

volks-
hochschule
beider basel



3. Vorlesung
Plattentektonik – so tickt die Erde
Renée Heilbronner

1

volks-
hochschule
beider basel

wo waren wir ?



2

Bausteine und Entwicklung der plattentektonischen Theorie

Kartierung des Ozeanbodens
seafloor spreading = Quelle für Erdoberfläche
Subduktionen = Senken für Erdoberfläche
Hotspots zeigen, dass Platten steif sind
Transformstörungen bilden zusammenhängende Plattengrenzen
Formulierung der plattentektonischen Theorie ~1968
Drei Typen von Plattengrenzen
Plattenbewegungen
Platten verändern sich in Zeit und Raum

**Plattentektonik ...
... jetzt im Detail !**

3

Zunächst ein **Überblick** über die verschiedenen Plattengrenzen und die Prozesse die dort ablaufen. Der abschliessende **Rundgang** führt um die "alte" Eurasische Platte, so wie sie 1990 definiert wurde.

volks-
hochschule
beider basel

zur Erinnerung

Platten sind steif
Die Platten sind Lithosphärenplatten und bewegen sich, ohne sich innerlich zu verformen, über die fließfähige Asthenosphäre hinweg.

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

destruktive Plattengrenze
An den Subduktionszonen wird die Lithosphäre wieder in den Erdmantel zurück versenkt.

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

4

John Tuzo Wilson, (1908 – 1993), ein kanadischer Geophysiker und Geologe formuliert die Theorie der Plattentektonik. Dies aufgrund der Entdeckung von Transform faults, welche konstruktive und destruktive Plattengrenzen verbinden und damit kohärente Platten voneinander abtrennen (the lithosphere ... broken up into numerous pieces or "plates" that move independently over the weaker asthenosphere) und aufgrund der Beobachtung von Hotspots, welche die Bewegung von Platten aufzeichnen. Er ist auch der **Erfinder des Begriffs "Plate Tectonics"** ("... the lithosphere ... broken up into numerous pieces or "plates" that move independently over the weaker asthenosphere").

Plattengrenzen – en détail

5

Zur Erinnerung:

Bezeichnung von Plattengrenzen und worauf sie sich beziehen:

konstruktiv/destruktiv/konservative:

(physikalisch) Material an der Oberfläche

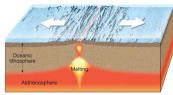
divergent/konvergent/Transform:

(kinematisch) Bewegung der angrenzenden Platten

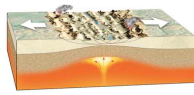
extensiv/kompressive/Transform:

(geometrisch) Deformation der Kruste

konstruktiv

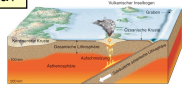


Ozean – Ozean

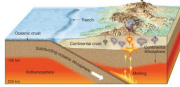


Kontinent – Kontinent

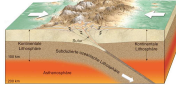
destruktiv



Ozean – Ozean

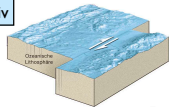


Ozean – Kontinent

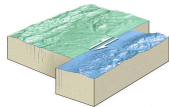


Kontinent – Kontinent

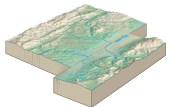
konservativ



Ozean – Ozean



Ozean – Kontinent



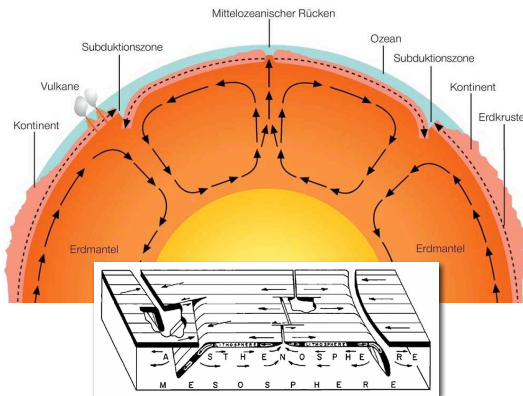
Kontinent – Kontinent

... und der Motor des Ganzen ?

6

Konvektionszellen im Mantel zur Abkühlung der Erde.

unten: Darstellung von **Sykes** (https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l2_p8.html); von Sykes favorisiertes Modell: Subduktion bewirkt seafloor spreading



Konvektionsmodelle

7

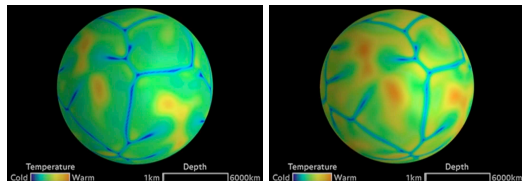
3D Modellierungen zeigen, dass sich zwischen den

Konvektionszellen (aufsteigende Mantle Plumes) relativ lineare Senken (Subduktionen) ausbilden

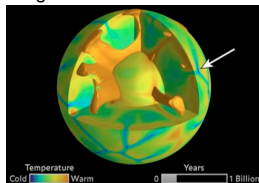
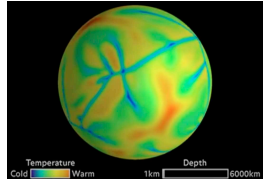
(layered viscosity models by Peter Bunge)

[https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?](https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=13cdc49095a943cd8628594bcb17f40)

<https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=13cdc49095a943cd8628594bcb17f40>



Abkühlung führt zu Mantelkonvektion



Strukturen und Prozesse
an Plattengrenzen
Morphologie – Tektonik
Bewegung – Geschwindigkeit
Erdbeben – Vulkanismus
Wärmefluss – Gravimetrie

8

volks-
hochschule
beider basel

Morphologie

Marie Tharpe

Graben = Dehnung

Albert Heim

Überschiebungen = Verkürzung

9

Marie Tharpe und Albert Heim haben jeweils aus der **Interpretation der Struktur** von Graben (Tharpe) oder Überschiebung (Heim) auf die entsprechende Dehnung oder Verkürzung geschlossen.

volks-
hochschule
beider basel

Tektonische Aktivitäten

LEGEND

- 1 Actively-spreading ridges and transform faults
- 2 Total spreading rate, cm/year
- 3 Major active fault or fault zone; dashed where nature, location, or activity uncertain
- 4 Normal fault or rift; hachures on downthrown side
- 5 Reverse fault (overthrust, subduction zones); generalized; bars on upthrown side
- 6 Volcanic centers active within the last one million years; generalized. Minor basaltic centers and seamounts omitted.

10

Zusammenstellung und Darstellung der **tektonischen Aktivitäten an Plattengrenzen** auf der Karte:

- 1 aktive mittelozeanische Rücken,
- 2 Öffnungsgeschwindigkeiten
- 3 aktive Transform-Verwerfungen oder -Zonen,
- 4 Abschiebungen bzw. Graben,
- 5 Überschiebungen bzw. Subduktionen,
- 6 Zentren von Vulkanismus.

volks-
hochschule
beider basel

Plattengeschwindigkeiten

Platte vs. Platte
 Platte vs. Hotspot (cm / Jahr)

destruktive konstruktive Transform

11

gemessene **Plattengeschwindigkeiten**:

schwarz: Öffnungs- bzw. Kollisionsgeschwindigkeiten (Relativegeschwindigkeiten)

rot: Geschwindigkeiten bezüglich stationärer Hotspots (Absolutgeschwindigkeiten)

volks-
hochschule
beider basel

Geschwindigkeiten

Platte vs. Platte
 Platte vs. Hotspot (cm / Jahr)

destruktive konstruktive Transform

aktuelle, **absolute** Plattengeschwindigkeiten vs. aktuelle **relative** Öffnungsgeschwindigkeiten

$(v_1 + v_2)$ = Öffnungsgeschwindigkeit
 $(v_1 + v_2)/2$ = relative Plattengeschwindigkeit
 $(v_1, v_2 = \text{Betrag, umgekehrte Vorzeichen})$

über geologische Zeiträume gemittelte, **relative** Plattengeschwindigkeit (aus Alter des Ozeanbodens)

Seafloor Spreading ist symmetrisch

Age of Oceanic Lithosphere [m.y.]

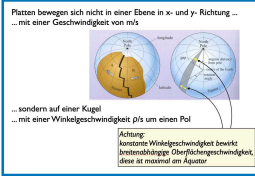
Neogene Paleogene Cretaceous Jurassic

12

absolute Plattengeschwindigkeiten versus **relative** Öffnungsgeschwindigkeiten

aktuelle versus gemittelte Langzeitwerte

Rotationen auf der Kugel



aus (breitenabhängigen) Messungen von aktuellen, **absoluten** Plattengeschwindigkeiten (GPS) ergibt sich der Rotationspol

je zwei Platten haben einen Rotationspol.

