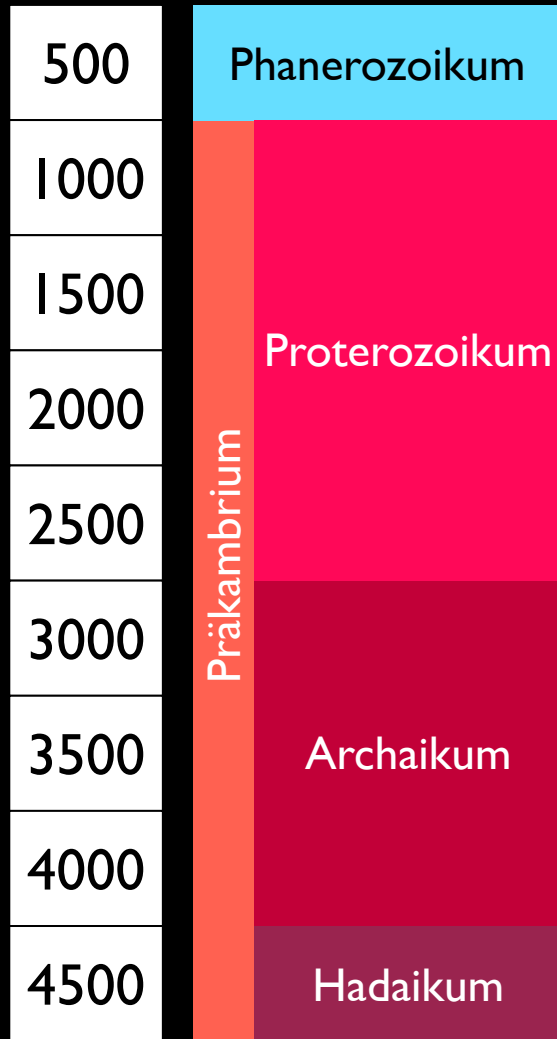
Gabonionten

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)



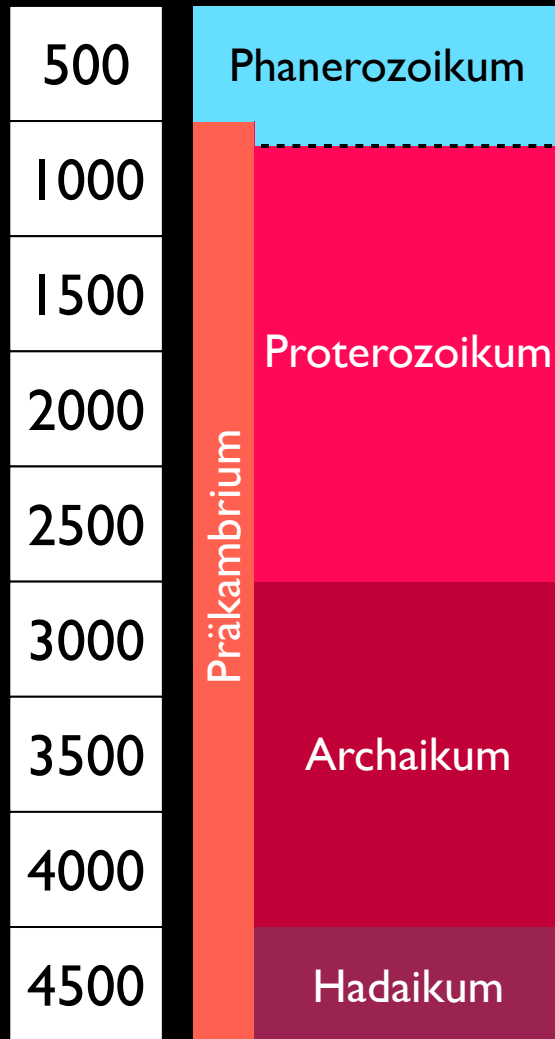
Trilobiten, Nautiliden



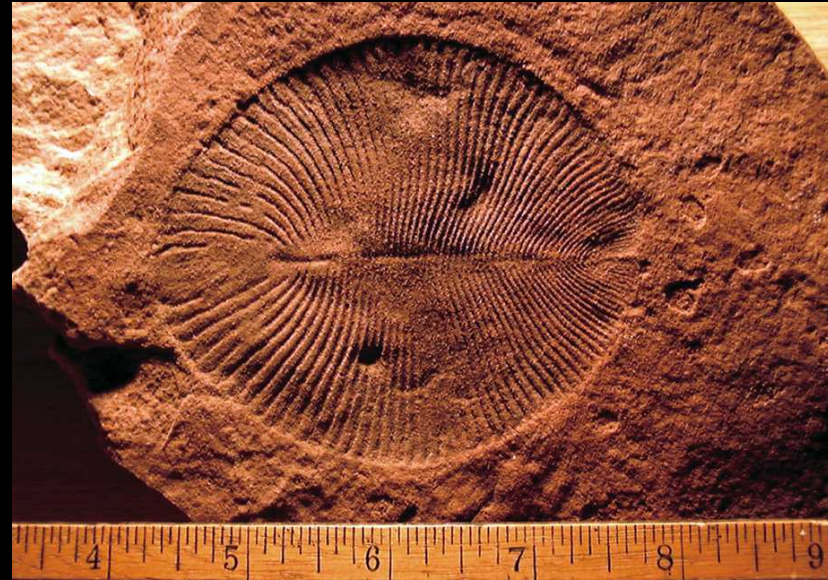
Riesenlibelle (Meganeura)



Spät - Proterozoikum: Ediacara Fauna



Dickinsonia

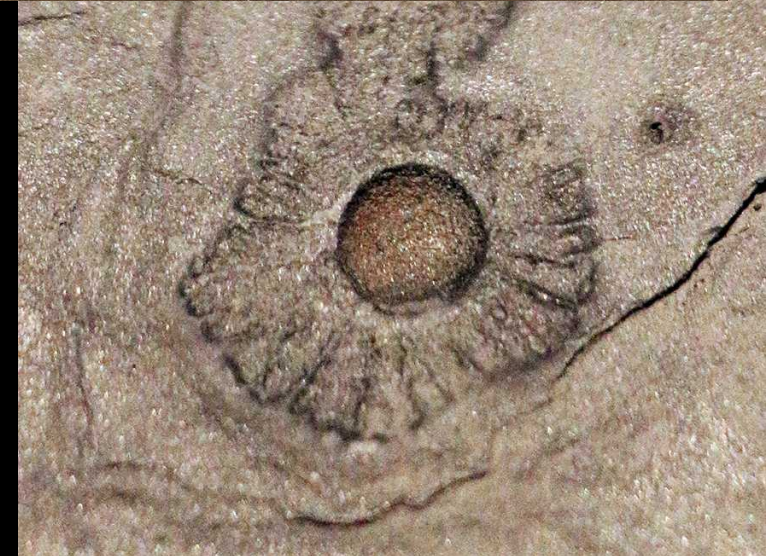
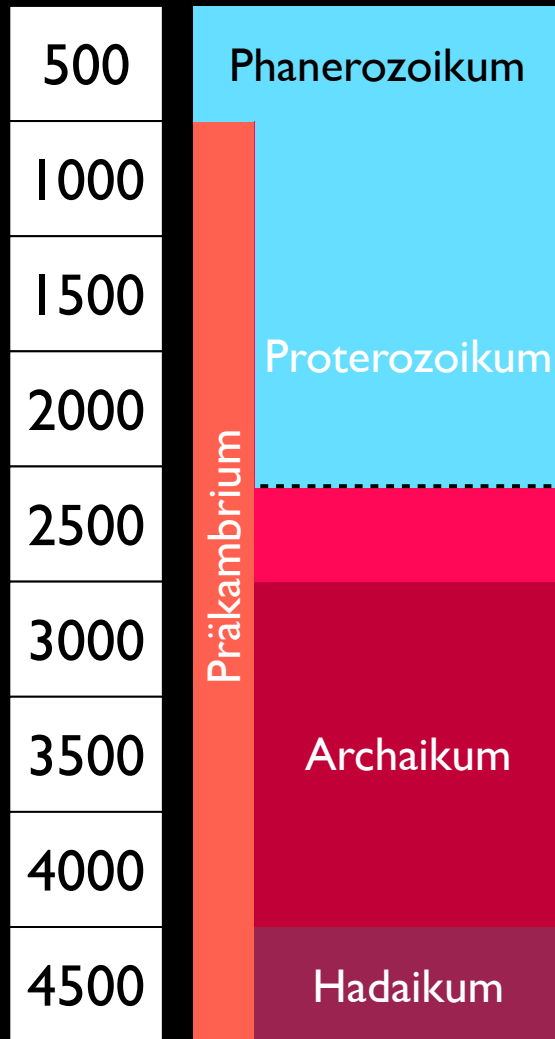


Rekonstruktion: Opabinia



1933 in Australien entdeckt
1958 richtig interpretiert

Proterozoikum 2.1 Ga: Gabonionta



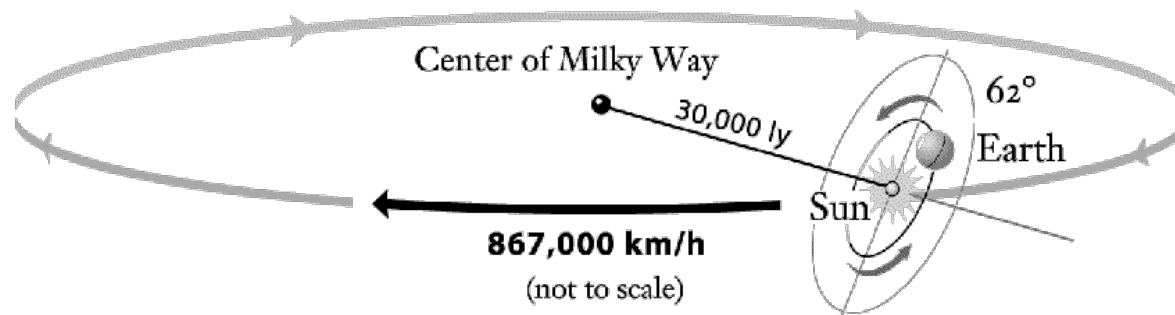
2008 in Gabun entdeckt

**unser Platz
in Raum und Zeit**

unsere Galaxis - die Milchstrasse

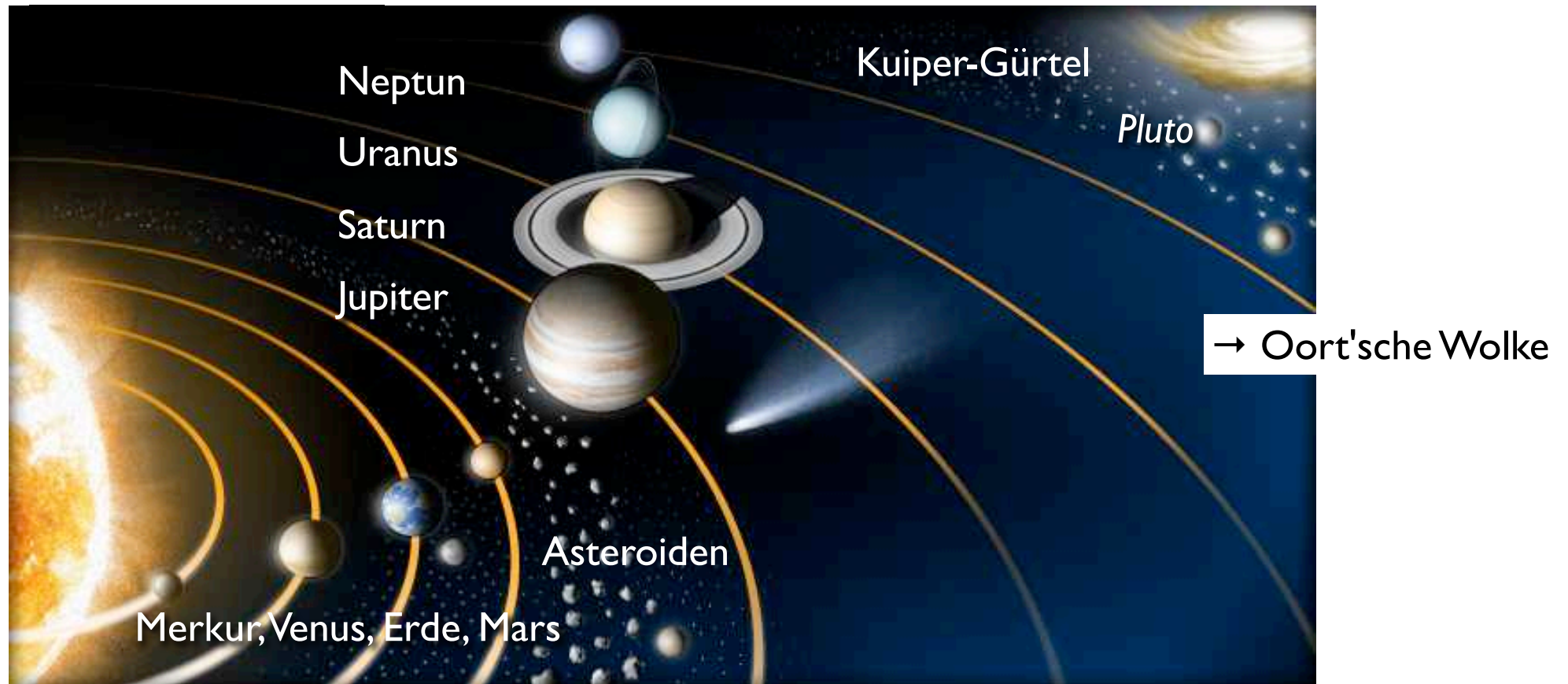


Durchmesser $\sim 100'000$ Lichtjahre $\approx 10^{21}$ m
Höhe ~ 1000 Lichtjahre $\approx 10^{19}$ m
100 - 300 Milliarden Sterne: $\sim 100 \cdot 10^9 \approx 10^{11}$



grosse Zahlen:	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}
	Mega	Giga	Tera	Peta	Exa	Zetta	Yotta

unser Sonnensystem



Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	<i>Pluto</i>	vor 2006
<i>Mein</i>	<i>Vater</i>	<i>erklärt</i>	<i>mir</i>	<i>jeden</i>	<i>Sonntag</i>	<i>unsere</i>	<i>neun</i>	<i>Planeten</i>	

Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun		seit 2006
<i>Man</i>	<i>verachte</i>	<i>einen</i>	<i>Menschen</i>	<i>in</i>	<i>seinem</i>	<i>Unglück</i>	<i>nie</i>		

Merkur	Venus	Erde	Mars	Aster.	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	KuiperG.	O.Wolke
<i>Mein</i>	<i>Vater</i>	<i>erklärt</i>	<i>mir</i>	<i>an</i>	<i>jedem</i>	<i>Sonntag</i>	<i>unsere</i>	<i>natürliche</i>	<i>kosmische</i>	<i>Ordnung</i>

im Masstab 1: 10^{17} (= 1: 100 000 000 000 000 000)



Galaxis

$d = 10^{21}$ m

$h = 10^{19}$ m

10^{11} Sterne

(inkl. Pluto bzw.
Kuiper-Gürtel)

Sonnensystem

$d = 10^{13}$ m

Sonne

$d = 10^9$ m

Erde

$d = 10^7$ m

Schneegestöber

10^4 m = 10 km

100 m ($V = 10$ km³)

10^{11} Flocken ($\sim 10 / \text{m}^3$)

Schneeflocke

$d = 10^{-4}$ m = 0.1 mm

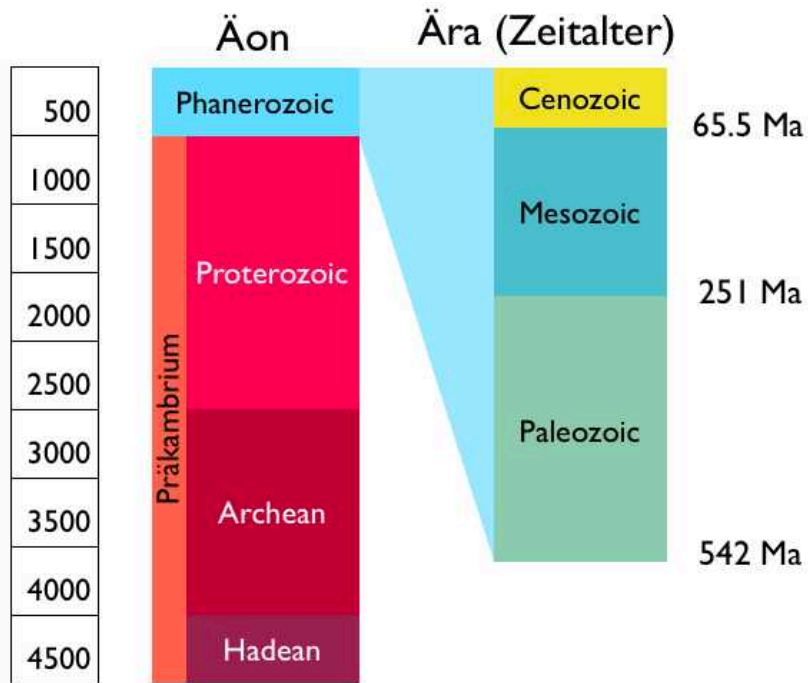
winziger Eiskristall

10^{-8} m = 10 nm

ein Wassermolekül

10^{-10} m = 0.1 nm (= 1 Å)

Zeitraffer



| Sekunde entspricht ca. 150 a
 | Stunde 500'000 a
 | Tag 13 Ma
 | Monat 380 Ma
 | Jahr 4.567 Ga

31.12. 23:59:58 James Hutton - moderne Geologie
 31.12. 23:59:45 Zeitenwende
 31.12. 23:59:40 Römisches Reich (dauert 10 s ...)
 31.12. 23:59:20 Altes Ägypten (dauert 23 s...)
 31.12. ab 23:45 Bronzezeit (Holozän)
 31.12. ab 22:30 Eiszeiten (Günz)
 31.12. abends: Australopithecus (Homini)
 31.12. mittags: Sahelanthropus, Steinzeit (Pleistozän)

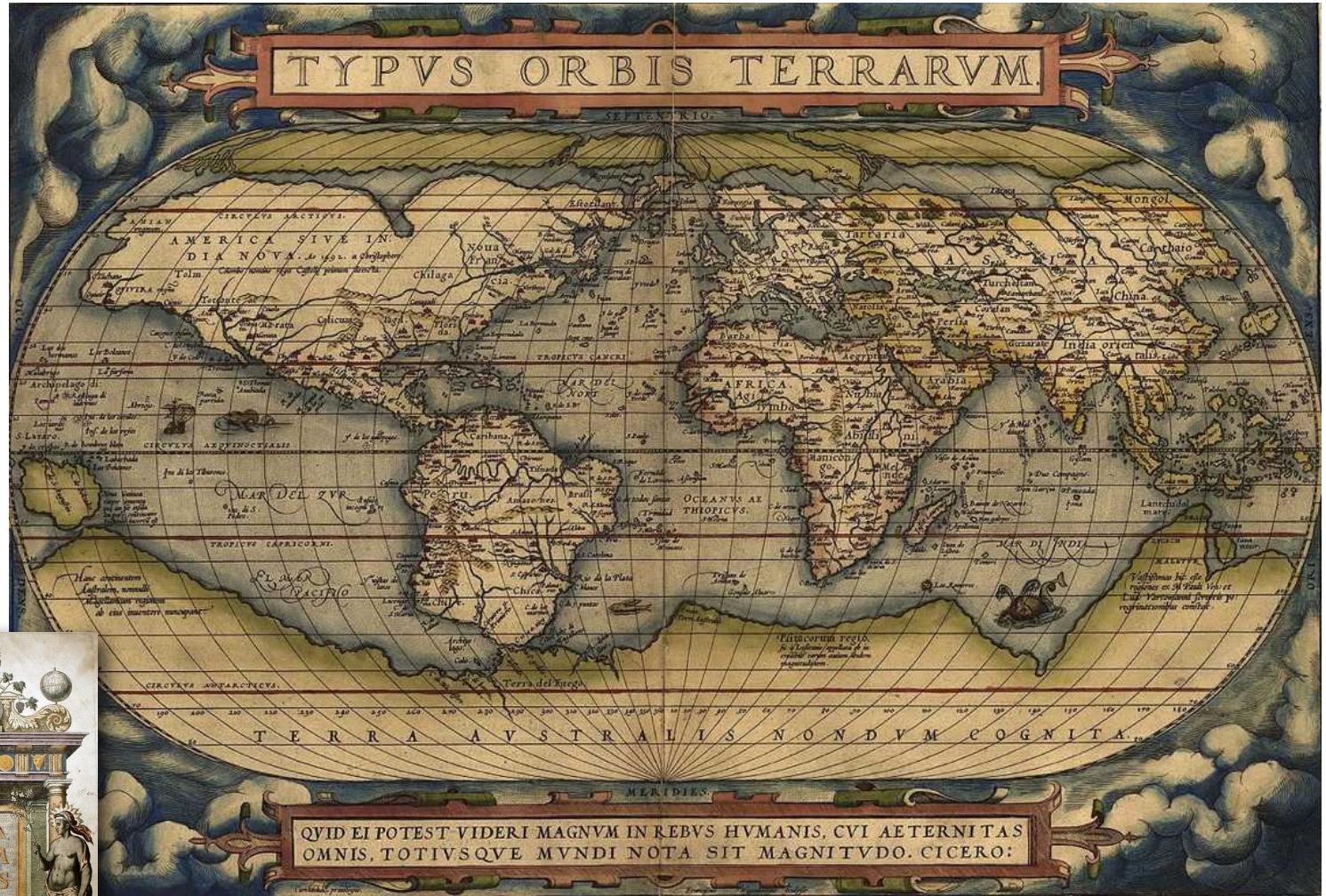
Weihnacht: Artensterben (Kreide)
 Mitte Dez.: Dinosauriere
 Anfang Dez.: Great Dying (Perm)
 Ende Nov.: Landpflanzen, -tiere
 Mitte Nov.: Ediacara Fauna
 Anfang Nov.: Ozonschicht gebildet
 Ende Okt.: Snowball Earth
 Ende Sept.: Stromatolithen
 Anfang Aug.: Eukaryoten
 Ende Juli: Gabonionten
 Ende Feb.: Prokaryonten
 Mitte Feb.: ältestes Gestein - Wasser
 Anfang Jan.: Mond - Magmaozean

frühe Vorläufer des Kontinentaldrifts

Abraham Ortelius (14 April 1527 – 28 June 1598)



Abraham Ortelius
(1527 – 1598)



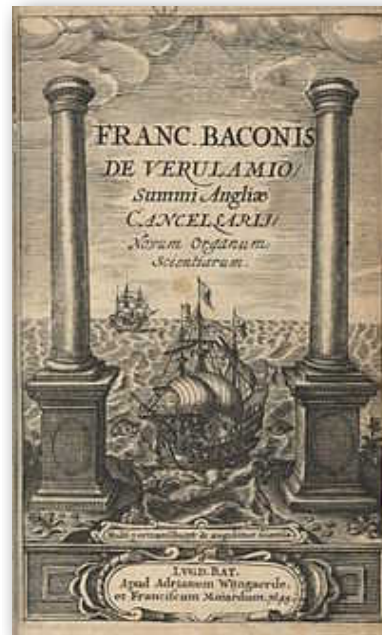
Theatrum Orbis Terrarum, 1570

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

ein neues Werkzeug der Wissenschaften



Francis Bacon (1561 – 1626)



Novum Organum Scientiarum, 1620

Betrachte zum Beispiel Afrika und den südamerikanischen Kontinent ("die Region von Peru"), der sich bis zur Magellanstrasse hin ausdehnt, beide mit ähnlichen Einbuchtungen und Landspitzen, was alles kein Zufall sein kann...

Aber aufgepasst:

Bacon betrachtet in beiden Fällen die Westküste...

