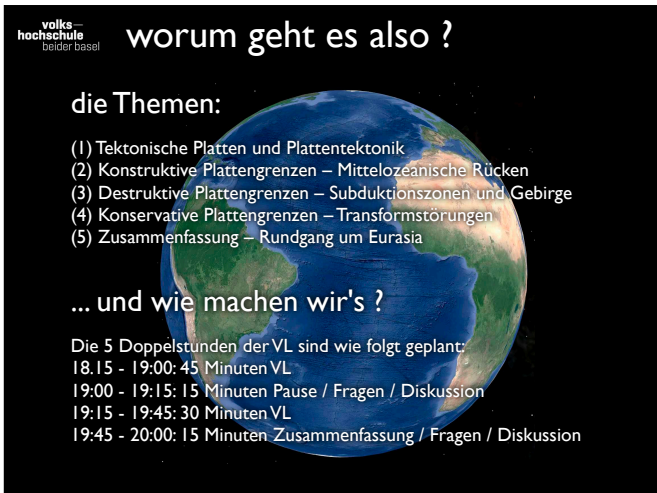




1

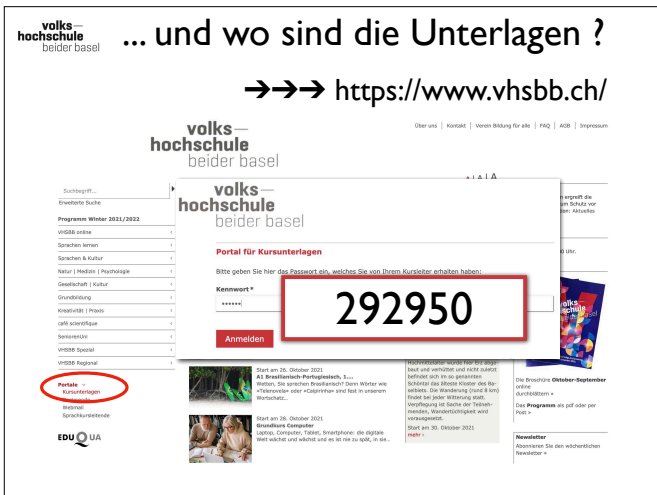
Zum Einstieg in die Vorlesung da ikonische Bild der Plattentektonik: die Westküste Afrikas und die Ostküste Südamerikas, welche genau aufeinander passen, aber durch den dazwischen liegenden atlantischen Ozean Tausende von Kilometern voneinander getrennt sind. Wer käme da nicht auf die Idee zu vermuten, dass die beiden Kontinente einmal einen einzigen Landmasse gebildet hatten, welche - irgendwie, im Lauf der Zeit - auseinander gerissen wurde.



2

Hinweise

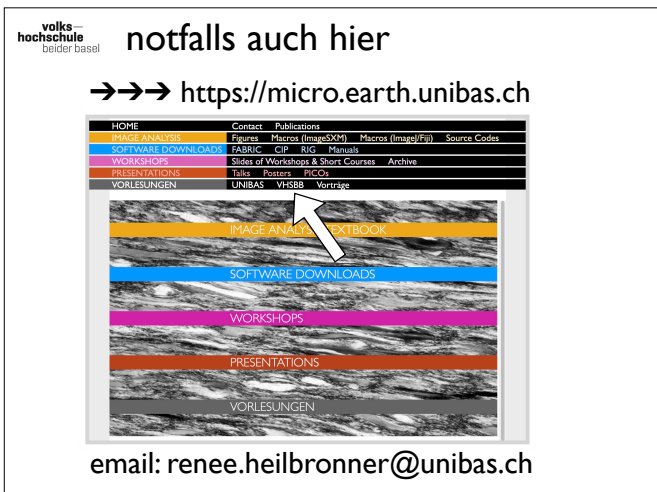
- (1) Sie sind stumm geschaltet - solange Sie die **Leertaste gedrückt halten**, können Sie **reden**.
- (2) **Bitte** schalten Sie Ihr **Video** ein, es ist angenehmer für mich, zu einem sichtbaren Publikum zu sprechen, als zu einem Satz Namensschilder.
- (3) **Gefragt werden kann immer**, wenn ich die Antwort nicht weiss, dann hab' ich sie beim nächsten Mal.



3

Hier finden Sie die Kursunterlagen. Es handelt sich dabei um die Kopie von allen Dias, die ich Ihnen zeige, zusammen mit einem Begleittext (dieser ist gelegentlich nicht sauber ausformuliert, manchmal auch auf englisch, ich hoffe Sie verstehen ihn trotzdem).

Ich gebe mir Mühe, die Kursunterlagen vor der Vorlesung aufzuladen. Das wird erfahrungsgemäss oft recht knapp. Das kommt davon her, dass ich die Unterlagen für jede Vorlesung neu mache, sie sind also taurisch - ... und leider nicht immer ganz druckfehlerfrei. Nach der Vorlesung korrigiere ich die Unterlagen und stelle die korrigierte Version ins Netz. Ich würde also mit dem Ausdrucken bis nach der Vorlesung warten....



4

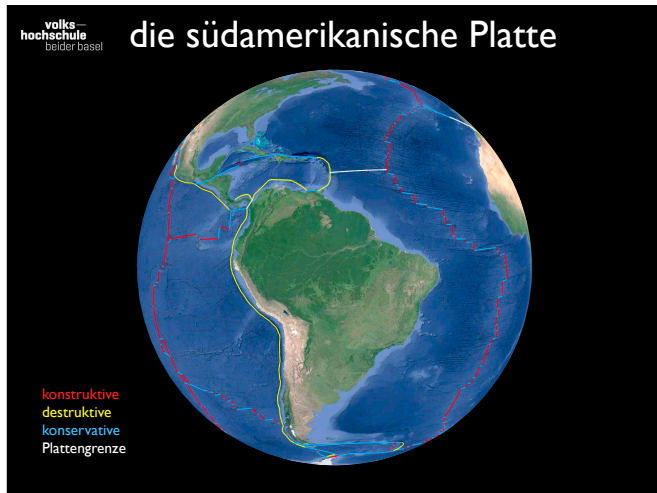
Dieser Kurs hat eine längliche Vorgeschichte. Von 2009 bis 2017 hiess sie "Tatort Plattengrenze", 2019 dann zum ersten Mal "Faszination Plattentektonik". Sie finden die Unterlagen zu all diesen Vorlesungen auf meiner Website bei der Universität Basel (benützen Sie den "VHSBB" Link). Allerdings handelt es sich dabei lediglich um die gezeigten Dias - ohne Begleittext.

Nach Abschluss dieser Vorlesung werden Sie auch diese Unterlagen auf der genannten Website finden. Übrigens finden Sie unter dem "UNIBAS" Link auch die Folien zu verschiedenen Vorlesungen, welche ich an der Universität Basel gehalten habe, unter anderen zu "System Erde I - Teil: Plattentektonik und Geophysik". Allerdings auch hier ohne Text.

tektonische Platten... ... wie sie aussehen

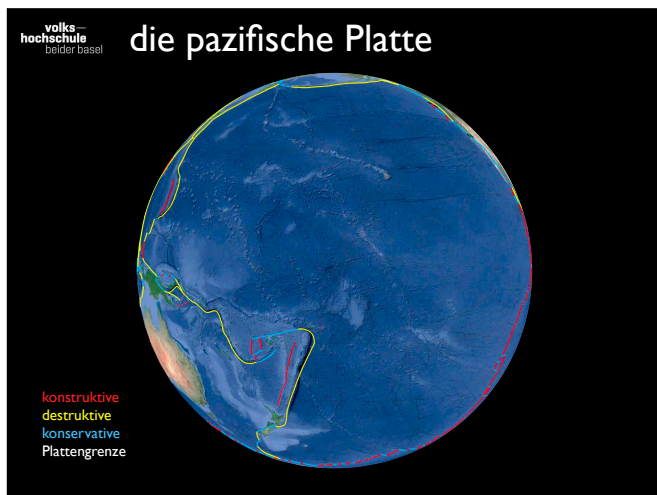
5

Die Hauptdarsteller dieser Vorlesung sind die tektonischen Platten. Wir werfen einen Blick auf den Globus - mit google Earth - und schauen uns ein paar Platten im Detail an. Dabei werden wir auch gleich verschiedenen Plattengrenzen kennenlernen.



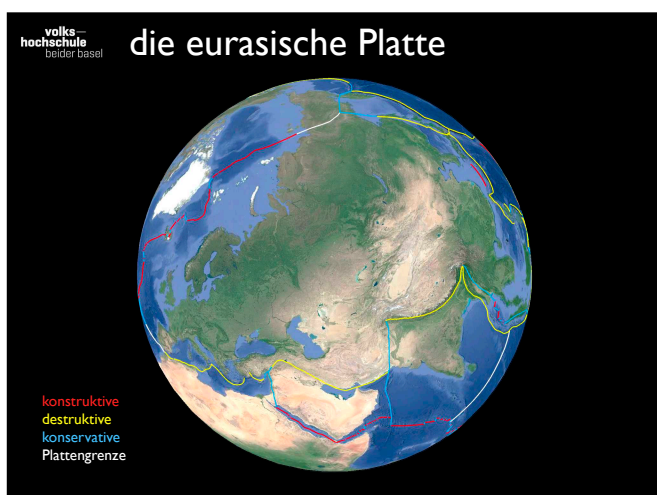
6

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



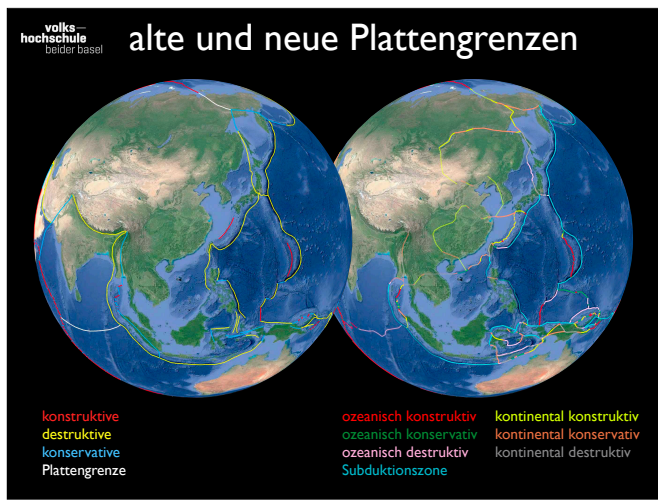
7

Die pazifische Platte besteht ausschliesslich aus ozeanischer Lithosphäre, sie ist die grösste aller Platten und umfasst etwa 20% der gesamten Erdoberfläche. Google Earth Ansicht, 1990
Earths_Tectonic_Plates.kmz



8

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



9

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



10

Karte (Mercator Projektion) des plattentektonischen
Puzzles bestehend aus 15 Platten
7 grosse und 8 kleinere Platten, wie 1990 definiert.