Spaltungsrisiken	Relativbewegung	10 ⁻⁷ / 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 / 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

für die **relative** Öffnungsgeschwindigkeit gilt:
Winkel / Zeit = konstant
Strecke / Zeit = breitenabhängig

13

konstante Rotationsgeschwindigkeiten versus Oberflächengeschwindigkeiten (= Tangentialgeschwindigkeiten auf Kleinkreisen um den Rotationspol)
10⁻⁷ Grad / Jahr = 1 Grad / 10 Ma = 1 Bogensekunden / 2777 Jahre

GPS Messungen



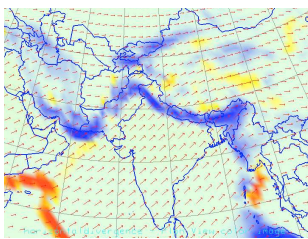
5cm/Jahr

Kalifornische Westküste:
± stationäre nordamerikanisch Platte und Bewegung der pazifischen Platte nach N

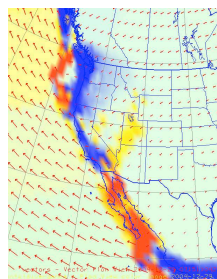
14

für **GPS Messungen** werden Messstationen verwendet
Auf kontinentalen Teilen der tektonischen Platte sind sie dicht verteilt, auf ozeanischen Anteilen natürlich nur auf Inseln vorhanden.
International GNSS Service (IGS): Auf internationaler Ebene arbeiten im Rahmen des IGS einige 100 Institutionen daran, GNSS für viele Anwendungen nutzbar zu machen. Das beginnt bei der Bereitstellung von Daten von GNSS-Permanentstationen und geht bis zur Generierung von wertvollen Produkten (Bahndaten, Erdrotationsparameter, etc.) für hochgenaue GNSS-Anwendungen.
GNSS = global navigation satellite systems
<https://www.swisstopo.admin.ch/de/wissen-fakten/geodaesie-vermessung/permanentnetze.html> ==>
<https://network.igs.org/>

Relativbewegungen – Verformung



India - Eurasia Kollision



Dextrale Blattverschiebung Pazifische versus N-amerikanische

→ Absolutbewegung
Stauchung Verformung
Dehnung

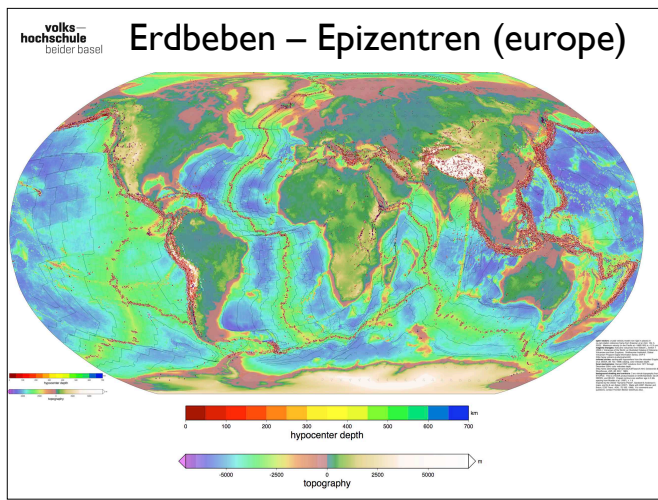
15

Absolutbewegung - Relativbewegung = Verformung

Blau = Kompression

Rot = Extension

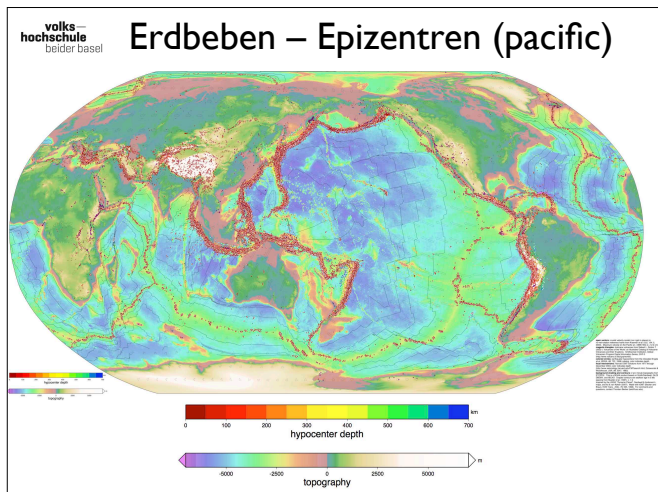
Pol der Drehung von Europa = Nähe N-Pol ==> Pfeile kürzer



16

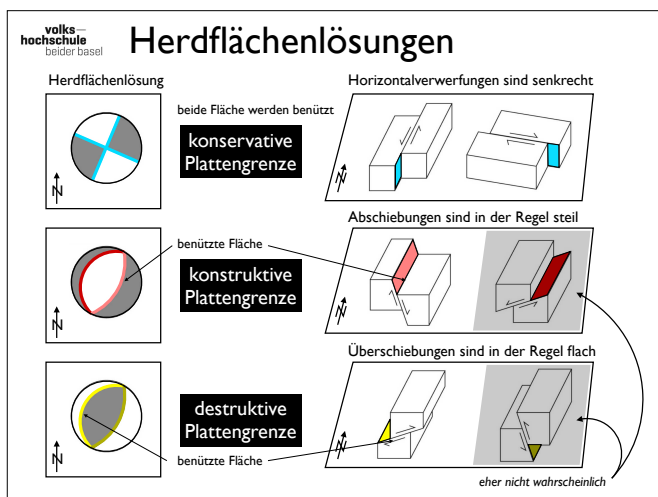
Obwohl die Symbole bei dieser Vergrößerung nicht zu unterscheiden sind (s.unten), erkennt man doch, dass sich alles, was hier abgebildet ist (Erdbeben-Epizentren und Vulkane) **entlang der Plattengrenzen** aufreißt.

Die hier und im folgenden gezeigten Weltkarten sind 21'121 · 10'594 pixel gross (671.5MB).



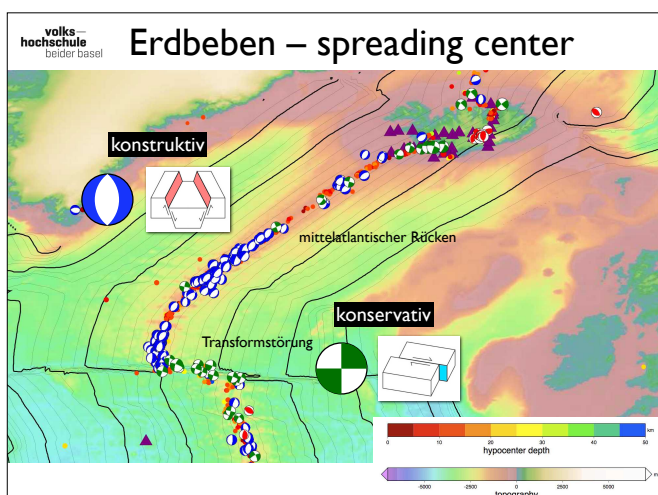
17

<http://geodynamics.usc.edu/~becker/projects.s.html#str> = unsafe website



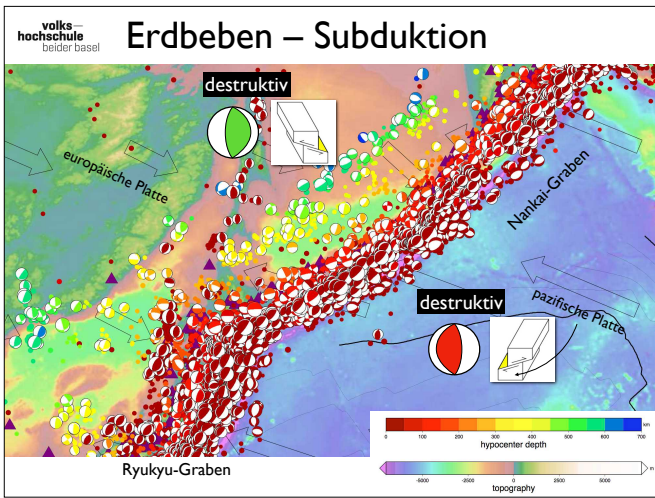
18

Bestimmung der möglichen aktiven Bruchflächen (Abschiebung, Überschiebung, Blattverschiebung) und Bewegungsrichtungen. Die grau hinterlegten Lösungen zeigen eher atypische Abschiebungen bzw. Überschiebungen
Erklärung zu beachballs später.



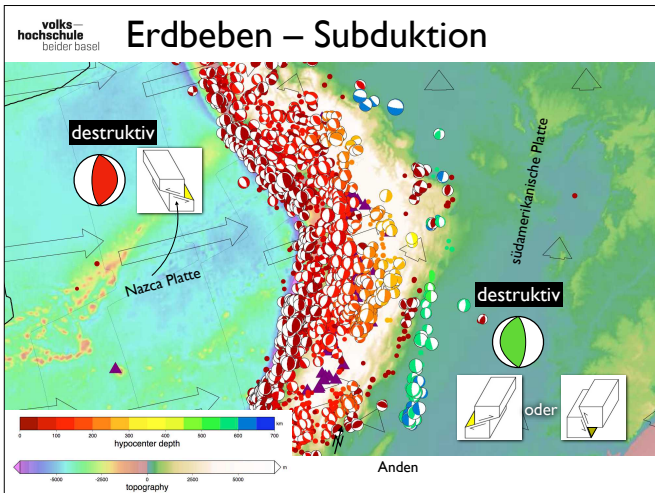
19

Achtung: Farbkodierung der **Herdtiefe von 0 - 50km**
Farbkodierung auf Blockschema bezieht sich auf Typ der Plattengrenze:
rot = konstruktiv
gelb = destruktiv
blau = konservativ



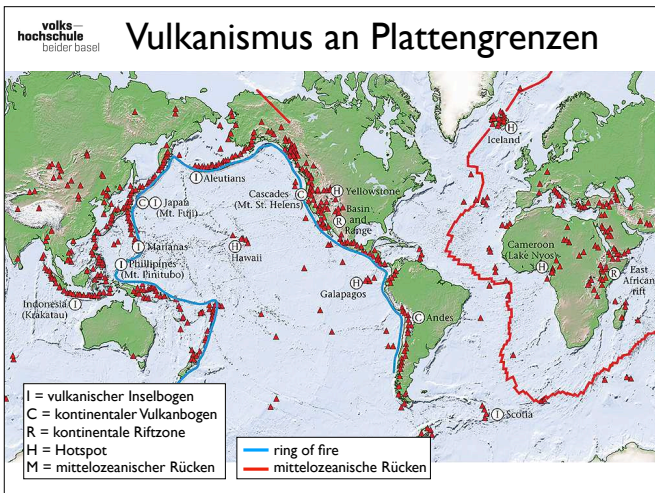
20

Achtung: Farbkodierung der Herdtiefe von **0 - 700km**
 Farbkodierung auf Blockschema bezieht sich auf Typ der Plattengrenze:
 rot = konstruktiv; gelb = destruktiv; blau = konservativ
 Übrigens: die nach Westen gerichtete Subduktion der pazifischen Platte kann man als "Unterschiebung" (s.Pfeil) auffassen. Damit ist sie das gleiche wie die oben liegende, nach Osten gerichtete, Überschiebung der europäischen Platte.