Im *Novum Organum* geht es auch nicht um Geographie sondern - erkenntnistheoretisch - um Empirie

But to leave these ; the very configuration of the world itself in its greater parts presents Conformable Instances which are not to be neglected. Take for example Africa and the region of Peru with the continent stretching to the Straits of Magellan, in each of which tracts there are similar isthmuses and similar promontories ; which can hardly be by accident ⁵³.

die unübersehbare Ähnlichkeit der Küsten



Alexander von Humboldt
(1779 - 1859)

Im Gegensatz zu Bacon bemerkt Humboldt die Ähnlichkeit der Westküste Afrikas und der Ostküste Südamerikas

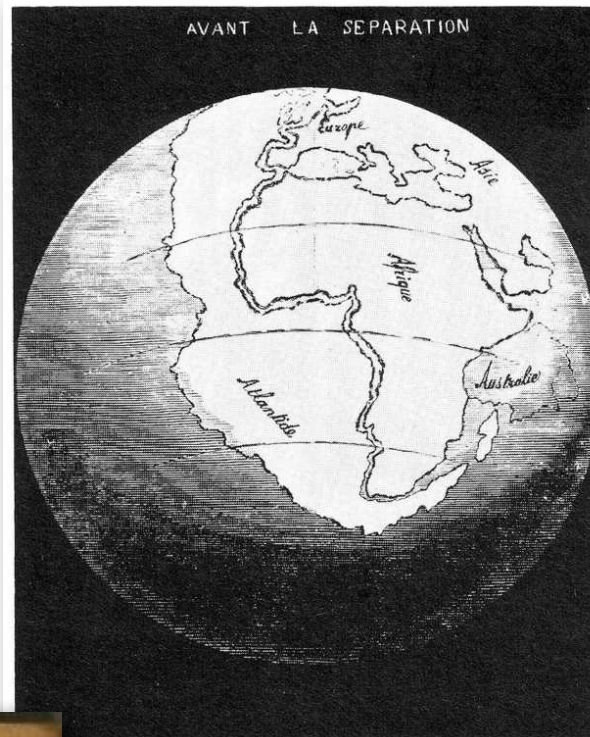
⁶³ A. von Humboldt has pointed out the conformity of the opposite shores of the Atlantic—the approximate correspondence between the projections on each side and the recesses on the other. But Bacon apparently compares not the opposite but the corresponding coasts of Africa and America. C. Concepcion would correspond to C. Negro; but the parallelism is not very close.

... und viel andere mehr ...

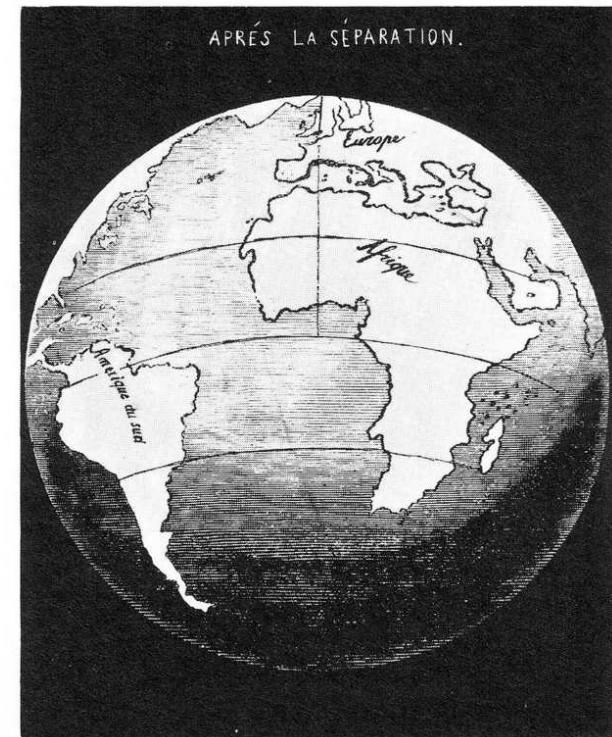
die Sintflut führt zum Riss



Antonio Snider-Pellegrini
(1802–1885)



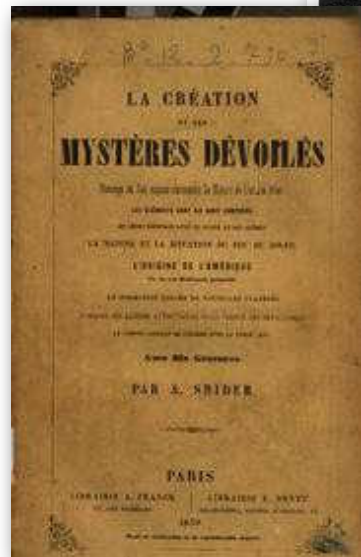
vorher



nachher

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

La Création et ses mystères dévoilés, 1858



die Erfindung von Gondwana und Tethys

"Der Zusammenbruch des Erdballs ist es,
dem wir beiwohnen..."

Abkühlung der Erde → Schrumpfung der
Erde, → Oberfläche zusammengedrückt
→ Gebirgsketten und Depressionen (Ozeane)

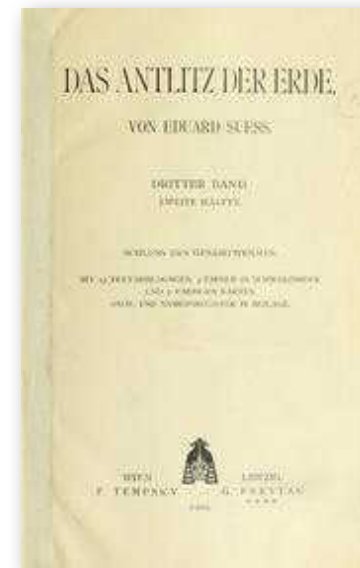
Versinken der Erdkruste
→ Trennung der Kontinente

Superkontinent "Gondwana" ("Land der
Gond", Volk in Indien) - aufgrund von
Glossopteris (Farn) Funden ≠ Landbrücken

Einsinken der Kruste im Tertiär
→ Bildung des Atlantik-Ozeans



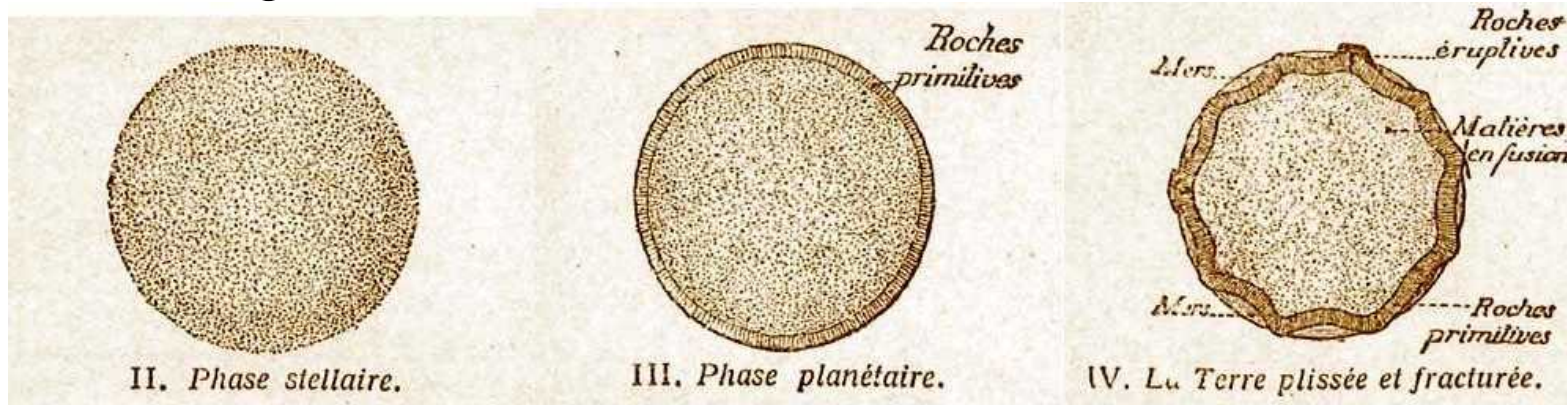
*Eduard Suess
(1831–1914)*



*Das Antlitz der Erde,
drei Bände 1885–1909*

Vorstellungen von der schrumpfenden Erde

Abkühlung



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

Analog

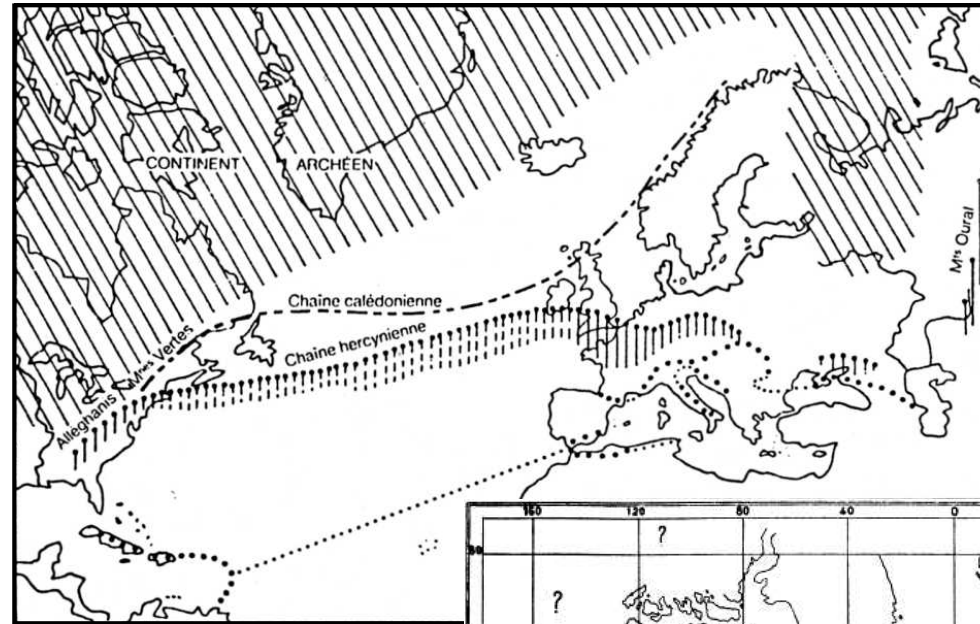


Eliza Richardson, Associate Professor of Geosciences, Penn State
online course EARTH 520
https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l2_p2.html

Verbindungen über den Atlantik hinweg



Marcel Alexandre Bertrand
(1847–1907)

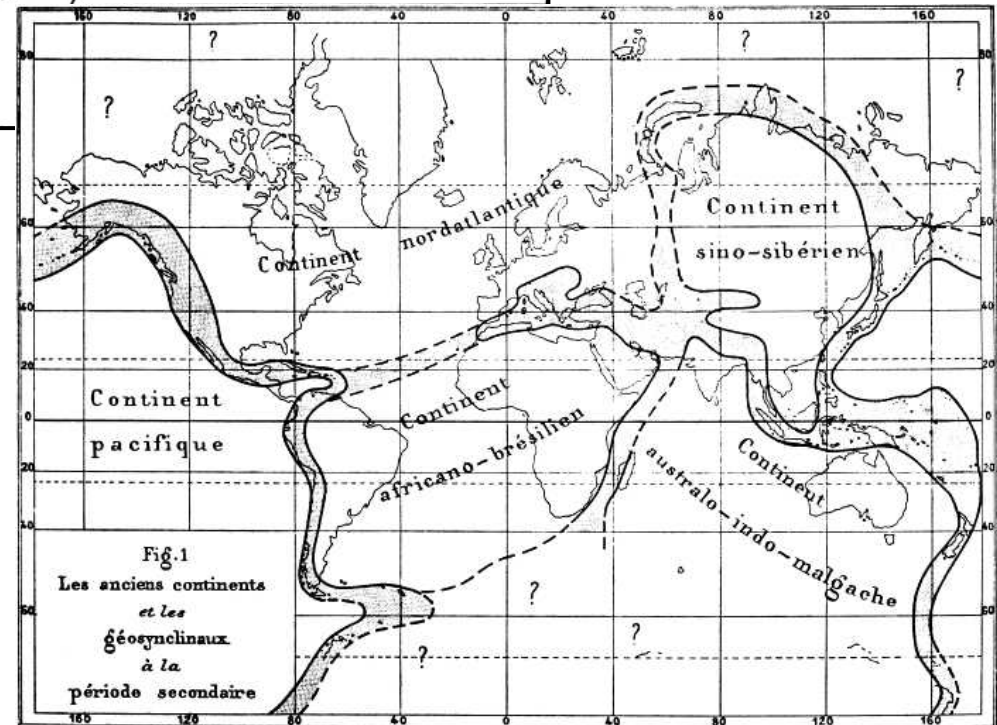


La chaîne des Alpes et la formation du continent européen,
Bull. Soc. Géol. Fr., 3e série, 15, 1887, p.442



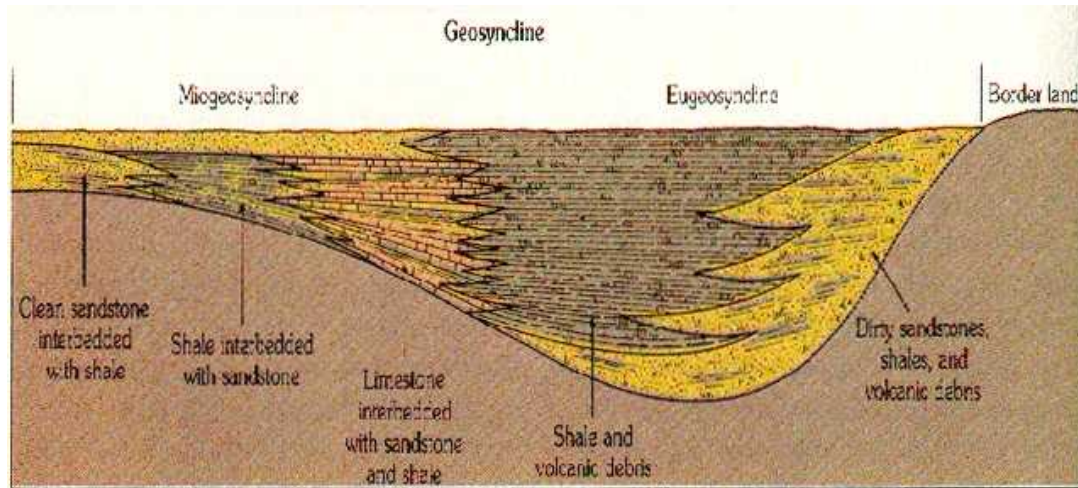
Gustave Émile Haug
(1861 - 1927))

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



Geologie vor der Plattentektonik

Geosynklinal - Theorie



Phasen der Gebirgsbildung:

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



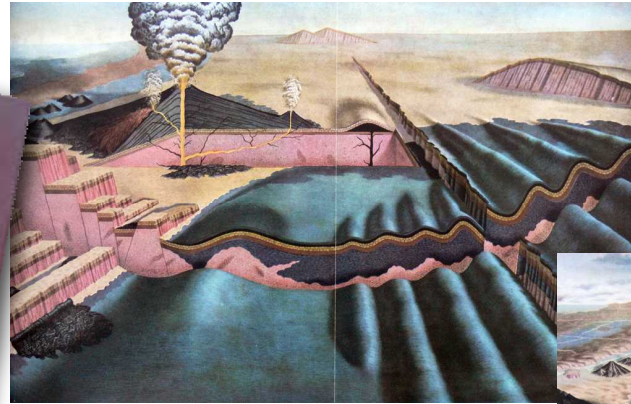
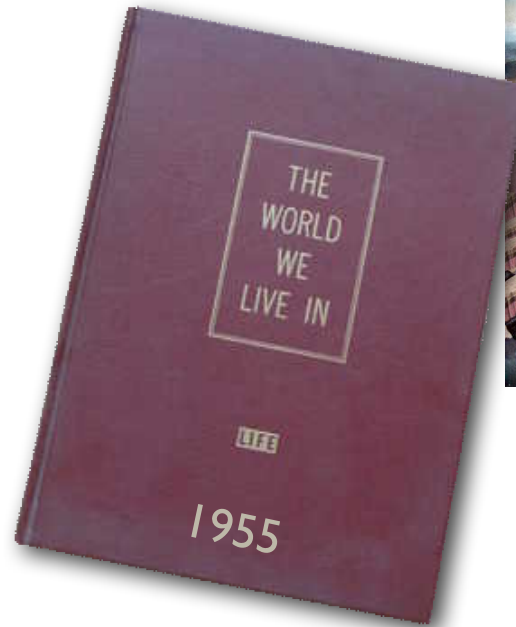
James Hall
(1811 - 1898)



James Dwight Dana
(1813 - 1895)

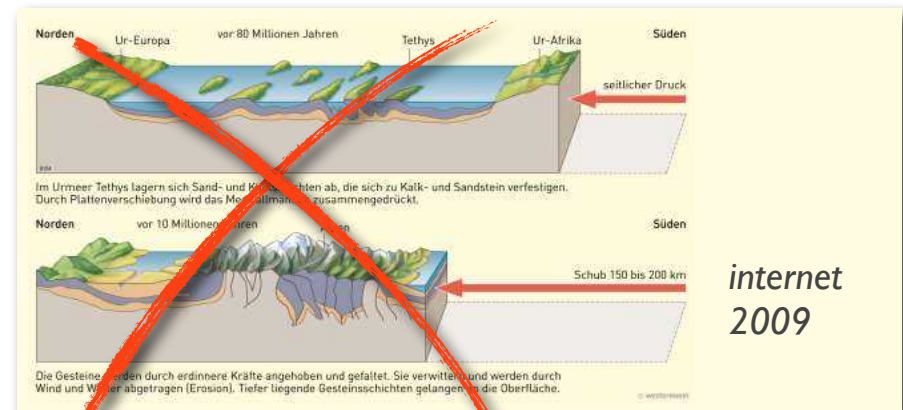
*"It [the geosynclinal theory] constitutes a great—probably one of the greatest—unifying principles in geologic science."
(Knopf, A., 1948)*

das zähe Leben der Geosynklinale

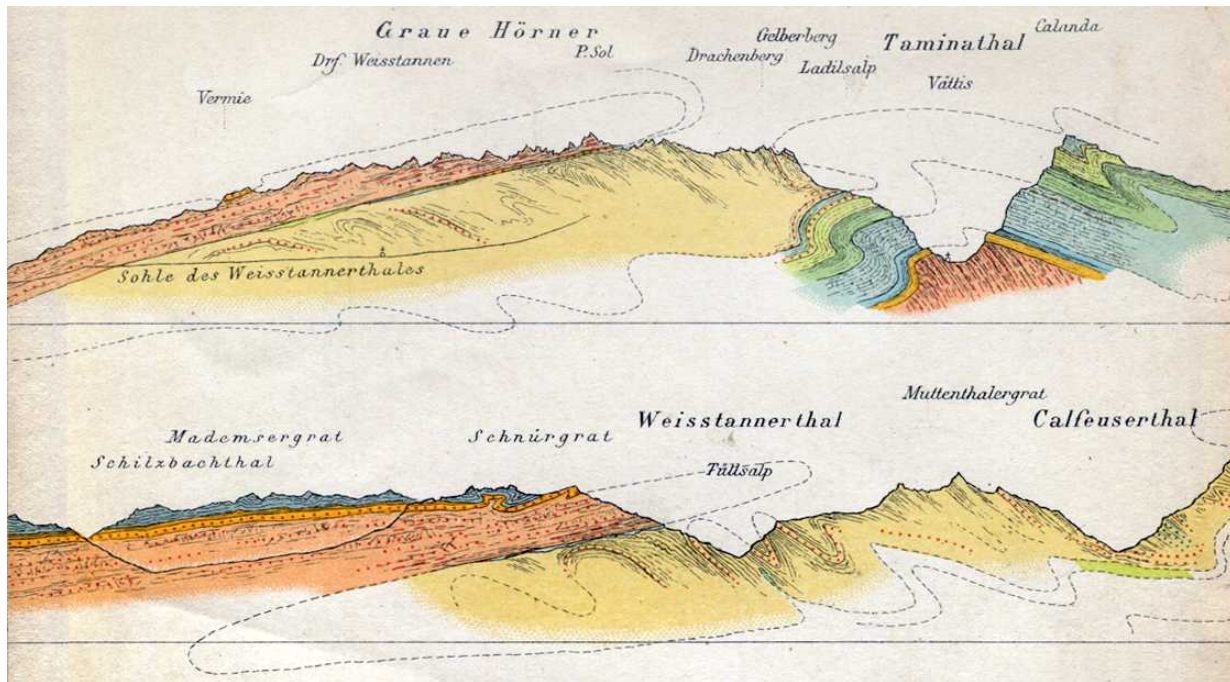


Aber....

"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



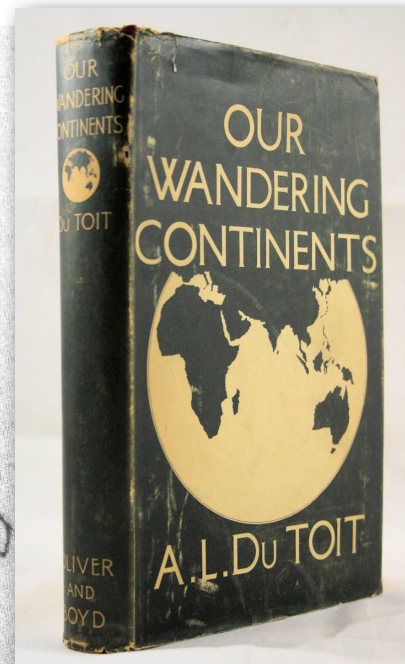
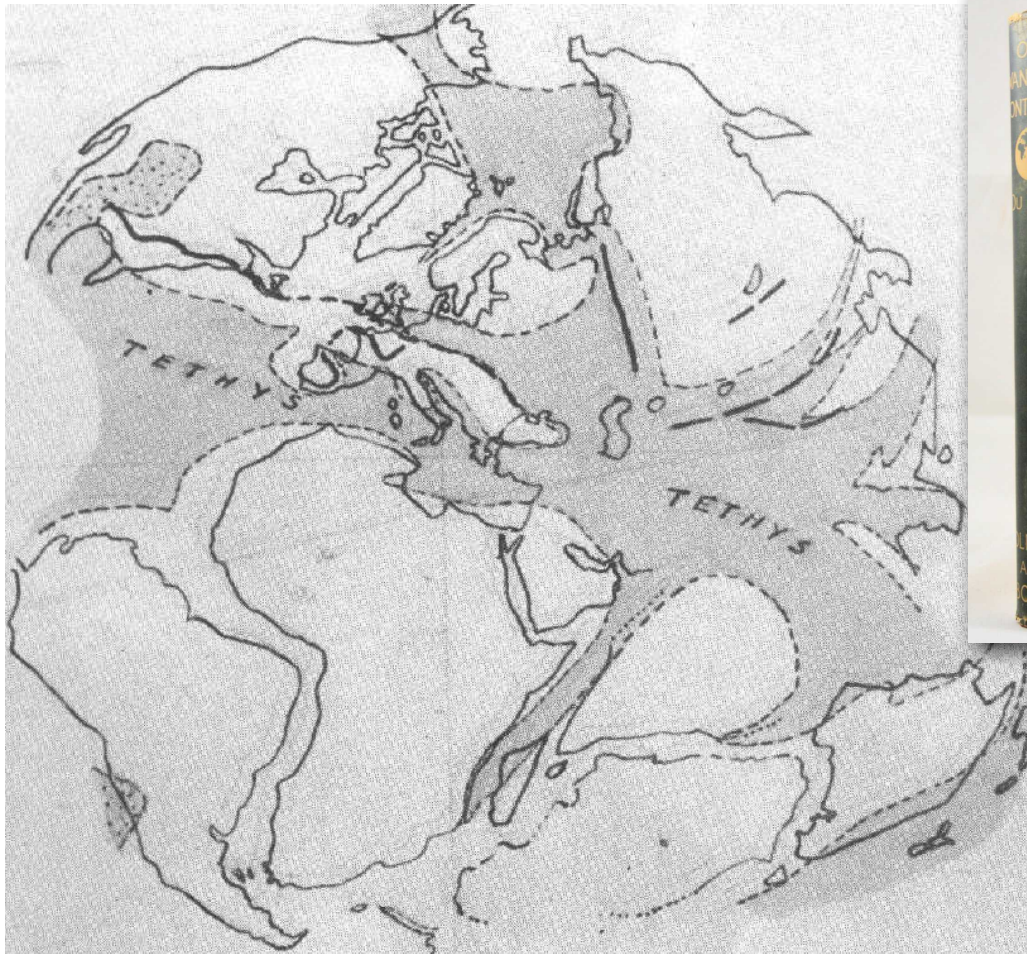
*Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein.
(Albert Heim, 1891)*