die 15 grössten Platten

1990			2003				
	Fläche (sr)	Fläche (km ²)	Fläche (%)		Fläche (sr)	Fläche (km ²)	Fläche (%)
1	2.5768	104'600'000	20.51	1	2.5769	104'594'960	20.51
2	1.9126	77'610'000	15.22	2	1.4407	58'476'332	11.46
3	1.6928	68'690'000	13.47	3	1.4327	58'152'828	11.40
4	1.4404	58'450'000	11.46	4	1.3656	55'429'624	10.87
5	1.4327	58'130'000	11.40	5	1.1963	48'558'108	9.52
6	1.1329	45'970'000	9.02	6	1.1329	45'986'312	9.02
7	1.0749	43'620'000	8.55	7	1.0305	41'826'216	8.20
8	0.3967	16'100'000	3.16	8	0.4719	19'155'346	3.76
9	0.3064	12'430'000	2.44	9	0.3967	16'101'743	3.16
10	0.1341	5'441'000	1.07	10	0.3064	12'435'632	2.44
11	0.1208	4'902'000	0.96	11	0.2197	8'916'458	1.75
12	0.0730	2'964'000	0.58	12	0.1341	5'442'745	1.07
13	0.0722	2'931'000	0.58	13	0.1307	5'303'521	1.04
14	0.0419	1'700'000	0.33	14	0.1208	4'904'112	0.96
15	0.0063	256'400	0.05	15	0.0748	3'036'962	0.60
Total			~98.8%	Total			~95.7%

Oberfläche der Erde = $4\pi r^2 = 510'100'000 \text{ km}^2$
 $(r = \text{Erdradius} = 6370 \text{ km})$
 Voller Winkel der Erde = $4\pi = 12.567 \text{ sr}$ (Steradian)

11

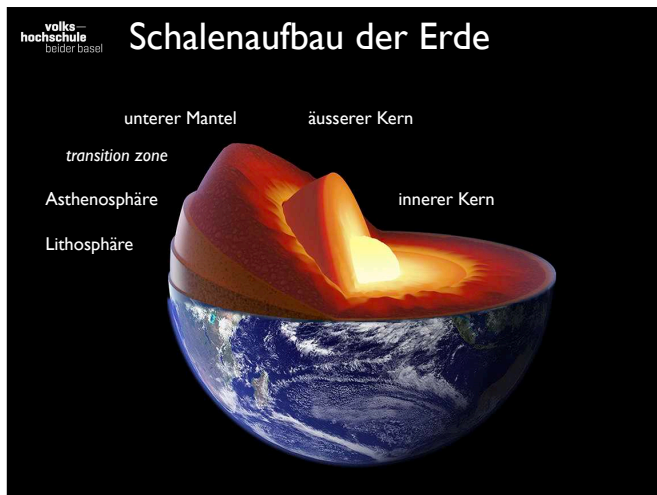
Ranglisten von 1990 und 2003
 Datengrundlage ist eine Liste von 2003 (https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_tektonischen_Platten).
 Die ursprünglich grösseren Platten von 1990 wurden zusammengesetzt:

1. Pazifische (1990) = Pazifische (2003)
2. Afrikanische (1990) = 2 Teilplatten: Afrikanische (=Nubische) Platte, Somaliplatte
3. Eurasische (1990) = 12 Teilplatten: Eurasische Platte, Sundaplatte, Amurplatte, Yangtseplatte, Bandaseeplatte, Anatolische Platte, Bird's-Head-Platte, Burmaplatte, Molukkenseeplatte, Timorplatte, Okinawaplatte, Ägäische Platte
4. N-Amerikanische (1990) = 2 Teilplatten: N-Amerikanische Platte, Ochotskplatte
5. Antarktische (1990) = Antarktische (2003)
6. Australische (1990) = Australische (2003)
7. S-Amerikanische (1990) = 3 Teilplatten: S-Amerikanische Platte, N-Andenplatte, Altiplano-Platte

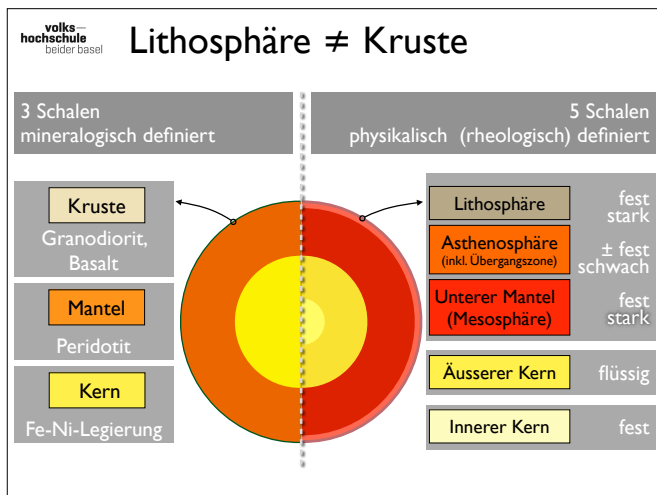
ausgeschieden sind:
 12, 13, 14, 15 Karibische, Cocos, Scotia, Juan de Fuca
 vorgerückt sind die neuen:
 8, 11, 13, 15 Somalia (ex-Afrika), Sunda, Amur, Ochotsk (alle drei ex-Europa)

wie sind Platten definiert ?

12 Als nächstes schauen wir uns an, wie tektonische Platten aufgebaut sind. Dazu müssen wir uns kurz mit dem Aufbau der Erde auseinandersetzen.

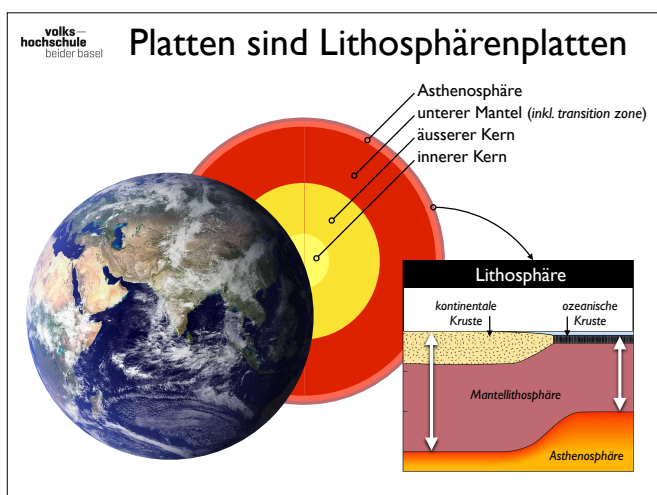


13 Die Erde hat einen schalenförmigen Aufbau. Die äusserste Hülle ist die Lithosphäre. Darunter folgt die Asthenosphäre. Der untere Teil der Lithosphäre und die Asthenosphäre gehören zum oberen Mantel. Es folgt eine Übergangszone, die nicht immer separat ausgeschieden wird, sondern zum unteren Mantel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



14

Tiefe	Radius	Dicke
innerer Kern:	1220 km	5150 km
äusserer Kern	2150 km	2900 km
unterer Mantel:	5970 km	400 km
Asthenosphäre:	6220 km	300-250 km
100-150 km		
Erdoberfläche:	6370 km	100-150 km
0		

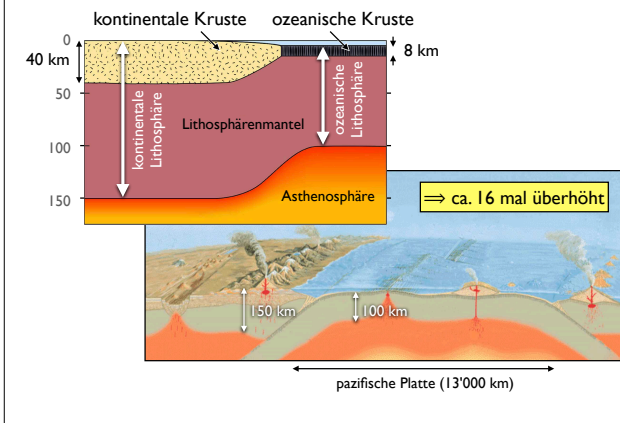


15 Die Lithosphäre besteht aus Kruste und oberem Mantel (auch Lithosphärenmantel genannt). Die kontinentale Kruste ist relativ dick und besteht aus leichten Krustengesteinen, die ozeanische Kruste ist relativ dünn und besteht aus wesentlich dichtem Material. Die unter der Lithosphäre liegende Asthenosphäre besteht ausschliesslich aus Mantelgestein.

Platten sind dünner als man meint

16

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



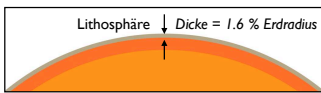
die (hauchdünne) Lithosphäre

17

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

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

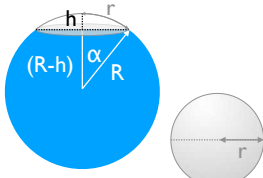
zum Vergleich:
Hühnerei (Grösse S)
Durchmesser = 40 mm
Schalendicke = 0.2 - 0.4 mm
Dicke = 1.0 - 2.0 % Radius



Platten sind nicht platt

18

Tektonische Platten und ihre Bewegungen werden meistens in der Ebene dargestellt. Dabei sind sie stark gewölbt. Zur Veranschaulichung der Wölbung von tektonischen Platten, aber auch der kleinen Schweiz, auf der Erdkugel berechnen wir die Grösse der Eierschalenstücke, welche der Schweiz, bzw. der eurasischen Platte entsprechen. Umfang Erde ~40'000 km (Radius = 6370 km), Umfang Ei (Grösse S) ~14.5 cm (Durchmesser = 4.6 cm) Durchmesser der Schweiz und von Eurasia auf ein Stückchen Eierschale umgerechnet: Schweiz : Umfang Erde = 350 km : 40'000 km => auf dem Ei = 350/40000 · 145 mm = 1.3 mm Eurasia : Umfang Erde = 14'300 : 40'000 => auf dem Ei = 14300/40000 · 145 mm = 52 mm Bezogen auf den Durchmesser des Eis ist die Wölbung der 'Schweiz' sehr klein, bloss 0.02%, die Wölbung von 'Eurasia' beträgt hingegen 28%



$$\alpha = r \cdot (180^\circ/\pi) / R$$

$(0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ)$

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

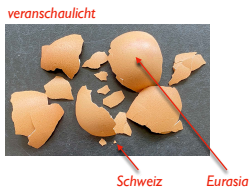
$$R - R \cdot \cos(\alpha) = h$$

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

Wölbung von Eierschalen...
... ich meine Kugelkalotten

h/R = relative Höhe der Wölbung
 $2r$ = Durchmesser auf der Kugeloberfläche
 $2R$ = Durchmesser der Kugel

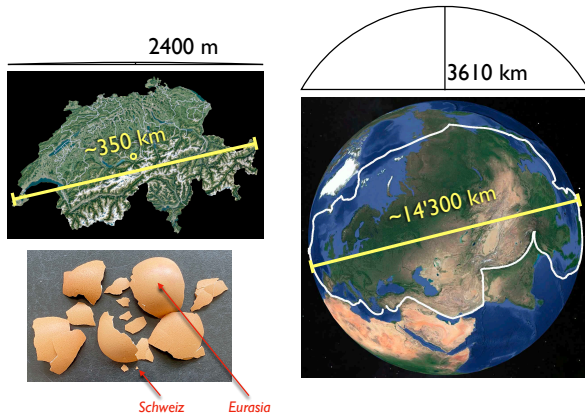
'Schweiz' ($2r \approx 1.3$ mm) $h/2R = 0.02\%$
'Eurasia' ($2r \approx 52$ mm) $h/2R = 28.3\%$



Platten sind Schalen

19

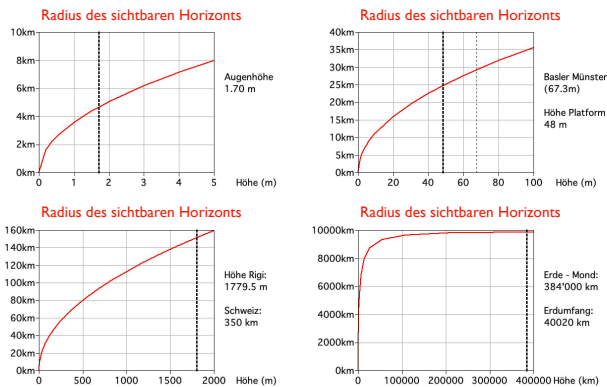
Obwohl die Schweiz nur einen ganz kleinen Winkel bedeckt ($360^\circ \cdot 350/40000 \approx 3^\circ$) hat sie dennoch eine nicht unerhebliche Wölbung. Würde man sie an ihrer breitesten Stelle von West nach Ost schnurgerade verbinden (also nicht der gewölbten Oberfläche entlang), dann läge der Mittelpunkt der Schweiz ca. 2400 m über dieser Verbindungslinie ! Genauer gesagt, der Mittelpunkt der Schweiz, welcher sich auf der Älgi-Alp auf 1645 m befindet, läge sogar gut 4000 m über dieser Ost-West-Verbindung. Und die Rigi - mit ihren knapp 1800m - könnte man bequem unter dieser Wölbung verstauen.



wie weit sieht man eigentlich ...?

