



1

Hier sehen wir zwei Typen von destruktiven Plattengrenzen:
 Links eine Subduktion: die ozeanische Nazca-Platte taucht unter den kontinentalen Teil der südamerikanischen Platte
 Rechts die kontinentalen Kollisionen der eurasischen mit der afrikanischen, der arabischen und der indischen Platte. Eigentlich ist die Darstellung durch eine Linie irreführend, da eine kontinentale Kollision immer zu einer relativ breiten Plattengrenzzone führt.

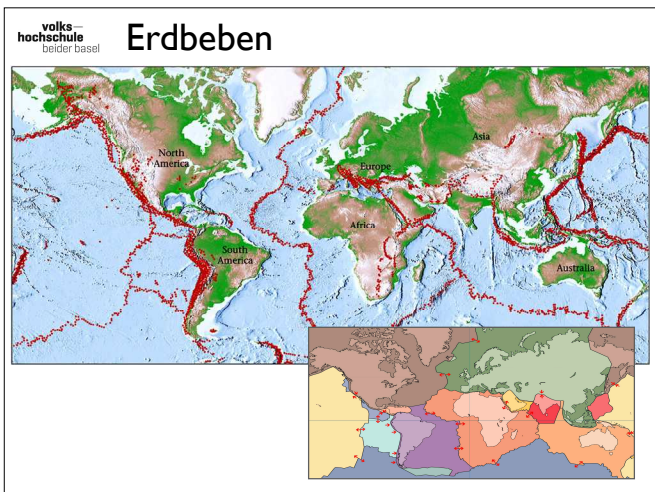


2

pro memoria:
 destruktiv = physikalisch - materialbezogen (Oberfläche)
 konvergent = kinematisch - bewegungsbezogen (Platte)
 kompressiv = geometrisch - verformungsbezogen (Kruste)

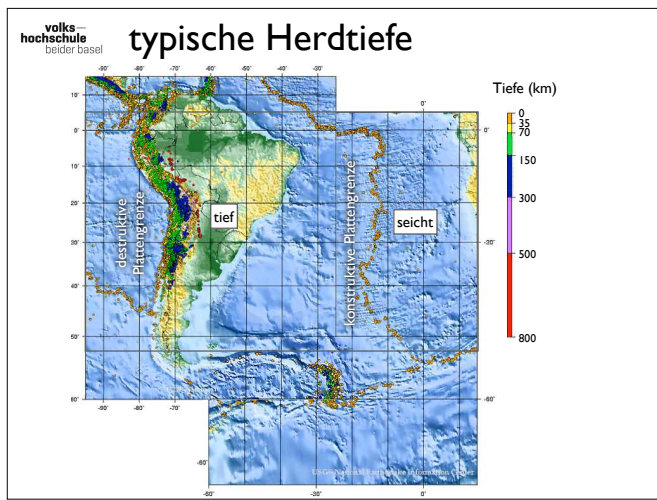
geophysikalische Merkmale von Plattengrenzen

3



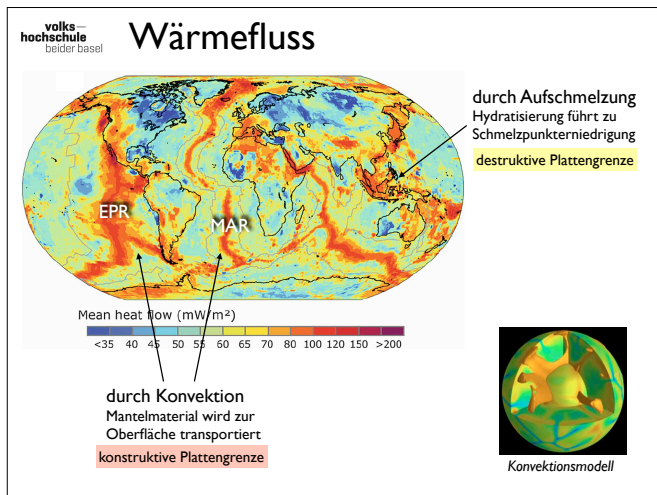
4

Erdbebenherde sind deutliche Merkmale von Plattengrenzen, und zwar von allen drei Typen.



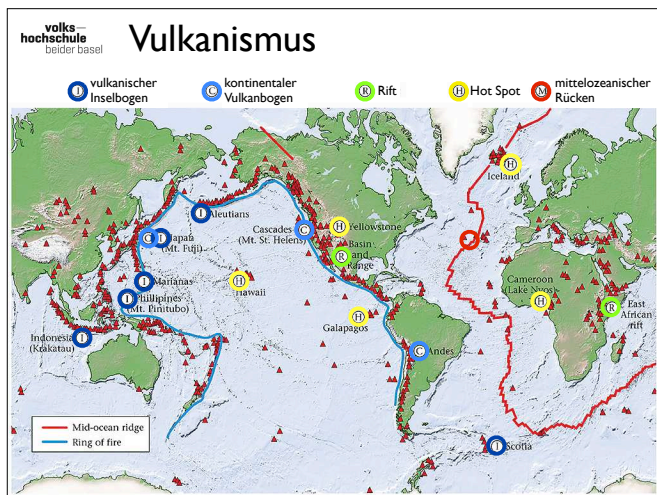
5

Allerdings unterscheiden sich die Subduktionsbeben von den andern typischen Plattengrenzen-Erdbeben dadurch, dass es sich immer um ausgesprochene Tiefbebenherde handelt, deren tiefste Hypozentren weit in die Asthenosphäre reichen und damit in der grössten Tiefe entstehen, in welcher Beben überhaupt noch möglich sind.



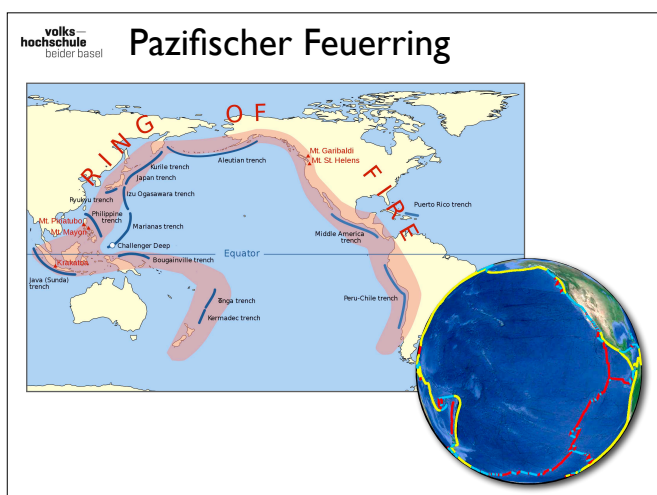
6

Ein erhöhter Wärmefluss ist typisch für konstruktive Plattengrenzen. der Grund dafür ist das bis zur Oberfläche aufsteigende heisse Material des konvektierenden Mantels. (weitere Karten zum Wärmefluss unter [https://ihfc-iugg.org/products/global-heat-flow-database/mapping-studies](https://ihfc.iugg.org/products/global-heat-flow-database/mapping-studies))



7

Ebenfalls typisch für Plattengrenzen ist ein ausgeprägter Vulkanismus. Dabei variiert die Zusammensetzung magmatischen Gesteine (Plutonite und Vulkanite, d.h. Intrusions- und Eruptivgesteine) entsprechend dem Typ der Plattengrenze. Dies deshalb, weil bei mittelozeanischen Rücken und Hotspots Mantelmateriale direkt an die Oberfläche dringt, während bei Rifts, sowie vulkanischen Inselbogen und kontinentalen Vulkanbogen immer auch kontinentales Material aufgeschmolzen und mitbefördert wird.