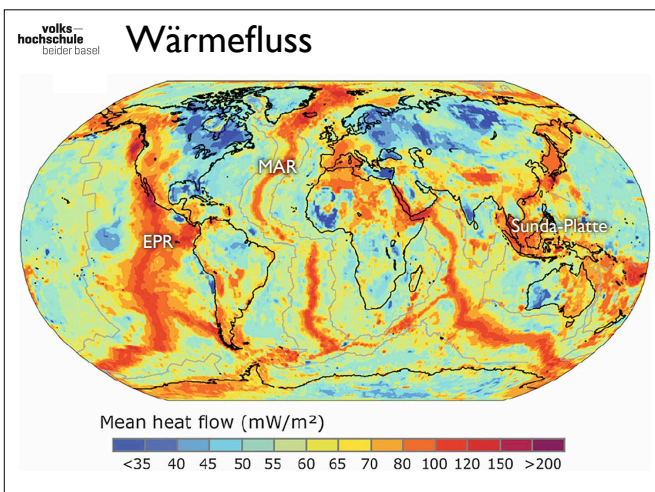
21

Achtung: Farbkodierung der Herdtiefe von **0 - 700km**
 Farbkodierung auf Blockschema bezieht sich auf Typ der Plattengrenze:
 rot = konstruktiv; gelb = destruktiv; blau = konservativ
 Und wie vorhin: die nach **Osten gerichtete Subduktion** der Nazca-Platte (= "Unterschiebung", s. Pfeil) = **die nach Westen gerichtete Überschiebung** der südamerikanischen Platte. Westlich der Anden zeigen die Herdflächenlösungen (beachballs) flache Überschiebungen nach Osten oder steile Aufschiebungen nach Westen (Lösung, siehe 5. Vorlesung)



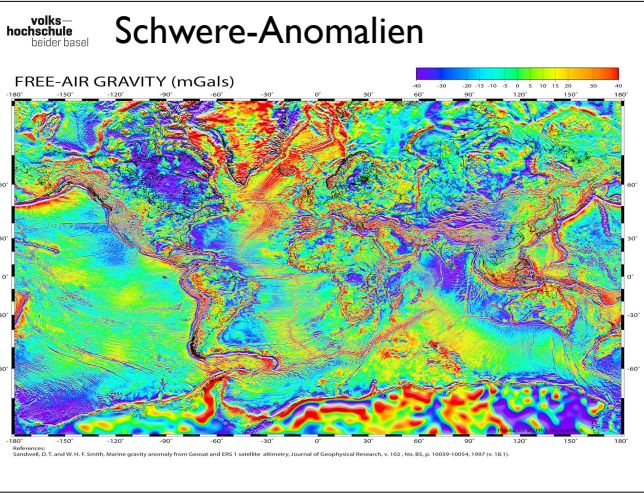
22

Vulkanismus tritt hauptsächlich an destruktiven Plattengrenzen auf.
 Beachte Komplikation bei Mt. Fuji: zwei verschiedene Typen, s. später.
Hotspots sind völlig **unabhängig** von Plattengrenzen.



23

Ein erhöhter **Wärmefluss** ist typisch für konstruktive Plattengrenzen.
 Der Grund dafür ist das bis zur Oberfläche aufsteigende heisse Material des **konvektierenden Mantels**.
 Prozess: durch Konvektion wird Mantelmaterial zur Oberfläche transportiert, **Druckentlastung** führt zu **Aufschmelzung**.
 (weitere Karten zum Wärmefluss unter <https://ihfc-iugg.org/products/global-heat-flow-database/mapping-studies>)

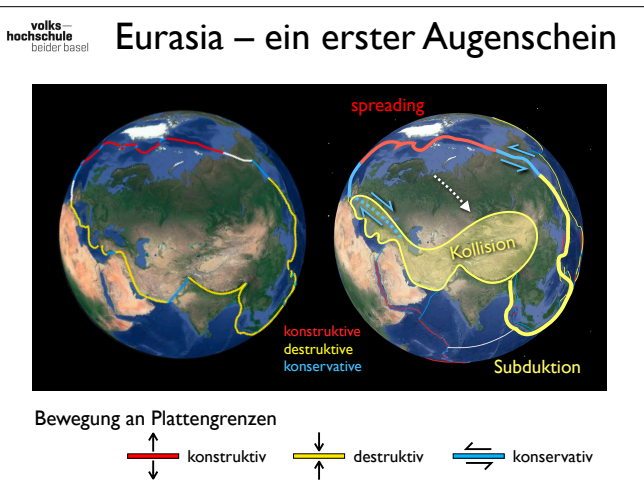


24

Eine Schwere- oder Gravitationsanomalie = lokale Abweichung der Erdbeschleunigung, vom theoretischen Normalwert auf dem Referenzellipsoid.
Karte Freiluft-Anomalie: <http://www-udc.ig.utexas.edu/external/plates/images.htm>
Subduktionen sind erkennbar durch stark **negative Anomalien** über der Tiefseerinne, **Gebirge** sowie **mittelozeanische Rücken** durch **positive Anomalien**.
Details von Schwere-Korrekturen bzw. -Anomalien sind nicht leicht zu vermitteln... vielleicht später

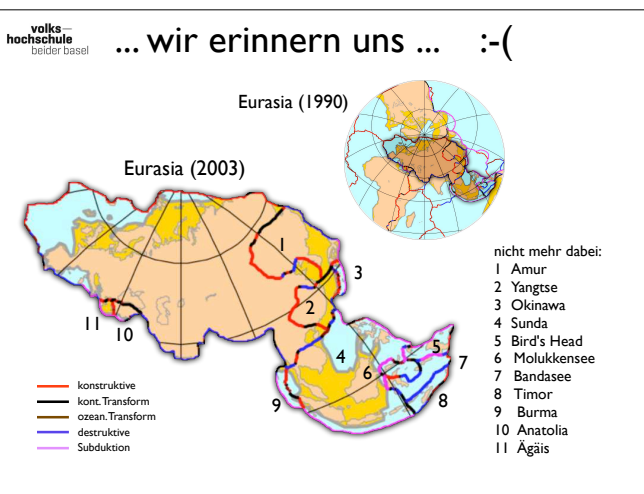
Plattenrundgang

25



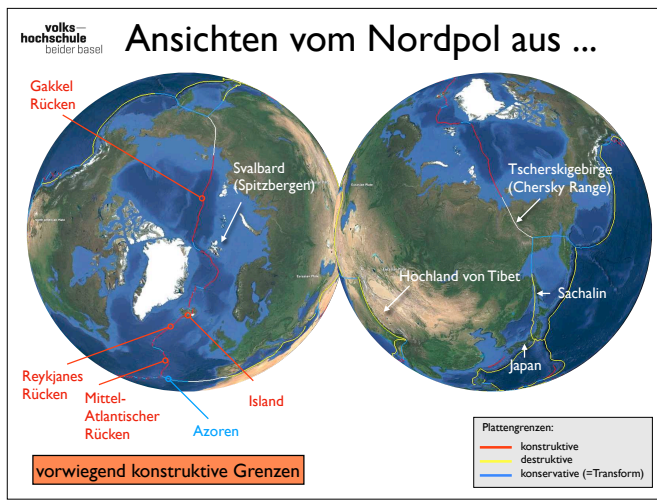
26

Wir betrachten **Eurasia 1990**
Allgemeine Plattenbewegung = **Richtung Ost: von konstruktiv zu destruktiv**, von der nordamerikanischen Platte im Nordwesten weg bis zur Kollision mit der Pazifische bzw. Philippinische im Osten und der Indische, Arabische, Afrikanische im Süden.
Rotationspol = Hudson Bay
Rechne: Nordamerikanische bezüglich Pazifische Platte, Rotationsrate = $0.8591^\circ/\text{Ma}$
es braucht $360/0.8591 \text{ Ma} = 419 \text{ Ma}$ um 360° (einmal um die Welt) zurückzulegen
(siehe auch NGIB_RH.pdf, VHSBB server)



27

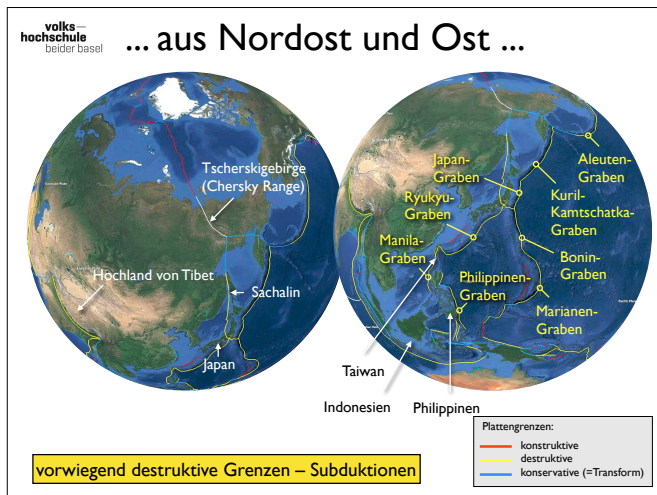
... seit 2003 gehören die Platten 1-11 nicht mehr zu Eurasia ...