20

Dies nur nebenbei:
Es ist ja bekannt, dass man auf dem Meer den Horizont in einer Entfernung wahrnimmt, welche von der Höhe des Standpunkts abhängt. Ein durchschnittlich grosser Mensch sieht den Horizont in knapp 5 km Entfernung, kann also eine Kreis von knapp 10 km Durchmesser überblicken. Vom Basler Münster aus sieht man bereits 25 km, von der Rigi aus etwa 150 km, das heisst also einen Umkreis von 300 km Durchmesser. Vom Mond aus sieht man beinahe die Hälfte der Erdoberfläche. (Auf der Rigi wird einem mitgeteilt, dass man von dort aus alle Kantone sehen kann, ausser zwei. Welche das sind? Genf und Basel Stadt. Spielt die Erdwölbung da eine Rolle?)



... und was sagt die Plattentektonik ?

21

Die Plattentektonik ist einerseits eine Theorie, welche 1968 ausformuliert und seither als neues Paradigma in der geologisch / geophysikalischen Wissenschaft akzeptiert ist. Andererseits meint man damit oft auch einfach die plattentektonischen Prozesse selbst, also die Bewegung und Deformation der Lithosphäre als Folge der Dynamik des Erdmantels.

Theorie der Plattentektonik

22



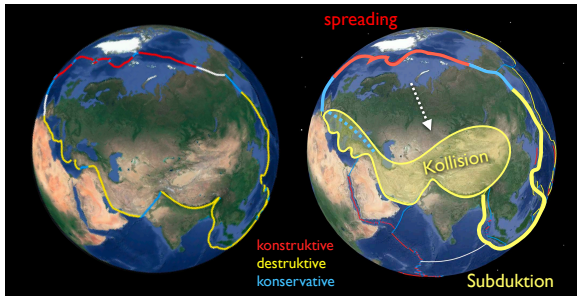
Die tektonischen Platten sind Lithosphärenplatten und bewegen sich über die fließfähige Asthenosphäre hinweg.

An den **konstruktiven** Plattengrenzen wird aufsteigendes Mantelmaterial an die auseinander driftenden Platten angefügt (Seafloor Spreading).

An den **destruktiven** Plattengrenzen wird die Lithosphäre "vernichtet", d.h. gestaucht (Orogenese) oder in den Erdmantel zurück versenkt (Subduktion).

Konservative Plattengrenzen (Transform faults) verbinden die Plattengrenzen, sodass jede Platte vollkommen von ihren Nachbarinnen entkoppelt ist.

Platten bewegen sich



Bewegung an Plattengrenzen



23

Die äusserste Schale der Erde, die Lithosphäre, ist in tektonische Platten unterteilt.

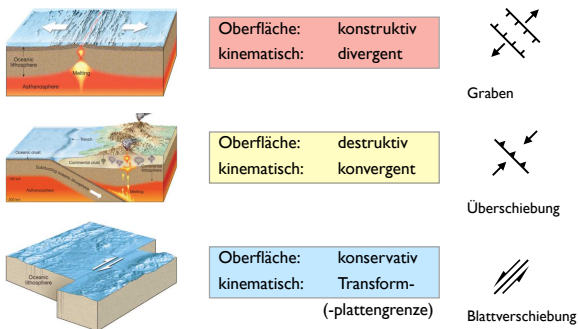
Die Platten bewegen sich \pm steif (ohne sich innerlich zu verformen) über die fließfähige Asthenosphäre hinweg.

An mittelozeanischen Rücken (konstruktive Plattengrenzen) wird aufsteigendes Mantelmaterial an die auseinander driftenden Platten angefügt (Seafloor Spreading)

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

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

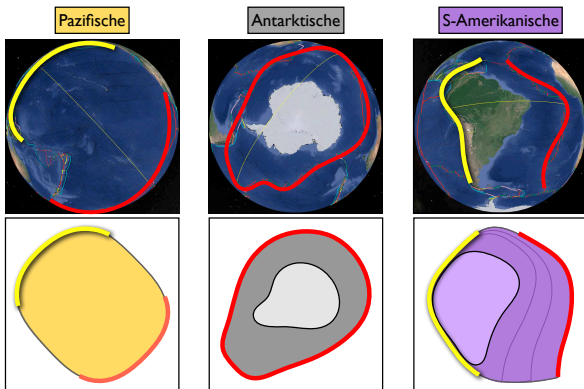
Plattengrenzen: 3 Typen



24

(Platten können ihre Grösse verändern)
konstruktiv/destruktiv/konservative
physikalisch - materialbezogen (Oberfläche)
divergent/konvergent/Transform
kinematisch - bewegungsbezogen (Platte)
distensiv/kompressive/Transform geometrisch -
verformungsbezogen (Kruste)

Sie bewegen sich nicht nur ...

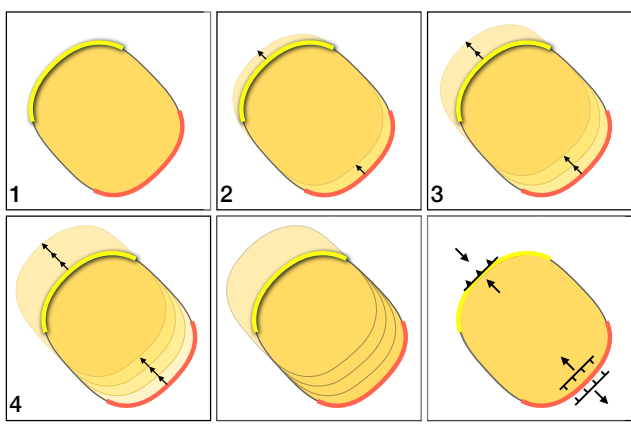


25

Die Platten bewegen sich von den Quellen (mittelozeanische Rücken) weg und auf Senken (Subduktionszonen bzw. Kollisionen mit andern Platten) zu.

Wir wollen die pazifische, die antarktische und die südamerikanische Platte betrachten.

...sie ändern sich auch



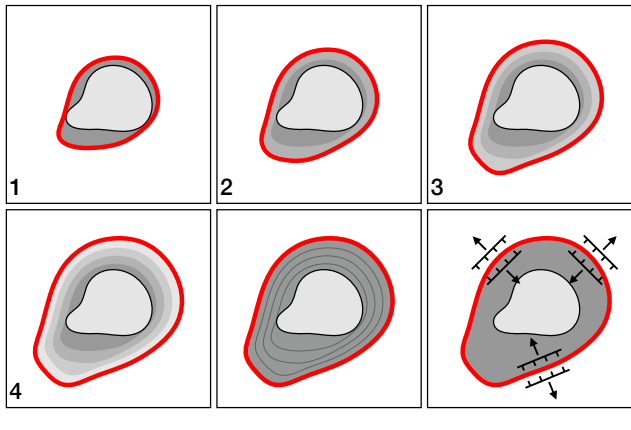
26

Schema der Bewegung der pazifischen Platte. Bewegt sich von Quelle (East Pacific Rise) zur Senke (Aleuten, Japan, etc....). Wenn die Wachstumsgeschwindigkeit und die Versenkungsgeschwindigkeit gleich sind, bleibt die Platte gleich gross.

Platten können wachsen ...

27

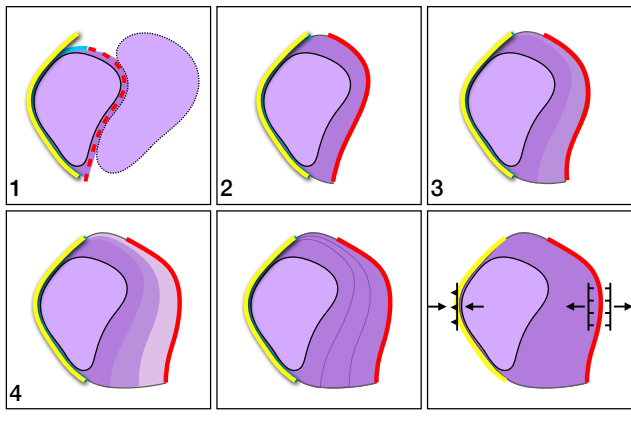
Schema der Bewegung der antarktischen Platte
Die antarktische Platte ist von Quellen umgeben, d.h. sie wächst



... und sich teilen

28

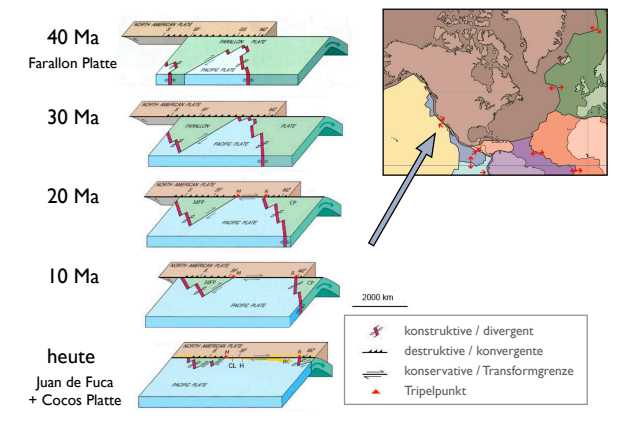
Schema der Bewegung der südamerikanischen Platte
Die südamerikanische Platte entsteht durch das Auseinanderbrechen von Pangäa. Der mittelatlantische Rücken trennt Afrika von Südamerika, dort wächst die Südamerikanische Platte. Auf der Ostseite befindet sich eine Subduktionszone, wo die Nasca Platte untertaucht.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



Platten können verschwinden

29

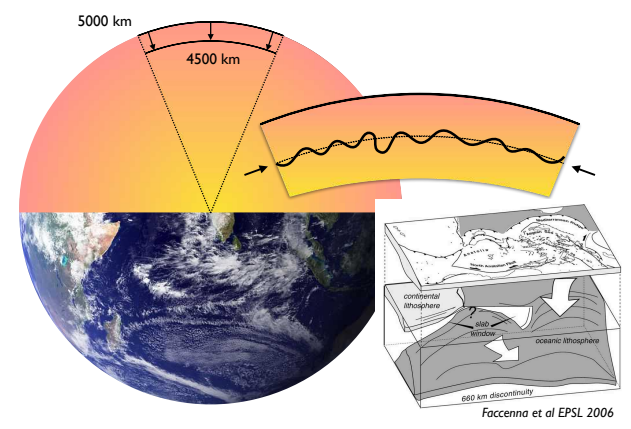
Die Juan de Fuca Platte und die Cocos Platte sind Überreste der Farallonplatte



ganz so einfach geht das nicht

30

Wenn die Platten, der Schwerkraft folgend, ins Erdinnere abtauchen, entsteht ein Platzproblem. Aber nicht nur das. Durch das Eintauchen in immer höhere Temperaturen, kann die Platte auch mechanisch geschwächt werden und abreißen (slab break-off). Inset von Faccenna et al EPSL 2006: Blickrichtung gegen Süden. Ein nicht ganz reibungsloses Abtauchen der afrikanischen Platte unter die Türkei und die Ägäis ist dargestellt.