8

Der pazifische Feuerring umgibt den pazifischen Ozean, d.h nicht nur die pazifische Platte, sondern auch die Juan de Fuca-, Cocos- und die Nazca-Platte.

destruktive Plattengrenzen

9

pro memoria:
 destruktiv = physikalisch - materialbezogen (Oberfläche)
 konvergent = kinematisch - bewegungsbezogen (Platte)
 kompressiv = geometrisch - verformungsbezogen (Kruste)

volks-
hochschule
beider basel

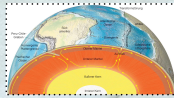
wohin mit der Lithosphäre ?

10

Angenommen, die Erde würde durch Seafloor Spreading immer grösser (Bruce Heezen glaubte ja anfänglich an eine "expanding earth"), dann wäre eine Verdoppelung der Erdoberfläche schon in 100 Ma erreicht. Unter der Annahme, dass die heutige Grösse der Erde ebenfalls durch Seafloor Spreading zustande gekommen ist, wäre die Erdoberfläche vor 100 Ma also halb so gross wie heute und vor 200 Ma gleich Null gewesen... (ein zweiter Big Bang?!)

Gesamtlänge der Ozeanische Rücken: 70'000 km (= 70 · 10⁶ m)
 durchschnittliche spreading rate: 7 cm / Jahr (= 0.07 m)
 Produzierte Fläche pro Jahr: 70 · 10⁶ · 0.07 ≈ 5 · 10⁶ m² (= 5 km²)
 Gesamtoberfläche der Erde (S = 4πr²): 4 · 3.14 · (6370 km)²
 = 4 · 3.14 · 6.372 · 10¹² m²
 ≈ 500 · 10¹² m² (= 500 Mio. km²)

Erdoberfläche ≈ 500 Mio km²
 Länge aller Ozeanrücken ≈ 70'000 km
 Spreizungsrate ≈ 7 cm/a



durch Seafloor Spreading produzierte Fläche pro Jahr:
 = 70 000 km · 7cm / a
 = (70 · 10⁶ m) · (0.07 m/a) ≈ 5 · 10⁶ m²/a = 5 km²/a

Produzierte Fläche pro Jahr : Erdoberfläche = 1 : 100 Mio

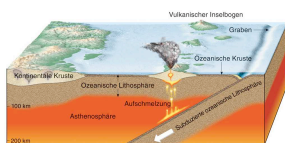
⇒ Verdoppelung der Erdoberfläche in 100 Ma!!

volks-
hochschule
beider basel

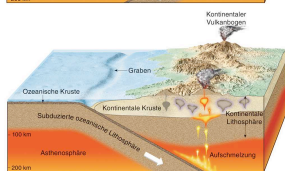
Plattenkonvergenz

11

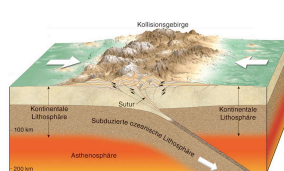
(1) Ozean - Ozean: die dichtere Platte sinkt hinunter. Vulkanismus findet am Ozeanboden statt (Pillow Lava). Es bilden sich vulkanische Inselbögen. Beispiele sind Japan, Aleuten, Tonga.
 (2) Ozean - Kontinent: die dichtere Platte (= ozeanische) sinkt hinunter. Aufschmelzung der überschobener Platte. Es bilden sich kontinentale Vulkanbögen. Beispiele sind Anden, Cascades (USA)
 (3) Kontinent - Kontinent: fortgesetzte Subduktion. Es kommt zu kontinentaler Kollision, die dichtere Platte wird subduziert. Es entsteht ein Kollisionsgebirge. Beispiele sind Himalaya, Alpen, Appalachen.



(1) Ozean - Ozean
 → Vulkanische Inselbögen



(2) Ozean - Kontinent
 → Kontinentale Vulkanbögen

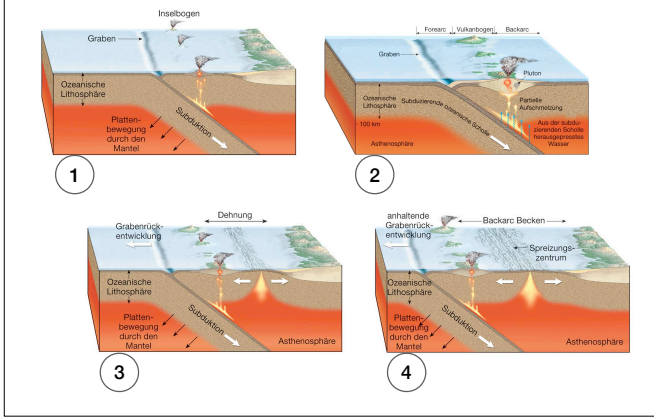


(3) Kontinent - Kontinent
 → Kollisionsgebirge

Vulkanische Inselbögen

12

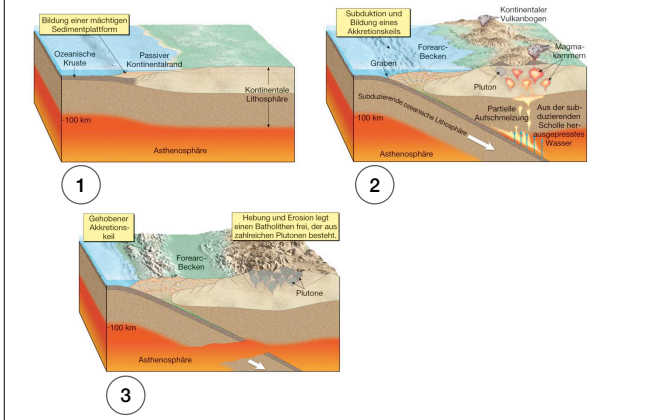
- Asymmetrie: eine Platte wird subduziert.
- Durch Wasser (mitgeführt in Sedimenten) kommt es zur Aufschmelzung und zu Vulkanismus (kalk-alkaliner Vulkanismus)
- Die subduzierte Platte sinkt ab, der tiefsee-graben an der Umbiegung der Platte wandert zurück (hinge roll-back).
- Dies führt zu einer Dehnung der Kruste, Magma steigt auf
- Des wiederum führt zu Ozeanbodenspreizung (back arc spreading)
- Oberhalb der Subduktionszone führt der Vulkanismus zur Bildung von Inseln



Kontinentale Vulkanbögen

13

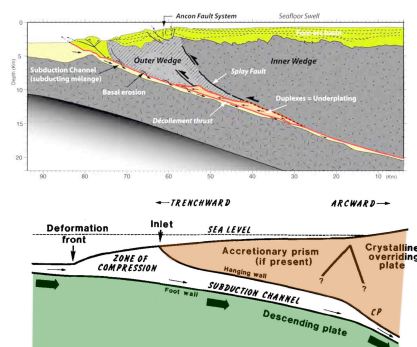
- Bildung einer Sedimentplattform an einem passive Kontinentalrand.
- Beginnende Subduktion: der ozeanische Teil der Platte sinkt unter den kontinentalen Teil. Es bildet sich ein Graben, sowie ein Forearcbecken. Durch die von der abtauchenden Platte abgeschürften Sedimente bildet sich ein Akkretionskeil.
- Durch fortgesetzten Aufbau des Akkretionskeils wird dieser gehoben.
- Auch das Forearcbecken wird gehoben.
- Durch Erwärmung wird die abtauchende Lithosphäre geschwächt und kann abgebrochen werden (Slab break-off). Dadurch kann Mantelmaterial aufsteigen und im Gebirge Plutone bilden (typischer kalk-alkaliner Magmatismus, Andesite)
- Hebung und Erosion führen dazu, dass tiefe Stockwerke des Gebirges an der Oberfläche sichtbar werden (Futter für Geologinnen...)