28

wir sehen ROT

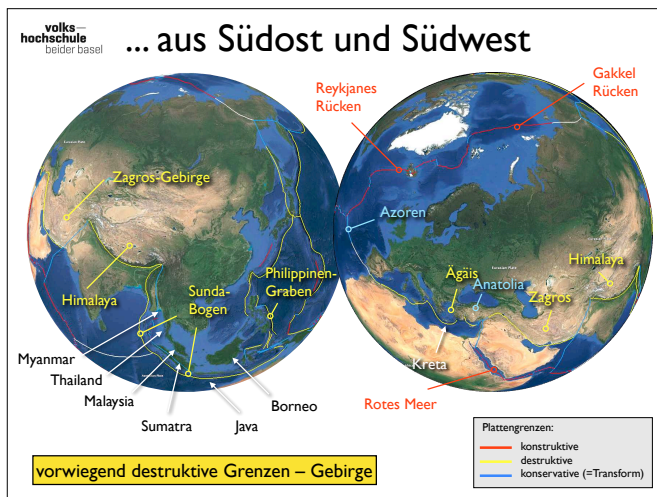
ein ungewöhnter Blickwinkel verrät: Nachbarin = N-Amerika
 PS: N-Pol ist auf der N-amerikanischen Platte, Grönland auch, Island halb/halb, Polarkreis = $66^{\circ} 33' 55''$ ($\approx 66,6^{\circ}$)



29

wir sehen GELB

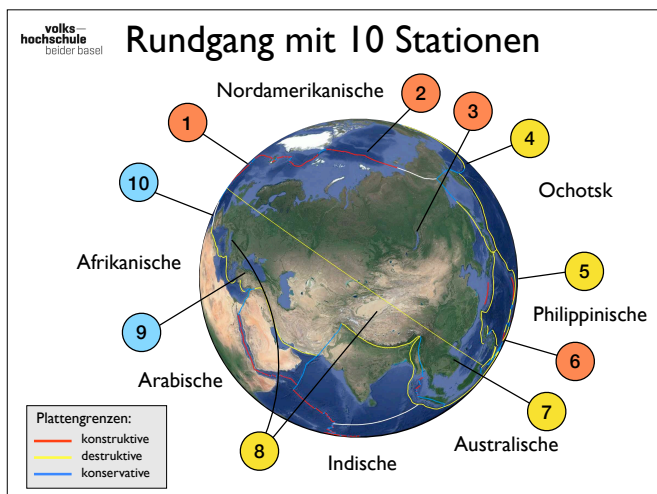
Nachbarinnen sind: Ohkotsk, Philippinische, (Pazifische gerade nicht), Australische Platte



30

wir sehen GELB ... und ein bitzeli BLAU ...

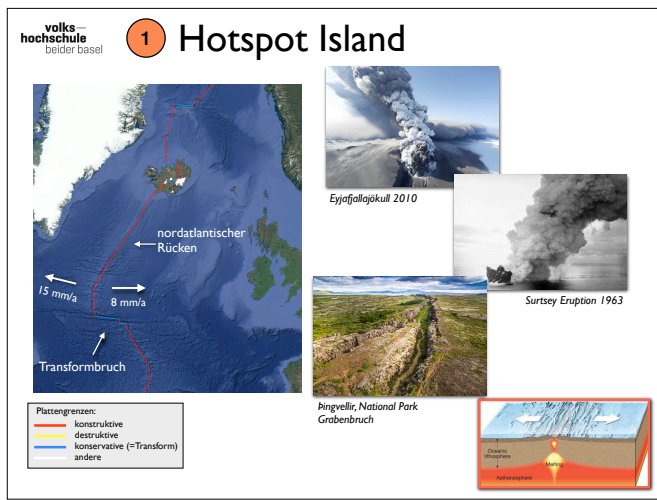
Nachbarinnen sind: die Australische, Indische, Afrikanische Platte
 Sundabogen (-graben) = Java Trench
 Australien S von Sunda und Indien S von Burma Platte



31

Rundgang von konstruktiven (im Westen) zu destruktiven Plattengrenzen (im Osten), Heimweg via Plattengrenzonen und Transformstörungen

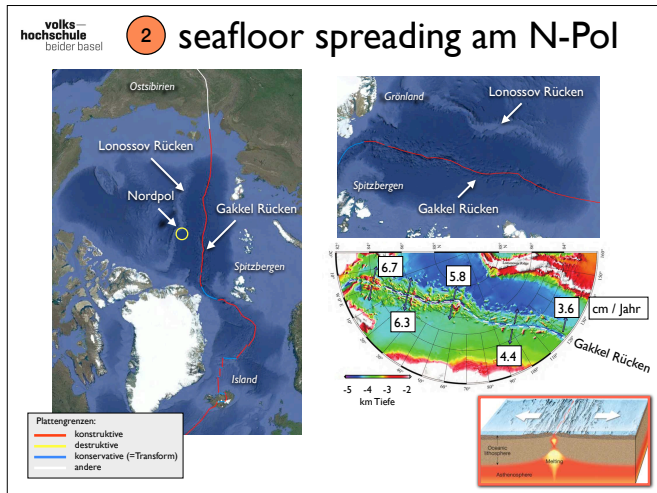
- 1 - Island: Hotspot auf dem mittelatlantischen Rücken
- 2 - Ozeanrücken im Polarmeer
- 3 - Baikalsee: Grabenbildung im Kontinent
- 4 - Kurilen: Subduktion an vulkanischem Inselbogen
- 5 - Philippinische Platte: Subduktionen ohne Ende
- 6 - Okinawa-Platte: neue Plattengrenze
- 7 - Sunda-Platte: Vulkanismus am ring of fire
- 8 - Kontinent-Kontinent Kollision: Himalaya bis Alpen
- 9 - Transform-Blattverschiebung am Nordanatolischen Bruch
- 10- Transform-Verbindung zum mittelatlantischen Rücken via Azoren



32

Konstruktive Plattengrenze

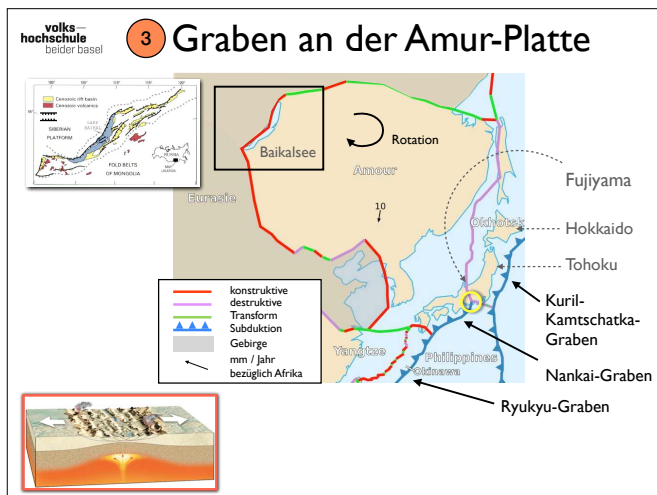
Nachbarin: N-Amerikanische Platte
 Divergente / konstruktive Plattengrenze
 Island = Hotspot (20Ma alt) = spreading ridge
 Topographie = Grabenbildung



33

Konstruktive Plattengrenze

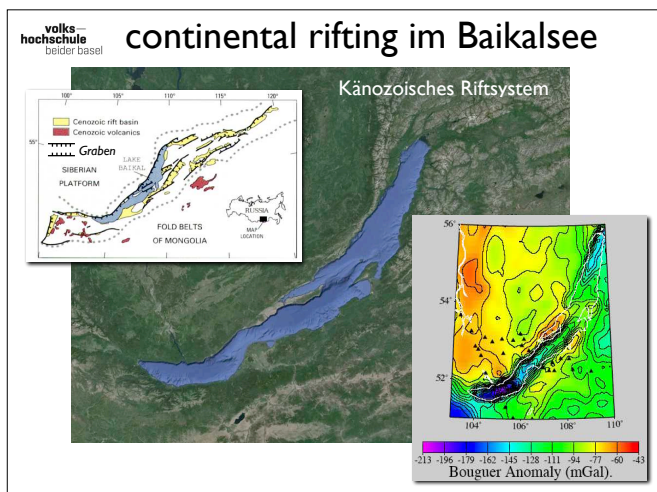
Nachbarin: N-Amerikanische Platte
 Also: N-Pol ist amerikanisch Grönland auch, Island halb/halb
 Polarkreis = $66^\circ 33' 55''$ ($\approx 66,6^\circ$)
 Zhang, Tao & Gao, Jinyao & Chen, Mei & Yang, Chunguo & Shen, Zhongyan & Zhou, Zhiyuan & Zhao, Wu & Sun, Yunfan. (2015). Mantle melting factors and amagmatic crustal accretion of the Gakkel ridge, Arctic Ocean. Acta Oceanologica Sinica. 34. 42-48. 10.1007/s13131-015-0686-8.



34

Konstruktive Plattengrenze

Nachbarin: Amur
 = Mandchurie, die Koreanische Halbinsel, die westlichen Hauptinseln Japans und die Region Primorje.
 Nach dem Fluss Amur benannt, = Grenze zwischen Osten Russlands und Nordosten Chinas
 Baikal-Graben = Grenze zwischen dem Amurplatte und der Eurasischen Platte.
 GPS-Messungen zeigen, dass die Platte sich langsam gegen den Uhrzeigersinn dreht.
 ==>>> Fujiyama = spez. Vulkanismus - Tripelpunkt
 ==>>> Japan = 2 Platten (Ochotsk + Eurasia) mit zwei Subduktionen !!! Kuril-K.-Marianen und Nankai.
 Ryukyu bereits Phillipinische unter Yangtse Platte (bzw. Okinawa Platten-schnitt)...