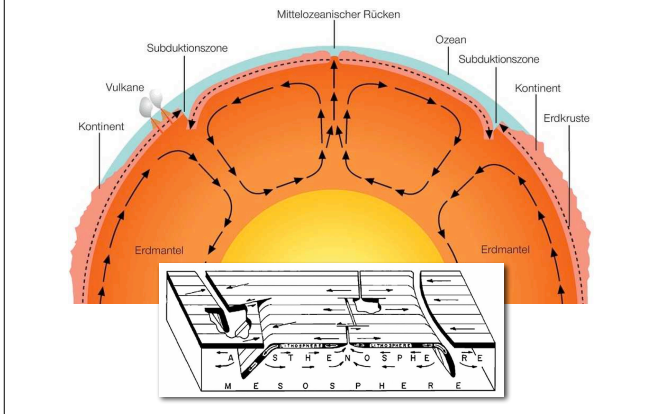
volks-
hochschule
beider basel

was ist der Motor des Ganzen ?

31

Konvektionszellen im Mantel zur abkühlung der Erde.
<https://www.br.de/themen/wissen/plattentektonik-alfred-wegener-kontinentalplatten-100.html>
 ... aber schlechtes video mit etwas unsauberem Erklärungen
 (Bayrischer Rundfunk)
https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l2_p8.html

favored model: subduction causes seafloor spreading



geologische Größenordnungen, Zeiten und Geschwindigkeiten

32

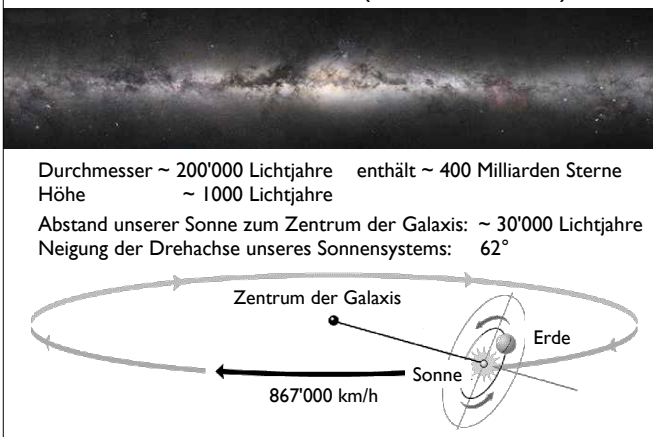
Hier wollen wir - nur kurz - die Plattentektonik etwas genauer anschauen. Genauer im Sinn von quantitativer.
 Was ist unser Platz im Universum, wie gross, wie alt ist unser Sonnensystem?
 Geologische Grössen (Längen, Zeiten, Geschwindigkeiten) sind manchmal sehr gross, manchmal sehr klein und werden am besten in Zehnerpotenzen (wissenschaftliche Notation) angegeben

volks-
hochschule
beider basel

unsere Galaxis (Milchstrasse) ...

33

Unser Sonnensystem liegt nicht flach in der Ebene der Milchstrasse, sondern relativ steil dazu mit einem Winkel von 62° - weshalb wir unsere Galaxie hoch am Himmel als "Milchstrasse" sehen können.
 Der Radius der Sonne = $696'342 \text{ km} \approx 100x$ Erdradius (6370 km)

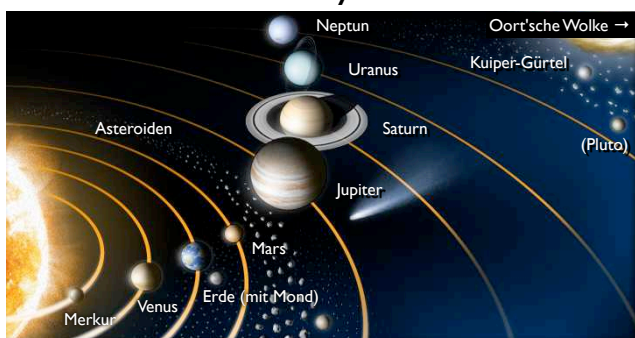


volks-
hochschule
beider basel

unser Sonnensystem

34

Nicht masstäblich - die Umlaufbahnen sind viel grösser - bzw. die Planeten kleiner
 Der Kuiper-gürtel = eine ringförmige, relativ flache Region, ausserhalb Neptunbahn, in ca. 30 bis 50 AE (1 astronomische Einheit = $149\,597\,870\,700 \text{ m}$), nahe der Ekliptik, enthält tausende Objekte, $>70\,000$ Objekte mit $>100 \text{ km}$ Durchmesser.
 Pluto ist ein Zwergplanet und prominentestes Objekt des Kuiper-gürtels. War einmal ein Planet - ist aber 2007 "abgestiegen"
 Die Oort'sche Wolke (Zirkumsolare Kometenwolke oder Öpik-Oort-Wolke) = hypothetische, bisher nicht nachgewiesene Ansammlung astronomischer Objekte im äussersten Bereich unseres Sonnensystems.



Durchmesser der Sonne $\sim 1'400'000 \text{ km}$
 Durchmesser der Erde $\sim 12'700 \text{ km}$ Durchmesser des Mondes $\sim 3500 \text{ km}$
 Abstand Erde - Sonne $\sim 150'000'000 \text{ km}$ Abstand Erde - Mond $\sim 384'000 \text{ km}$

die ganz grossen Dimensionen

Strecken

Kilometer → Lichtjahr → Parsec
 1 km = 10³ m → 1 Lj ≈ 9.5 · 10¹⁵ m → 1 pc ≈ 3.1 · 10¹⁶ m

Durchmesser der Erde ≈ 12'700 km ≈ 1.27 · 10⁶ m
 Durchmesser der Galaxis ≈ 200'000 Lj ≈ 2 Zm

Zeiten

Jahr → Millionen Jahre → Billionen Jahre
 1 a → Ma = 10⁶ a → Ga = 10⁹ a

Beginn der Alpenfaltung ≈ 120 Ma
 Entstehung der Erde ≈ 4.6 Ga
 Alter des Universums ≈ 13.8 Ga

Kilo (k) - Mega (M) - Giga (G) - Tera (T) - Peta (P) - Exa (E) - Zetta (Z)
 10³ - 10⁶ - 10⁹ - 10¹² - 10¹⁵ - 10¹⁸ - 10²¹

35

SI Einheiten (Système international d'unités)

Konstanten, welche SI-Einheiten definieren

Δν_{Cs} Strahlung des Caesium-Atoms = 9 192 631 770 Hz (seit 1967)

c Lichtgeschwindigkeit = 299 792 458 m/s (seit 1983)

Dimension	Symbol	Einheit	Abkürzung
Länge	m	l (L)	Meter
Zeit	s	s (S)	Sekunde

Galaxis I: 10¹⁷ (= 1: 100'000'000'000'000'000)

36

Durchmesser (km) Milchstrasse 170'000-200'000 LJ = 1.6-1.9 · 10¹⁸ km

Dicke (km) Milchstrasse (± bulge) = 15'000 / 1'000 LJ = 1.4 · 10¹⁷ / 1 · 10¹⁶ km

Durchmesser (km) Sonnensystem (incl. Kuipergürtel) = 14 · 10⁹ km

Durchmesser (km) Sonne = 1.393 · 10⁶ km

Durchmesser (km) Erde = 12'740 km

Milchstrasse enthält 100-400 · 10⁹ Sterne (viel Zwischenraum)

Durchmesser Sonnensystem : Sonne = 10'000 : 1

Durchmesser Sonne : Erde = 100 : 1

Lichtjahr = 9.461 · 10¹² km (Erde Sonne 150 Mio km ≈ 8 Lichtminuten)

Hexagonale Einheitszelle von Eis = 4.5181 Å (a-Achse), 7.3560 Å (c-Achse)

Galaxis
 d = 2 · 10¹⁸ km
 h = 10¹⁶ km
 400 Mrd Sterne

Schneegestöber (sehr verdünnt...)
 20 km
 100m (Volumen = 31.4 km³ = 31.4 · 10⁹ m³)
 400 Mrd Flocken (Dichte ~13/m³)

Sonnensystem (inkl. Kuiper-Gürtel)
 d = 14 Mrd km

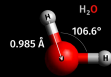
Schneeflocke (winzig)
 d = 0.14 mm

Sonne
 d = 1.4 Mio km

winziger Eiskristall (unsichtbar)
 d = 14 nm = 0.014 µm

Erde
 d = 13'000 km

ein Wassermolekül
 d = 0.13 nm (= 1.3 Å)



SI Einheiten

37

SI Einheiten (Système international d'unités)

Konstanten, welche SI-Einheiten definieren

Δν_{Cs} Strahlung des Caesium-Atoms = 9 192 631 770 Hz (seit 1967)

c Lichtgeschwindigkeit = 299 792 458 m/s (seit 1983)

Dimension	Symbol	Einheit	Abkürzung
Länge	m	l (L)	Meter
Zeit	s	s (S)	Sekunde

Strecken

Meter → Millimeter → Mikrometer → Nanometer
 1 m → 1 mm = 10⁻³ m → 1 µm = 10⁻⁶ m → 1 nm = 10⁻⁹ m

Durchmesser von Sandkörnern 0.063-2 mm
 Wellenlänge von sichtbarem Licht 400-700 nm
 Kristallgitter von Quarz a: 4.9 Å (0.49 nm), c: 5.4 Å (0.54 nm)

Milli (m) - Mikro (µ) - Nano (n) - Pico (p) - Femto (f) - Atto (a) - Zepto (z)
 10⁻³ - 10⁻⁶ - 10⁻⁹ - 10⁻¹² - 10⁻¹⁵ - 10⁻¹⁸ - 10⁻²¹

Zeiten

Sekunde → Stunde → Tag → Jahr
 1 s → 1 h = 3600 s → 1 d = 24 h → 1 a = 365.25 d
 1 s → 1 h = 3.6 · 10³ s → 1 d = 8.64 · 10⁴ s → 1 a ≈ 3.1 · 10⁷ s ≈ 31 Ms

geologische Geschwindigkeiten

38

Mit Plattengeschwindigkeiten vergleichbar:

Fingernägel wachsen mit ca. 3 mm/Monat (3.6 cm / Jahr) = ca. 1 · 10⁻⁹ m/s = 1 nm/s

Harre wachsen etwas schneller: ca. 15 cm / Jahr = ca. 5 · 10⁻⁹ m/s = 5 nm/s

Umrechnung von m/s in km/h:

1 km = 1000 m → Meter durch 1000 teilen

1 h = 3600 s → Sekunden durch 3600 teilen, oder mit 1/3600 (= 0.00027777 = 2.8 · 10⁻⁴) multiplizieren