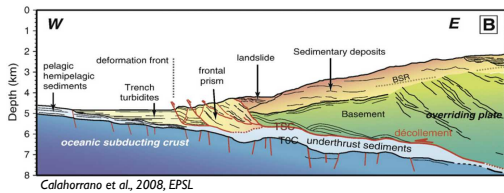
Subduktion - Subduktionskanal

14

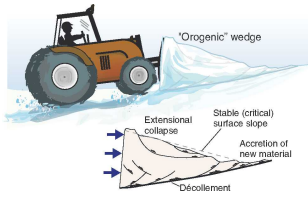
- Subduktionskanal = Thin layer (less than 1 to several km) of poorly consolidated sediment dragged by the descending plate beneath the overriding one.
Beachte: hanging wall - footwall, underplating, basal erosion



Akkretionskeil



Calahorrano et al., 2008, EPSL



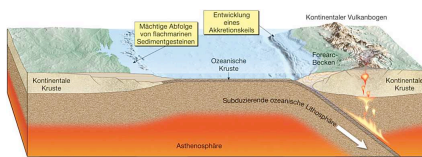
Haakon Fossen: Structural Geology

15

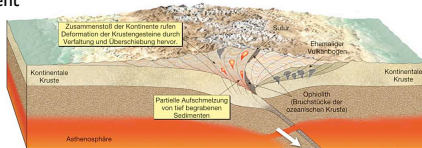
von oben und unten genährt
chaotische Struktur
Keil selbst wird verformt, Winkel α und β sind sehr klein

Anden versus Alpen

Ozean - Kontinent



Kontinent - Kontinent



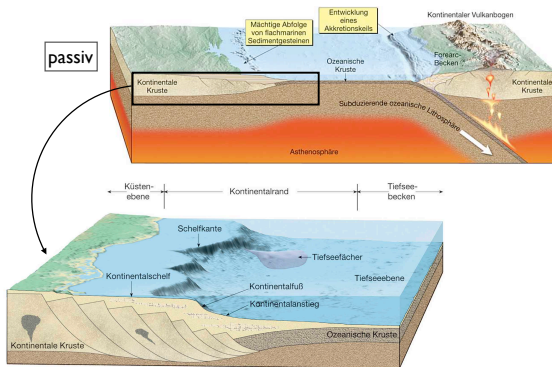
16

Die Anden sind ein Beispiel für einen kontinentalen Vulkanbogen, die Alpen sind ein Beispiel für kontinentale Kollision.

aktiver / passiver Kontinentalrand

passiv

aktiv



17

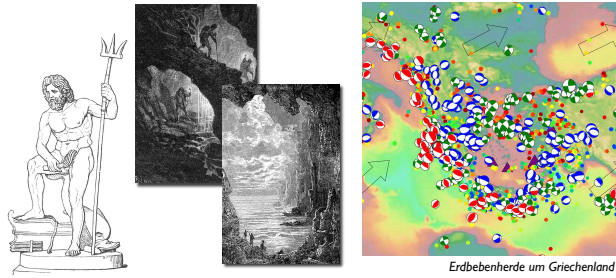
Die Begriffe "aktiv" und "passiv" beziehen sich auf plattentektonische Prozesse.

18

Erdbeben – Erklärungsversuche

volks-
hochschule
beider basel

... im antiken Griechenland



Poseidon benützt seinen Dreizack
... aus Zorn ...
... oder ...
... um Verbündeten zu helfen ...

der mythologische Ansatz

Idee von Aristoteles:
Die Erde ist trocken, Regen versickert,
im Erdinnern ist es warm, Wasser verdunstet -
Höhlenstürme bewirken Erdbeben

der naturwissenschaftliche Ansatz

19

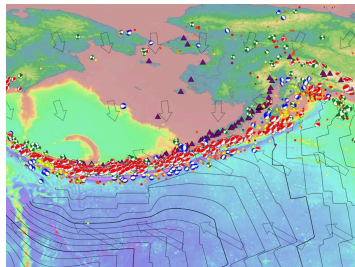
Poseidon ist für Erdbeben und Flutwellen zuständig

volks-
hochschule
beider basel

... bei den Aleuten



Haida Indianer (British Columbia, Kanada)
Donnervogel und Wal



Erdbebenherde bei den Aleuten

Der Donnervogel lässt den Wal ins Meer fallen
⇒ Erdbeben und Tsunami

20

In highly seismic British Columbia, the Haida Indians explained earthquakes as the conflicts between a thunderbird and a whale. The thunderbird dropped the whale in the water, causing earthquakes and tsunamis.
The Aztecs who lived in the Valley of Mexico personified the source of earthquakes in Tepeyollotl, a mountain god, who took the form of a jaguar leaping toward the sun.

volks-
hochschule
beider basel

... in den Philippinen



Philippinen
Bernardo Carpio (Riese)

Erdbebenherde bei den Philippinen

Panlun, der Herrscher der Unterwelt, hält Bernardo Carpio gefangen,
der seine ungeheuern Kräfte dazu benützt, das Himmelsgebölge und die
Gebirge hochzuhalten, oder ganz einfach, um sich zu befreien ...

21

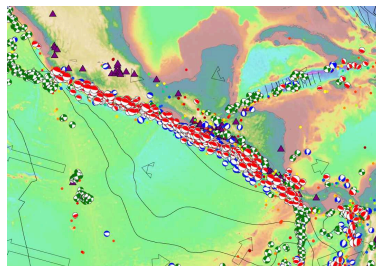
In Philippine mythology, a god named Panlunugun is the Ruler of the underworld and the god of earthquakes. Some say a giant named Bernardo Carpio is trapped between two great rocks in the Mountains of Montalban where he uses his enormous strength to either hold up the sky, keep the mountains from crashing together, or is simply trying to break free. It is his movements that causes earthquakes.
Sampaguita Pictures 1951

volks-
hochschule
beider basel

... in Mexiko



Aztekischer Gott Tepeyollotl (Leopard)



Erdbebenherde bei Mexiko


Tepeyollotl, ein Berggott, springt
als Jaguar der Sonne entgegen

22

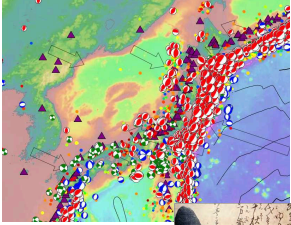
Cizin, also spelled Kisin, was a Mayan god of the underworld and of earthquakes. He was often illustrated in pre-Columbian books called codices in the form of a dancing skeleton holding a smoking cigarette.

volks-
hochschule
beider basel


... in Japan




Edo Erdbeben 1855 Magnitude ~ 7



Erdbebenherde bei Japan



Opfer versuchen den Namazu Wels zu bestrafen



Ein Kämpfer versucht Namazumit einem Stein zu bezwingen

23

11. Nov. 1855

According to Japanese legend, earthquakes were caused by the movements of a monster catfish that lived under Japan. Following the Ansei earthquake of October 2, 1855, woodblock prints called Namazu-e ("catfish pictures") appeared in Edo (now Tokyo). Here in a woodblock print, the people who suffered from the effects of the earthquake are trying to punish two Namazu. A fighter restrains Namazu with an enormous stone.


volks-
hochschule
beider basel

... und was meint die Bibel ?