35

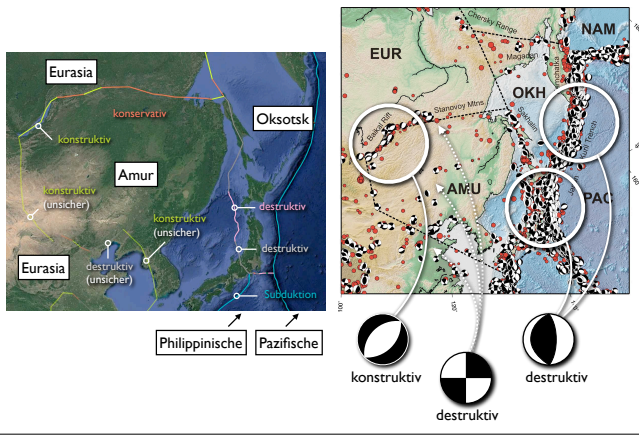
Baikal-Graben = Grenze zwischen dem Amurplatte und der Eurasischen Platte. (Káinozoikum ab 66 Ma = jung)

GPS-Messungen zeigen, dass die Platte sich langsam gegen den Uhrzeigersinn dreht.
 → geringe Dichte
 → verdünnte Lithosphäre
 → Sedimentfüllung

die Amur-Platte dreht ab ...

36

Links: Grenzen berechnet aus Rotationspolen (w/r Pacific, Bird 2003)
Rechts: Herdflächenlösungen



Amur Platte = Mandschurei, die Koreanische Halbinsel, die westlichen Hauptinseln Japans und die Region Primorje.
Nach dem Fluss Amur benannt, = Grenze zwischen Osten Russlands und Nordosten Chinas

4 Subduktion bei den Kurilen

37

Destructive Plattengrenze

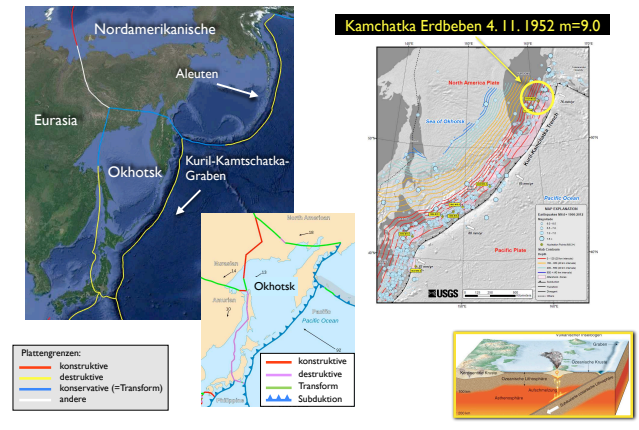
Nachbarin: Okhotsk Platte

links: Sea of Okhotsk, the Kamchatka Peninsula, Sakhalin Island and Tōhoku and Hokkaidō in Japan. It was formerly considered a part of the North American Plate

rechts: Okhotsk, noch als Teil der N-Amerikanischen Platte

Kuril-Kamtschatka-Graben = eine der gefährlichsten Subduktionszonen

blaue Konturen = über 600km Tiefe

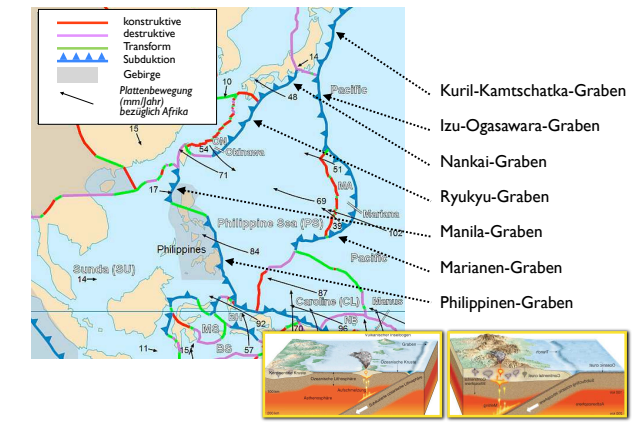


5 Subduktionen ohne Ende

38

Destructive Plattengrenzen

Subduktionen zeichnen sich durch Tiefseerinnen aus



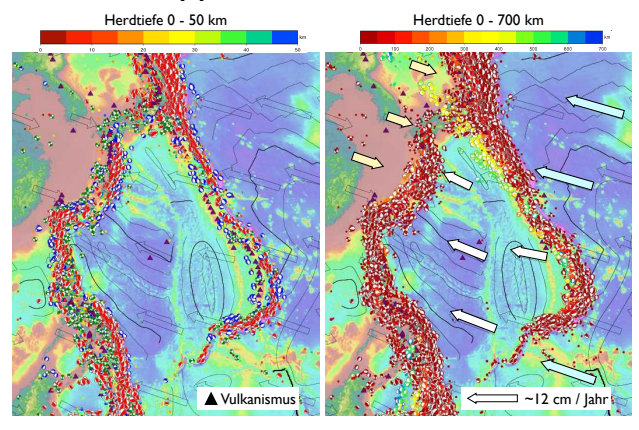
Philippinische Platte

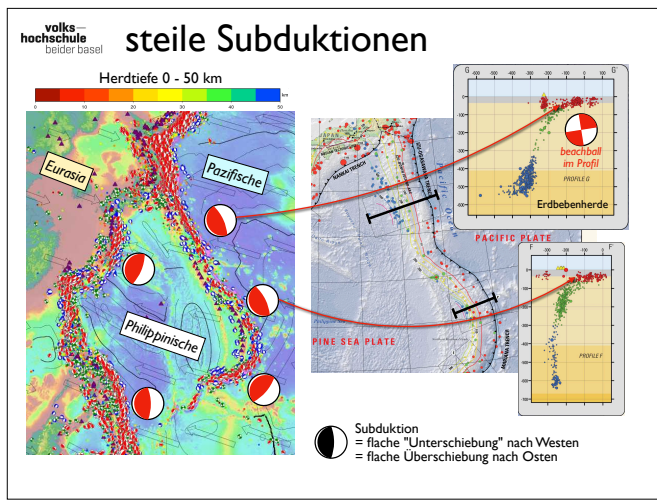
39

Pfeile zeigen Richtung und Betrag der **Plattengeschwindigkeiten**

gelb: Eurasische Platte, bewegt sich nach Osten.
weiss: Philippinische, taucht unter die Eurasische Platte.

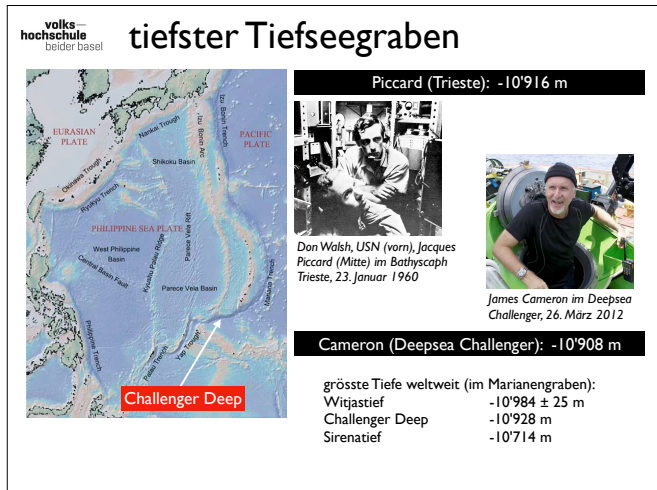
blau: Pazifische Platte, holt die Philippinische ein, da sie schneller ist. Deshalb gibt es eine Subduktion der Pazifischen unter die Philippinische Platte.





40

Herdfächen zeigen, dass die **Subduktionen nahe der Oberfläche noch flach** sind (rote Symbole, Herdtiefe kleiner als 10km).
Quelle: USGS Seismicity of the Earth, Philippine Sea Plate and Vicinity, Open-File Report 2010-1083-M. Compiled by Gregory M. Smoczyk, 1 Gavin P. Hayes, 1 Michael W. Hamburger, 2 Harley M. Benz, 1 Antonio Villaseñor, 3 and Kevin P. Furlong 4 2013



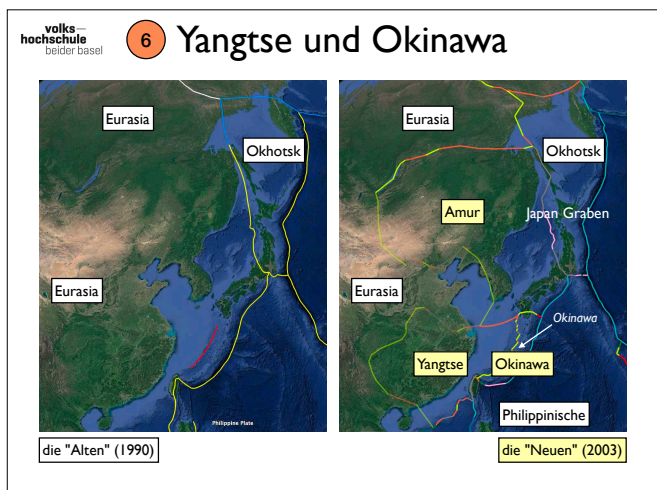
41

On 23 January **1960**, the Swiss-designed bathyscaphe **Trieste**, originally built in Italy and acquired by the U.S. Navy, descended to the ocean floor in the trench manned by **Jacques Piccard** (who co-designed the submersible along with his father, Auguste Piccard) and USN Lieutenant **Don Walsh**. The depth of the descent was measured at **10'916 m**; later, more accurate, measurements during 1995 found the Mariana Trench to be slightly less deep at 10'911 m.
On 26 March **2012**, **James Cameron** in **Deepsea Challenger** reached the bottom of the Challenger Deep, the deepest part of the Mariana Trench. The maximum depth recorded during this record-setting dive was **10'908 m**. Measured by Cameron, at the moment of touchdown, the depth was 10'898 m.