Glarner Hauptüberschiebung als Doppelfalte



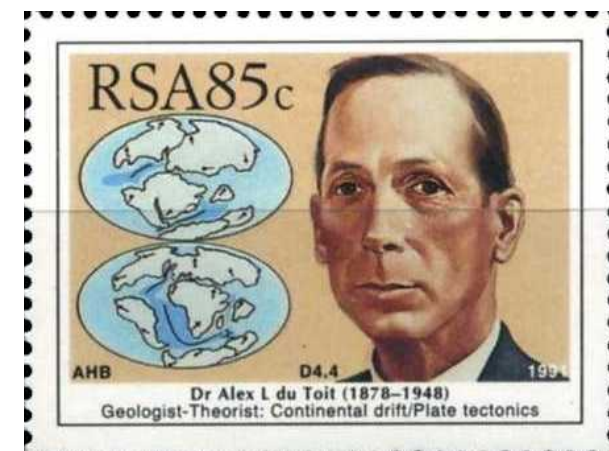
Albert Heim
(1849 - 1937)

Kontinentaldrift findet Unterstützung

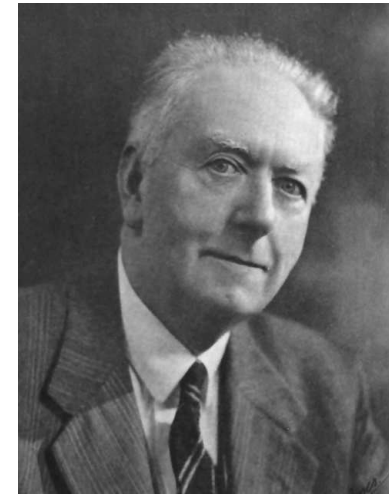
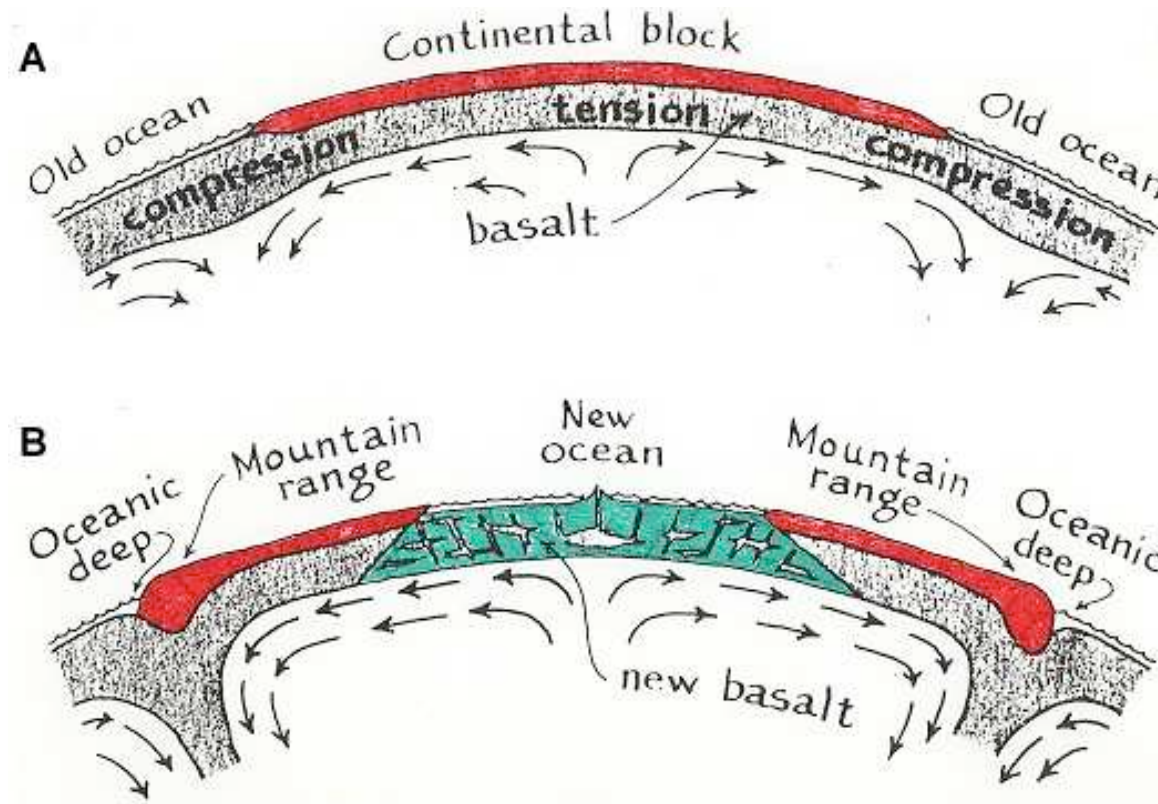


Alexander Logie du Toit
(1878 - 1948)

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



mögliche Ursache für Kontinentaldrift



Arthur Holmes
(1890 - 1965)

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

Mechanismus für Kontinentaldrift:
Konvektive Wärmeströme im Erdinneren bewegen Erdplatten
„... Spekulation“

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

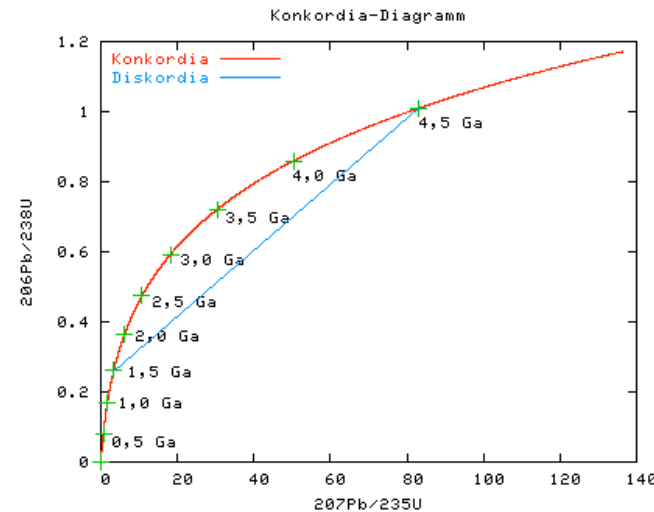


Otto Hahn
(1879 - 1968)

Pb/U Isotopenverhältnisse

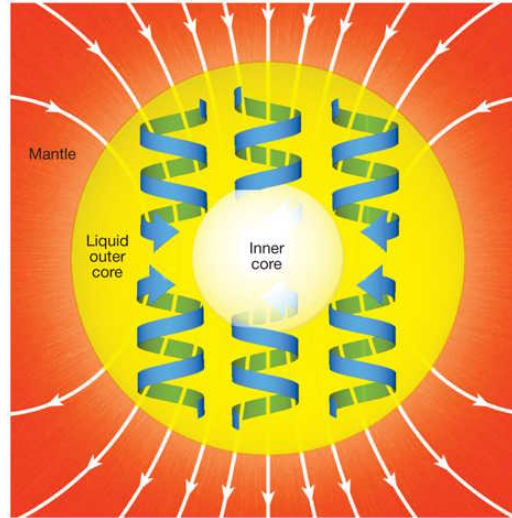
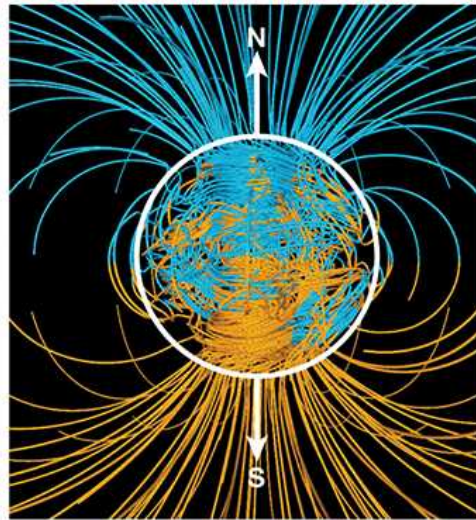
$$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}} = e^{\lambda_{238}t} - 1$$

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

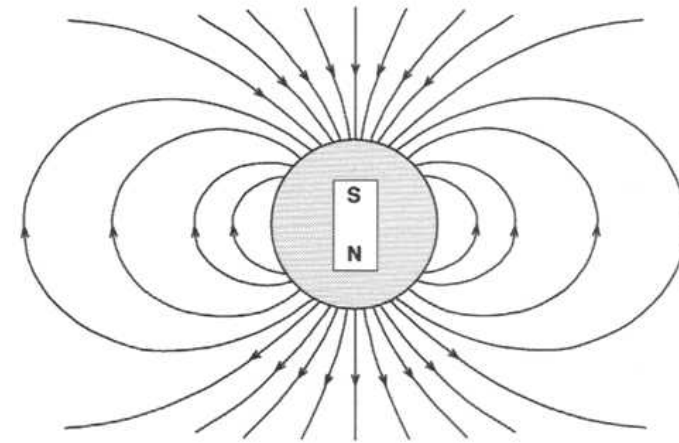


Clair Patterson
(1922 - 1995)

Geomagnetik

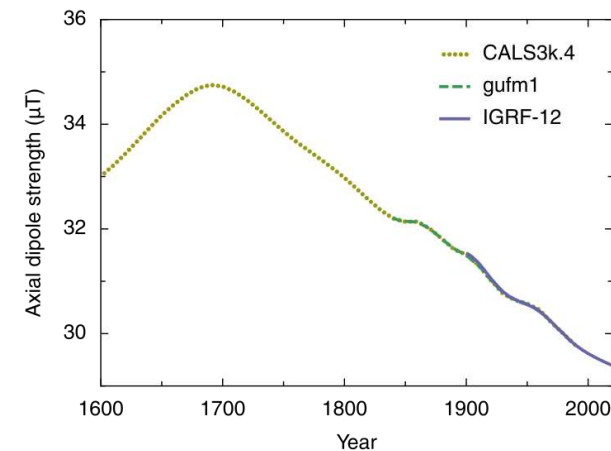


Magnetfeld der Erde



angenähertes Dipolfeld
magn. S = geogr. N

Dynamo - Theorie:
Magnetfeld wird erzeugt durch
Konvektionsbewegungen im äusseren
Kern (= radiokativer Wärmetransport),
gesteuert durch Reibung zwischen
innerem und äusserem Kern in Folge
von Erdrotation



starke Abnahme des Magnetfeldes

Geomagnetik

magnetische Pole

2017 Google Earth / Wikipedia

Geographischer Nordpol

North geographical pole / True North

nördlichster Punkt

(90°0' 0" N)

Magnetischer Nordpol

= Arktischer Magnetpol

North magnetic pole

Feldlinien senkrecht zur Erdoberfläche

(83° 57' 0" N, 120° 43' 12" W)

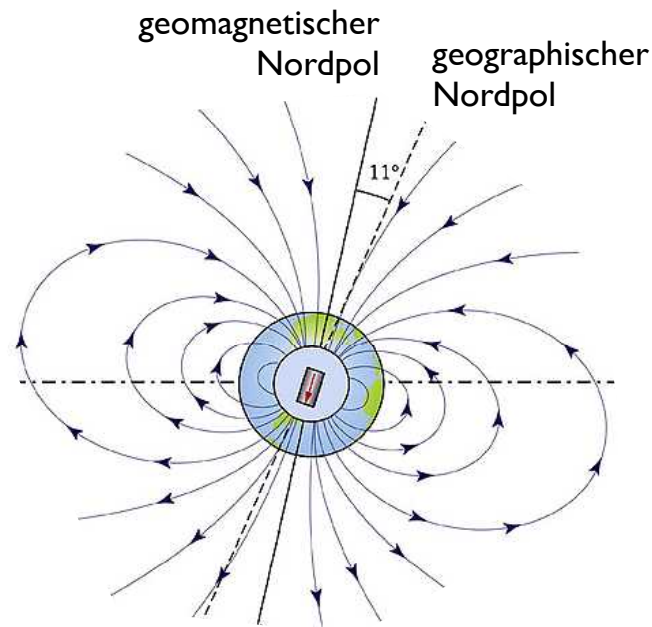
Geomagnetischer Nordpol

= Arktischer geomagnetischer Pol

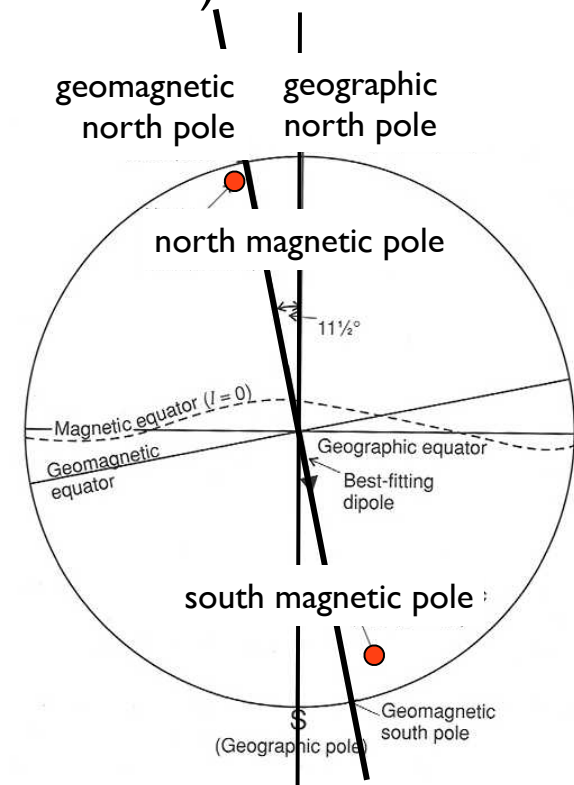
North geomagnetic pole

Pol zum angenäherten Dipol des Erdfeldes

(80° 1' 12" N, 72° 12' 36" W)



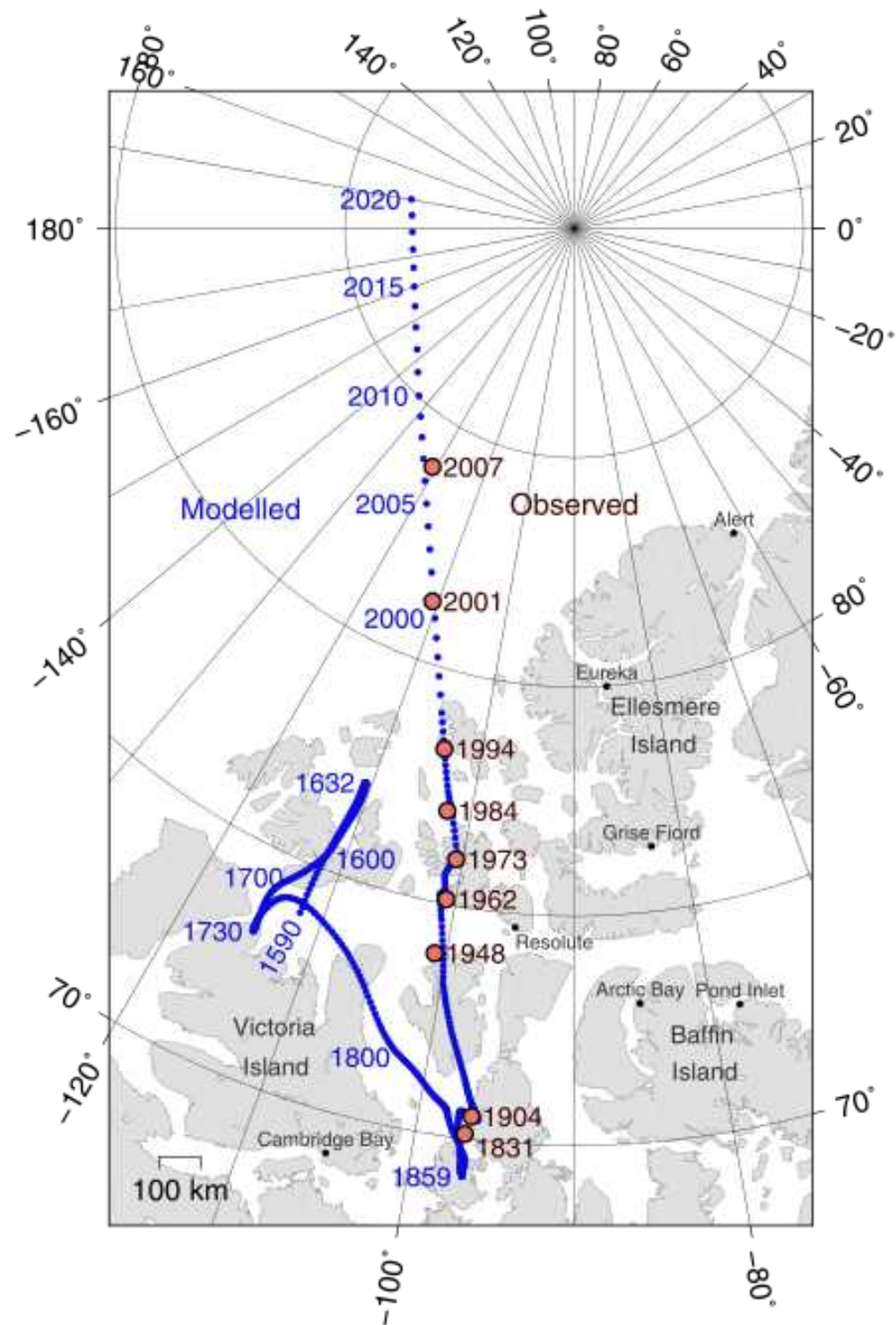
*Nordpol der Unzugänglichkeit
küstenfernten Punktes im Nordpolarmeer*



Polwanderung

beobachtete Wanderung des magnetischen Nordpols zwischen 1831 und 2007

Modellierung zurück bis 1590
vorwärts bis 2020



World-Wide Standard Seismographic Network

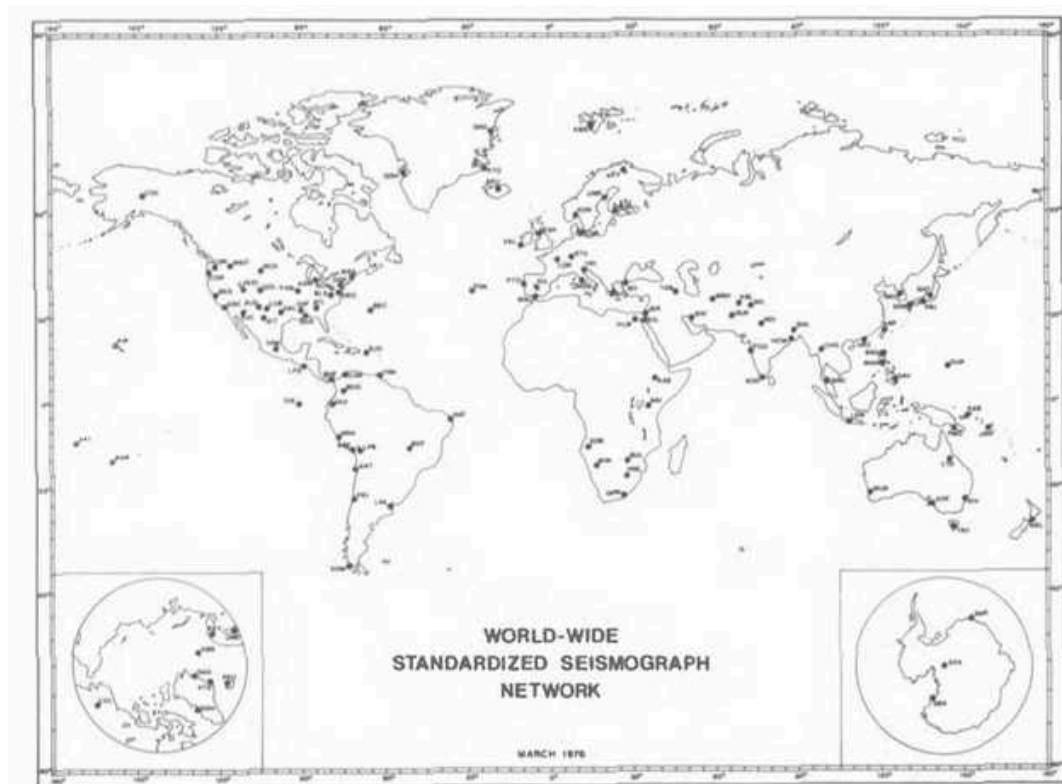
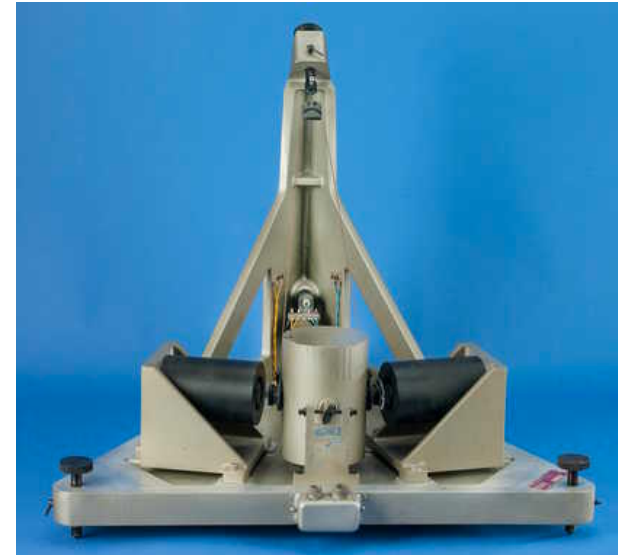


FIGURE 4 WWSSN station locations with identifying call letters. (Photo courtesy U.S. Geological Survey.)



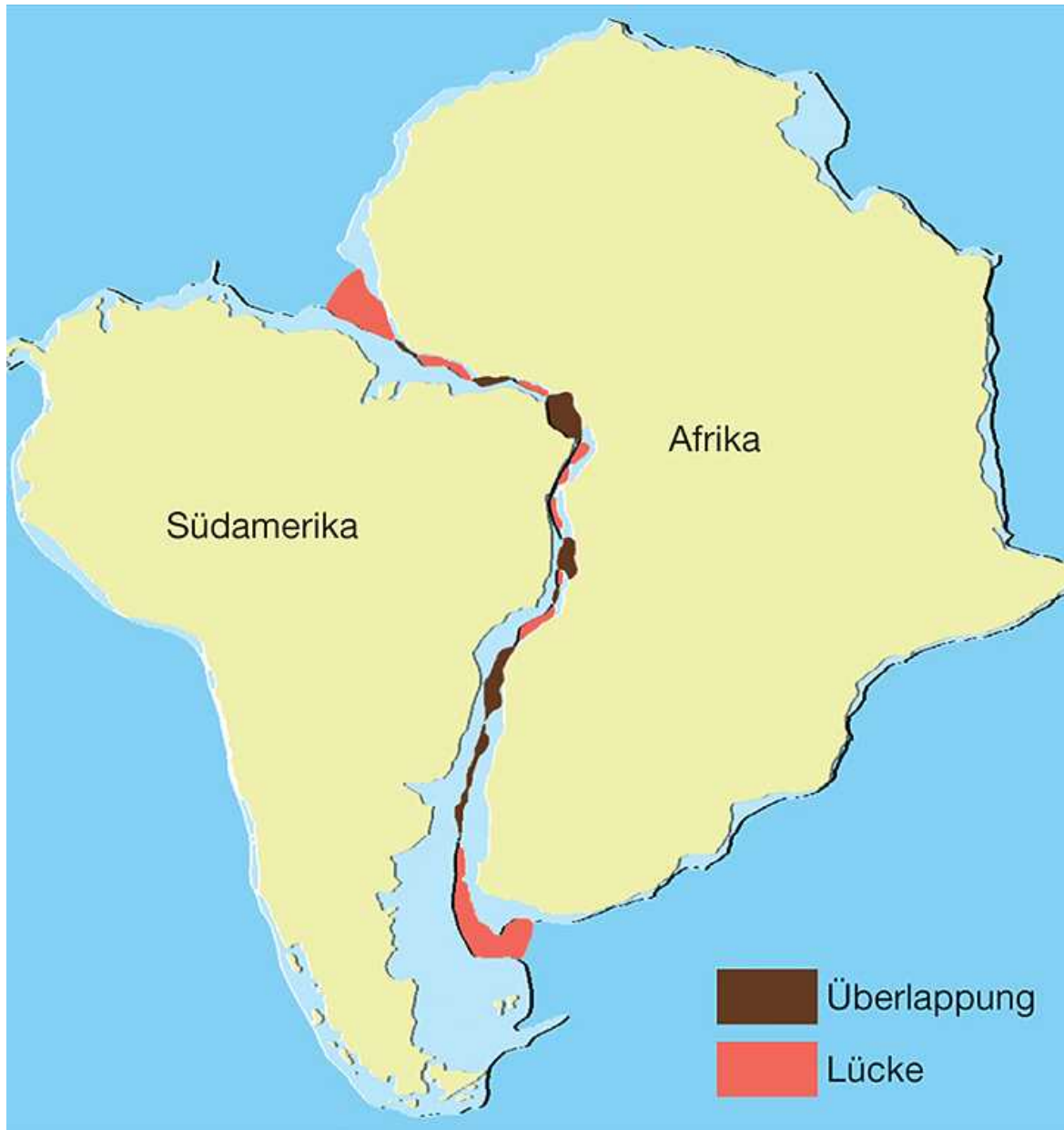
*Long-Period Horizontal
Seismometer (WWSSN)*

Established in 1961, the WWSSN was designed to detect underground nuclear tests, and generate valuable information about the earth's interior and its dynamic processes. The WWSSN was a key component of VELA Uniform, a Cold War project that was funded by the Advanced Research Projects Agency (ARPA), a branch of the Department of Defense. It was managed by the U.S. Coast and Geodetic Survey and then by the U.S. Geological Survey.