Erdbeben bedeuten


- Macht
- Gegenwart Gottes
- wichtige Ereignisse
- Zorn Gottes

Matthäus 28
Und siehe, da geschah ein großes Erdbeben; denn ein Engel des Herrn kam aus dem Himmel hernieder, trat hinzu, wälzte den Stein weg ...



(Auferstehung)

Offenbarung 6
Und es geschah ein großes Erdbeben; und die Sonne wurde schwarz wie ein härener Sack, und der ganze Mond wurde wie Blut, und die Sterne des Himmels fielen auf die Erde, ...



(Apokalypse)

24

Isreal ist ja auch ein Erdbebenland
Eine Korrelationsmöglichkeit mit tatsächlichen Erdbeben 31 und 33 n.Chr. existiert, ist aber unsichert

volks-
hochschule
beider basel


... und im Falle Basel 1356 ?

Erdbeben bedeutet

- Strafe Gottes für das Pogrom an der jüdischen Gemeinde am 16. Januar 1349



Christoph Silbersysen - Chronicon Helvetiae, 16. Jh. (Aargauer Kantonsbibliothek)



Christian Wurstisen - Basler Chronik, 1580.



Sebastian Münster - Cosmographia (etwa 1540)

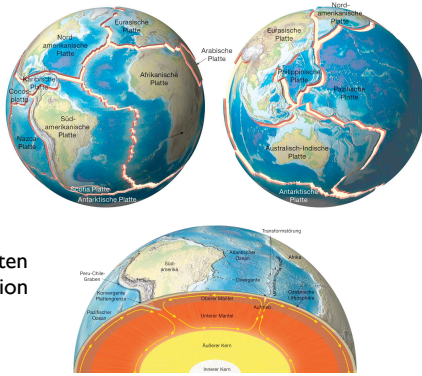
25

Die Illustrationen können wohl nicht als Beobachtungen von Zeitzeugen gelten...
Mehr dazu unter altbasel.ch/dossier/erdbeben.html.

26

heute wissen wir...

... dank Plattentektonik

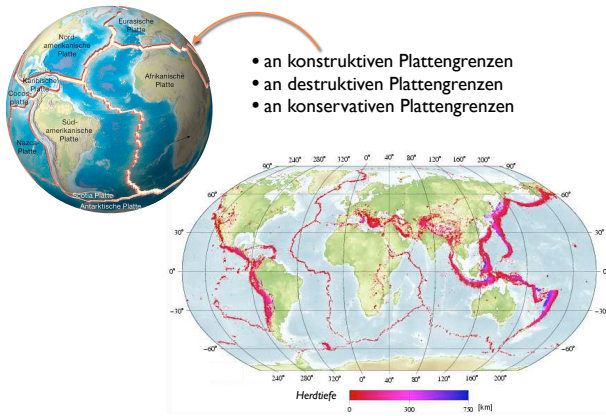


Lithosphärenplatten
+ Mantelkonvektion
= Erdbeben

27

Erdoberfläche besteht aus steifen Lithosphärenplatten, welche sich bewegen. Mantelkonvektion ist Ursache für Bewegungen: Platten bewegen sich aufeinander zu, voneinander weg, aneinander vorbei. Dies führt zu Erdbeben - an Plattengrenzen.

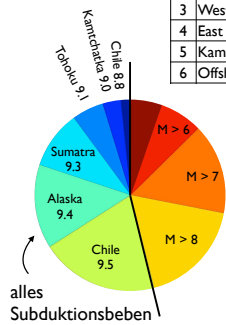
wo also entstehen Erdbeben ?



28

Erdbeben entstehen fast immer an Plattengrenzen, sowohl an destruktiven (Anden, Japan, Alpen, Himalaya, ...) als auch konstruktiven und Transformergrenzen. Besonders tiefe Erdbeben entstehen an Subduktionen (blau in der Karte)

Hitliste der Erdbeben

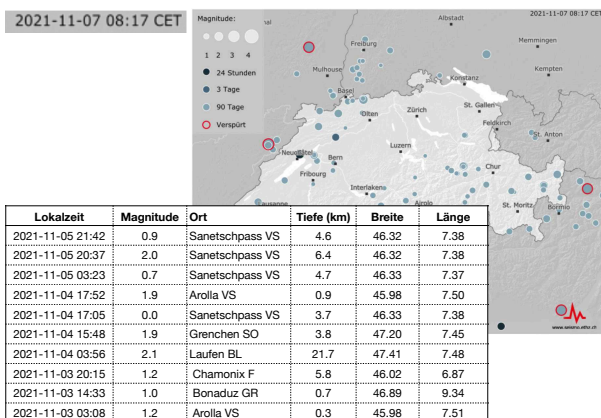


Weltweit	Datum	Magnitude
1 Valdivia, Chile	22. 5. 1960	9.5
2 Prince William Sound, Alaska	28. 3. 1964	9.2
3 West Coast of Northern Sumatra	26. 12. 2004	9.1
4 East Coast of Honshu, Japan	11. 3. 2011	9
5 Kamchatka	4. 11. 1952	9
6 Offshore Maule, Chile	27. 2. 2010	8.8

Schweiz	Datum	Magnitude
1 Basel BS	18. 10. 1356	6.6
2 Churwalden GR	3. 9. 1295	6.2
3 Stalden-Visp VS	25. 7. 1524	6.2
4 Aigle VD	11. 3. 1584	5.9
5 Unterwalden NW	18. 9. 1601	5.9
6 Ardon VS	April 1524	5.8

29

Erdbeben gibt es jeden Tag ...



30

<http://www.seismo.ethz.ch>

volks-
hochschule
basler basel

... in der Schweiz und weltweit ...

ETH zürich

2023-11-09 09:58 UTC

USGS
USGS Magnitude 2.5+ Earthquakes, Past Day

34 earthquakes

Only List Earthquakes Shown on Map

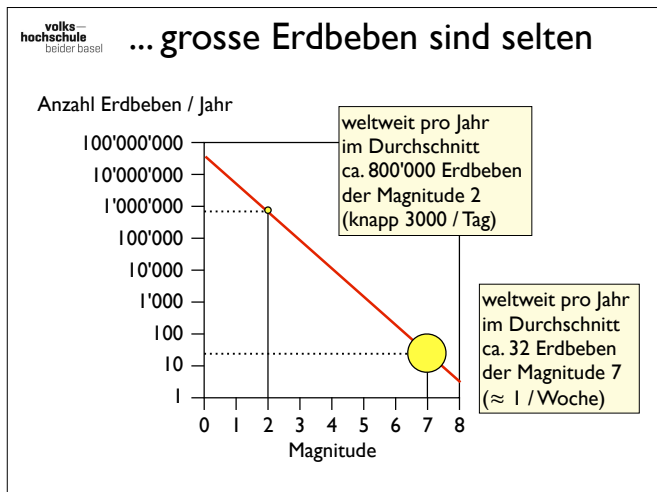
Format: Magnitude | Sort: Largest Magnit...