42

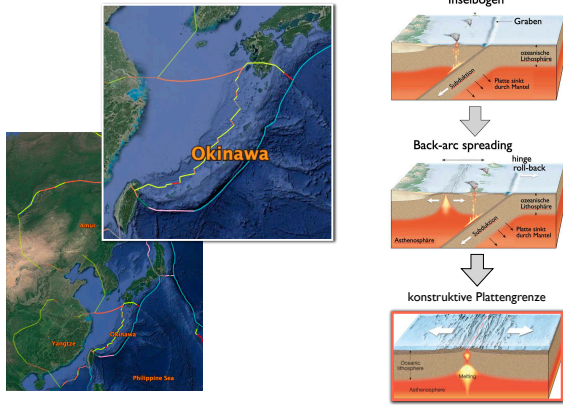
Mariana snailfish and super-sized **amphipode** was captured in May 2017 at **8178 m depth** using a high-resolution video camera attached to a "lander" robot designed specifically for the "hadal" zone below a depth of 6,000 metres. The lander had been launched by JAMSTEC's research vessel Kairei. posted 25.8.2017
<https://www.cbc.ca/news/technology/deepest-fish-1.4263003>
<http://www.deepseachallenge.com/the-science/biology/>



43

Nach 2003 hat die (verkleinerte) Eurasische Platte keinen Kontakt mehr mit der Philippinischen Platte. Im Norden grenzt sie jetzt an die Amur- und die Okhotsk-Platte, im Süden an die Okinawa- und die Yangtse-Platte
Im Norden wird die Pazifische Platte unter die Okhotsk Platte subduziert (Japan Trench)
Im Westen die Philippinische unter die Amur Platte (Nankai Trough)
Und im Süden die Philippinische unter die Okinawa Platte (Ryukyu Trench)

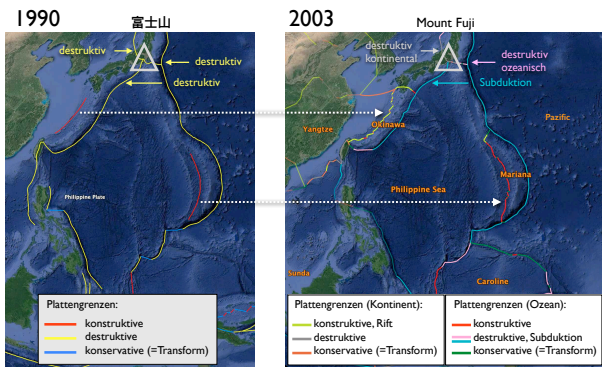
vom back-arc spreading ...



44

Backarc spreading hinter dem Ryukyu Graben. **Back-arcs** fördern **Basalte**, die denen von mittelozeanischen Rücken sehr ähnlich sind, sogenannte MORB (mid-ocean ridge basalt). Der Hauptunterschied zu MORBs liegt darin, dass die **Magmen von back-arcs wasserreich** sind (typischerweise 1-1.5 Gewichts-% H₂O), während die MORBs sehr trocken sind (typischerweise <0.3 Gewichts-% H₂O).

... zur konstruktiven Plattengrenze

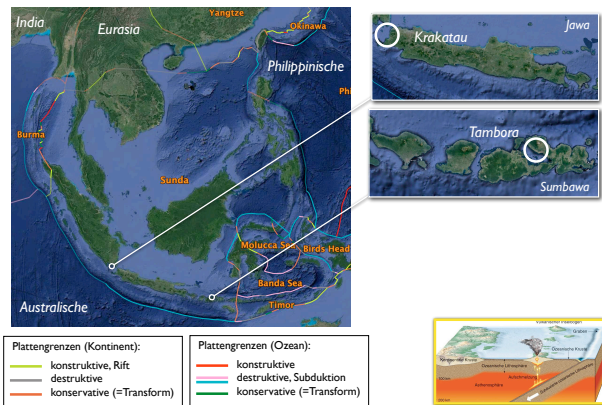


aus back-arc spreading ... wird eine Plattengrenze

45

ein weiteres Beispiel für den "Rückbau" der eurasischen Platte ist die "Aufwertung" eines back-arc spreadings auf der Philippinischen Platte zu einer Plattengrenze mit der neu definierten **Mariana-Platte...**

7 Sunda-Platte – ring of fire



46

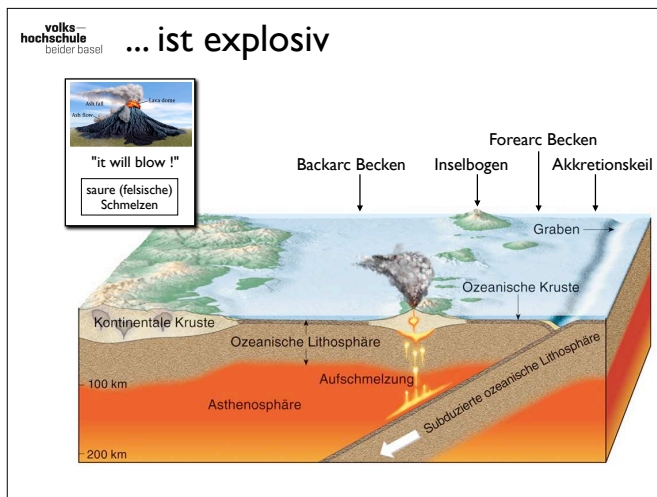
Destruktive Plattengrenze
Nachbarin: Sunda-Platte
= dominanter Vulkanismus
= Subduktion -> Tiefbeben !! Bsp.: Weihnachts-Erdbeben 26.12.2004

Vulkanismus an Subduktionen



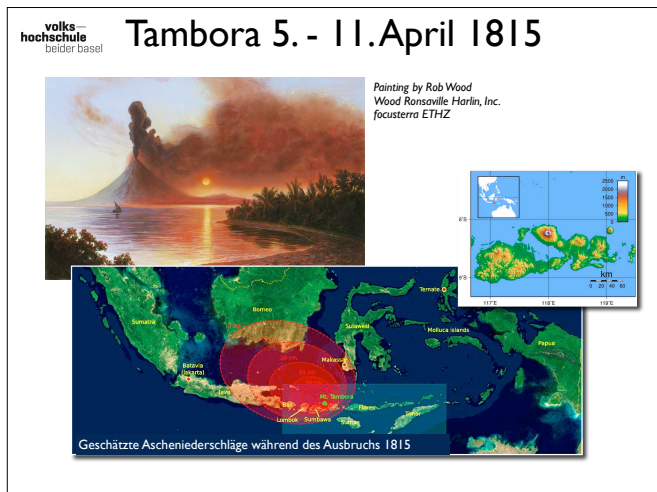
47

Die Frage, ob ein **Vulkanismus explosiv** und gefährlich ist oder nicht, hängt von der Zähigkeit des Magmas ab, welches eruptiert. Basische Schmelzen, wie solche, die an mittelozeanischen Rücken austreten, sind sehr **fließfähig (niedere Viskosität)**, saure Schmelzen, wie diejenigen, welche über Subduktionen gebildet werden, sind **sehr zäh (hohe Viskosität)**, und neigen deshalb zu explosiven Ausbrüchen.



48

Die für **Subduktionszonen** typischen **andesitischen** Schmelzen entstehen durch Aufschmelzung von ozeanischer Lithosphäre. Diese lassen **Schichtvulkane** entstehen, die wegen der **Zähflüssigkeit** ihrer Magmen zu explosiven Eruptionen neigen. Bekannte Beispiele für besonders explosive Ausbrüche in jüngerer Vergangenheit sind die des **Krakatau 1883**, des **Mount St. Helens 1980** und des **Pinatubo 1991**, bzw. **Tambora 1815**



49

Der **Tambora** (auch Temboro) ist ein aktiver Schichtvulkan auf der östlich von Java gelegenen Insel Sumbawa in Indonesien. Sumbawa wird im Norden und Süden von ozeanischer Erdkruste gesäumt. Der Tambora wurde durch aktive Subduktionszonen darunter gebildet. Die vulkanische Aktivität dieser Kammer erreichte **zwischen dem 10. und 15. April 1815** eine Spitze.

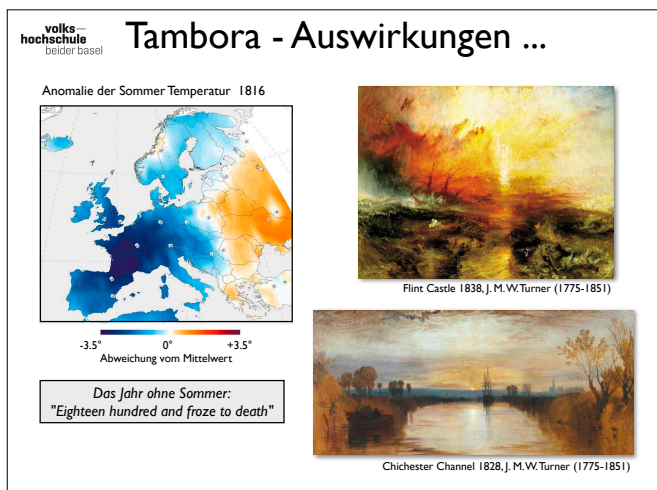
In jenen Tagen brach der Tambora mit einer Intensität von **VEI=7** auf dem Vulkanexplosivitätsindex aus, die größte Eruption seit dem Ausbruch des Taupō in Neuseeland vor etwa 26'500 bis 22'500 Jahren. Starke Niederschläge aus vulkanischer Asche reichten bis Borneo, Sulawesi, Java und zu den Molukken.