)http://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_1445876)

Evidenz für die Existenz von Pangäa

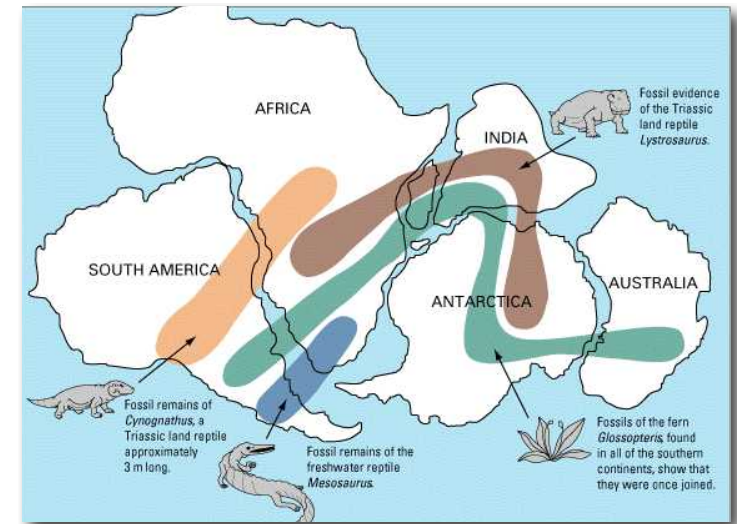
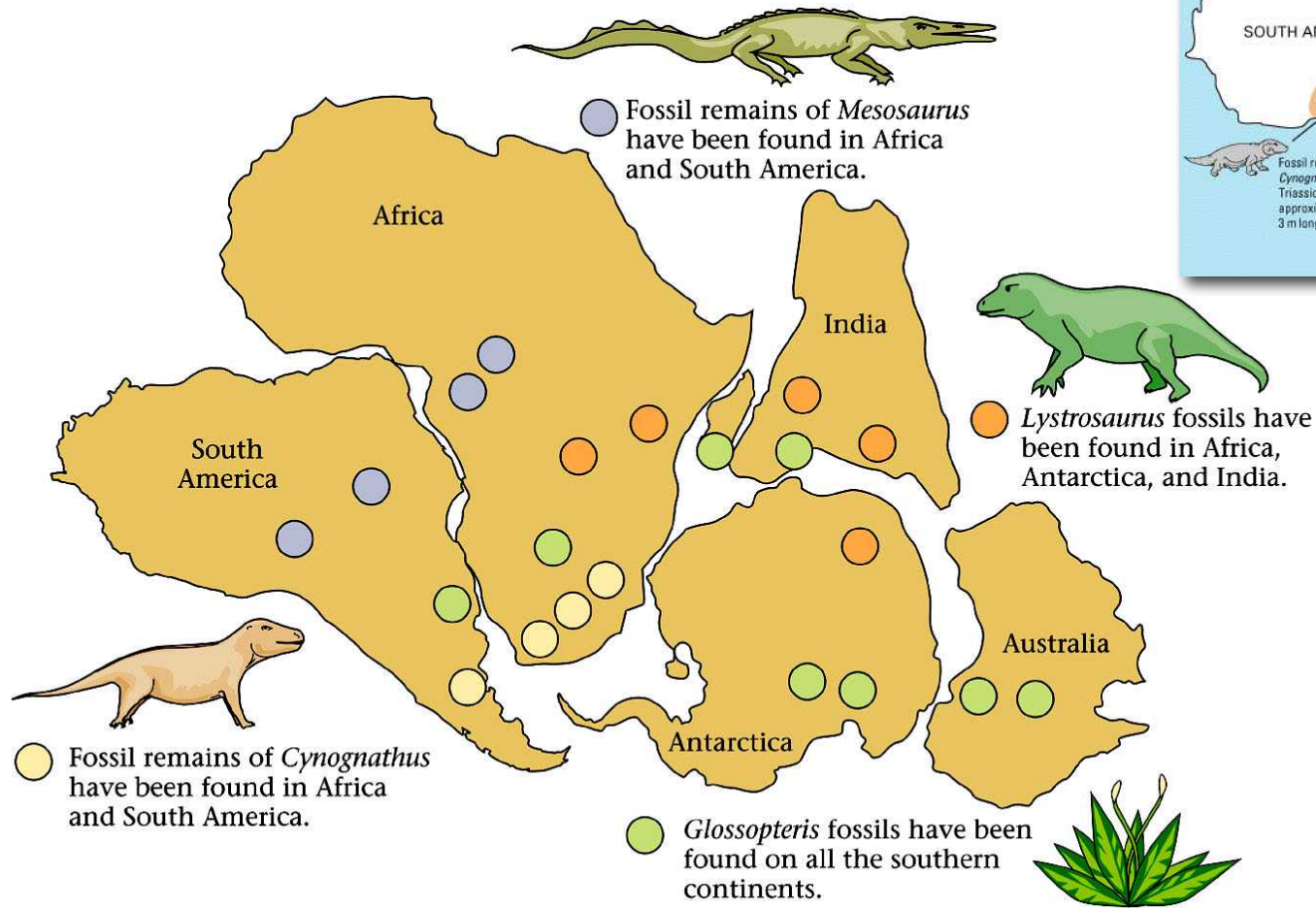
topographische Evidenz



Anpassung entlang
Kontinentalsockel
(900 m)

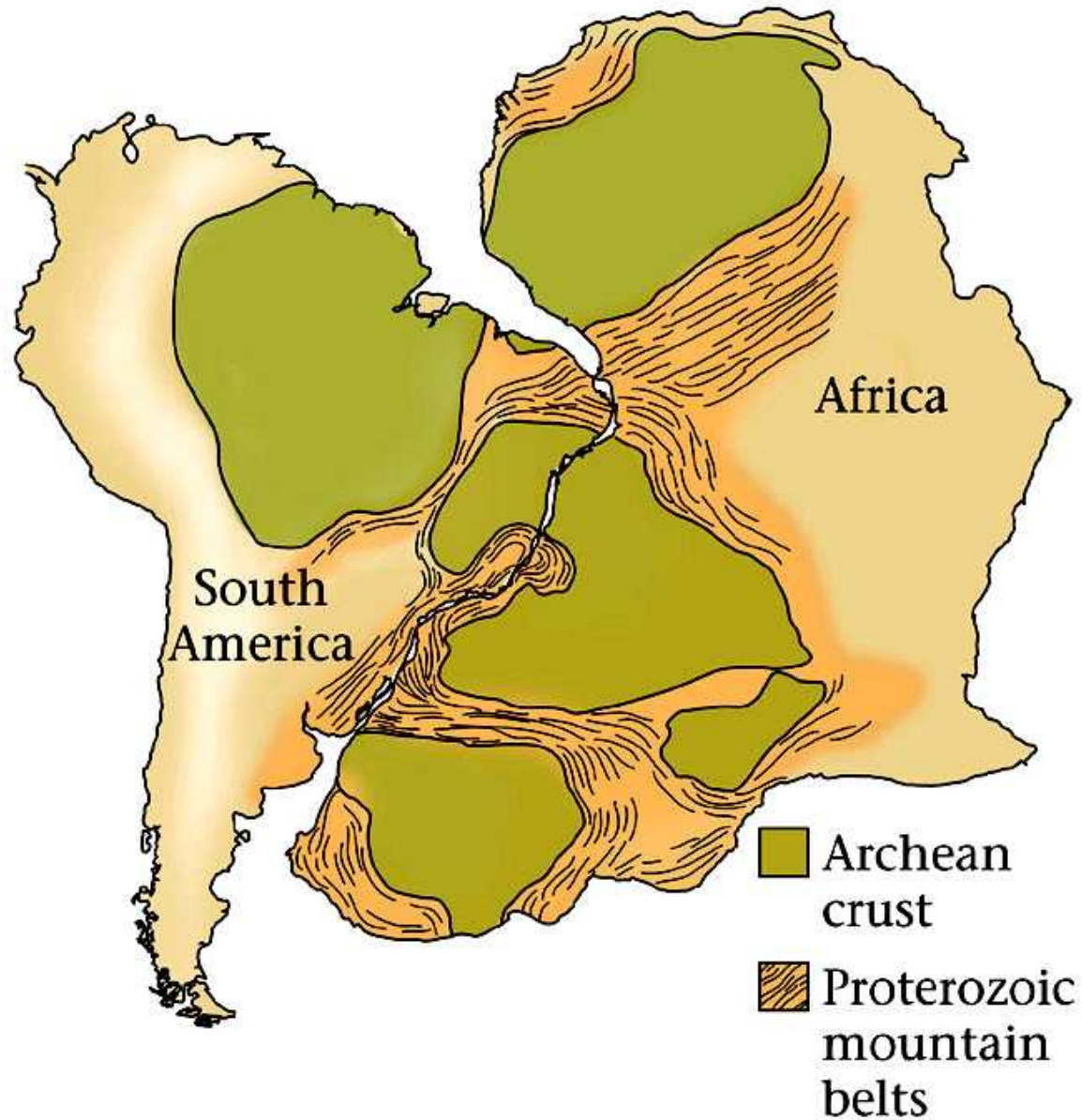
NB:
Topographie des
Meeresbodens ist
unbekannt

paläontologische Evidenz



Fossile Überreste von Flora & Fauna
(~ Paläozoikum)

geologische Evidenz



Proterozoische
Gebirgszüge
passen zusammen

(Proterozoikum =
2500 - 550 Ma)

(Atlantiköffnung
≈ 180 Ma)

mehr geologische Evidenz



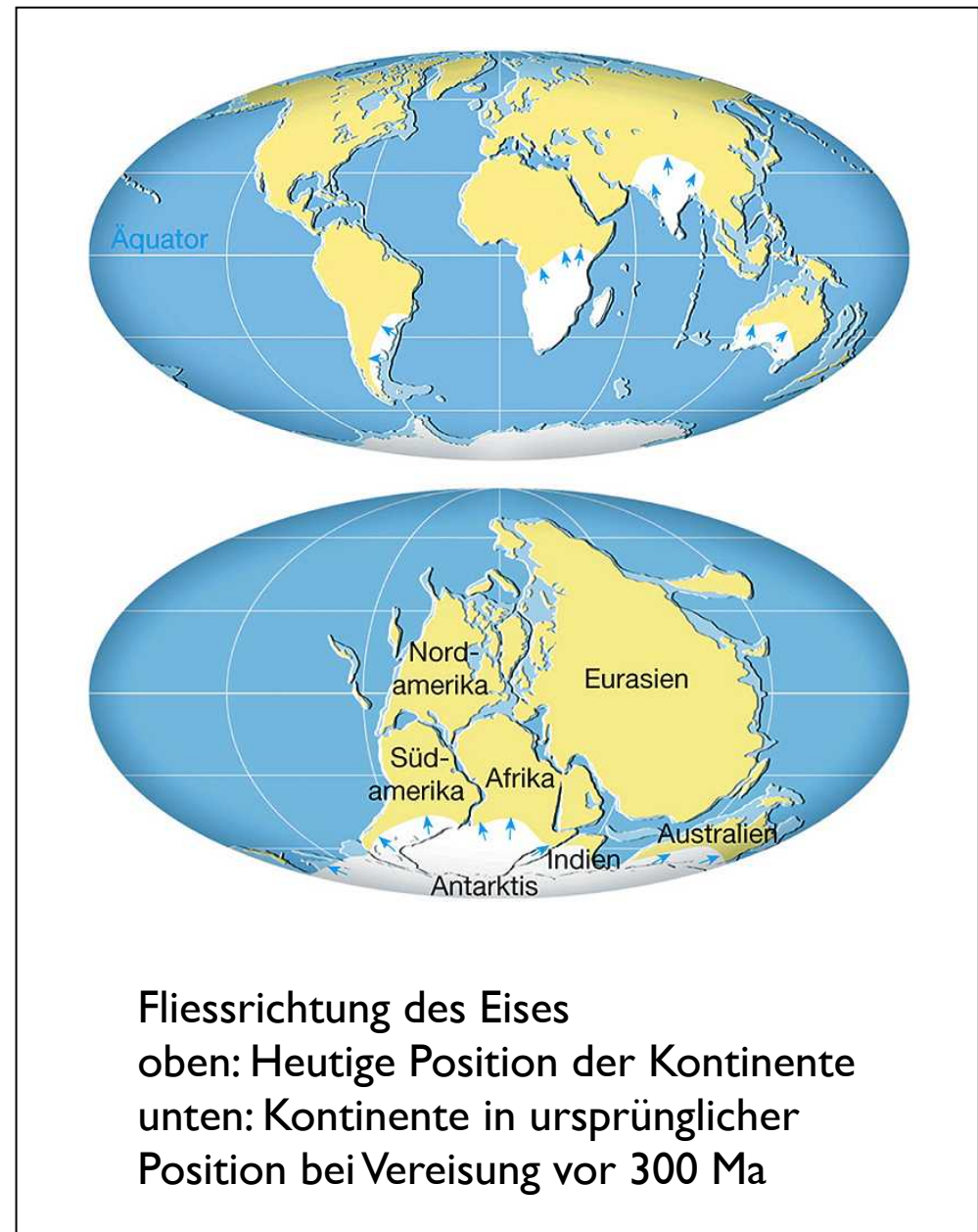
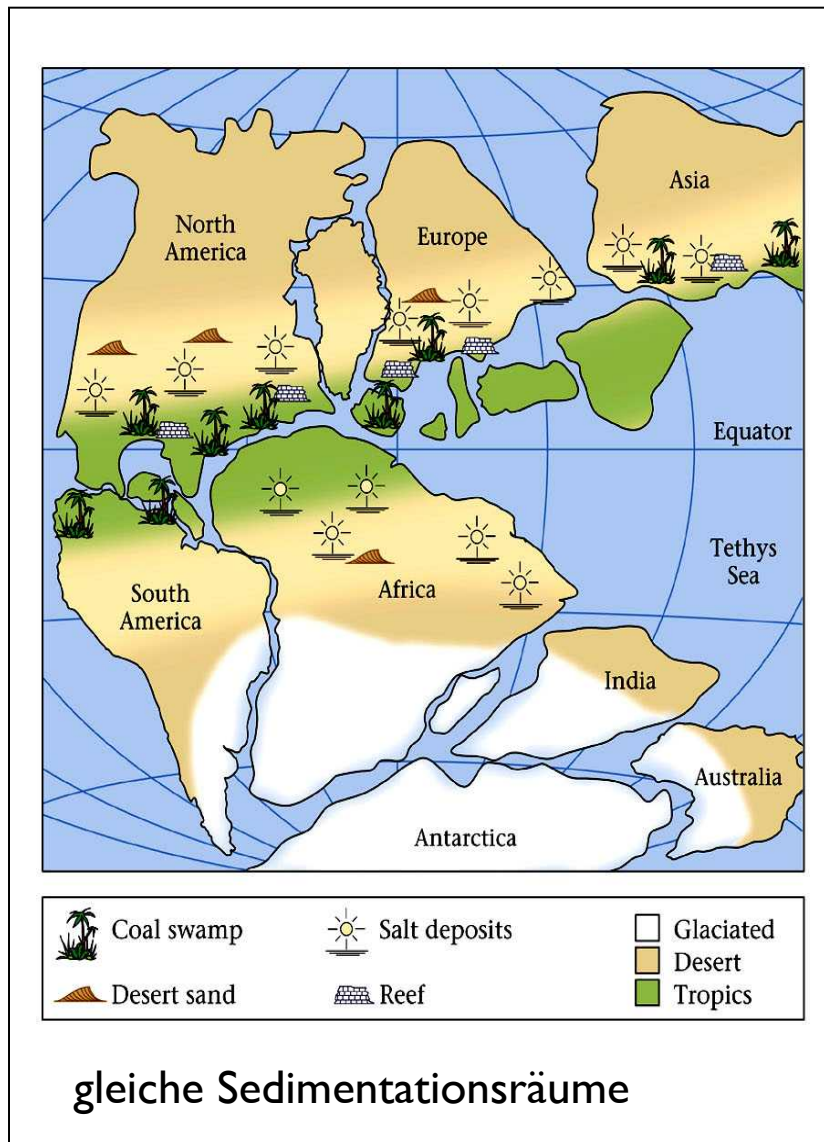
Paläozoische
Gebirgszüge
passen zusammen

(Paläozoikum =
550 - 250 Ma)

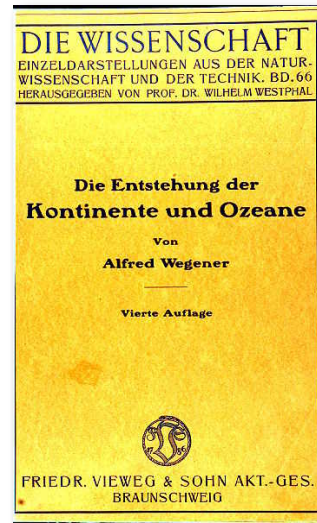
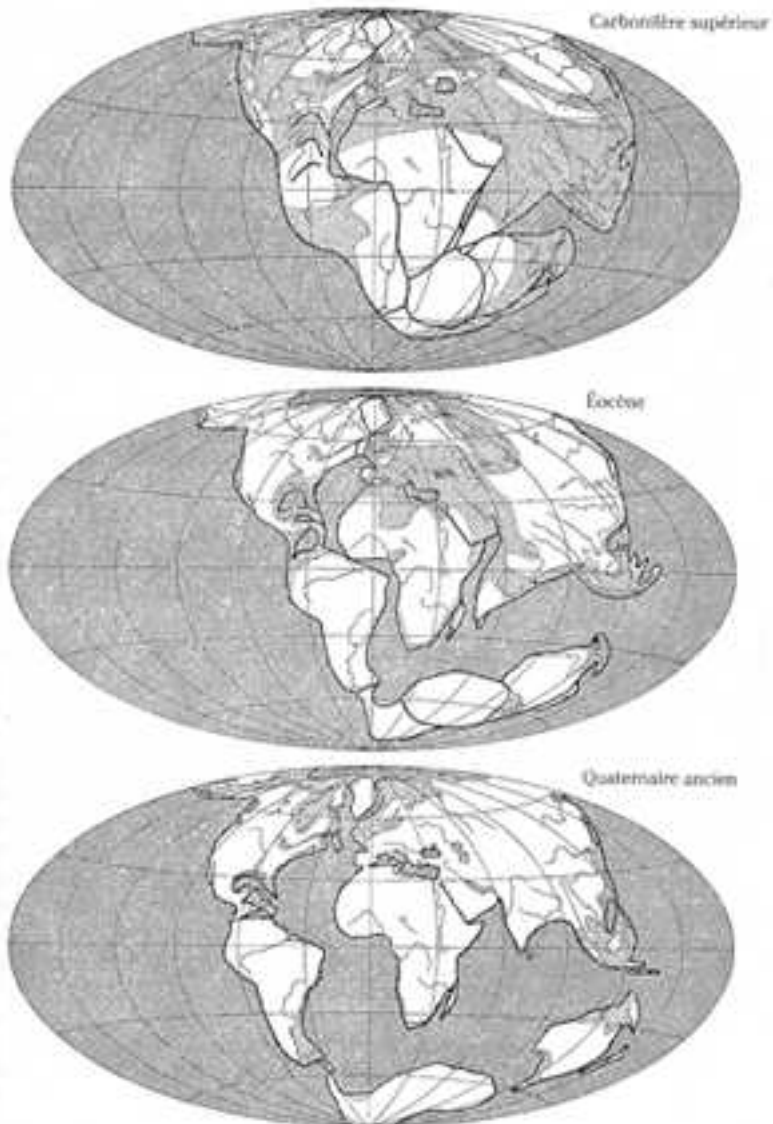
(Atlantiköffnung
≈ 180 Ma)

Appalachen (USA)
=
Kaledoniden (UK,
Norwegen)

Klima - Evidenz



Kontinentaldrift - Hypothese



Alfred Lothar Wegener
(1880 - 1930)

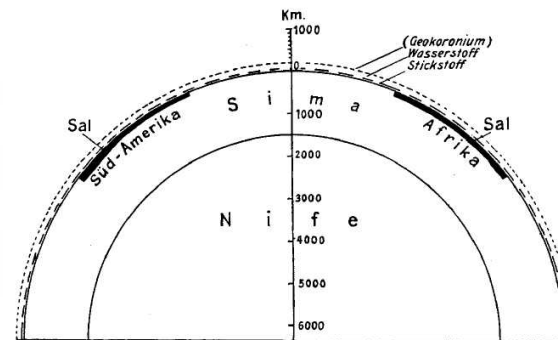
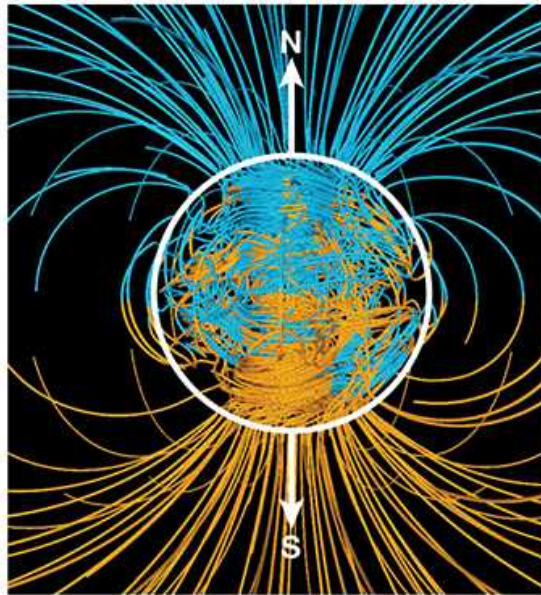


Fig. 2. Schnitt im grössten Kreise durch Südamerika und Afrika, in getrennten Grössenverhältnissen.