6.0	154 km ESE of Gorontalo, Ind...	2023-11-08 18:37:27 (UTC+8) - 39.9 km
5.4	86 km SE of Naitafu, Tonga	2023-11-07 04:36:33 (UTC+13) - 10.0 km
5.3	South Sandwich Islands region	2023-11-06 18:18:19 (UTC+0) - 10.0 km
5.3	126 km E of 'Oheua, Tonga	2023-11-06 18:18:19 (UTC+13) - 10.0 km

<http://www.seismo.ethz.ch>

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>

31



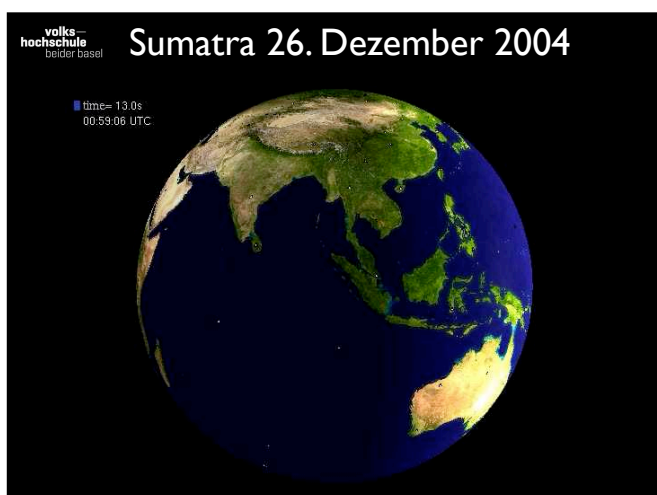
32

Das Basler Erdbeben hatte die Magnitude 6.6
Vorbemerkung: die Magnitude allein sagt noch nichts aus über den Schaden, welchen ein Erdbeben verursachen kann.

Anatomie eines Erdbebens

33

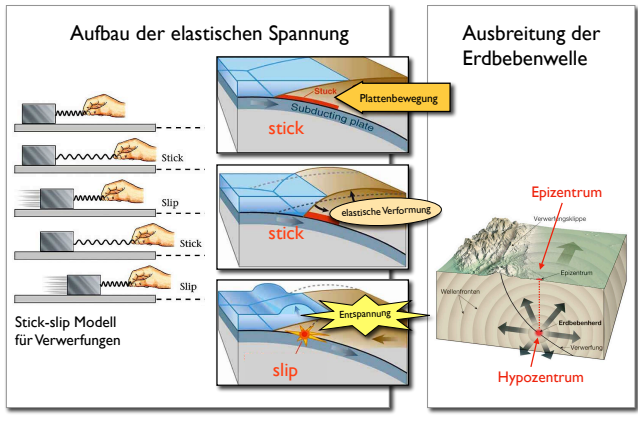
Wir wollen kurz betrachten, wie ein Erdbeben abläuft. Für die Seismologen und Geophysikerinnen sind Erdbeben wichtige Signale, welche uns Aufschluss über den Aufbau der Erde geben. Darüber, welchen Schaden grosse Erdbeben anrichten sprechen wir in der nächsten Vorlesung.



34

Diese Video (GOODsumatra_velocity_global.mpeg) zeigt, wie sich die Erdbebenwellen des Sumatra-Andamanen-Bebens am 26. Dezember 2004 vom Epizentrum nahe der Westküste Sumatras aus über den Globus hinweg ausgebreitet haben. Das Erdbeben, gefolgt von einem Tsunami, hatte eine Magnitude von >9 und forderte über 200'000 Menschenleben.

Anatomie eines Erdbebens



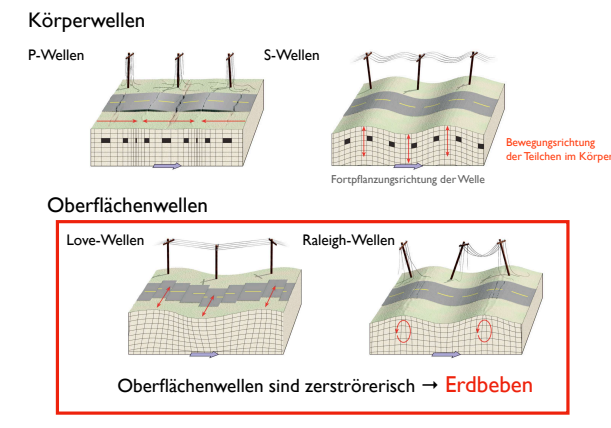
35

Verschiedene Bewegungen:

1. Plattenbewegung, führt zum Spannungsaufbau (Plattengeschwindigkeit wenige cm/a)
2. Ausbreitung der Bruchfläche (Geschwindigkeit (rupture speed) ~ 2500 m/s)
3. Bewegung auf der Verwerfung (slip-Geschwindigkeit ~ 1 m/s)
4. Ausbreitung seismischer Wellen (Geschwindigkeit (slip velocity) ~ 4500 m/s)

Pazifische Platte bewegt sich mit ~ 6 cm/a nach Norden, das ergibt seit 1906 (San Francisco) bereits 6 m, entsprechend gross ist Spannungsaufbau.

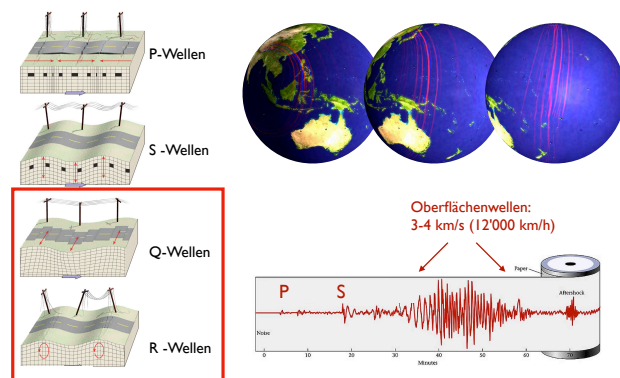
seismische Wellen



36

Achtung S-Wellen sind Körperwellen \neq Wasserwellen
Wasserwellen sind Oberflächenwellen
Achtung: zerstörerische Wellen = Erdbeben sind nicht die P-S-Wellen, sondern die Love- und Raleigh-Wellen

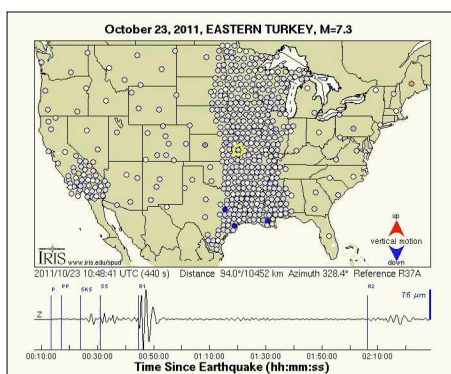
Ausbreitung eines Erdbebens



37

Oberflächenwellen haben eine Geschwindigkeit von 3 - 4 km/s ($\approx 12'000$ km/h), d.h. die Welle überquert den halben Erdumfang ($21'000$ km) in ca. 7000 s = 1 3/4 Stunden
Dagegen bewegt sich die Tsunami Welle "nur" mit 800 km/h vorwärts. Sie braucht für die gleiche Strecke also eher 25 Stunden (Wellenlänge bis zu 200 km. Periode 20-30 min)

Izmit Erdbeben vom 23. 10. 2011



Aufzeichnung des USArray - Transportable Array

38

USArray TA station distribution between 2007 and 2013:

Stationen befinden sich nicht immer am gleichen Ort.
TA heisst Transportable Array !