Geschwindigkeit = Strecke / Zeit

tektonische Platten 3 cm/Jahr	3 · 10 ⁻² m / 3.1 · 10 ⁻⁷ s		~10 ⁻⁹ m/s (~1 nm/s)
zu Fuss 3.6 km/h	3600 m / 3600 s	3.6 km/h	1 m/s
im Zug 180 km/h	180'000 m / 3600 s	180 km/h	50 m/s
Schallwellen 343 m/s	0.343 km / (1/3600) h	1235 km/h	~300 m/s (3 · 10 ² m/s)
seismische Wellen 4 km/s	4 km / (1/3600) h	14'400 km/h	4000 m/s (4 · 10 ³ m/s)

Bahngeschwindigkeiten

39

Bahngeschwindigkeit des Sonnensystems um das Zentrum der Galaxis

Abstand vom Zentrum (= Radius der Umlaufbahn)
 $r = 26'000 \text{ Lj} = 2.6 \cdot 10^4 \cdot 9.5 \cdot 10^{12} \text{ km}$
 Bahnlänge = $2\pi r = 6.28 \cdot 2.6 \cdot 10^4 \cdot 9.5 \cdot 10^{12} \text{ km} \approx 1.5 \cdot 10^{18} \text{ km}$
 Umlaufzeit = $230 \text{ Ma} = 2.3 \cdot 10^8 \cdot 7806 \text{ h} \approx 1.8 \cdot 10^{12} \text{ h}$
 Bahngeschwindigkeit = $(2\pi r) / (1.8 \cdot 10^{12} \text{ h})$
 $= 1.5 \cdot 10^{18} \text{ km} / 1.8 \cdot 10^{12} \text{ h} \approx 10^6 \text{ km/h}$ ~1'000'000 km/h

Bahngeschwindigkeit der Erde um die Sonne

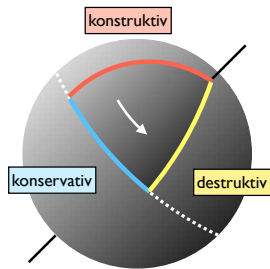
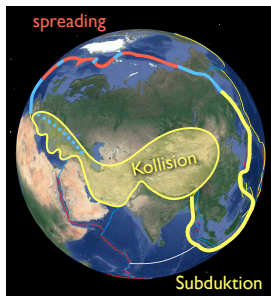
Abstand zur Sonne (= Radius der Umlaufbahn)
 $r = 150'000'000 \text{ km} = 1.5 \cdot 10^8 \text{ km}$
 Bahnlänge = $2\pi r = 6.28 \cdot 1.5 \cdot 10^8 \text{ km}$
 Umlaufzeit = $1 \text{ a} = 7806 \text{ h}$
 Bahngeschwindigkeit = $(2\pi r) / (7806 \text{ h})$
 $= 6.28 \cdot 1.5 \cdot 10^8 \text{ km} / 7.806 \cdot 10^3 \text{ h} \approx 10^5 \text{ km/h}$ ~100'000 km/h

Bewegungen und Rotationen

40

Bewegungen auf der Kugel...

41

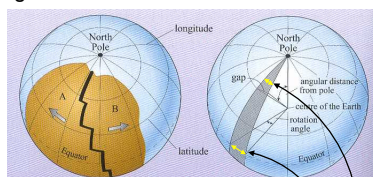


Spreading von N-Amerika im Westen und Norden
 Kollision mit Pazifische, Philippinische im Osten,
 Indische, Arabische, Afrikanische im Süden
 Rotationspol = Hudson Bay *** !!! USA ACHTUNG
 bezüglich Pazifische Platte, Rotationsrate = $0.8591^\circ/\text{Ma}$
 max Oberflächengeschwindigkeit (w/r to Pacific) =
 $0.8591/360 \cdot 42'000'000 \text{ m} / 1'000'000 \text{ yr} = 0.1 \text{ m/yr}$
 es braucht $360/0.8591 \text{ Ma} = 419 \text{ Ma}$ um 360°
 zurückzulegen
 (siehe auch NGIB_RH.pdf (VHSBB server))

... sind Rotationen um eine Achse

42

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



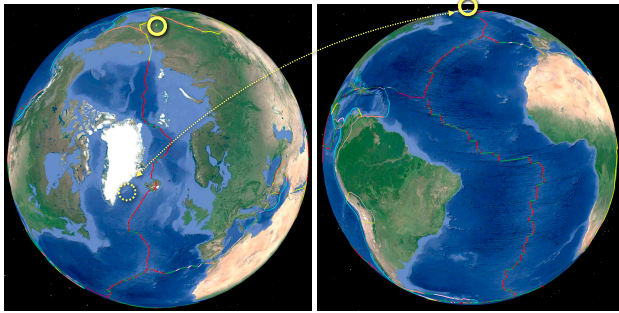
... sondern auf einer Kugel
 ... mit einer Winkelgeschwindigkeit ρ/s um einen Pol

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

Rotation von Platten – Beispiele

43

Nordamerika <-> Eurasia: Pol = 62.4 N, 135.8 E
Südamerika <-> Afrika: Pol = 62.5 N, 39.4 W



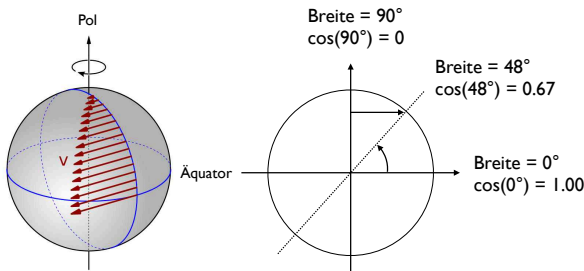
Nordamerika ↔ Eurasia:
Pol = 62.4 N, 135.8 E

Südamerika ↔ Afrika:
Pol = 62.5 N, 39.4 W

Tangential-/Winkelgeschwindigkeit

44

<https://physikbuch.schule/angular-velocity-and-acceleration.html>



$$v = \cos(\text{Breite}) \cdot v_0$$

v_0 = äquatoriale Tangentialgeschwindigkeit

tägliche Umdrehung der Erde

45

Winkelgeschwindigkeit ist konstant

$$= 360^\circ / 24 \text{ h} = 0.00417^\circ/\text{s} = 4.17 \cdot 10^{-3}^\circ/\text{s} = 15''/\text{s}$$

° Grad
' Bogenminute
" Bogensekunde

Tangentialgeschwindigkeit ist breitenabhängig

Länge des Breitenkreises am Äquator

$$= 2\pi r \cdot \cos(0^\circ) = 6.28 \cdot 6370 \cdot 1 \approx 40'000 \text{ km}$$

$$\text{Tangentialgeschwindigkeit} = 40'000 \text{ km} / 24 \text{ h} \approx 1700 \text{ km/h}$$

Länge des Breitenkreises in Basel

$$= 2\pi r \cdot \cos(48^\circ) = 6.28 \cdot 6370 \cdot 0.67 \approx 26'800 \text{ km}$$

$$\text{Tangentialgeschwindigkeit} = 26'800 \text{ km} / 24 \text{ h} \approx 1100 \text{ km/h}$$

Relativbewegungen von Platten

46

Zur Umrechnung:

$$1 \text{ cm} / 40'000 \text{ km} = (10^{-2} \text{ m} / 4 \cdot 10^7 \text{ m}) = 0.25 \cdot 10^{-9} \cdot 360^\circ \approx 400/4 \cdot 10^{-9} = 10^{-7}^\circ$$

$$1^\circ = 40'075'000 \text{ m} / 360 = 111'319 \text{ m}$$

$$1' = 111'319 \text{ m} / 60 = 1855 \text{ m}$$

$$1'' = 1855 \text{ m} / 60 = 30.92 \text{ m}$$

$$10^{-7}^\circ = 40'075'000 \text{ m} / 360 / 10'000'000 =$$

$$1.1132 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 1.1132 \text{ cm}$$

$$(\Rightarrow 1 \text{ cm} = 0.898 \cdot 10^{-7}^\circ)$$

Spreizungsrücken	Relativbewegung	$10^{-7}^\circ / \text{Jahr}$	cm / Jahr	km / Ma
MAR	Eurasia ↔ N-Amerika	2.10	1.89	19
MAR	Afrika ↔ N-amerika	2.40	2.16	22
MAR	Afrika ↔ S-Amerika	3.10	2.78	28
EPR	Pazifik ↔ Nazca	13.60	12.22	122
EPR	Pazifik ↔ Antarktika	8.70	7.82	78

MAR = Midatlantic ridge
EPR = East-Pacific rise

aktuelle Geschwindigkeiten

Kollision	Relativbewegung	$10^{-7}^\circ / \text{Jahr}$	cm / Jahr	km / Ma
Alpen	Eurasia → Afrika	1.20	1.08	11
Anden	Nazca → S-Amerika	7.20	6.47	65
Himalaya	India → Eurasia	5.10	4.58	46
Japan	Pazifik → Eurasia	8.60	7.73	77

die eurasischen Platte bewegt sich

mit 1.89 cm/Jahr
(= 2.16 µm/h)

nach Osten
relativ zur nordamerikanischen Platte

mit 1100 km/h

nach Osten
um die Achse der Erde

mit 100'000 km/h

nach Osten
auf der Umlaufbahn der Erde um die Sonne

mit 1'000'000 km/h

nach Westen
auf der Umlaufbahn der Sonne in der Galaxis

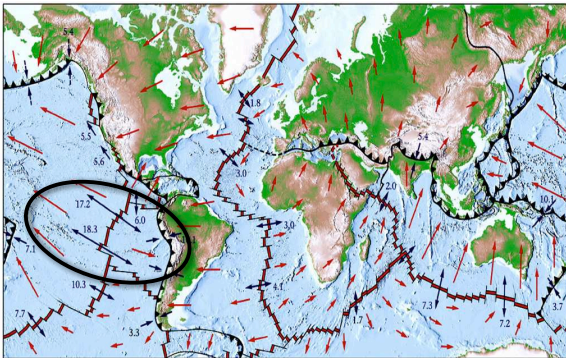


47

Alle Planeten sind prograd (rechtläufig), im gleichen Sinn wie die Sonne, mit Ausnahme von Venus und Uranus, welche retrograd (rückläufig) sind. Sonne und Erde drehen sich gegen den Uhrzeigersinn (vom N-Pol der Ekliptik aus gesehen), Richtung Ost. Die Bewegung der Erde auf der Umlaufbahn um die Sonne ist ebenfalls gegen den Uhrzeigersinn. Der Drehsinn des Milchstraßensystems stimmt nicht mit dem der Planeten um die Sonne überein. Die galaktische Scheibe rotiert von Norden gesehen im Uhrzeigersinn, als würden die Spiralarme vom Zentralbereich nachgeschleppt, und damit gegenläufig zum Drehsinn des Sonnensystems. Allerdings rotiert das Sonnensystem nicht um die gleiche Achse wie die Galaxis, sondern sehr steil (67°) dazu.

Umrechnung: $1.89 \text{ cm/Jahr} = 1.89/100/1000 \text{ km} / (365.25 \cdot 24 = 8766) \text{ h}$
 $= 1.89 \cdot 10^{-5} \text{ km} / 8.766 \cdot 10^3 \text{ h} = 2.16 \cdot 10^{-9} \text{ km/h} = 2.16 \text{ µm/h}$

Plattenbewegungen



Öffnungsbewegung (Spreizung) Platte-Platte (cm/Jahr)

Plattenbewegung Platte-Hotspot (cm/Jahr)

48

Dabei sind "absolute" Bewegungen von Relativbewegungen (an Spreizungsrücken) zu unterscheiden.