Durch den Ausbruch starben mindestens 71.000 Menschen auf Sumbawa und Lombok, 11'000 bis 12'000 direkt durch die Eruption.

Das durch die Eruption ausgeworfene Material bewirkte globale **Klimaveränderungen**, die aufgrund der Auswirkungen auf das nordamerikanische und europäische Wetter dem Jahr 1816 die Bezeichnung **„Jahr ohne Sommer“** einbrachten. In Teilen der nördlichen Hemisphäre kam es durch Missernten und eine erhöhte Sterblichkeit unter Nutztieren zur schlimmsten Hungersnot des 19. Jahrhunderts. Die weltweiten indirekten Opferzahlen lassen sich nicht beziffern.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Tambora>

Painting by Rob Wood – Wood Ronsville Harlin, Inc.
focusterra ETHZ



50

Auswirkungen auf die Kunst werden behauptet anhand von Turners glühenden Sonneuntergängen... Dabei ist zu bedenken, dass die Gemälde ja nicht wirklich zeitgenössische Dokumente des Vulkanausbruchs sind... wenn sie 20 Jahre nach dem Ausbruch gemalt worden sind.

Auswirkungen auf die Wirtschaft, Landwirtschaft und Gesundheit der Bevölkerung sind hingegen eindeutig.

... auf Politik und Literatur



Jan Hoyneck van Papendrecht (~1900): Le général David Chassé à la tête de sa division néerlandaise à la bataille de Waterloo



Mary Shelley
(1797 – 1851)



Lord Byron
(1788 – 1824)



51

Eine charmante Hypothese betreffend die Auswirkungen auf die europäische Politik - bis heute - hat der "History Guy": der sumpfige Boden **verhinderte Napoleons Sieg bei der Schlacht von Wellington**. Dadurch wurde die zivilisatorische Entwicklung Europas massiv behindert. Auf der andern Seite wurde die Literatur gefördert... dadurch, dass in Genf, wo der Freundeskreis um Lord Byron und Mary Shelly wegen des schlechten Wetters gezwungen waren im Haus zu bleiben. Es entstanden – um die Langeweile zu überbrücken – zwei Jahrhundertwerke, Grundlage für unzählige weitere Dracula und Frankenstein Geschichten... (https://www.youtube.com/watch?v=urYvBb7_OBM)

Lord Byron (geborener George Gordon Byron; 1788 – 1824), war ein britischer Dichter: "Fragment of a Novel" is an unfinished 1819 vampire horror story . **Mary Shelley**(geborene Mary Godwin; 1797 – 1851), auch Mary Wollstonecraft Shelley, war eine englische Schriftstellerin des frühen 19. Jahrhunderts: "Der moderne Prometheus" (1818), ein bekanntes Werk der romantischen und fantastischen Literatur (s. Frankenstein)

Krakatau, 26. - 27. August 1883

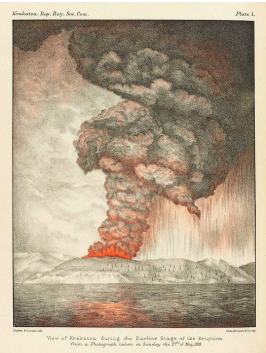
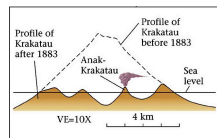
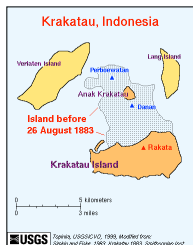


Image published as Plate I in The eruption of Krakatoa, and subsequent phenomena. Report of the Krakatoa Committee of the Royal Society (London, Trubner & Co., 1888)



52

Der **Krakatau** (auch Krakatoa) ist ein Vulkan unter dem Krakatau-Archipel in der Sundastraße zwischen den indonesischen Inseln Sumatra und Java. Der bekannteste Ausbruch ereignete sich am **27. August 1883**. Die Insel Krakatau, damals Teil Niederländisch-Indiens, die aus den drei Vulkankegeln Perboewatan, Danan und Rakata bestand, wurde dabei durch eine phreatomagmatische Eruption nahezu vollkommen vernichtet. Durch die Katastrophe und den dadurch ausgelösten Tsunami kamen mehr als 36'000 Menschen ums Leben. Die Druckwelle der Explosion umrundete die Erdkugel siebenmal und der Knall war noch in über 4'800 km Entfernung zu hören. Weite Teile von Java und Sumatra wurden durch die Eruption verwüstet, deren Sprengkraft 10'000 bis 100'000 mal so stark war wie die der 1945 auf Hiroshima abgeworfenen Atombombe. Derzeit aktiver Schlot ist der **Anak Krakatau** („Kind des Krakatau“), der seit 1927 im Zentrum des Archipels als neue Insel aus der untermeerischen Caldera des Vulkans aus dem Wasser emporwächst. (<https://de.wikipedia.org/wiki/Krakatau>)

8 Plattengrenzen werden unscharf

53

Destruktive Plattengrenze ... bzw. Grenzzone

Typisch für Kontinent-Kontinent Kollision ist der Umstand, dass sich die Plattengrenzen keine linearen Senken mehr sind, sondern grosse Platten-Grenzgebiete, in welchen sich die nicht subduzierten (kontinentalen) Plattenanteile zu Gebirge auftürmen.

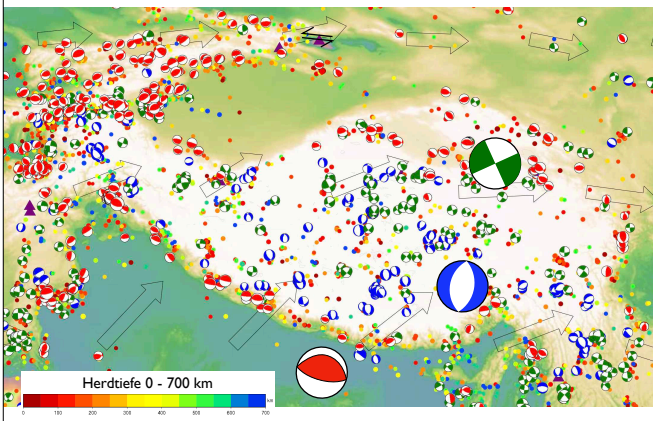


weit verteilte Bewegungen ...

54

Tibet Plateau im Norden 4000 - 5500 m Höhe, durch **verdoppelte Kruste**.

roter beachball = Abtauchen (fast horizontal) der indischen Platte unter die Eurasische
grüner beachball = dextrale Blatteverschiebung
blauer beachball = Ost-West Dehnungsbewegungen



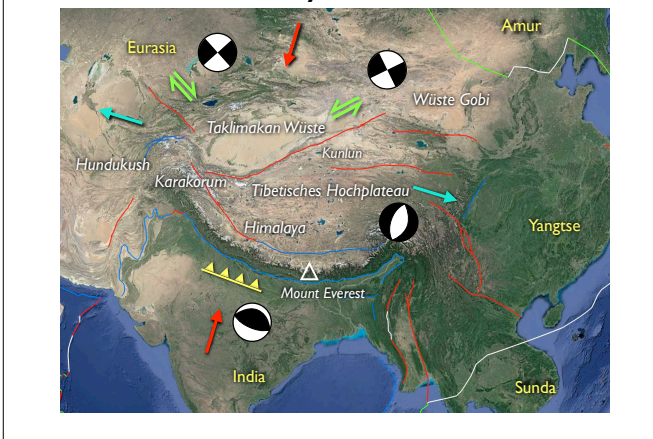
... im Himalaya

55

Destruktive Plattengrenze

Nachbarin: India

Die einfache N-S Verkürzung zwischen Eurasia und India wird im Süden durch gewaltige Überschiebungen (gelb) und im Norden durch mehrere riesige Blattverschiebungen (Transformstörungen, rote Linien) realisiert. Konjugierte dextrale und sinistrale Transformstörungen (grün) führt zu N-S Verkürzung (rot) und E-W Dehnung (cyan).