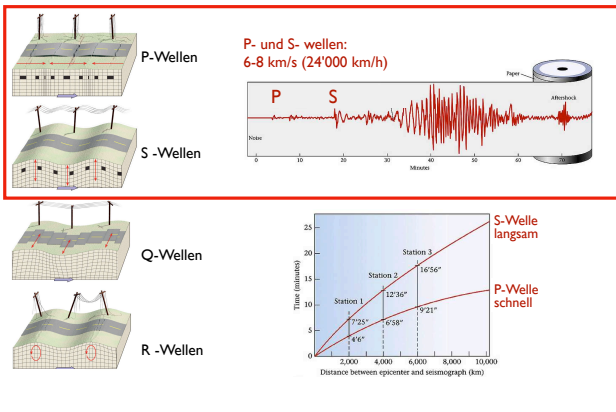
The Transportable Array (TA) component of the USArray/EarthScope project is a rolling array of 400 broadband stations deployed on a uniform 70-km grid.

<http://ds.iris.edu/ds/products/usarraygmw-super/>

Erdbeben als Messinstrument

39

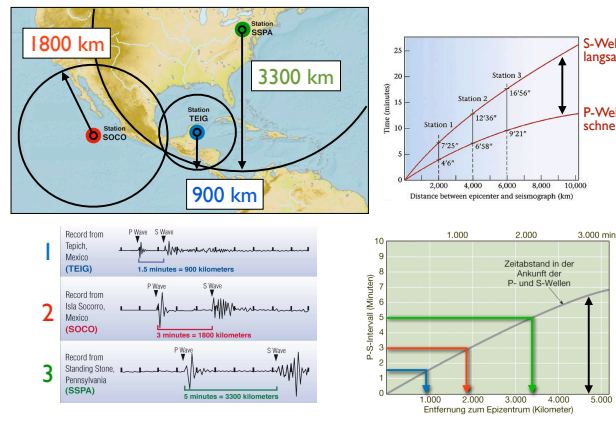
P- und S-Wellen haben eine Geschwindigkeit von 6 - 8 km/s ($\approx 24'000$ km/h)



Lokalisierung des Epizentrums

40

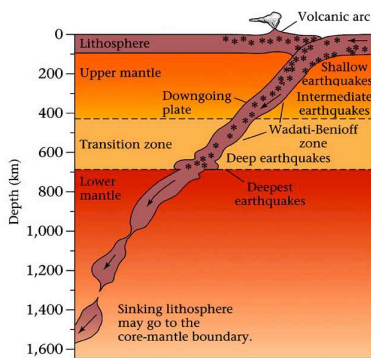
Das Laufzeitendiagramm zeigt zeitlichen Abstand zwischen dem Eintreffen der P- und der S-Wellen. Dieser zeitliche Abstand nimmt mit zunehmendem Abstand der Messtation vom Epizentrum zu.



Hypozentren in Subduktionen

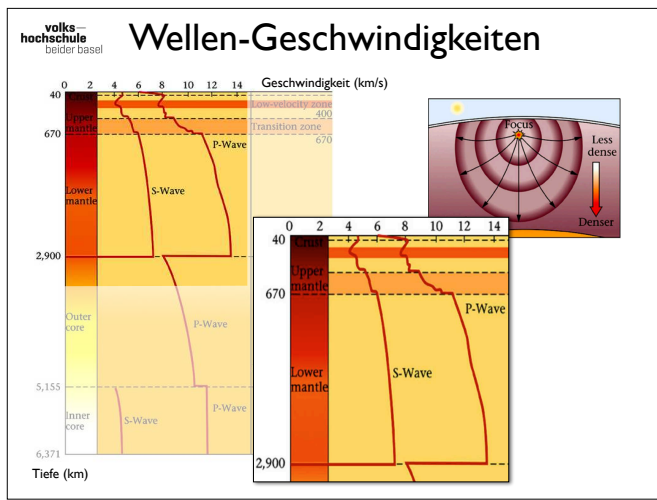
41

Weiter Auswertungen der Seismogramme erlauben auch die Tiefe des Hypozentrums zu bestimmen. Die Grenze zwischen der Transition zone und dem unteren Mantel liegt bei ca. 700 km. Sie ist gleichzeitig die maximale Tiefe in welcher Erdbeben stattfinden können. Dies hängt mit den hohen Drucken und Temperaturen zusammen unter welchen sich keine Bruchflächen mehr bilden können.



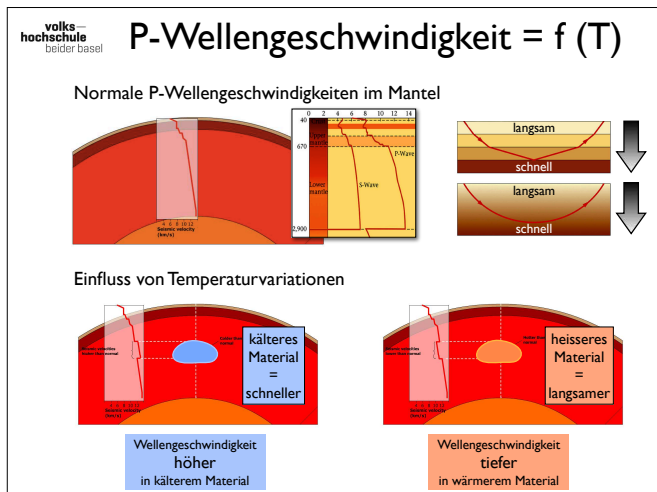
seismische Tomographie

42



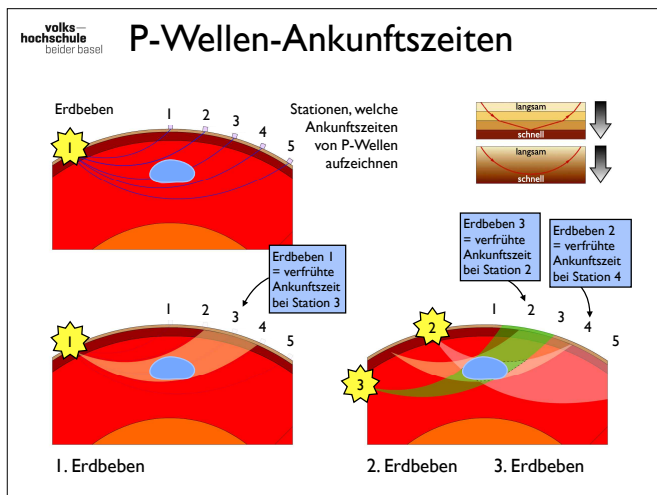
43

Mit zunehmender Tiefe nimmt die Wellengeschwindigkeit zu.
 Dies führt zu seismischer Refraktion (ganz ähnlich wie wir es aus der Optik kennen). Je näher der Oberfläche desto geringer die Temperatur und desto langsamer die Fortpflanzung. Dies führt zu gekrümmten Bahnen, die nach oben konvex sind, d.h. die Wellen verlaufen im Inneren der Erde auf gekrümmten Bahnen (je tiefer in der Erde um so schneller).

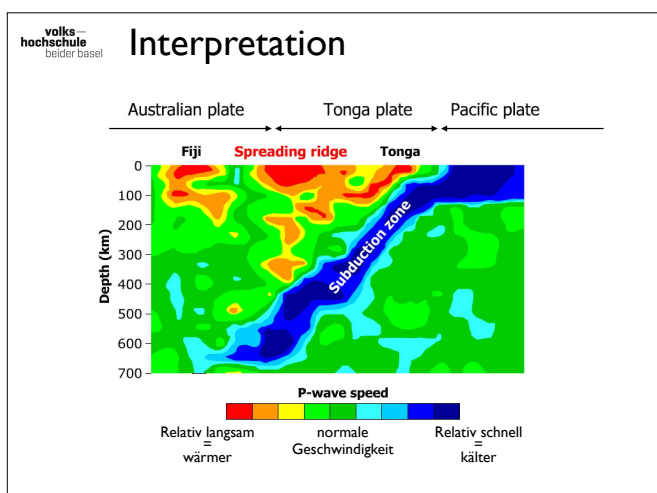


44

Seismische Wellen können übrigens auch (wieder ähnlich wie in der Optik) an der Erdoberfläche und an der Kern-Mantel Grenze und der Grenze äusserer-innerer Kern, sogar mehrfach, reflektiert werden. Auf diese Weise erreichen sie auch Messstationen welche auf der, dem Epizentrum gegenüberliegenden Seite des Globus liegen.