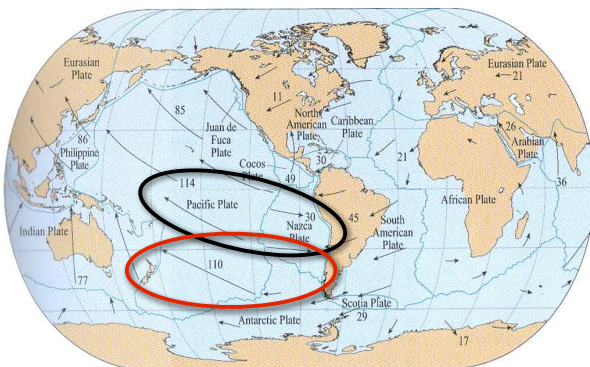
Schwarze Pfeile immer mittig angeordnet, Spreizung ist symmetrisch (gleich schnell in beide Richtungen). Rote Pfeile: sieht nicht symmetrisch aus: mehr W Bewegung von pazifischer als Ostbewegung von Nascaplatte. => EPR bewegt sich bezüglich des "absoluten" Koordinatensystems.

Bemerkungen:

1. Achtung 6.0 cm/Jahr = Plattengeschwindigkeit NAZCA ≠ Spreizungsrate EPR, Spreizungsrate PACIFIC - NAZCA: 17.2 cm/Jahr

2. Bewegung auf Kugel, deshalb sind Bewegungspfeile auf der Karte nicht parallel, sondern gekrümmt auf Breitenkreisen um Rotationspol.

Platte ↔ Hotspot – gemittelt



Relativ zu Hotspot, Langzeit-Mittelwerte (mm/Jahr)

49

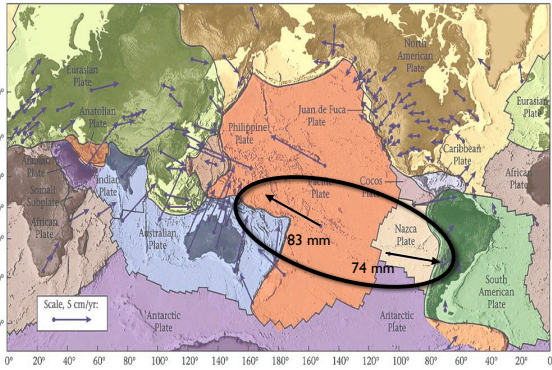
PACIFIC 114 mm nach W, NAZCA 30mm nach E
 Spreizungsrate = Geschw 1 - Geschw 2
 (Vektordifferenz) : 30 mm - (- 114 mm) = 144 mm/Jahr

Sieht nicht symmetrisch aus: mehr W Bewegung von pazifischer als Ostbewegung von Nascaplatte.

Platte ↔ Satellit – aktuell

50

Sieht relativ symmetrisch aus: gleich viel W Bewegung von pazifischer wie Ostbewegung von Nascaplatte.
83 mm W und 74 mm E = 157 mm/Jahr



Plattenbewegungen relativ zu Satellit (GPS), aktuelle Werte (mm/Jahr)

Letztes slide: hotspot PACIFIC 114 mm W, NAZCA 30 E = 144 mm/Jahr
D.h. ± gleiche Relativbewegung gemessen (~150 mm), aber verschiedene Absolutbewegungen 83 + 74 (±symmetrisch) bezüglich hotspot versus 120 + 30 (asymmetrisch) bezüglich Satellit
=> Ridge wandert bezüglich Satellit

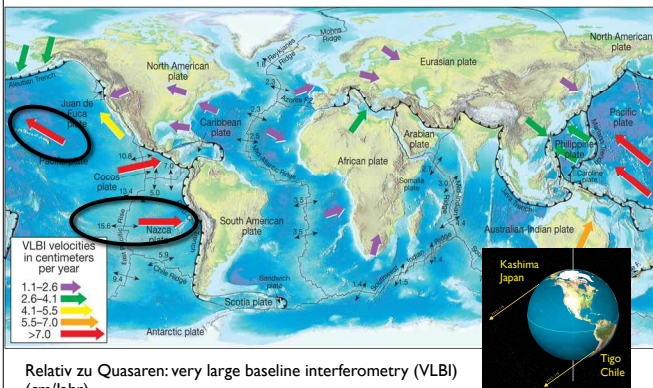
Platte ↔ Quasar – aktuell

51

NAZCA > 7 cm E - PACIFIC > 7 cm W (± symmetrisch) bezüglich VLBI => geschätzt 15 cm/Jahr

Symmetrie: (Satellit ≈ VLBI) ≠ (hotspot ≈ GPS)
=> ridge wandert bezüglich Satellit ?

GPS	17.2 cm/Jahr	nicht symmetrisch
Hotspot	144 mm/Jahr	nicht symmetrisch
Satellit	157 mm/Jahr	symmetrisch
VLBI	15 cm/Jahr	symmetrisch



Relativ zu Quasaren: very large baseline interferometry (VLBI) (cm/Jahr)

... und warum ist das so faszinierend ?

52

.. weil das im ganzen Universum Plattentektonik - gerade so wie Leben - eine relativ seltene Angelegenheit ist.

die Erde - ein spezieller Planet

53

In astrobiology, the Goldilocks zone refers to the habitable zone around a star. The Rare Earth Hypothesis uses the Goldilocks principle in the argument that a planet must neither be too far away from, nor too close to a star and galactic center to support life, while either extreme would result in a planet incapable of supporting life. Such a planet is colloquially called a "Goldilocks Planet".

das Goldilocks Prinzip

deutet die Entstehungsgeschichte der Erde als eine, welche...
... in einem "genau richtigen" Sonnensystem
... am "genau richtigen" Platz
... mit der "genau richtigen" ... Größe stattgefunden hat.

Eine Kombination von "genau richtigen" Bedingungen führte dazu, dass die Erde im Universum einzigartig ist, und zwar weil hier ...
... Leben entstanden ist
... plattentektonische Prozesse ablaufen
... und viel mehr Mineralarten gebildet wurden als im Universum
gewöhnlich vorkommen.

die Gaia Hypothese

besagt, dass sich die (anorganische) Erde (inklusive Plattentektonik und Entwicklung der Minerale) zusammen mit dem (organischen) Leben - wie ein einziger Organismus - entwickelt haben und weiter entwickeln.

die Geschichte von Goldilocks



"... der Porridge in der grossen Schüssel ist viel zu heiss, der in der mittleren viel zu kalt, aber der in der kleinen Schüssel, der ist genau richtig ..."

"... der grosse Stuhl ist viel zu hoch, der mittlere zu breit, aber der kleine Stuhl, der ist genau richtig ..."

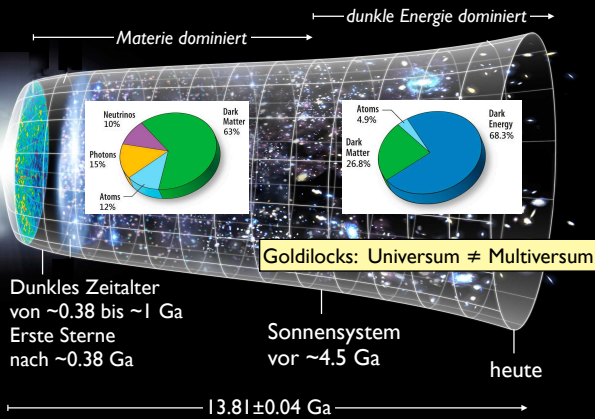
"... das grosse Bett ist viel zu hart, das mittlere ist viel zu weich, aber das kleine Bett, das ist genau richtig ..."

<https://www.thegermanproject.com/stories/goldilocks>

54

<https://www.thegermanproject.com/stories/goldilocks>
<https://www.cappgemini.com/2019/03/magento-2-hosting-finding-the-perfect-bowl-of-porridge/>

die Entstehung des Universums

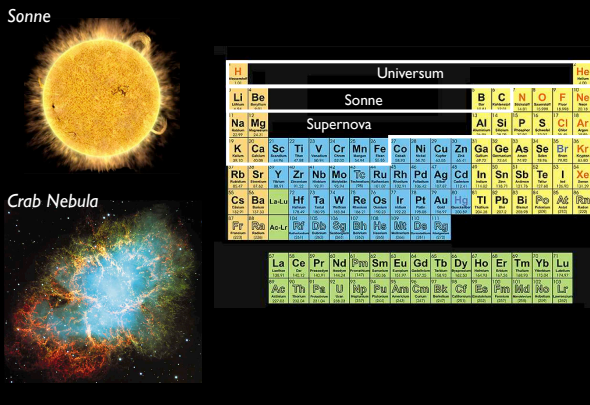


55

Das Universum als Scheibe im Lauf der zeit (von links nach rechts)
(Das Universum wird älter: neueste Datierungen (Weltraumteleskop Planck, Messungen 2009-2010, pub 2015) ergeben 13.813 ± 0.038 Ga)
Nach drei Minuten ist die Grundzusammensetzung des Universums erreicht: Wasserstoff und Helium.
Schwere Elemente entstehen nicht im freien Raum, dazu braucht es Drucke und Temperaturen wie sie in Sternen herrschen. Sterne sind also Elementfabriken.

Goldilocks 1 - dass es überhaupt Materie gibt, dass Elemente, Verbindungen etc. entstehen, dass die Naturgesetze (Chemie, Physik) funktionieren, dass es Gravitation gibt etc. etc.

Entstehung von Elementen

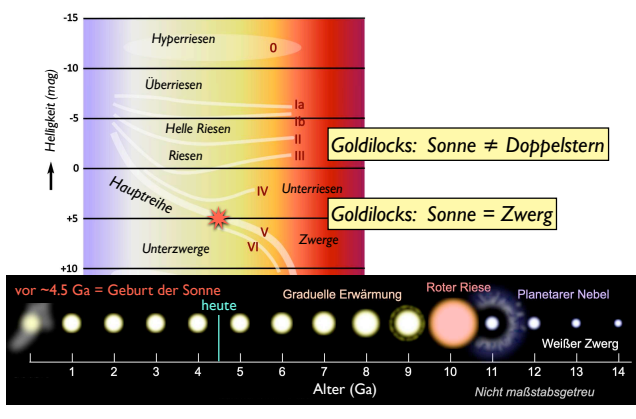


56

Sterne wirken als "Element-Fabriken"
kleine Sterne (rote Zwerge werden alt 10 Ga): Elemente mit $N < 6$ (stars wiki)
sehr grosse Sterne (massive stars werden nicht alt 20 Ma): Elemente mit $N < 26$