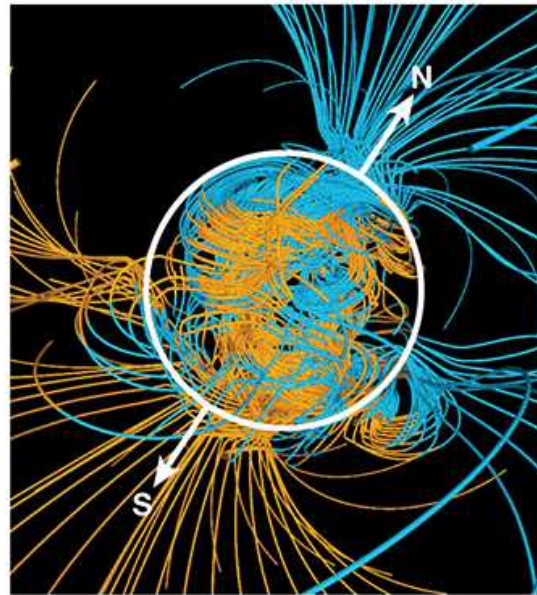
Hypothese (1912):
Superkontinent "Pangäa" bricht auseinander
- vor 200 Ma - Kontinente beginnen zu driften

Neue geophysikalische Daten

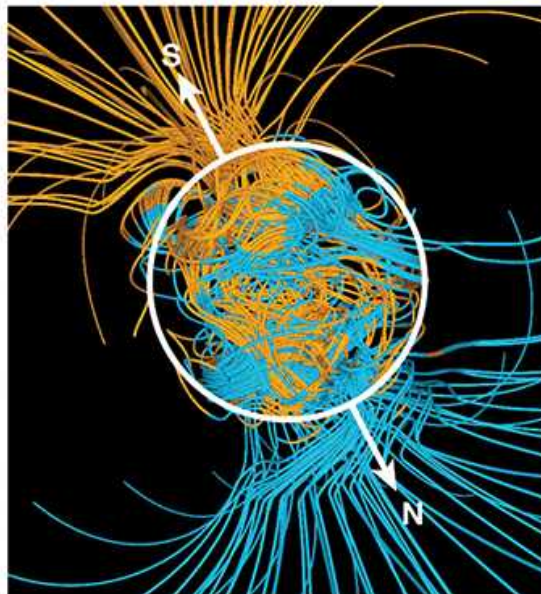
Magnetische Feldumkehr



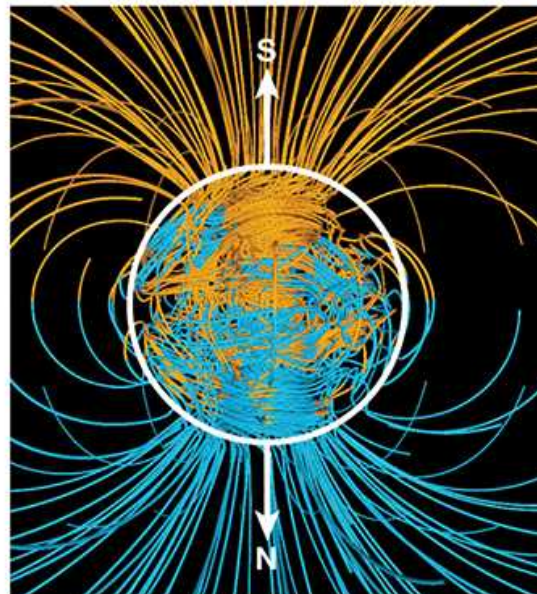
A. Normale Orientierung des Magnetfelds



B. Das Magnetfeld schwächt sich ab und die Pole beginnen zu wandern.



C. Die Pole wandern quer über den Äquator.



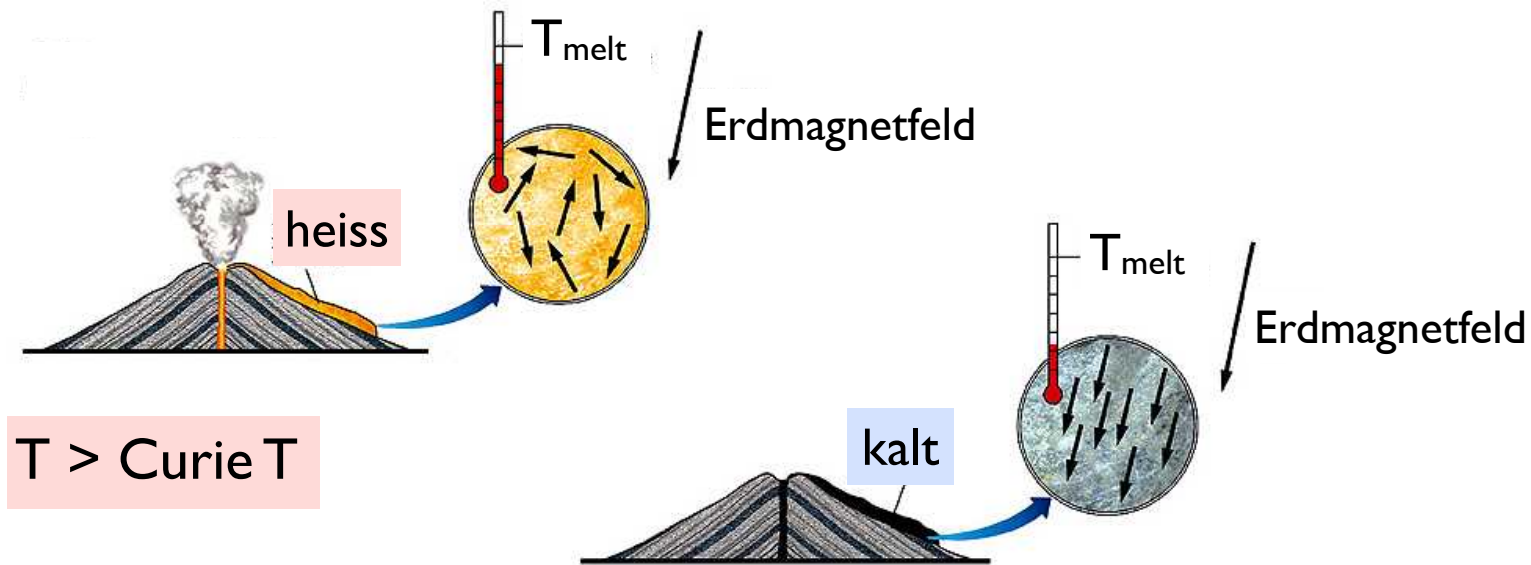
D. Die Umkehr ist abgeschlossen, da der Nordpol nach Süden zeigt.

Magnetfeld ändert seine Polarität alle 0.1-10 Ma

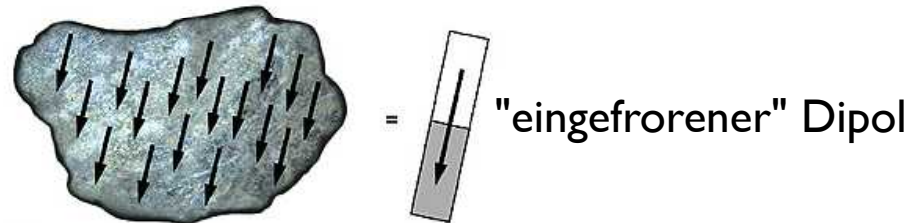
Zeitraum konstanter Polarität = Chron

Feldumkehr vollzieht sich in 1000-10000 Jahren

remanente Magnetisierung



$T > \text{Curie } T$



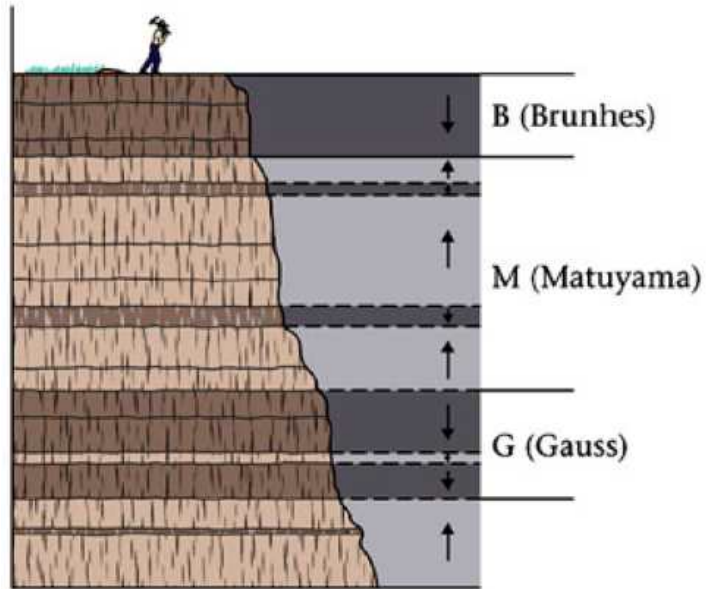
$T < \text{Curie } T$

TRM = thermische
remanente Magnetisierung

Curie Temperatur:

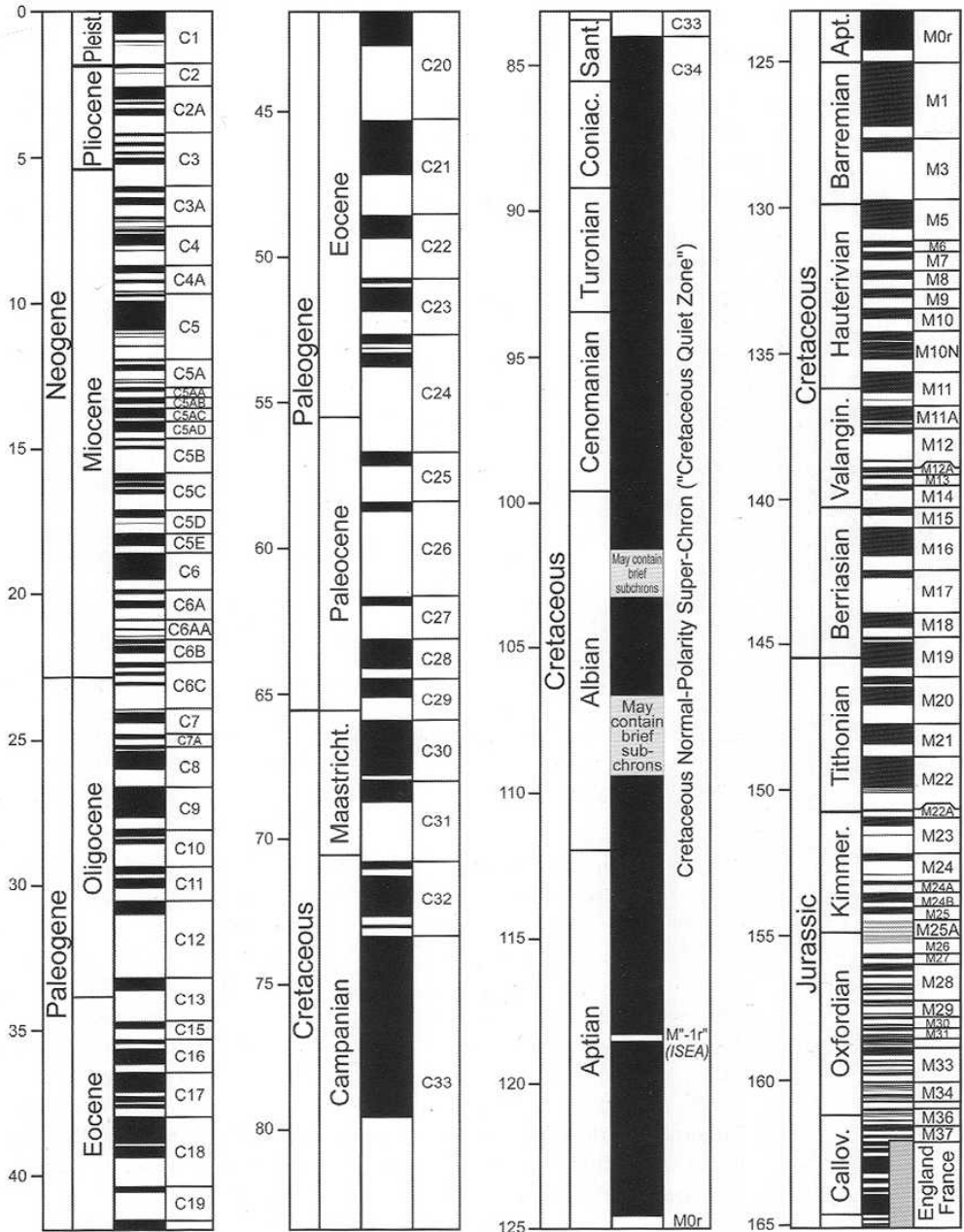
Eisen	1041 K	(768 °C)
Magnetit Fe_3O_4	851 K	(578 °C)
Hämatit Fe_2O_3		(675 °C)

Magnetostratigraphie

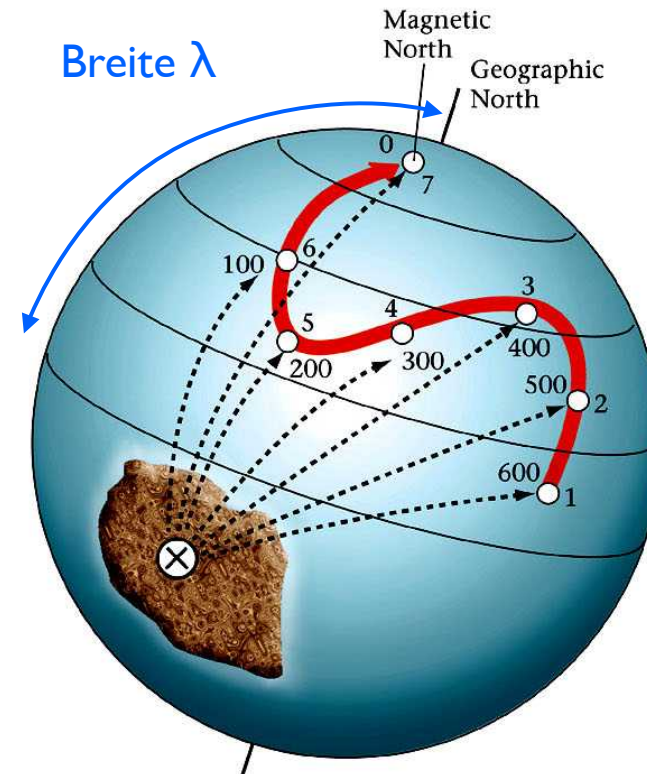
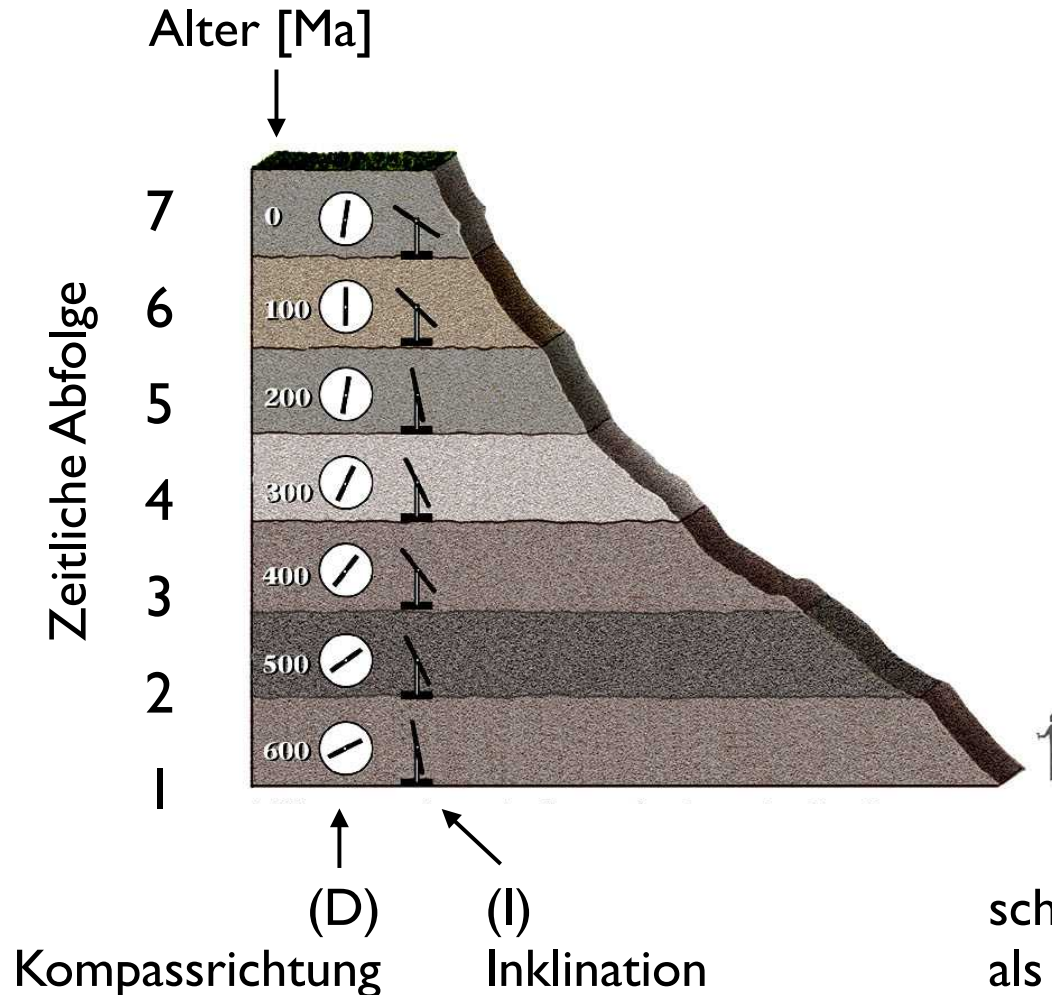


0.1-10 Ma = Chron
10 Ma = Superchron

■ normale Magnetisierung
□ inverse Magnetisierung



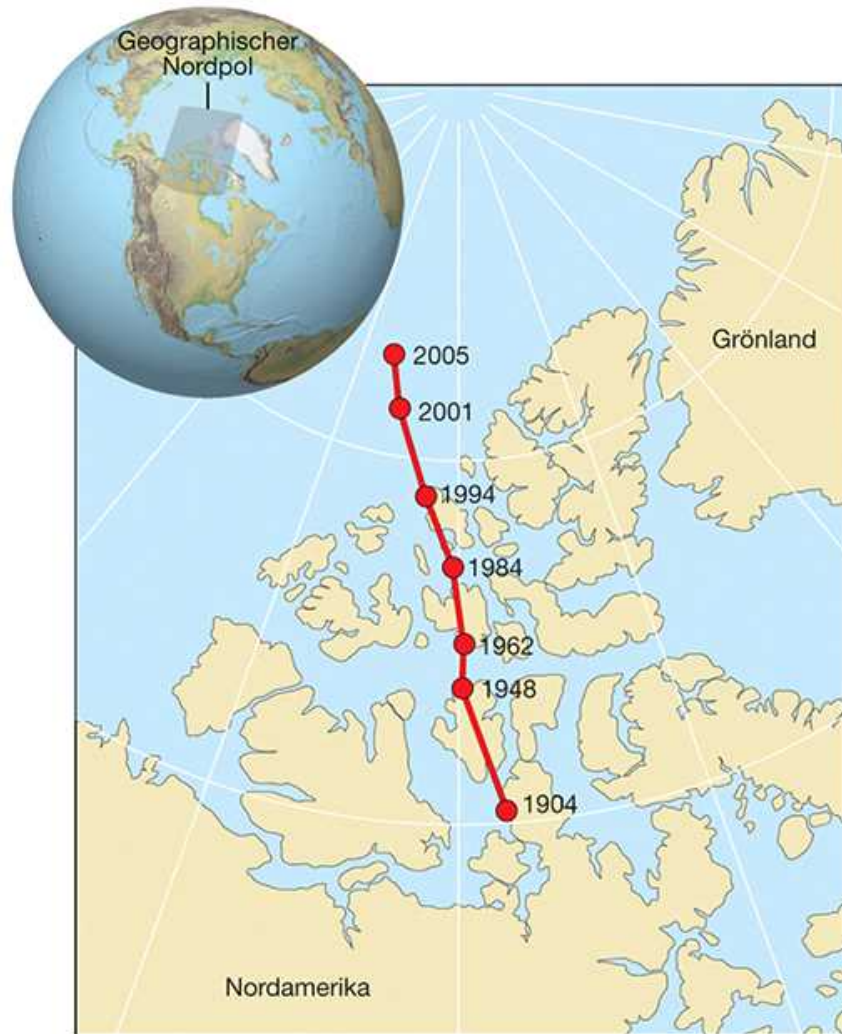
Paläomagnetik



scheinbare geographische Lage des Nordpols
als Funktion von Alter [Ma]

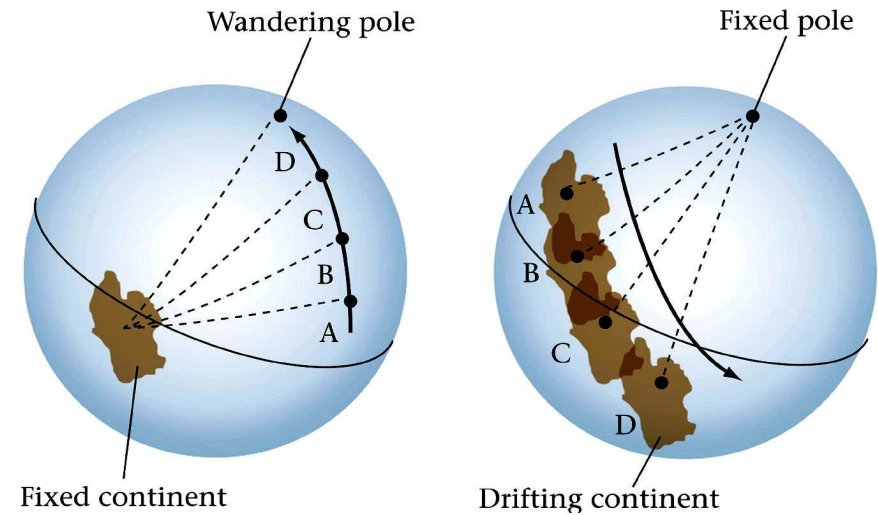
Zeitpunkt 1 und 5: Inklination steil \Rightarrow näher am Pol
Zeitpunkt 7 (heute): Inklination flach \Rightarrow näher am Äquator

Polwanderung



Lage des magnetischen Nordpols von 1904 - 2005

Relativbewegung: Kontinent - Pol



echte Polwanderung:

⇒ Magnetfeld verschiebt sich

scheinbare Polwanderung:

⇒ Kontinent verschiebt sich

Scheinbare Pol-Wandererrouten

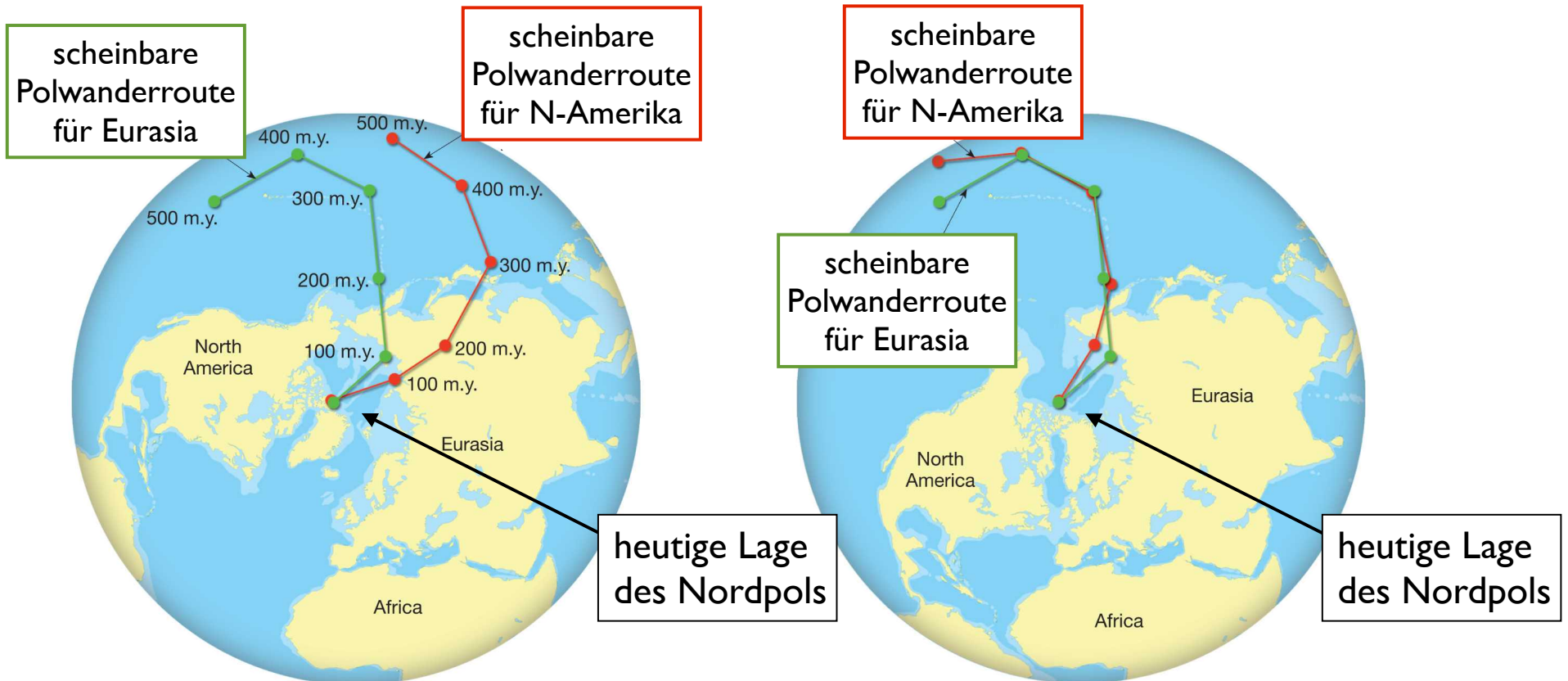
Polwandererrouten berechnet

für Eurasia

für Nordamerika

ohne Kontinentaldrift

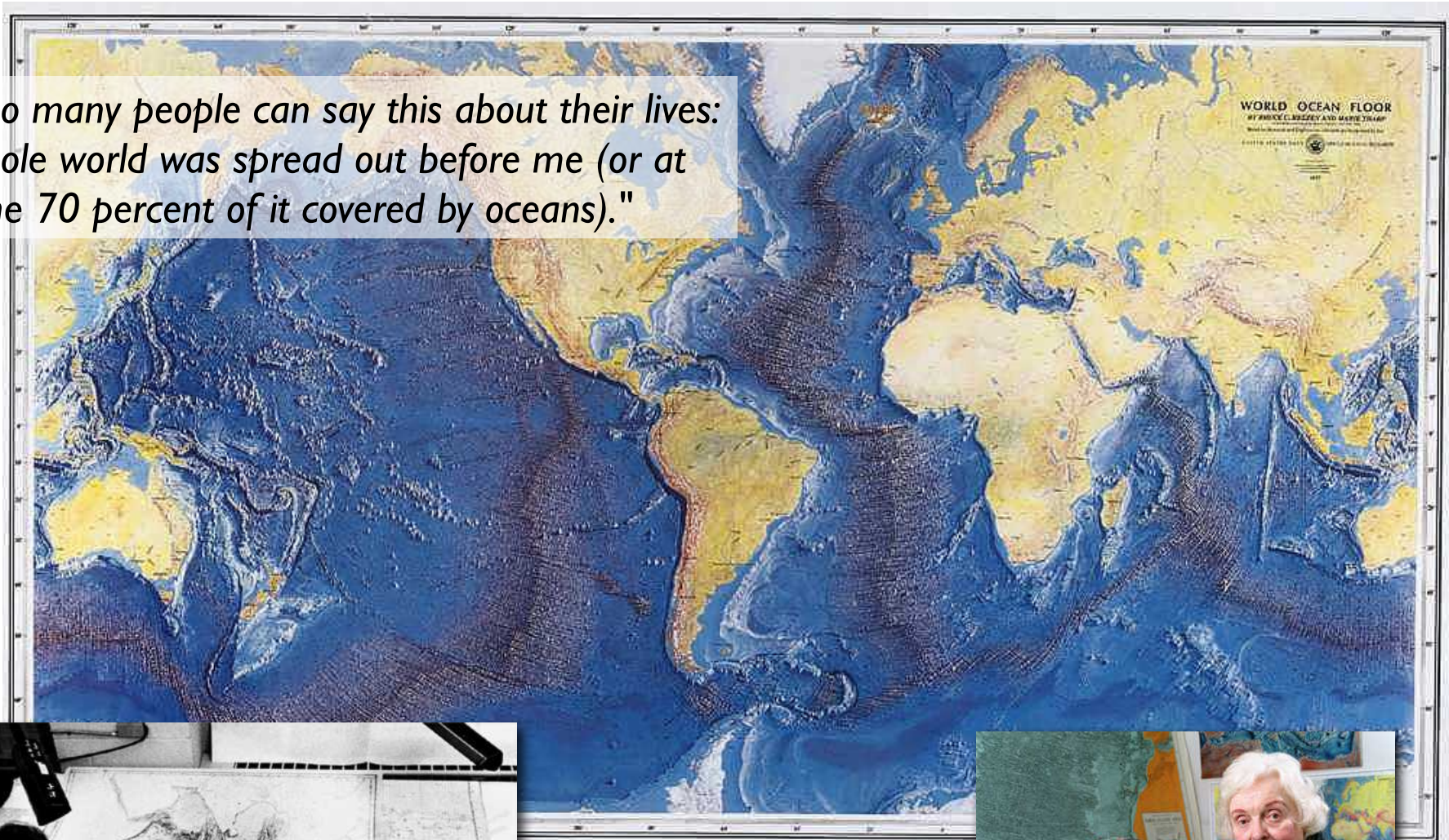
mit Kontinentaldrift



Ozeanboden
Seafloor spreading

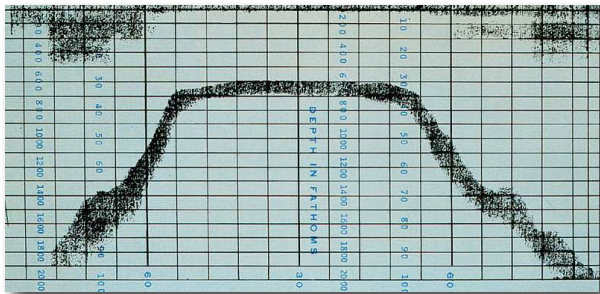
Kartierung des Ozeanbodens

*"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)."*

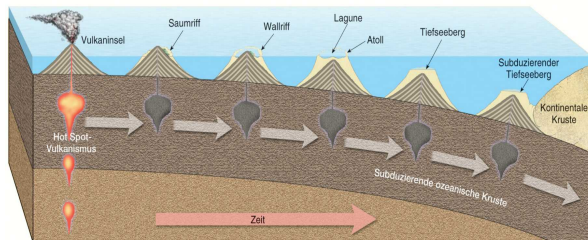


Marie Tharpe (1920 - 2006)

Seafloor Spreading - Entstehung von Ozeanboden



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



Überlegung von Harry Hess:
Guyots tauchen unter Wasseroberfläche mit absinkender (abkühlender) Platte



Harry Hammond Hess
(1906 - 1969)

Hess (1960):
"Report to Office of Naval Research"

Spekulation:
"seafloor spreading"
(Erdkruste entsteht an
Ozeanrücken)
... "geopoetry"



Robert Sinclair Dietz
(1914 - 1995)

Dietz (1961):
Beobachtung Hawaiian Islands

Spekulation:
"conveyor belt" (Förderband)

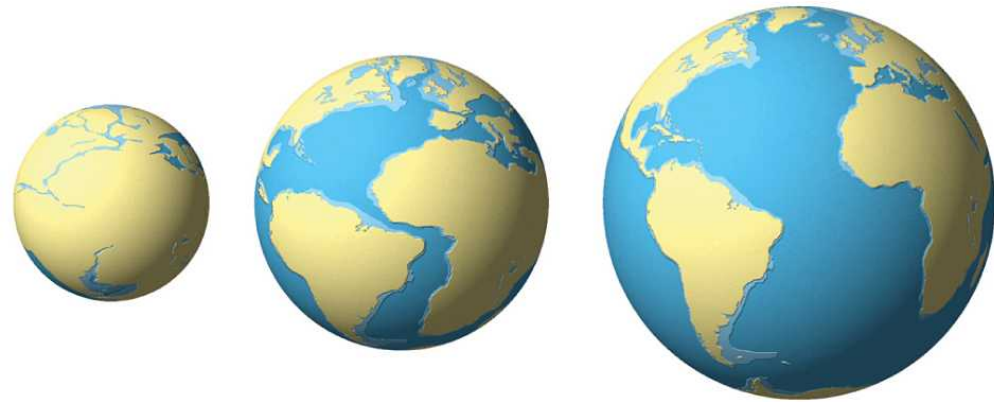
⇒ erste Hypothesen

Expanding Earth ?!



Marie Tharpe
(1920 - 2006)

Bruce Heezen
(1924 - 1977)



"Expanding Earth" Idee - wurde zunächst
von Bruce Heezen unterstützt...
... nicht von Marie Tharpe

⇒ ein Problem

Magnetische Lineationen

Erstens: Feldumkehr ist eine Tatsache ...

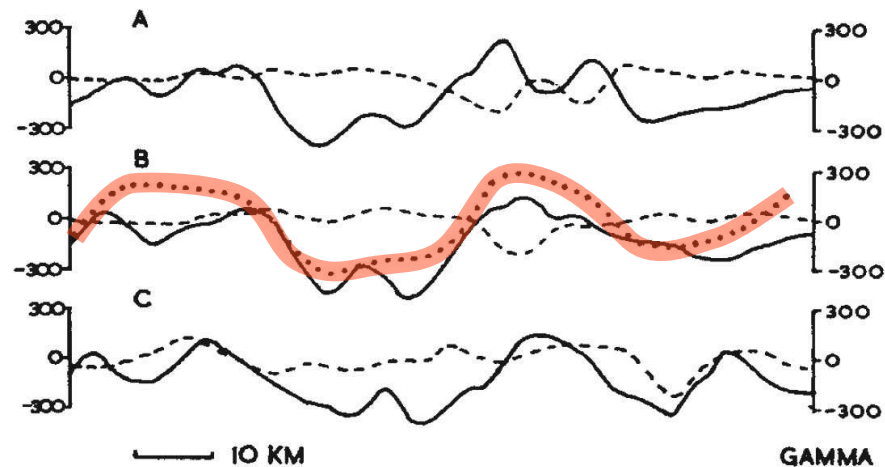
September 7, 1963

NATURE

MAGNETIC ANOMALIES OVER OCEANIC RIDGES

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

Department of Geodesy and Geophysics, University of Cambridge

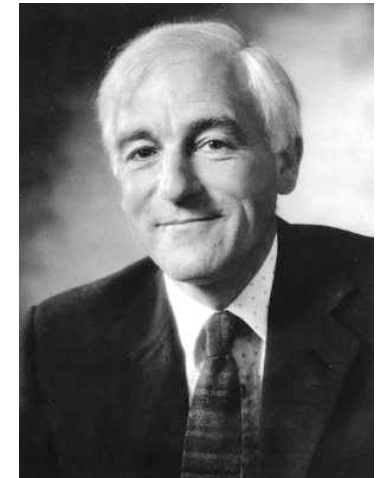


The theory is consistent with, in fact virtually a corollary of, current ideas on ocean floor spreading⁷ and periodic reversals in the Earth's magnetic field⁸.

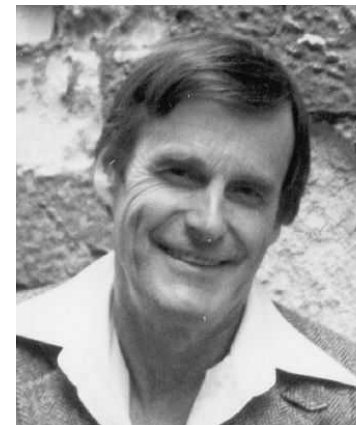
- beobachtet
- - - berechnet - mit konstanter Magnetisierung
- berechnet - mit Annahme von Feldumkehr



Frederick John Vine
(* 1939)



Drummond Hoyle
Matthews
(1931 - 1997)



Lawrence W. Morley
(1920-2013)

Vine - Mathews - Morley
Hypothese

Zweitens: Seafloor Spreading ebenfalls...

16 December 1966, Volume 154, Number 3755

SCIENCE

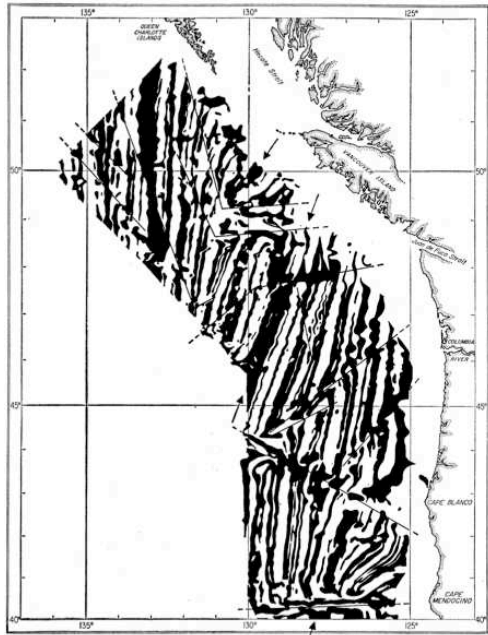
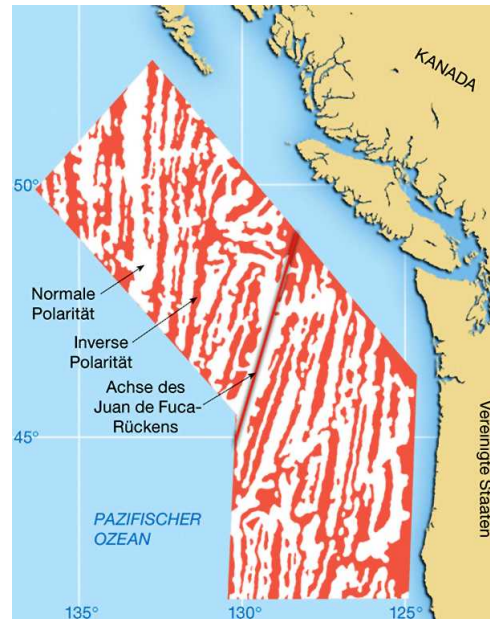


Fig. 1. Summary diagram of total magnetic-field anomalies southwest of Vancouver Island. Areas of positive anomaly are shown in black. Straight lines indicate faults offsetting the anomaly pattern; arrows, the axes of the three short ridge lengths within this area—from north to south, Explorer, Juan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

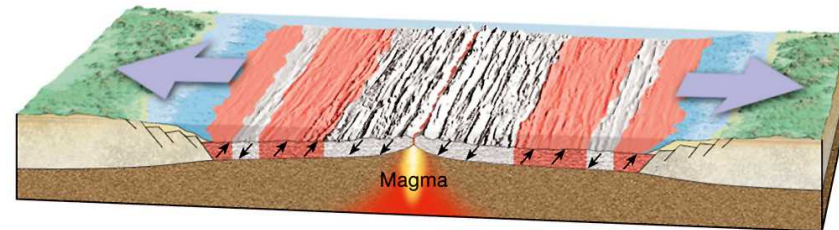
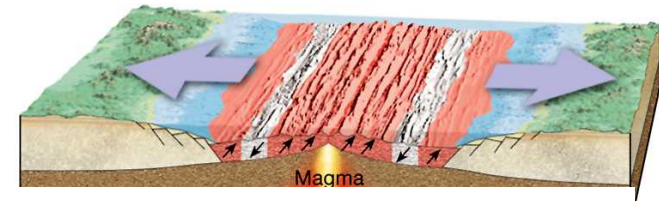
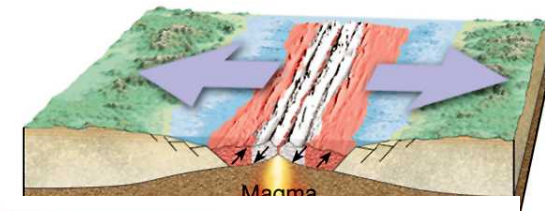
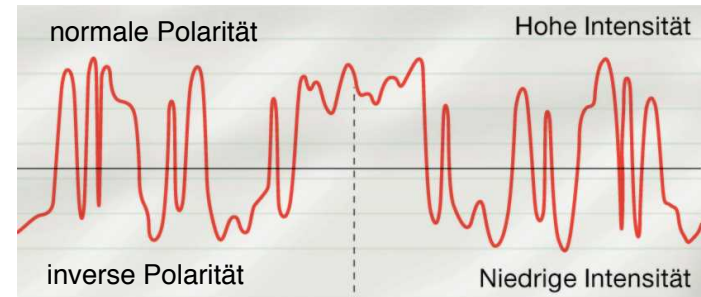


Spreading of the Ocean Floor:

New Evidence

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

$$2 \cdot 10^8 = 200 \text{ Ma} \quad \text{F. J. Vine}$$



⇒ lineare Quelle für Erdoberfläche

Kinematische Feinheiten an Ozeanrücken

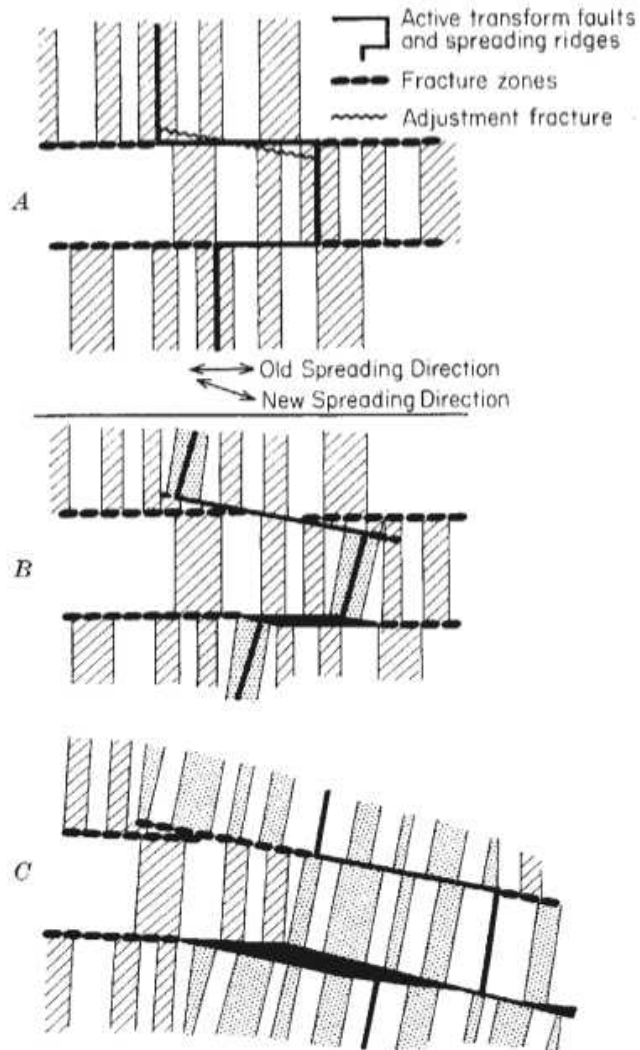
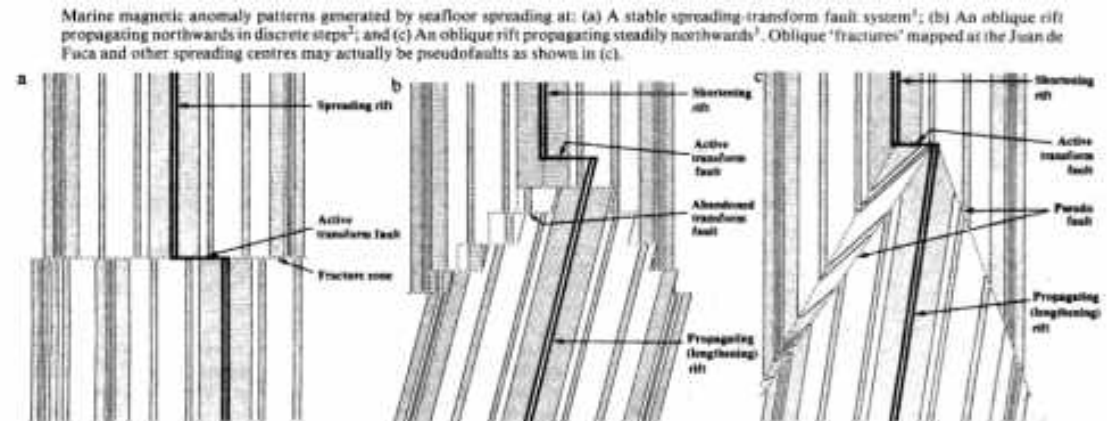


Fig. 4. Proposed modes of adjustment of transform faults to a change in spreading direction. *A*, A rise offset by two transform faults has been spreading in a direction perpendicular to itself. The spreading direction changes as shown. The block corners near the upper transform fault must fracture to adjust. The lower transform fault becomes a centre of slow spreading. *B*, Spreading occurs in the new direction. The ridge centre migrates around. At the upper offset the adjustment fractures take on the new transform fault motion. The lower transform fault opens, creating a zone of mixed spreading and shearing. *C*, Spreading continues in the new direction. The lower offset has become readjusted to pure transform fault motion. Note that the trends of the fracture zones and magnetic anomalies of the first episode are preserved.

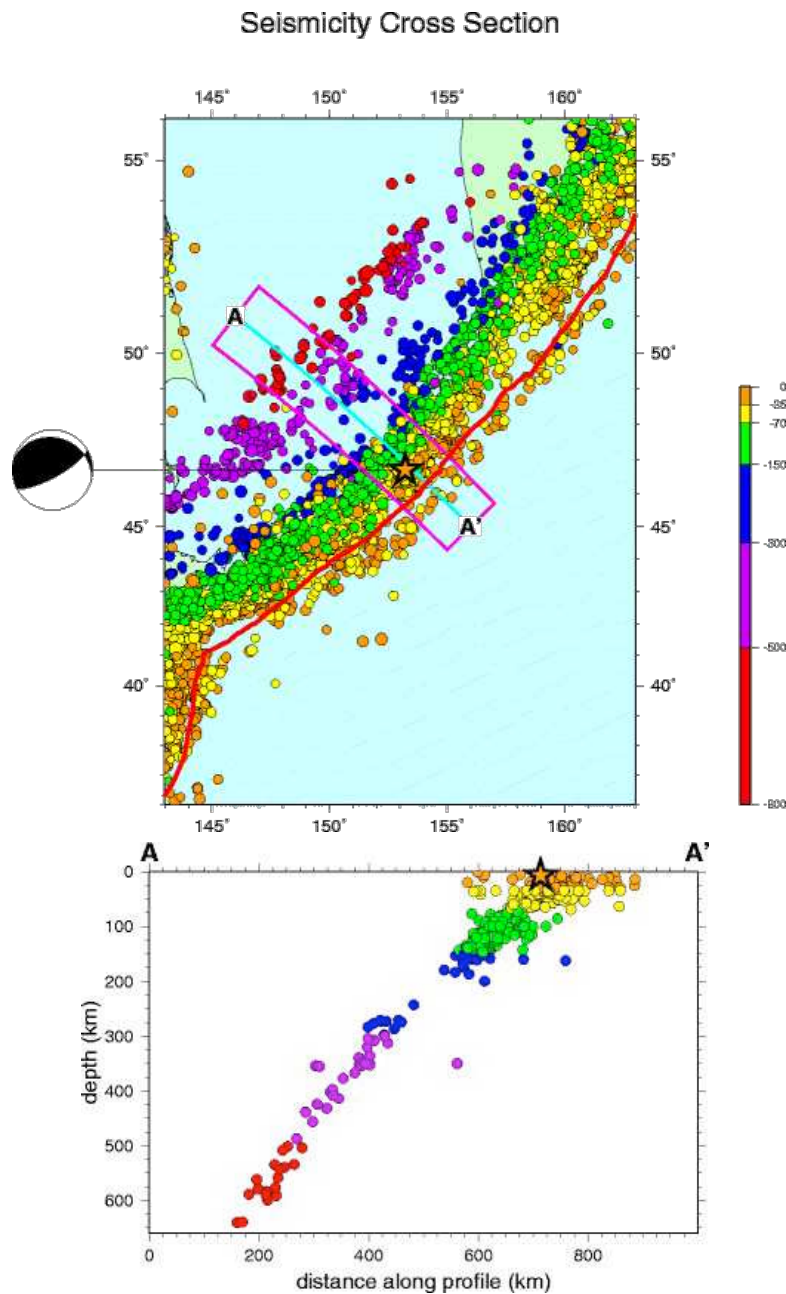


Tanya Atwater * 1942



Seismologie

Wadati-Benioff-Zone



Kiyoo Wadati
(1902 - 1995)



Victor Hugo Benioff
(1899 - 1968)