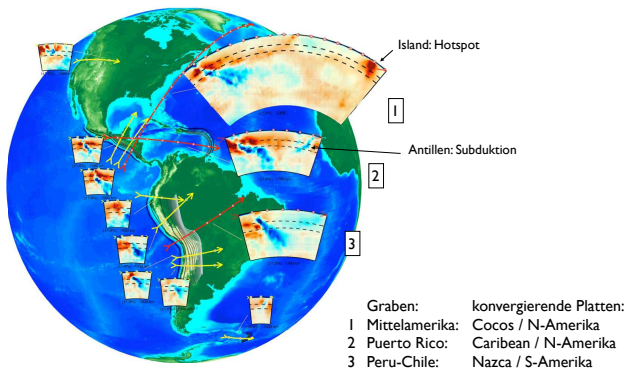
45



46

Farbkodierung der seismischen Geschwindigkeiten

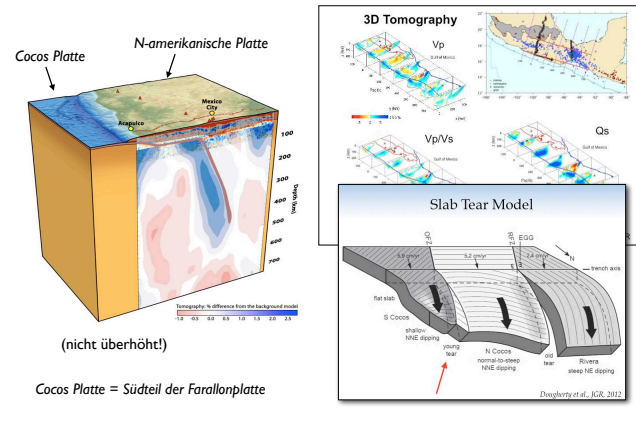
Subduktionszonen in 3D



47

Blau = schnell = kalt, Rot = langsam = warm
gestrichelt: Untergrenzen Lithosphäre, Asthenosphäre
Untergrenze Profil 1: ~2900 km - 2: ~1600 km - 3: ~1800 km
(<http://web.gps.caltech.edu/~clay/MexWeb/MexSubduction.html>)

3D Visualisierung



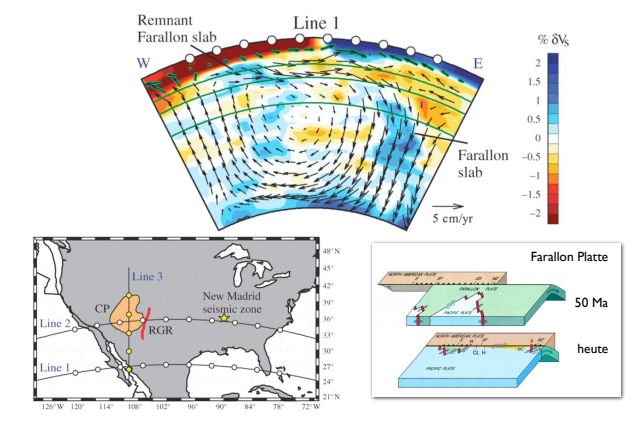
48

MASE - Meso-America Subduction Experiment
(<http://www.gps.caltech.edu/~clay/MexWeb/MexSubduction.html>)
Vp, Vs = velocities
Qs: Q = quality factor related to seismic attenuation

(https://wiki.seg.org/wiki/Seismic_attenuation)
 $Q = \frac{\text{(energy of seismic wave)}}{\text{(energy lost during one cycle of wave)}} = \frac{2\pi E}{\Delta E}$
where E is the energy of seismic wave and ΔE is the energy change per cycle.
We often come across the inverse quality factor Q^{-1} , where Q is inversely related to the strength of the attenuation. It means more attenuation in the regions where Q is low than where Q is high.
Typical range of Q values in the Earth

Rock type	Qp	Qs
Shale	30	10
Sandstone	58	31
Granite	250	70-250
Peridotite	650	280

Interpretation: Mantelkonvektion

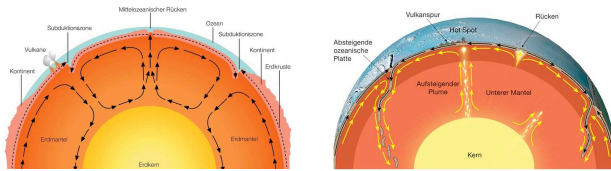


49

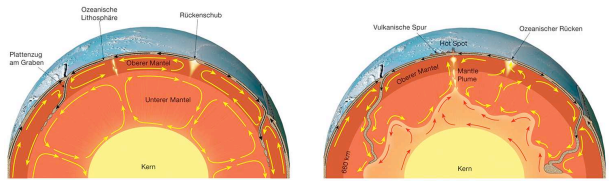
Blau = schnell = kalt, Rot = langsam = warm
Mantelkonvektion berechnet aus seismischer Tomographie. Warme Gebiete sind rot, kühle Gebiete blau dargestellt.
Pfeile zeigen die daraus berechneten Geschwindigkeiten der Konvektionsströmung an.
(<http://geology.geoscienceworld.org/content/36/6/439>)

Konvektion – nicht so einfach

50



Konvektion im gesamten Mantel



Lagenbau in 660 km Tiefe

Lagenstruktur im tiefen Mantel

東北地方太平洋沖地震 Tohoku Erdbeben 11. März 2011

51

Zum Schluss ein Blick auf eine gigantische, zur Zeit aktive, Subduktion.

Die folgenden Folien stammen aus einer Powerpoint Präsentation welche vom Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS, <https://www.iris.edu/hq/retm>) am Tag nach dem Beben herausgegeben wurde.

東北地方太平洋沖地震 (Tōhoku-chihō taiheiyō-oki jishin, „Erdbeben an der Pazifik-Küste vor der Tōhoku-Region 2011“) oder

東日本大震災 (Higashi-Nihon daishinsai, „Große Erdbebenkatastrophe Ost-Japans“)

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

Japan was struck by a magnitude 9.0 earthquake off its northeastern coast Friday. This is one of the largest earthquakes that Japan has ever experienced.

In downtown Tokyo, large buildings shook violently and there is severe flooding due to a tsunami generated by the earthquake.



USGS

Part of houses swallowed by tsunami burn in Sendai, Miyagi Prefecture (state) after Japan was struck by a strong earthquake off its northeastern coast Friday, March 11, 2011.

New York Times



52

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

Tsunami waves swept away houses and cars in northern Japan and pushed ships aground.

The tsunami waves traveled far inland, the wave of debris racing across the farmland, carrying boats and houses with it.



The tsunami, seen crashing into homes in Natori, Miyagi prefecture. AP



Houses were washed away by tsunami in Sendai, Miyagi Prefecture in eastern Japan, after Japan was struck by a magnitude 9.0 earthquake off the northeastern coast.

New York Times

53

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

Shaking intensity scales were developed to standardize the measurements and ease comparison of different earthquakes.