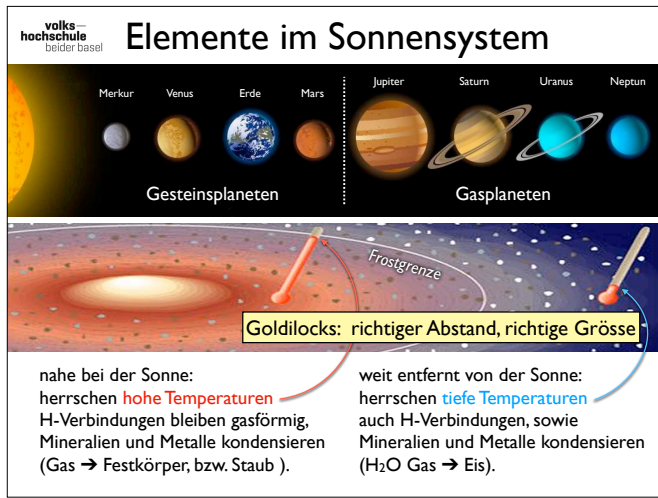
schwere Elemente ($N > 26$) werden in Supernova - Explosionen synthetisiert

die Sonne, ein Zwergstern



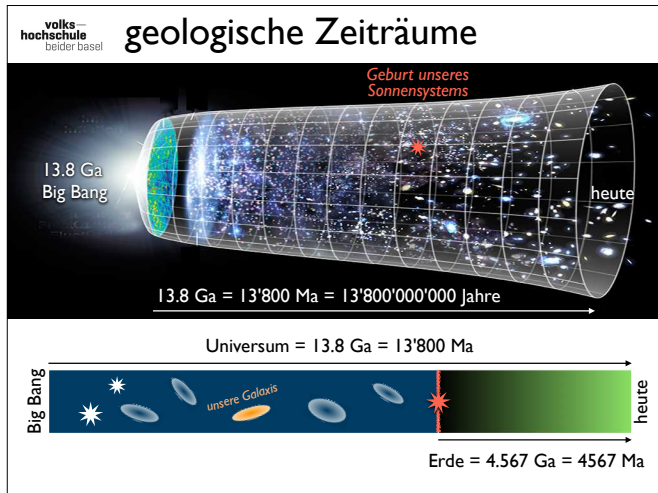
57

Goldilock 2 - Sonne ist ein Zwerg der Hauptreihe - lebt länger - erlaubt Leben
Goldilock 3 - Sonne ist kein Doppelstern - denn Doppelsterne haben nur in 30% der Fälle Planeten, während die meisten normalen Sterne wie die Sonne, viele Planeten haben.

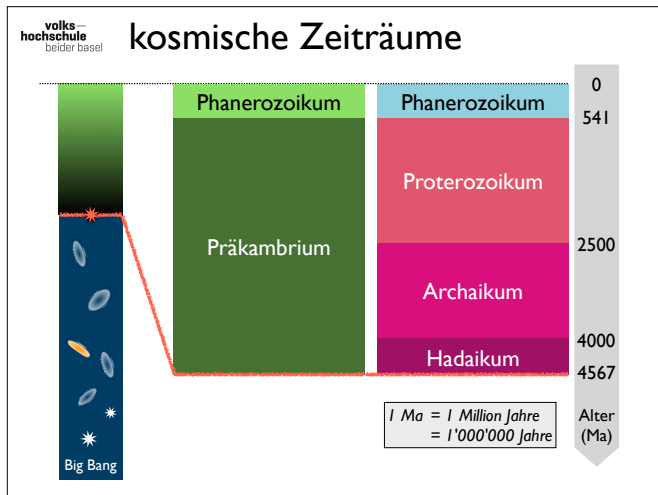


58

Goldilocks 4 - Erde im richtigen Abstand zur Sonne in der sogenannten habitablen Zone oder Lebenszone
 Goldilocks 5 - Erde hat richtige Grösse

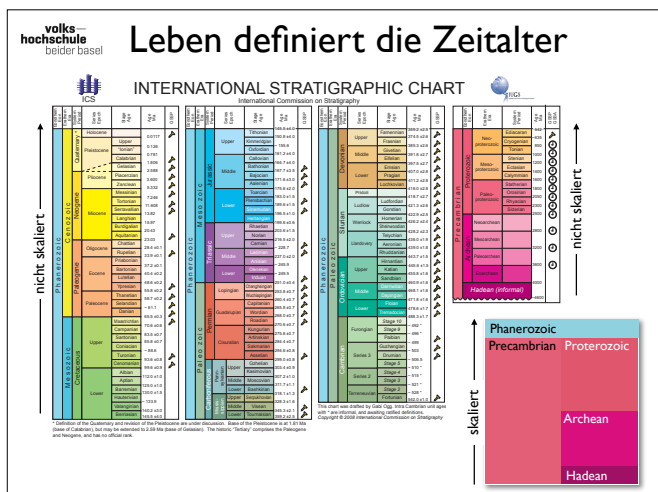


59



60

Die Erde ist etwa ein Drittel so alt wie das Universum, das Phanerozoikum etwa ein Achtel so alt wie die Erde.

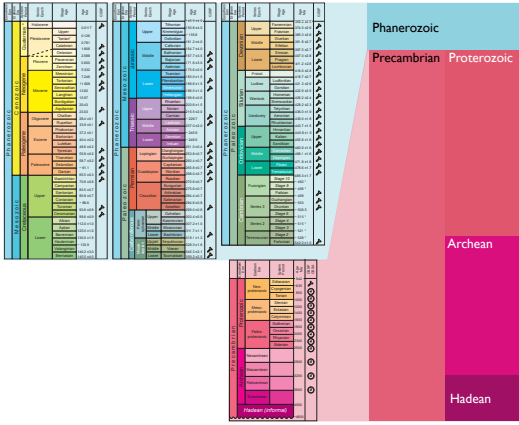


61

Es gibt 4 Äonen (3 davon im Super-Äon Präkambrium) Präkambrium benannt nach Periode (Kambrium) Proterozoikum (Äon) wird gefolgt von Phanerozoikum (Ära) bzw Paläo-Meso-Kainozoikum (Äonen)
 ACHTUNG: Chronostratigraphie: era-period-epoch-age Lithostratigraphie: nothing-system-series-stage
 Das Präkambrium ("Super"-Äon) ist benannt nach unterster Periode (Kambrium) der untersten Ära (Paläozoikum) des nächsten Äons (Phanerozoikum).

Beispiel:
 Tithon (Alter) = Oberjura (Epoche) = Jura (Periode) = Mesozoikum (Ära)

die gefühlte Zeit ≠ Echtzeit



62

Die Zeitskala der stratigraphischen Tabelle ist verzerrt. Vergleiche mit der skalierten Darstellung.

Entstehung des Lebens

Ereignis / erstes Auftreten	stratigraphische Einheit	Ma	
Artensterben	Kreide-Tertiär Grenze	66	Phanerozoic
Dinosauriere	Jura-Kreide	235 - 66	
Great Dying	Perm-Trias Grenze	250	
Landtiere	Karbon	320	
Landpflanzen	Ordoviz	475	Proterozoic
Ediacara Fauna	oberstes Proterozoikum	580 - 540	
Snowball Earth	Proterozoikum	700	Archean
Eukaryonten	Proterozoikum	1500	
Gabonionten	Proterozoikum	2100	Hadean
Stromatolithe (Cyanobakterien)	Archaikum	3500	
Prokaryonten	Archaikum	3500	
ältestes Gestein	Hadean	4000	
Kollision mit Theia => Mond		4500	
Entstehung der Erde		4567	

↑ nicht skaliert

63

Erdgeschichte in einem Jahr

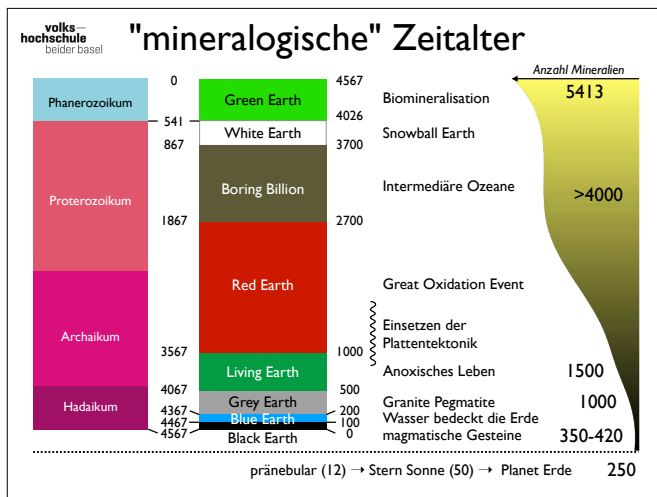
Ereignis / erstes Auftreten	stratigraphische Einheit	Ma	im Zeitraffer
			4567 Ma = 1 Jahr
Artensterben	Kreide-Tertiär Grenze	66	26. Dez.
Dinosauriere	Jura-Kreide	235 - 66	12. - 26. Dez.
Great Dying	Perm-Trias Grenze	250	11. Dez.
Landtiere	Karbon	320	5. Dez.
Landpflanzen	Ordoviz	475	23. Nov.
Ediacara Fauna	oberstes Proterozoikum	580 - 540	15. - 18. Nov.
Snowball Earth	Proterozoikum	700	5. Nov.
Eukaryonten	Proterozoikum	1500	2. Sept.
Gabonionten	Proterozoikum	2100	16. Juli
Stromatolithe (Cyanobakterien)	Archaikum	3500	26. März
Prokaryonten	Archaikum	3500	26. März
ältestes Gestein	Hadean	4000	14. Feb.
Kollision mit Theia => Mond		4500	5. Jan.
Entstehung der Erde		4567	1. Jan.

64

die letzten 60 Ma

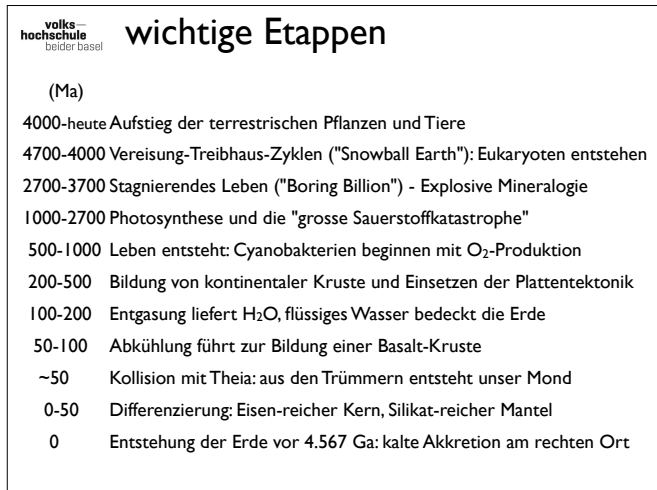
Ereignis / erstes Auftreten	Ma	im Zeitraffer	
		4567 Ma = 1 Jahr	Zeit
James Hutton - moderne Geologie		31. Dez.	23:59:58
Zeitenwende		31. Dez.	23:59:45
Römisches Reich (dauert 10 s...)		31. Dez.	23:59:40
Altes Ägypten (dauert 23 s...)		31. Dez.	23:59:20
Ackerbau und Viehzucht		31. Dez.	23:58:51
Bronzezeit (Holozän)		31. Dez.	ab 23:45
Homo sapiens		31. Dez.	23:38:08
Eiszeiten (Günz)		31. Dez.	ab 22:30
Australopithecus (Homini)		31. Dez.	abends
Sahelanthropus, Steinzeit (Pleistozän)		31. Dez.	mittags
Hominini	7	31. Dez.	vormittags
Menschenaffen	20	29. Dez.	
Primaten	60	26. Dez.	
Artensterben	66	26. Dez.	

65



66

Diese



67

Frage noch:

Ist Plattentektonik eine Voraussetzung für Leben auf der Erde?