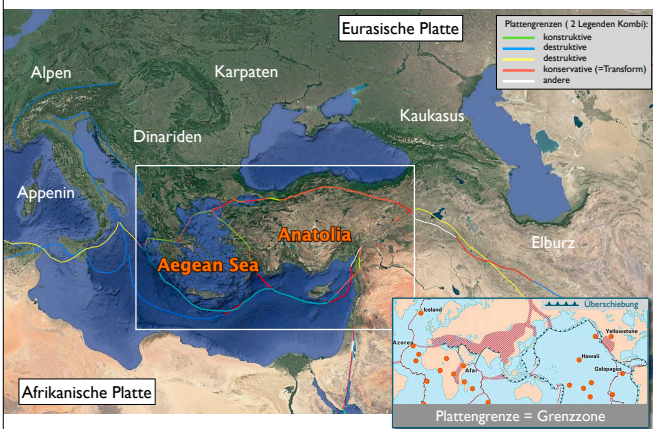
eine Grenze – viele Gebirge

56

Destruktive Plattengrenze

Nachbarinnen: Afrika und Arabia

Dazwischen lösen sich die Anatolische und die Ägäis-Platte von der Eurasischen Platte ab



9 Anatolia – wie California

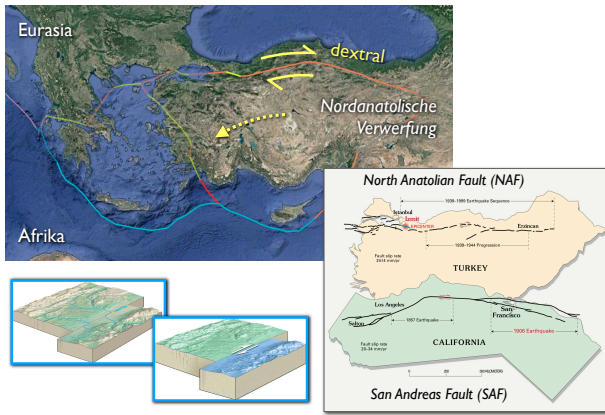
57

Konservative Plattengrenze

Nachbarin: Anatolische

Die **Nordanatolische Verwerfung (NAF)** ist sehr gut mit dem **San Andreas Bruch (SAF)** in Kalifornien zu vergleichen. Beide sind dextrale Blattverschiebungen: beim NAF geht der nördliche Teil nach Ost, beim SAF geht der östliche Teil nach Süd., beide sind etwa gleich lang, beide sind seismisch sehr aktiv.

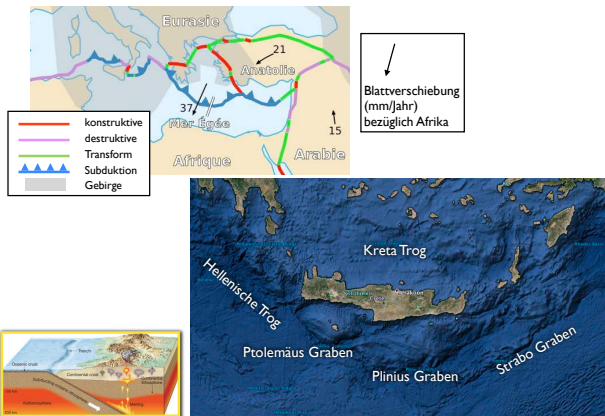
Quellen: U.S. Geological Survey Circular 1193, IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), Recent Earthquake Teachable Moments <https://www.iris.edu/hq/retm/>



Afrika meets Europe

58

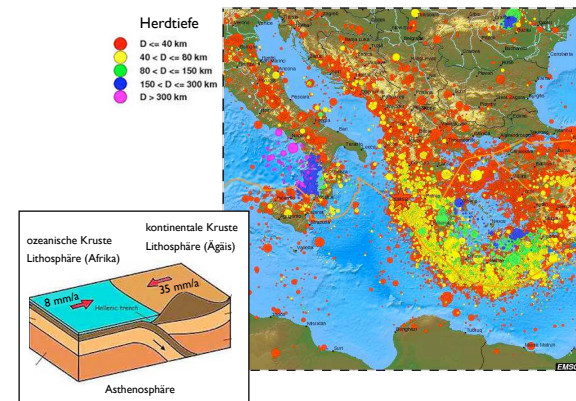
Subduktion der afrikanischen Platte unter Kreta (Ägäis-Platte).



ein Erdbeben kommt nie allein

59

Der **Mittelmeerraum** ist seismisch sehr aktiv aufgrund der Konvergenz (4-10 mm/Jahr) der Afrikanischen und der eurasischen Platte. Die Konvergenz begann vor ca 50 Ma und hängt mit der Schliessung des Tethys-Ozeans zusammen.



10 aktive Verbindung via Azoren ...

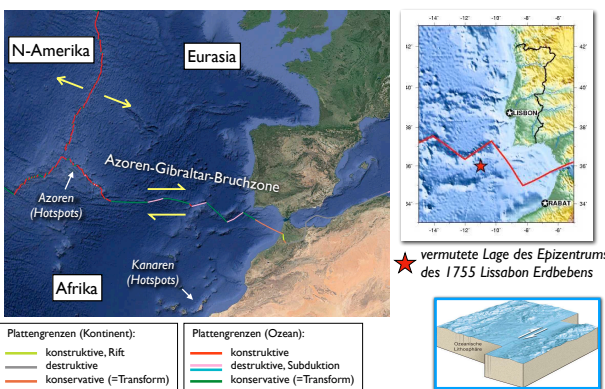
60

Konservative Plattengrenze

Nachbarin: Afrika

Abb.: Azoren-Gibraltar-Bruchzone ist eine **dextrale Verwerfung**.

Das Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755 zerstörte zusammen mit einem Großbrand und einem Tsunami die portugiesische Hauptstadt Lissabon fast vollständig. Mit 30.000 bis 100.000 Todesopfern ist dieses Erdbeben eine der verheerendsten Naturkatastrophen der europäischen Geschichte. Es erreichte eine geschätzte Magnitude (Stärke) von etwa 8,5 bis 9 auf der Momenten-Magnituden-Skala.

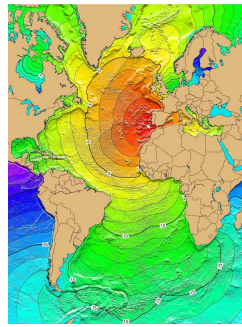


Lissabon 1. November 1755

61



Darstellung des Erdbebens auf einem zeitgenössischen Kupferstich



Ausbreitung des Tsunamis (Konturen in Stunden)



Theodizee-Problematik

z.B. schreibt Voltaire in seinem Roman "Candide" eine bissige Satire auf die Philosophie von Leibniz, wonach die existierende Welt die beste aller möglichen Welten sei.

Voltaire
(1694 – 1778)

Erdbeben von Lissabon 1755, Magnitude etwa 8,5 bis 9, Ausbreitung eines Tsunamis.
Grossbrand (**Zerstörung der Stadt**) mit 30'000 bis 100'000 Todesopfer
Anstoß zur Entwicklung der Erdbebenforschung
Theodizee-Problematik: griechisch θεοδικία heißt „Gerechtigkeit Gottes“ oder „Rechtfertigung Gottes“: warum sind ausgerechnet alle diejenigen gestorben, welche zur Messe gingen...?
Voltaire (eigentlich François-Marie Arouet, 1694 – 1778) war ein französischer Philosoph und Schriftsteller.

Marquês de Pombal

62

Nach dem Beben vom 1. November 1755

"Und nun? Beerdigt die Toten und ernährt die Lebenden."



Marquês de Pombal
(1699 – 1782)

führte Umfrage durch:

- die Dauer des Erdbebens
- die Anzahl der Nachbeben
- die durch das Beben verursachten Schäden
- besondere Verhaltensweisen von Tieren vor dem Erdbeben
- Besonderheiten in Brunnen und Wasserlöchern

liess Holzmodelle für neue Häuser entwerfen; Soldaten mussten um sie herummarschieren um Erdbeben zu simulieren



erdbebensichere Holzstruktur "gaiola pombalina"



Wiederaufbauplan nach dem 1755 Erdbeben von Eugénio dos Santos und Carlos Mardel.



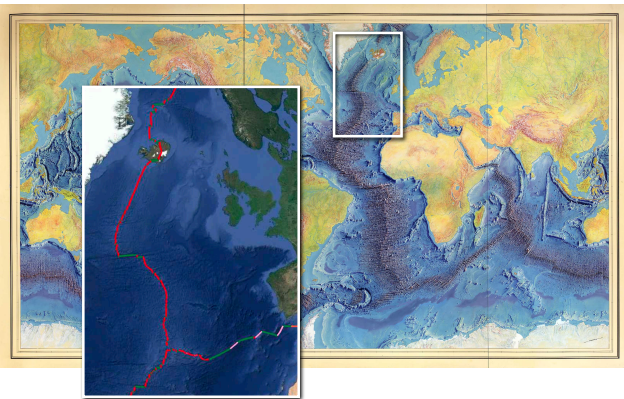
Estátua Marquês de Pombal, Lisboa

Sebastião José de Carvalho e Melo, seit 1769 Marquês de Pombal (1699 – 1782), war während der Herrschaft von König Joseph I. Zur Erforschung der Wirkung von Erdbeben richtete man Holzmodelle der Häuser auf, um die man Soldaten herumarschieren ließ, um Erschütterungen zu erzeugen. Erdbebensichere Holzstrukturen "gaiola pombalina" wurden entwickelt um die Stadt wieder aufzubauen. Die Antworten auf die Umfragen sind bis heute erhalten und liegen im Torre do Tombo, dem Zentrum des Nationalarchivs von Portugal. Ihr Studium erlaubt es modernen Wissenschaftlern, das Beben zu rekonstruieren, was ohne diese Umfrage des Marquês de Pombal nicht möglich gewesen wäre. Deshalb wird er als **Vorläufer der modernen Seismologie** betrachtet. Vergleiche mit Lawson report zum

... zum mittelatlantischer Rücken

63

Der Rundgang ist beendet - wir sind zurück.
Karte von Marie Tharpe (1920 - 2006)



Zusammenfassung

64

was wir besprochen haben:

Strukturen und Prozesse an Plattengrenzen

1. Verwerfungen der Dehnung und Verkürzung
2. Bestimmung von Plattengeschwindigkeiten
3. Lokalisierung von Erdbeben an Plattengrenzen
4. Herdflächenlösungen zeigen Bewegungssinn
5. Vulkanismus an Plattengrenzen
6. Wärmefluss an Plattengrenzen
7. Schwereanomalien

Plattenrundgang um die Eurasische Platte

... und jetzt der Hintergrund !