The Modified-Mercalli Intensity scale is a twelve-stage scale, numbered from I to XII. The lower numbers represent imperceptible shaking levels, XII represents total destruction. A value of IV indicates a level of shaking that is felt by most people.

Modified Mercalli Intensity	Perceived Shaking
XII	Extreme
XI	Violent
X	Severe
IX	Very Strong
VIII	Strong
VII	Moderate
VI	Light
V	Weak
IV-III	Not Felt
I	

Image courtesy of the US Geological Survey

USGS Estimated shaking Intensity from M 9.0 Earthquake

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

Earthquake and Historical Seismicity

This earthquake (gold star), plotted with regional seismicity since 1990, occurred at approximately the same location as the March 9, 2011 M 7.2 earthquake.

In a cluster, the earthquake with the largest magnitude is called the main shock; anything before it is a foreshock and anything after it is an aftershock. A main shock will be redefined as a foreshock if a subsequent event has a larger magnitude.

This earthquake redefines the M 7.2 earthquake as a foreshock, with this event replacing it as the main shock.

Image courtesy of the US Geological Survey

volks-
hochschule
bolder basel

historische Seismizität

1973-01-01 00:00:00 +0000

I. I. 1973 - 18. 4. 2011

IRIS Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:24 UTC

In Northern Honshu, the Pacific Plate subducts beneath the Okhotsk Plate at a rate of 8.3 cm/year. The epicenter of the magnitude 9.1 earthquake is shown by the red star.

(diese Folie stammt aus einer späteren, überarbeiteten Version der Powerpoint Präsentation)
Relevant Animation:
Japan's Earthquakes & Tectonic Setting
<https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/546>
YouTube: <https://youtu.be/5BHnf1wGD9w>

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

This earthquake was the result of thrust faulting along or near the convergent plate boundary where the Pacific Plate subducts beneath Japan.

This map also shows the rate and direction of motion of the Pacific Plate with respect to the **Okhotsk Plate** near the Japan Trench. The rate of convergence at this plate boundary is about 83 mm/yr (8 cm/year). This is a fairly high convergence rate and this subduction zone is very seismically active.

58

hier steht North American Plate, richtig wäre: Okhotsk Plate (diese ist aber Teil der N-Amerikanischen Platte)
Richtig wäre also: Pazifische geht unter Okhotsk bzw. Nord-Amerikanische Platte

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

The map on the right shows historic earthquake activity near the epicenter (star) from 1990 to present.

As shown on the cross section, earthquakes are shallow (orange dots) at the Japan Trench and increase to 300 km depth (blue dots) towards the west as the Pacific Plate dives deeper beneath Japan.

Seismicity Cross Section across the subduction zone showing the relationship between color and earthquake depth.

Images courtesy of the US Geological Survey

59

Pazifische unter Japan, das ist richtig
Japan liegt auf der Eurasischen (SW) und auf der Okhotsk Platte (N-Amerika) (NE)

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

Large earthquakes involve slip on a fault surface that is progressive in both space and time.

This "map" of the slip on the fault surface of the M 9.0 Japan earthquake shows how fault displacement propagated outward from an initial point (or focus) about 24 km beneath the Earth's surface. The rupture extended over 500 km along the length of the fault, and from the Earth's surface to depths of over 50 km.

Cross-section of slip distribution. The strike direction of the fault plane is indicated by the black arrow and the hypocenter location is denoted by the red star. The slip amplitude are shown in color and motion direction of the hanging wall relative to the footwall is indicated by black arrows. Contours show the rupture initiation time in seconds.

Image courtesy of the U.S. Geological Survey

60

Achsen sind gleich skaliert (keine Überhöhung)

IRIS Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:24 UTC

Cross section through hypocenter of the March 11, 2011 Tohoku-oki earthquake

Motion of GPS station during M 9.1 Tohoku-oki earthquake

Fault slip during the M 9.1 Tohoku-oki earthquake is shown on this cross section through the hypocenter at ~25 km depth. Fault slip was 40 meters at the hypocenter and increased to over 60 meters at the Japan Trench. Fault slip decreased downdip from the hypocenter to about 1 meter at ~50 km depth.

61

(diese Folie stammt aus einer späteren, überarbeiteten Version der Powerpoint Präsentation)

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

Although magnitude is still an important measure of the size of an earthquake, particularly for public consumption, seismic moment is a more physically meaningful measure of earthquake size.

Momentenrate (M_0/s) integriert über Zeit ergibt seismisches Moment (M_0)
 $M_0 \approx 250 M_0/s \cdot 175s = 43'750 \text{ EJ}$

This graph of the moment rate function describes the rate of moment release with time after earthquake origin.

The largest amounts of rupture occurred over 100 seconds but smaller displacements continued for another 75 seconds after the start of the earthquake.

seismische Energie (E_s) aus Kanamori Beziehung ($M_0 \approx 20'000 E_s$)
 $\Rightarrow E_s \approx 43'750 / 20'000 \approx 2 \text{ EJ}$

Momentenrate (M_0/Zeit)

----- $7 \cdot 10^{20} \text{ J/s} = 700 \text{ EJ/s}$

Totale seismisches Moment M_0
(= Fläche unter Kurve)

Image courtesy of the U.S. Geological Survey

Magnitude M_w	Seismisches Moment E_s (Joule)	Äquivalenz Hiroshima-Atombomben
6	$6.3 \cdot 10^{13}$	1.2
7	$2.0 \cdot 10^{15}$	38
8	$6.3 \cdot 10^{16}$	1'200
9	$2.0 \cdot 10^{18}$	38'000

62

maximale Momenten-RATE = $7 \cdot 10^{27} \text{ dyn}\cdot\text{cm/s} = 700 \text{ EJ/s}$ ($1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 10^7 \text{ dyne}\cdot\text{cm}$) ($1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$)
 Das totale seismische Moment M_0 berechnet sich als Integration der Momentenrate M_0/s über 150 Sekunden: $250 \text{ EJ} \cdot 175 \text{ s} \Rightarrow M_0 = 43'750 \text{ EJ}$
 Kanamori-Beziehung sagt: $M_0 \approx 20'000 E_s$ ($E_s = \text{seismische Energie}$)
 $\Rightarrow E_s = M_0 / 20'000 \text{ EJ} = 43'750/20'000 \text{ EJ} \approx 2 \text{ EJ}$

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

Shallow great earthquakes in subduction zones often cause tsunamis when they offset the ocean floor. This offset generates tsunami waves. This earthquake did produce a tsunami, which was measured on a nearby buoy and triggered the warning system.

Water Column Height at Station 21401
Image Credit: NOAA/NWS/NEBC

The water column height change that triggered the system.

Flash animation of how the DART system detects ocean waves

D.A.R.T. II
Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis

63

(diese Folie stammt aus einer späteren, überarbeiteten Version der Powerpoint Präsentation)

IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC

This tsunami propagation forecast model shows the forecast maximum tsunami wave height (in cm). Ocean floor bathymetry affects the wave height because a tsunami moves the seawater all the way to the floor of the ocean.

This led to a Pacific wide tsunami warning being issued.

Projected travel times for the arrival of the tsunami waves across the Pacific.

Nearby the earthquake there are only minutes to evacuate. However, in many other regions there is advance warning.

Tsunami Propagation Forecast
Central U.S. Pacific Ocean and adjacent Sea, through March 11, 2011

A tsunami map shows projected travel times for the Pacific Ocean. This map indicates forecasted times only, not that a wave traveling those distances has actually been observed.
NOAA

64

.... und das alles wegen Plattentektonik ?

.... oder doch wegen des Namazu Wels ?

65