Mögliche Antwort:

Plattentektonik (als Kennzeichnung unseres dynamischen Planeten) und Leben (so wie wir es definieren) haben sich zusammen entwickelt (Koevolution, Gaia-Hypothese) sind aber nicht EIN System. Biosphäre (von RNA-Welt bis zur modernen Fauna und Flora) und Geosphäre (von der Entstehung unseres Sonnensystems bis zur modernen Plattentektonik), sind intim ineinander verschränkt und bedingen sich gegenseitig. Beide verändern sich durch die Zeit: sowohl der Aufbau und die Dynamik der Erde wie auch das Leben auf ihr hängen davon ab, dass die Bedingungen "just right" - gerade richtig sind (Goldilock Prinzip). Und nicht zu vergessen ist, dass zu diesen Bedingungen (richtige Temperatur, flüssiges Wasser, Sauerstoff in der Atmosphäre, etc.) auch externe Faktoren (und Zufälle) gehören, wie zum Beispiel Erdbahnänderungen (siehe Milankovitch Zyklen, die das Klima betreffen), Veränderungen des Magnetfeldes, Erwärmung und Wachstum der Sonne, oder gelegentliche Einschläge von Meteoriten.

<https://www.srf.ch/kultur/wissen/schwaechelndes-magnetfeld-steht-die-erde-bald-kopf> - Das Erdmagnetfeld - die unsichtbare Kraft. Sommerserie 2/7, 14.7.2018.

volks-hochschule beider basel

12 "Urminerale" im Universum

Diamant	C (Schmuckstein)			
Graphit	C (Technik)			
Oxide	Rutil TiO ₂			
	Korund (Rubin) Al ₂ O ₃			
	Spinell MgAl ₂ O ₄			
	Hibonit (Ca,Ce)(Mg,Fe ²⁺)Al ₁₀ (Ti ⁴⁺ ,Al)O ₁₉			
Carbide	Moissanit SiC (Schmuckstein)			
	Karborund SiC (Schleifmittel)			
Nitride	Osbornit TiN			
	Si-Nitrid Si ₃ N ₄ (Werkstoff)			
Silikate	Fosterit (Peridot) Mg ₂ (SiO ₄) (Schmuckstein)			
	Perowskit CaTiO ₃			

68

Auch Verbindungen entstehen nicht im freien Raum. Vor 4.5 Ga allerdings, als sich schon viele Sterne gebildet hatten und viele Supernovae später, da waren in kleinen Körnern, welche davon übrig geblieben waren, ein paar "pränebulare" Minerale vorhanden.

Die meisten dieser Minerale kommen in der Natur selten vor (und werden damit zu kostbaren Schmucksteinen), einige werden auch synthetisch hergestellt und finden Verwendung in der Technik. Das Mineral Nierit, ein Si-Nitrid, kommt in der Natur nur in Meteoriten vor.

Fosterit (Olivin) bildet sich in mafischen bis ultramafischen Vulkaniten im oberen Erdmantel Perowskit ist das dominierende Mineral des unteren Mantels

... und woraus bestehen die tektonischen Platten ?

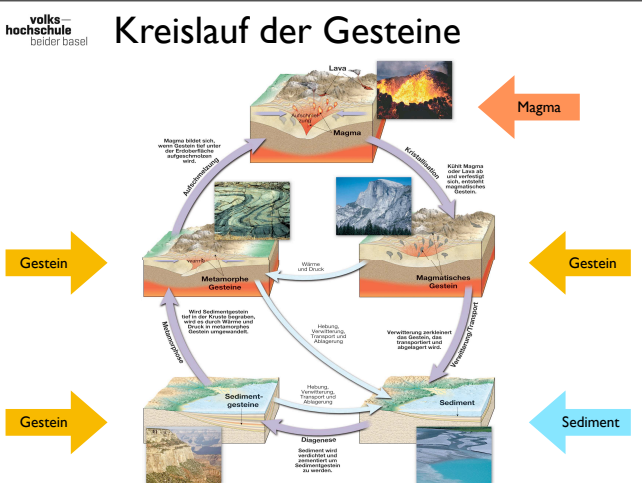
Quartz: <http://www.quartzpage.de/>
 Chlorit: Chlorite, lattice planes, high resolution image (Image courtesy Andreas Kronenberg), (= Fig. 2.15 in Heilbronner, R. and Barrett, S. (2014). Image Analysis in Earth Sciences, Springer Verlag, Heidelberg, 520 p. ISBN: 978-3-642-10342-1 (Print) 978-3-642-10343-8 (Online))

volks-
hochschule
beider basel

Atome → Kristalle → Minerale

volks-
hochschule
beider basel

Minerale → Körner → Gestein



... Gesteine im Kreislauf ...



Sediment

Sedimentgestein

73

Aus Sand wird ein Sandstein
Aus Kiesel wird ein Konglomerat
Aus Ooidsand wird ein Oolith (wie zum Beispiel der Hauptrogenstein im Jura)
Aus Ton wird ein Tongestein, ... obwohl viel auch dazu einfach "Ton" sagen

... Gesteine im Kreislauf ...



Magma

magmatisches Gestein

74

Tritt Magma an die Oberfläche gibt es zum Beispiel Bimsstein oder Lava (wobei man hier oft auch nicht zwischen dem festen und dem flüssigen Zustand unterscheidet). Erstarrt das Magma in der Tiefe, so entstehen Plutonite, wie z.B. Granit.

... Gesteine im Kreislauf ...



metamorphes Gestein

metamorphes Gestein

75

Durch Metamorphose (hohen Druck und hohe Temperatur) entstehen aus Sediment- und magmatischen Gesteinen sogenannte Metamorphite, wie zum Beispiel Schiefer, Gneise oder Marmore. Meistens sind Metamorphite auch verformt, d.h. verfault und/oder geschert.

typische Lithosphärengesteine

Kontinentale Kruste
Dicke: 35 - 40km (max. 80km)

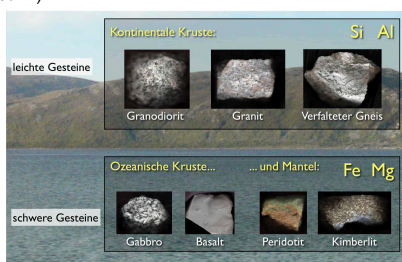
≈ Granodiorit
Dichte: 2700 kgm⁻³
Alter ≤ 4 Ga

Ozeanische Kruste
Dicke: 7 - 8km

≈ Basalt
Dichte: 3000 kgm⁻³
Alter ≤ 180 Ma

Mantel
Dicke: ~100km

≈ Peridotit (Fe-Mg-Silikat)
Dichte: 3000-5000 kgm⁻³
Alter ≤ 4.5 Ga



76

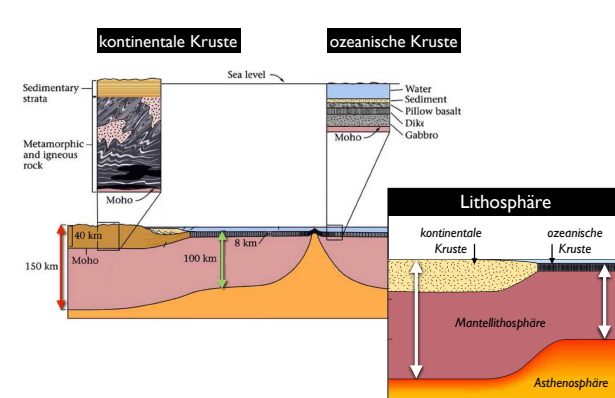
Platten bestehen in der Regel aus kontinentalen und ozeanischen Anteilen. Sie unterscheiden sich vor allem in der Kruste während der Lithosphärenmantel in beiden Fällen der gleiche ist. Die kontinentalen Anteile bilden die ca. 30% der Landmasse, auf der wir wohnen, die ozeanischen 70% liegen unter Wasser.

... und wie sieht die Lithosphäre aus ?

77

Platten sind Lithosphärenplatten. Und woraus besteht die Lithosphäre ?

kontinentale / ozeanische Teile



78

Die kontinentale Kruste ist im Gegensatz zur ozeanischen sehr mächtig (im Durchschnitt etwa 40 km im Vergleich zu 8 km). Sie besteht aus einer Vielzahl von Gesteinstypen (magmatische, metamorphe und Sediment-Gesteine) von relativ geringer Dichte (2500 kg/m³). Wenn wir also auf der Erde herumlaufen, dann haben wir es in der Regel mit einer dicken komplex zusammengesetzten, verformten, metamorphen kontinentalen Kruste zu tun. Könnten wir auf der ozeanischen Kruste herumspazieren, würden wir flachliegende dünne Sedimente vorfinden.

was wir von der Lithosphäre sehen ...



79

... mit oder ohne Vegetationsdecke ...



80

Nähe Stanserhorn, (Zentralschweiz)
 Von der Lithosphäre sehen wir generell nur den obersten Teil, also die Kruste. Und da wir Landwesen sind, handelt es sich dabei um die kontinentale Kruste. Nur die kontinentale Lithosphäre, mithin die kontinentale Kruste, ragt über die Meeresoberfläche hinaus, die ozeanische, inklusive ozeanische Kruste, ist von Wasser bedeckt. Und da die kontinentale Kruste so komplex zusammen gesetzt ist, bietet sie an der Oberfläche einen schier unglaublich vielfältigen Anblick.

... der Teil den wir berühren können ...



81

Dent de Morcles, (Unterwallis) ©Jürg Meyer

... wo wir drauf herumgehen können ...

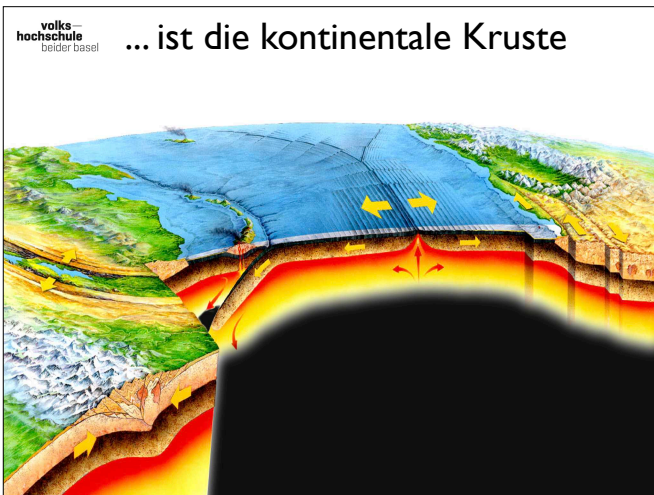


82

Dumasfjellet (Nordnorwegen)

volks-
hochschule
beider basel

... ist die kontinentale Kruste



83

Ozeanische Lithosphäre ist nur selten an der Oberfläche zu sehen. Da sie viel dichter ist als kontinentale Lithosphäre wird sie in der Regel an Subduktionen versenkt. Die leichteren Gesteine der kontinentalen Lithosphäre schwimmen obenauf. Gelegentlich aber werden Teile der ozeanischen Lithosphäre in eine Gebirgsbildung verwickelt. Oft bilden sie die sog. Suture, d.h. die Naht zwischen den beiden kollidierenden Kontinenten. Dann ist es möglich, dass man zum Beispiel Kissenlaven, welche sich an mittelozeanischen Rücken bilden, auch mitten im Gebirge (beispielweise am Rimpfischhorn oder am Marmorera Staudamm) finden kann. Daher auch der Buchtitel "Der Ozean im Gebirge" von H. Weissert und I. Stössel.