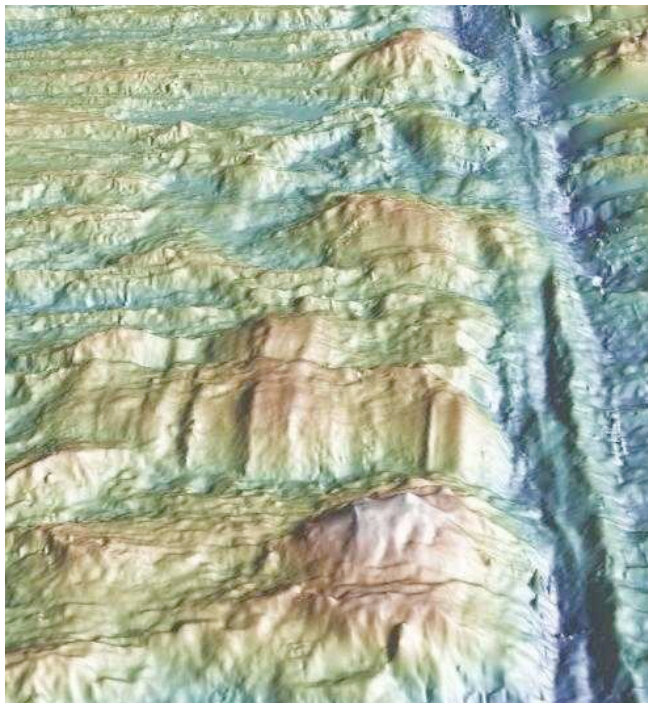
Wadati: deep earthquakes (>300km) are associated with oceanic trenches
Benioff: distribution of epicenters are evidence for fault origin of ocean deeps

⇒ lineare Senke für Erdoberfläche

Topographie der Transformbrüche

Bruchzonen und mittelatlantische Rücken haben erhöhte Ränder

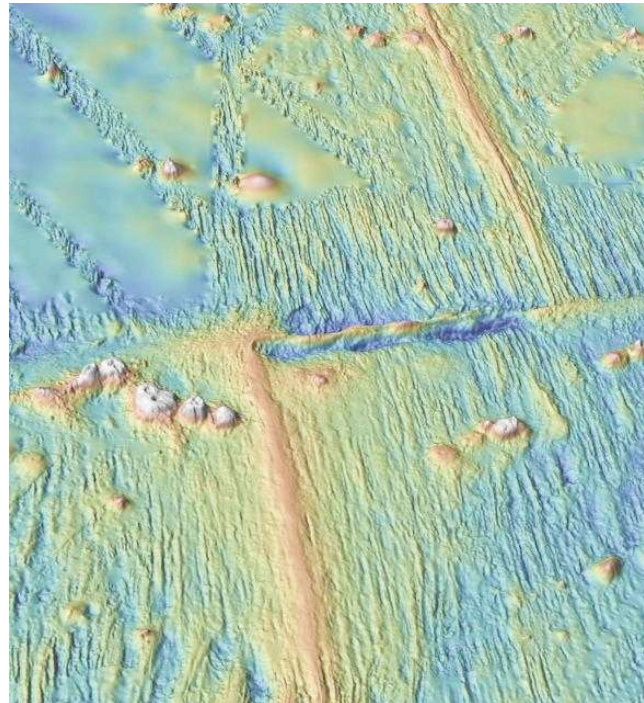
W-E Blickrichtung →
parallel zu Transformbruch



MAR Mid-Atlantic ridge

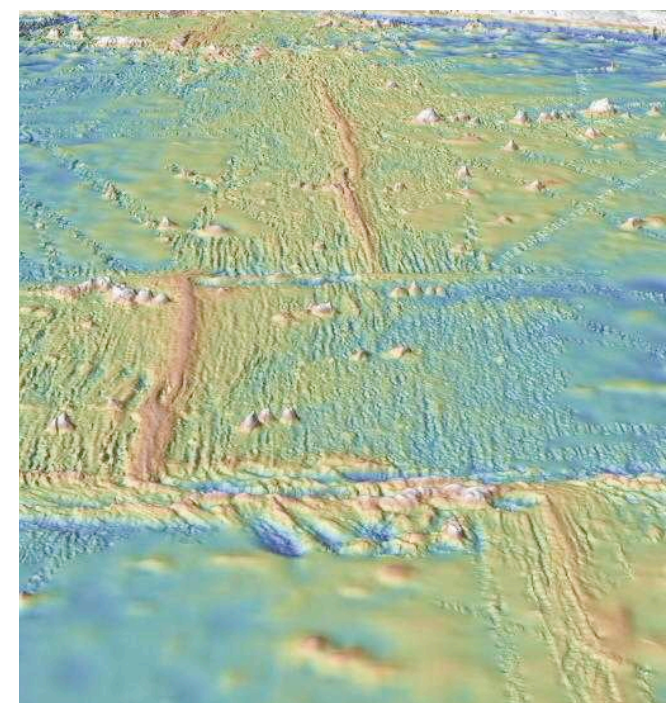
Kane Fracture zone

S-N Blickrichtung ↑
senkrecht auf Transformbruch



EPR East Pacific rise

S-N Blickrichtung ↑
senkrecht auf Transformbruch

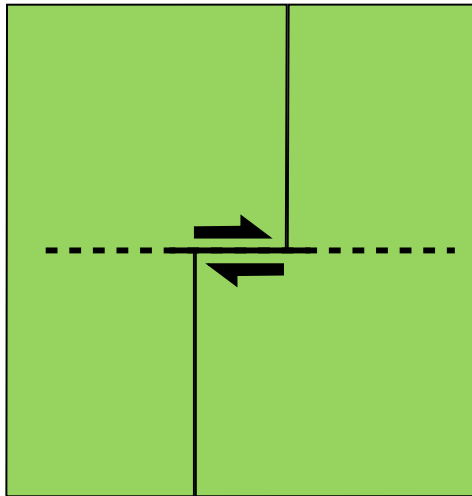


EPR East Pacific rise

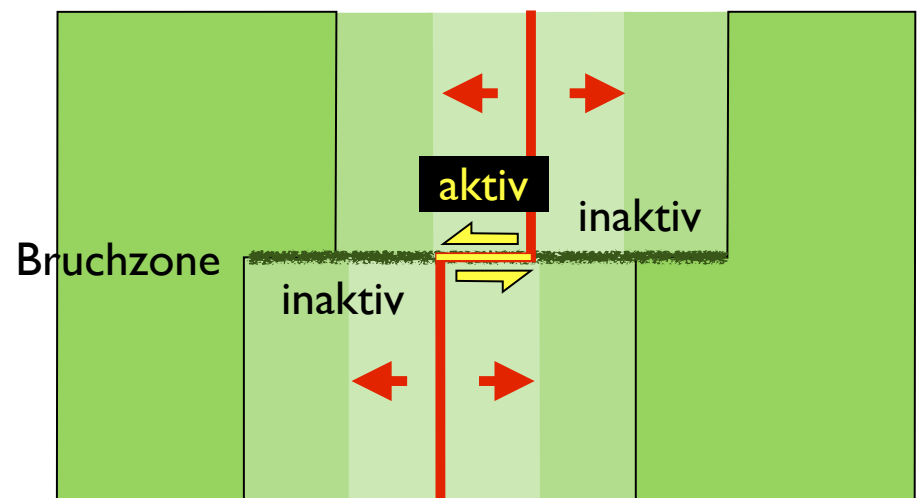
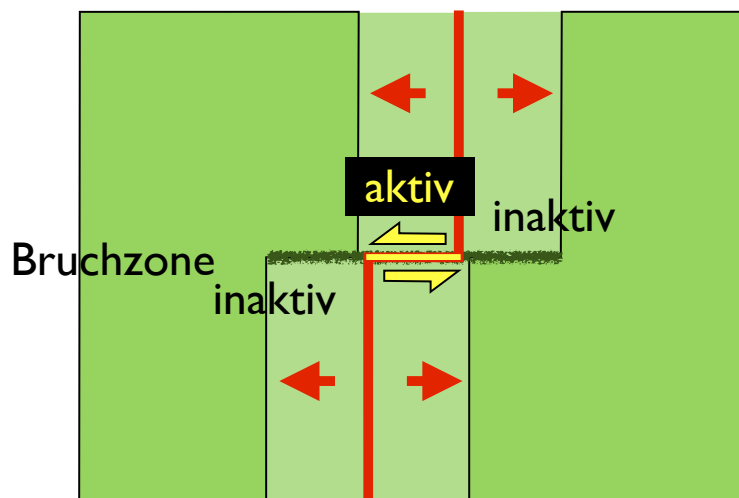
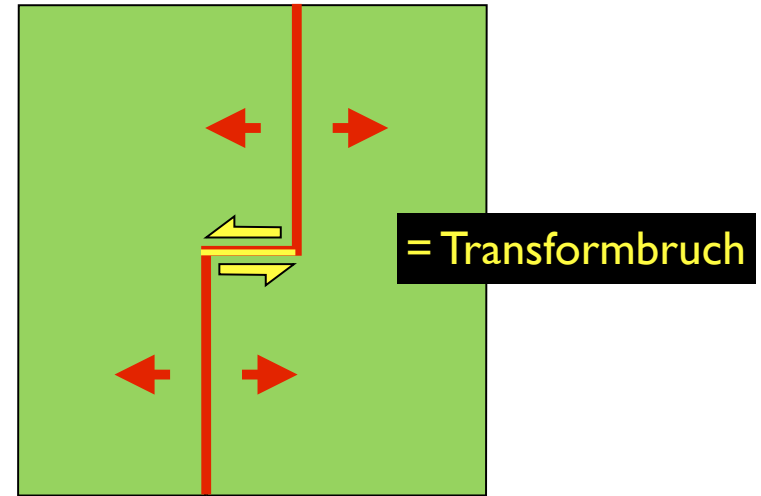
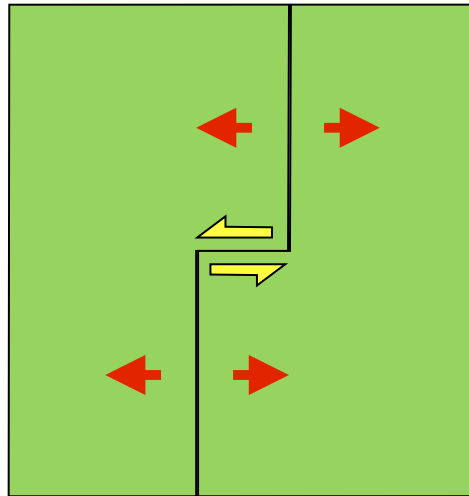
(Google Earth)

Bewegung an Transformstörungen

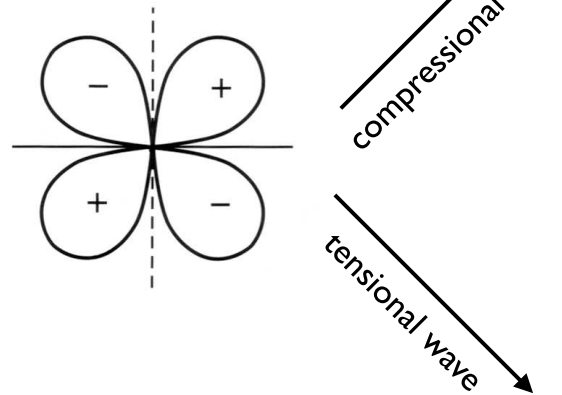
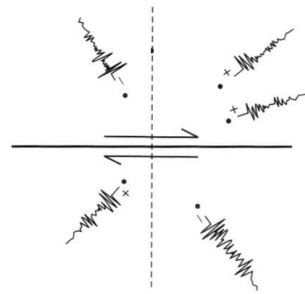
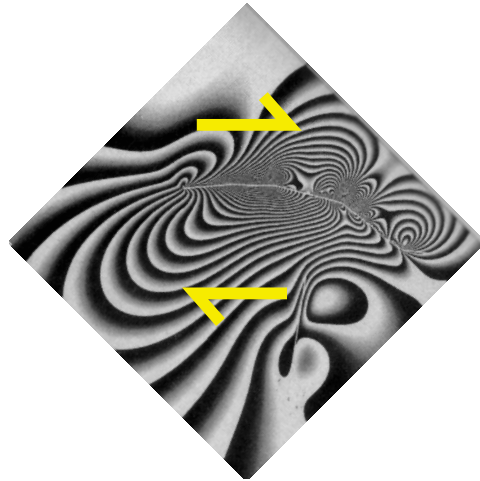
Standardinterpretation:
Versatz = dextral
Bewegungssinn = dextral



durch Seismik:
Bewegungssinn = sinistral
Bruch = Transformbruch

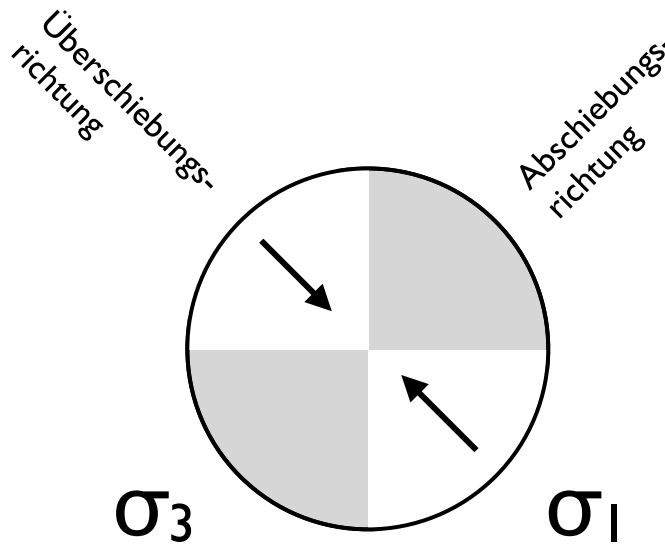
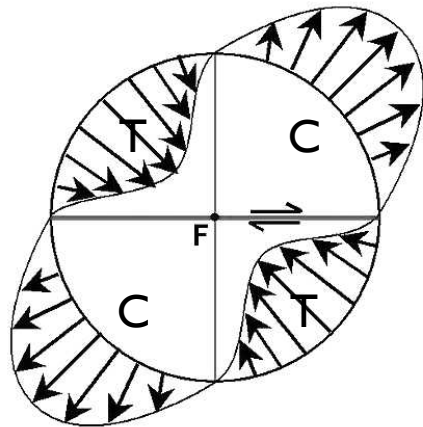


Seismologie



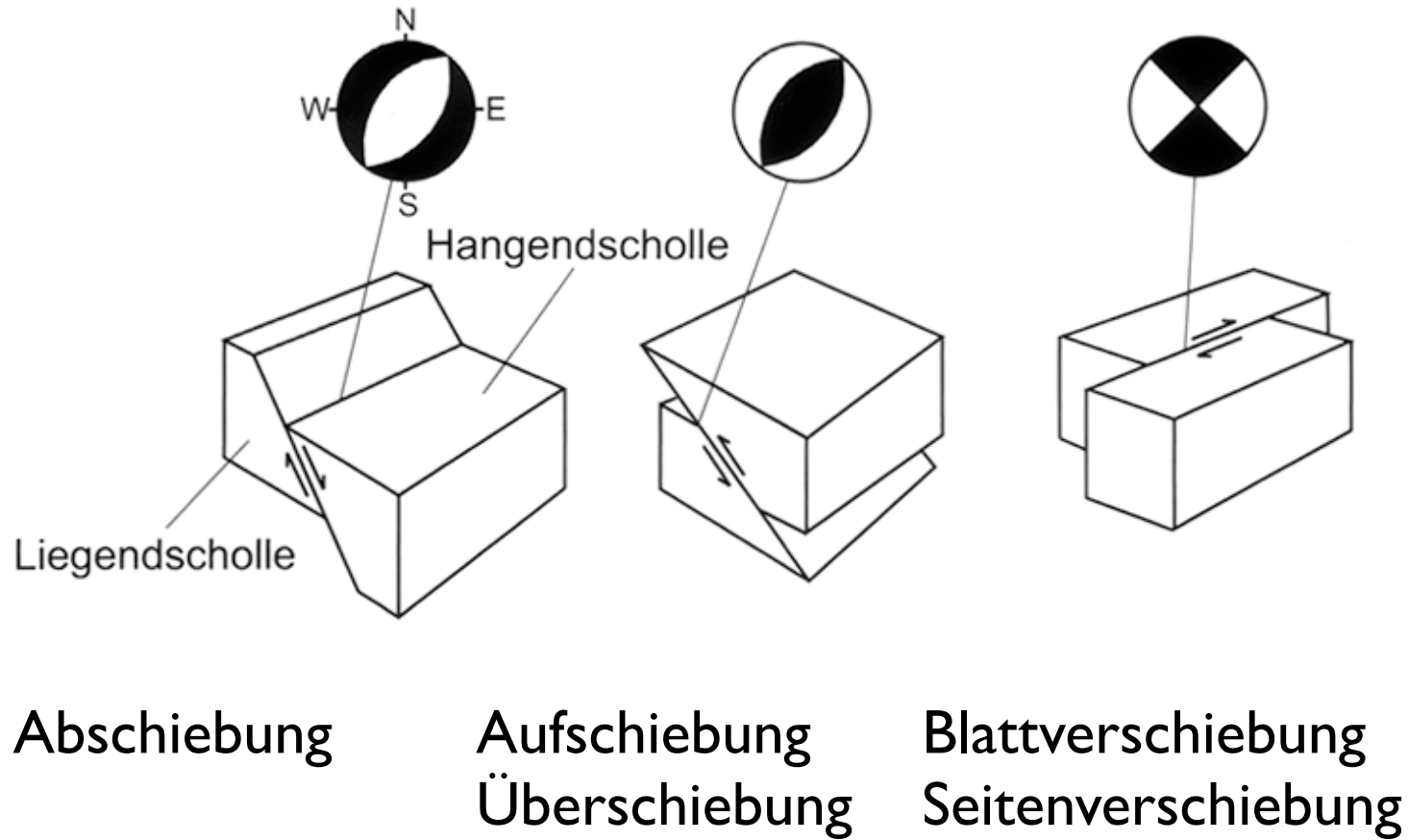
Stationen empfangen kompressiven Erstausschlag

Stationen empfangen tensilen Erstausschlag

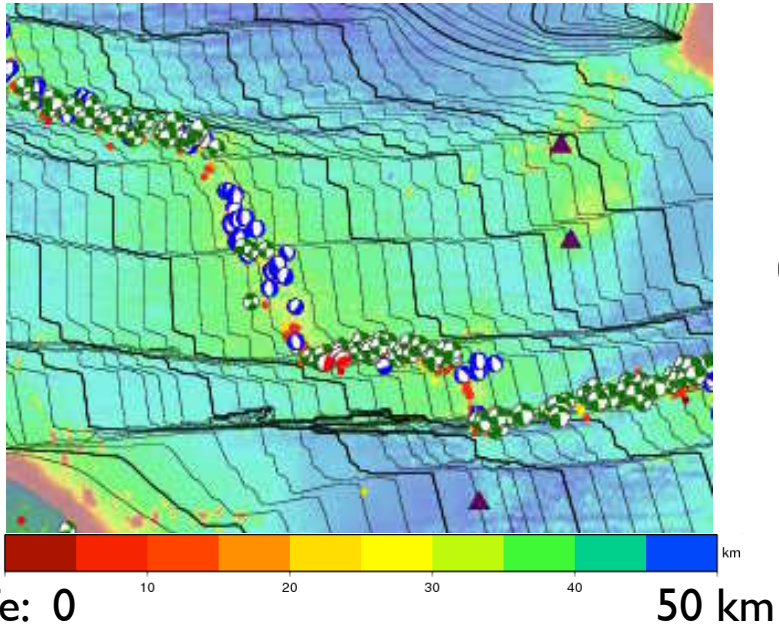


aus allen Stationen zusammengesetzte Interpretation

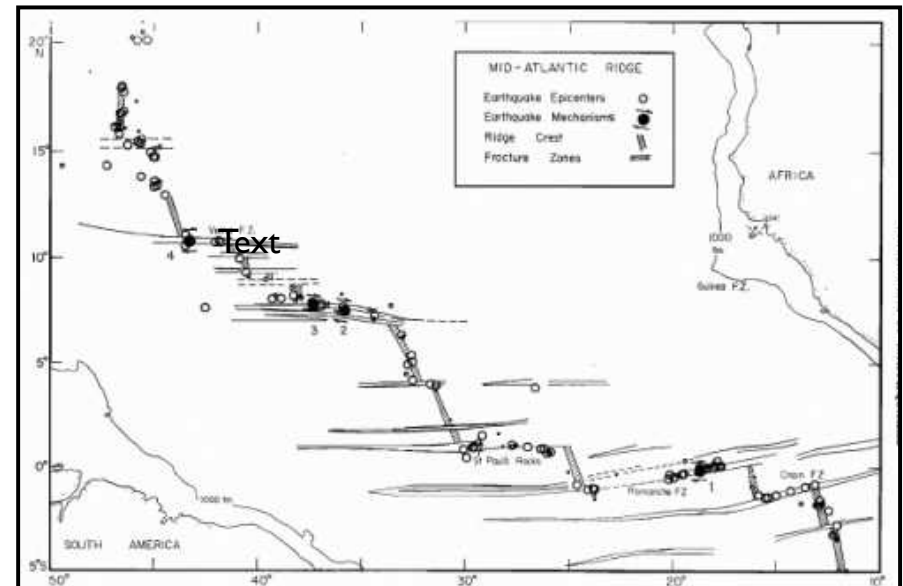
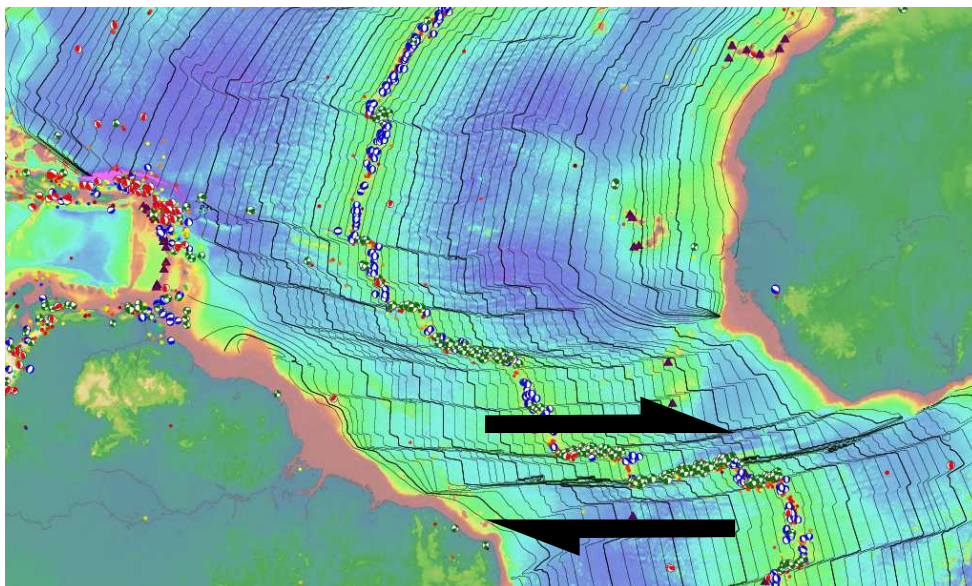
Erdbeben - Herdflächenlösungen



Transform est !



Lynn Ray Sykes
(* 16. April 1937)



Transformbrüche - das letzte Puzzlestein

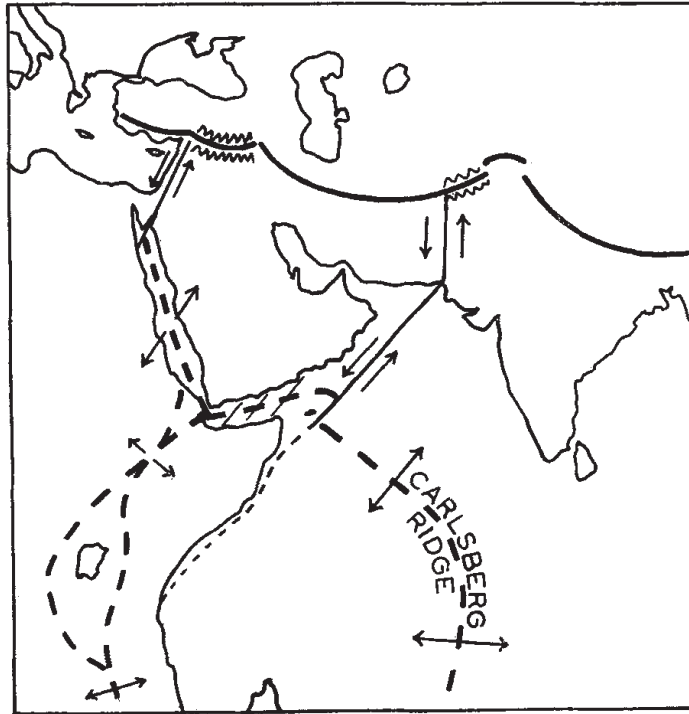


Fig. 8. Sketch illustrating the end of the Carlsberg mid-ocean ridge by a large transform fault (ridge-convex arc type) extending to the Hindu Kush, the end of the rift up the Red Sea by a similar transform fault extending into Turkey and the still younger East African rifts

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

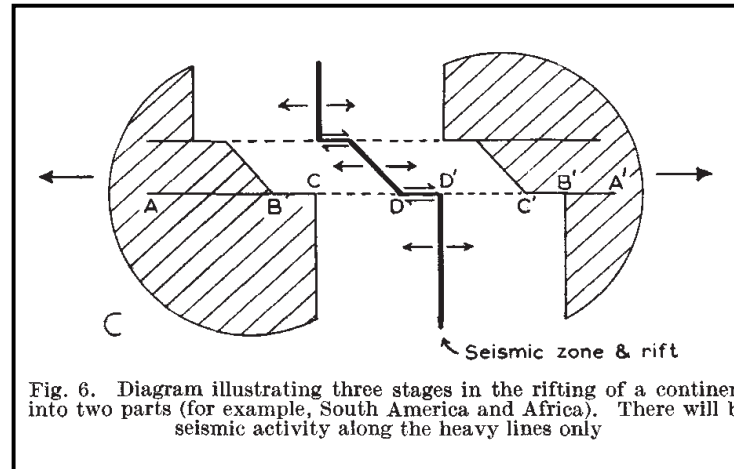
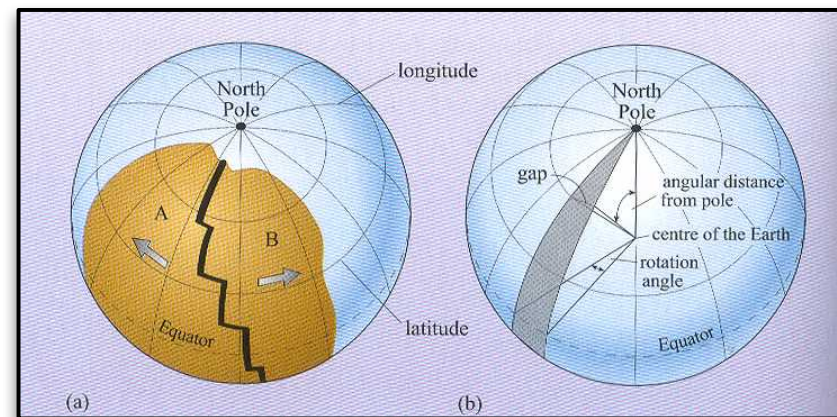


Fig. 6. Diagram illustrating three stages in the rifting of a continent into two parts (for example, South America and Africa). There will be seismic activity along the heavy lines only



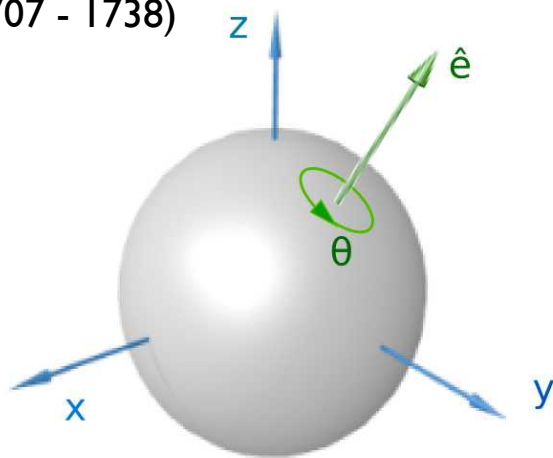
⇒ Verbindung von Quelle und Senke

**Bewegungen
auf der Kugel ...
Euler Rotation**

Steife Platten ?



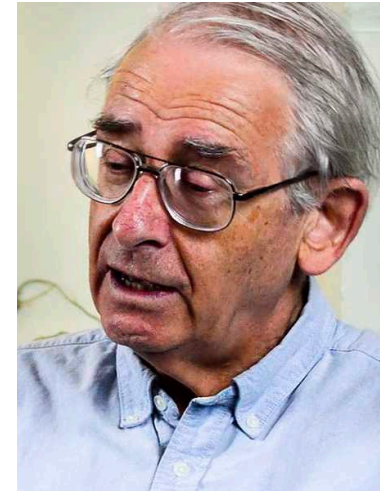
Leonhard Euler
(1707 - 1783)



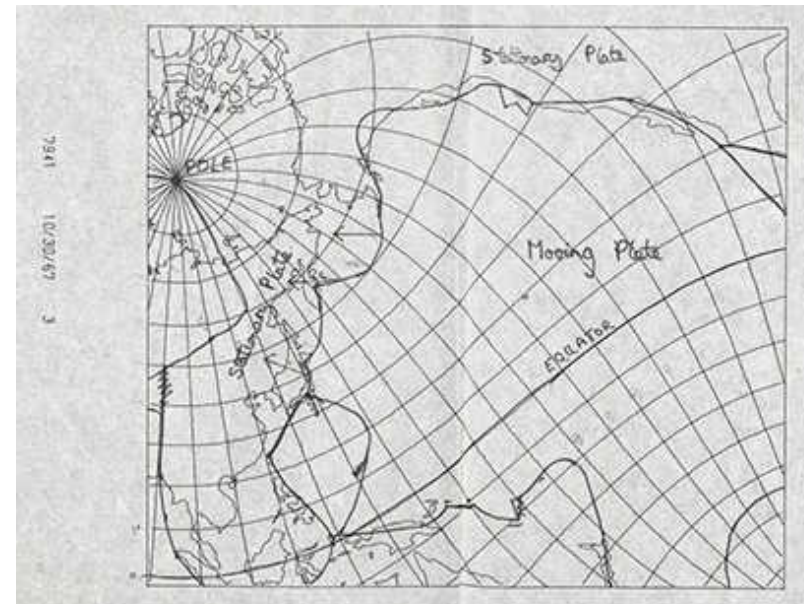
William Jason Morgan
* 1935



Xavier Le Pichon
* 1937

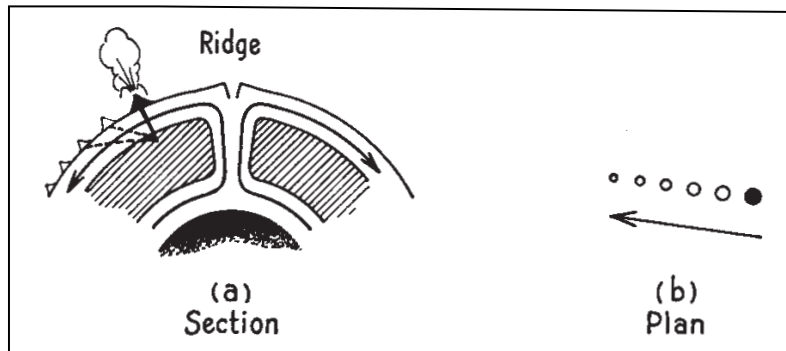


Dan Peter McKenzie
* 1942

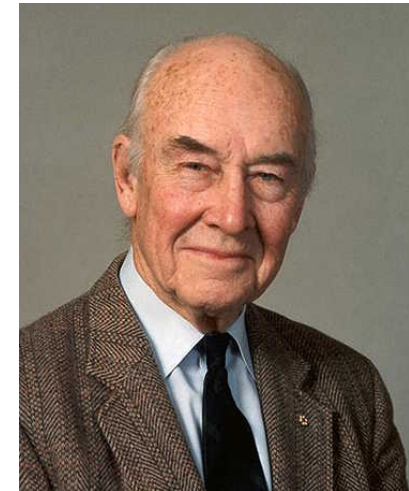


Formulierung des plattentektonischen Konzepts

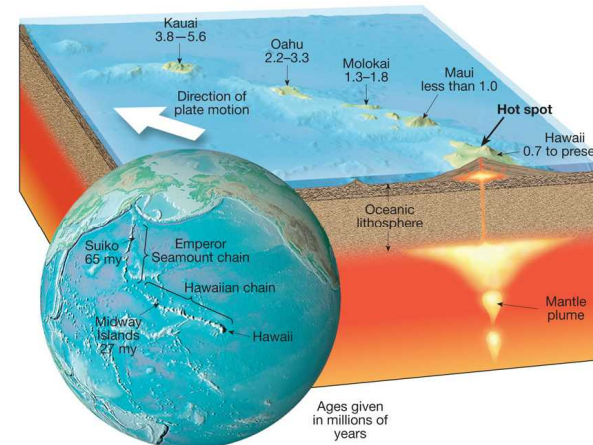
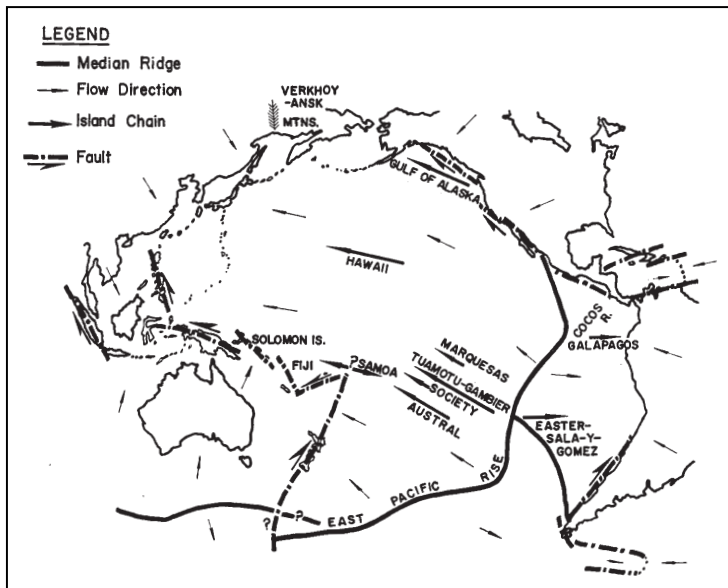
Hotspots - eine heiße Spur



(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)

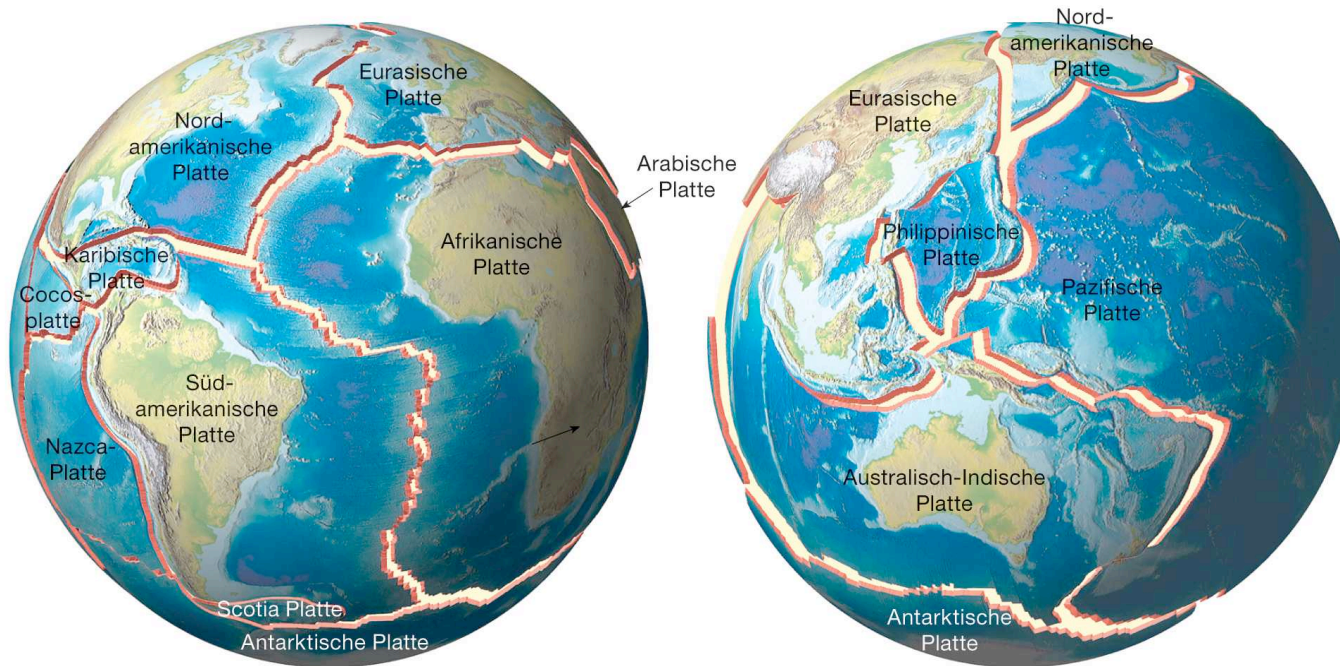


(2) Transformbrüche (1965)

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

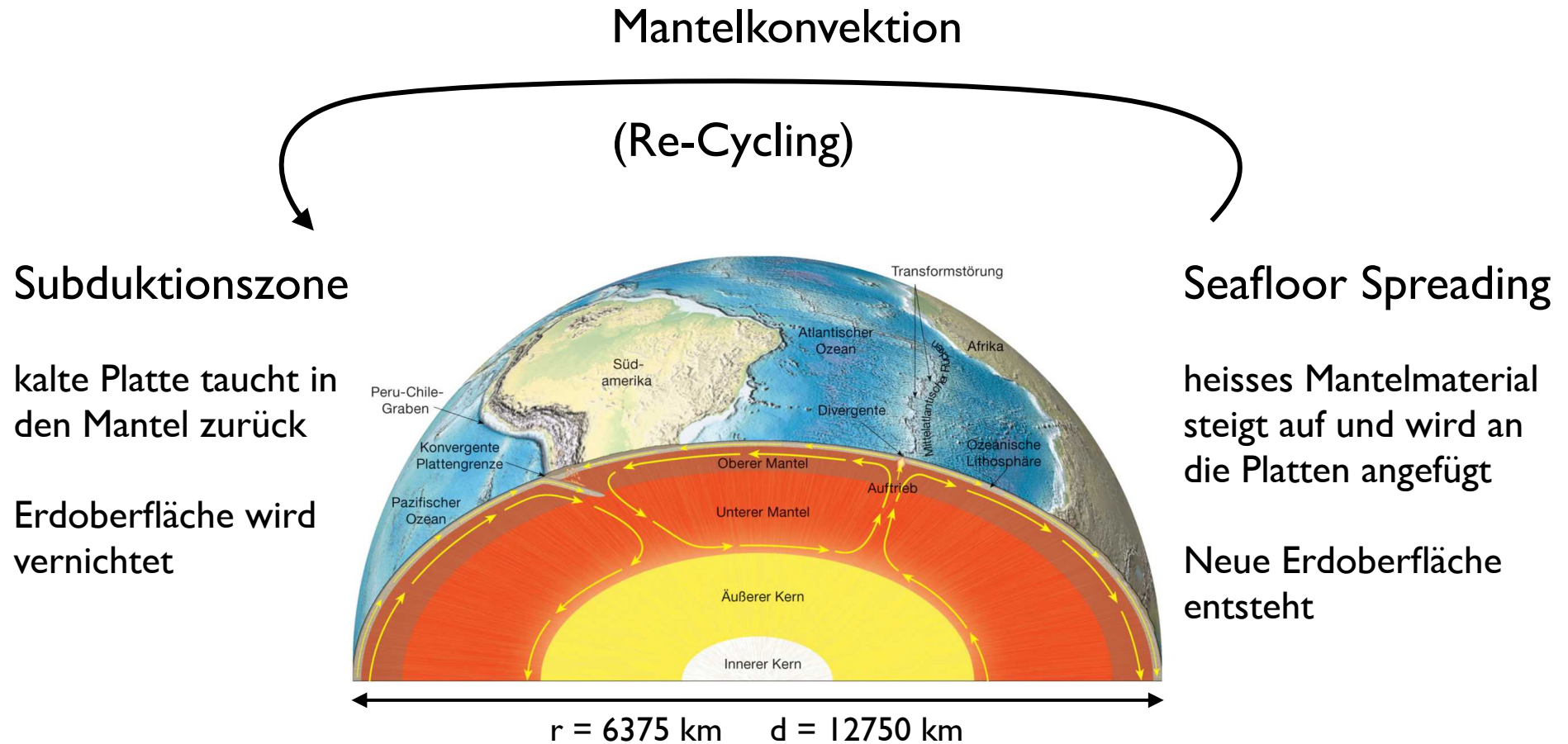
⇒ steife Platten

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.

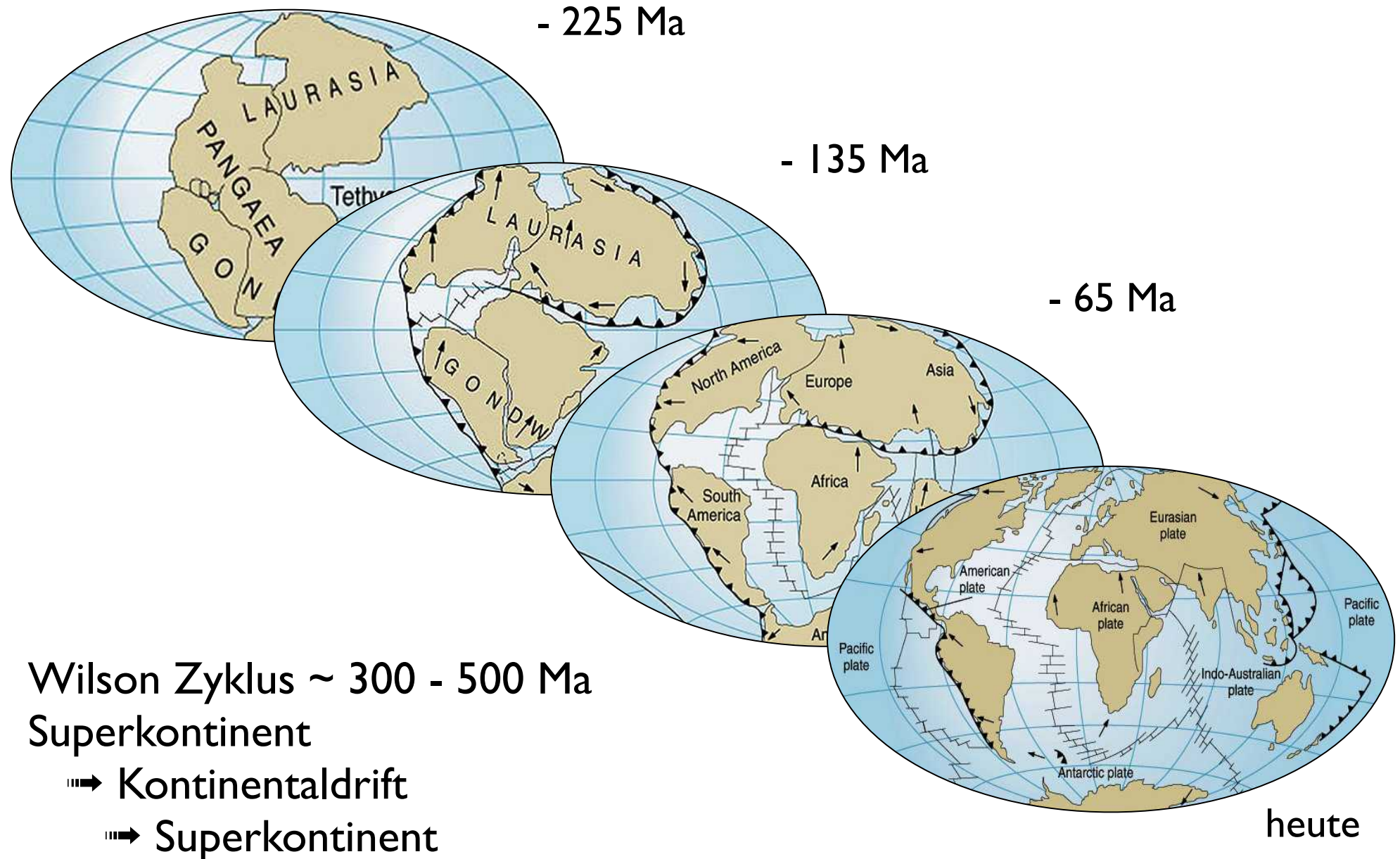
Motor der Plattentektonik



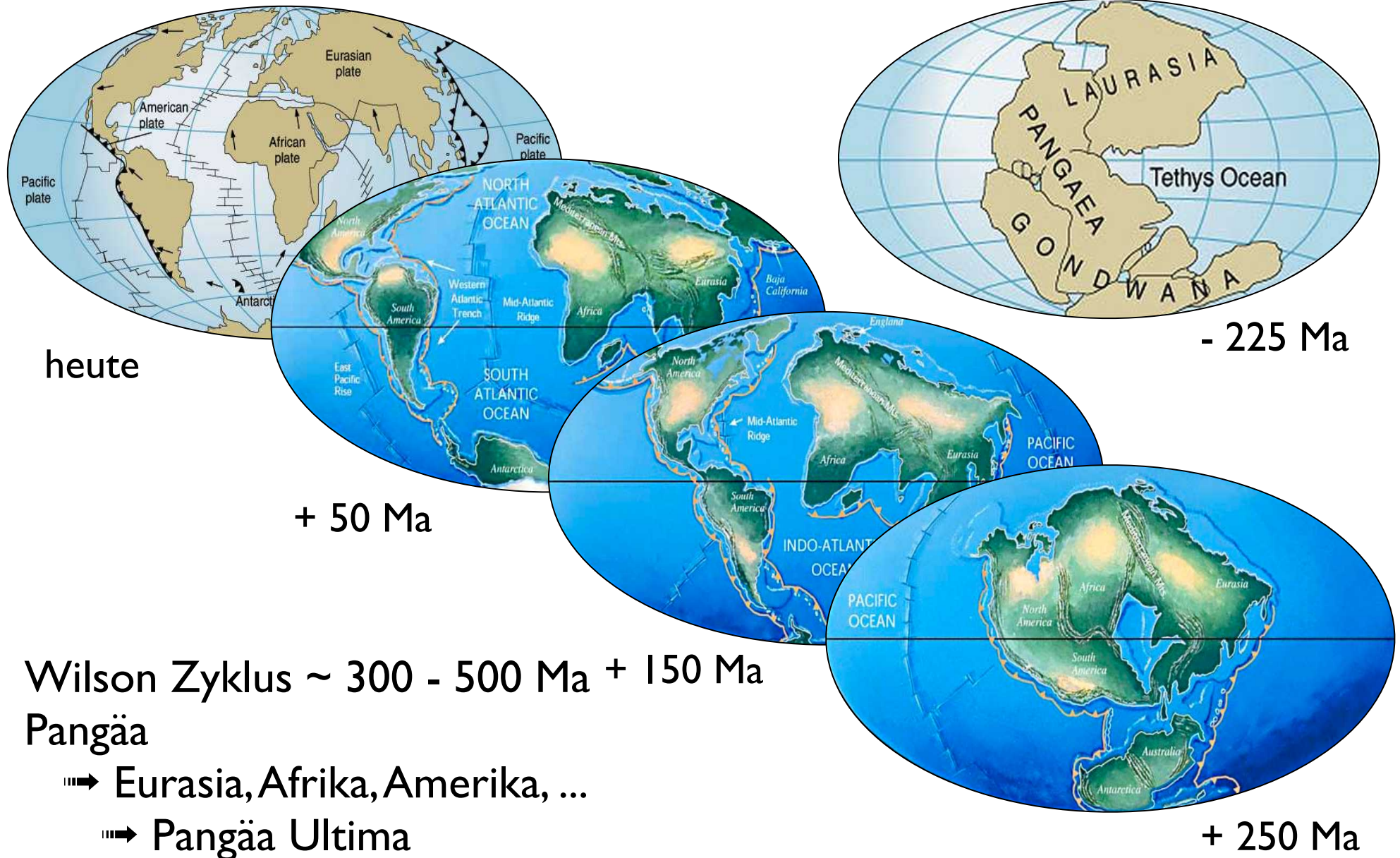
Lithosphärenplatten definiert durch Plattengrenzen:

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

Wilson Zyklus - von Pangäa bis heute



Wilson Zyklus - die nächsten 250 Ma



Wilson Zyklus ~ 300 - 500 Ma + 150 Ma
Pangäa

⇒ Eurasia, Afrika, Amerika, ...

⇒ Pangäa Ultima