

volks-
hochschule
beider basel



4. Vorlesung
Plattentektonik – so tickt die Erde
Renée Heilbronner

1

volks-
hochschule
beider basel

wo waren wir ?



2

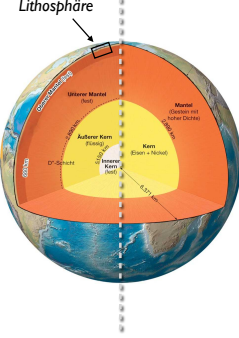
Strukturen und Prozesse an Plattengrenzen

- 1 Bestimmung von Plattengeschwindigkeiten
GPS Dehnung und Verkürzung
 - 2 Lokalisierung von Erdbeben an Plattengrenzen
Herdfächenlösungen zeigen Bewegungssinn
 - 3 Vulkanismus an Plattengrenzen
- Plattenrundgang um die Eurasische Platte**
- 4 konstruktive
 - 5 destruktive – Subduktionen
 - 6 destruktive – Gebirge
 - 7 konservative

volks-
hochschule
beider basel

Nachtrag: zum Aufbau der Erde

physikalische / rheologische Eigenschaften		chemische / mineralogische Zusammensetzung	
Lithosphäre	fest stark	Kruste	Granodiorit, Basalt
Asthenosphäre (inkl. Übergangszone)	± fest schwach	Mantel	Peridotit
Unterer Mantel (Mesosphäre)	fest stark	Kern	Fe-Ni-Legierung
Äusserer Kern	flüssig		
Innerer Kern	fest		



3

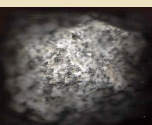
	Radius	Dicke
innerer Kern:	1220 km	1220 km
äusserer Kern:	3470 km	2150 km
unterer Mantel:	5970 km	2500 km
Asthenosphäre:	6220 km	300-250 km
Erdoberfläche:	6370 km	100-150 km

volks-
hochschule
beider basel

Kruste – Mantel – Kern


	Zusammensetzung	Dicke (km)	Masse (%)	Dichte (kg/m ³)	max. Alter (Ma)
kontinentale Kruste	Granodiorit	35-70	<1	~2700	±4000
ozeanische Kruste	Basalt	7	<1	~3000	200
Mantel	Peridotit (Fe-Mg-Silikat)	~2800	~67	~3000-5000	4567
Kern	Fe-Ni Legierung	~3500	~32	~10'000	4567

Si Al dominiert



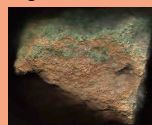
Granodiorit

Mg Fe dominiert



Basalt

Mg Fe dominiert



Peridotit

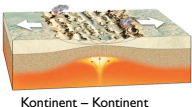
4

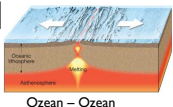
Platten bestehen in der Regel aus **kontinentalen und ozeanischen Anteilen**. Punkto Zusammensetzung unterscheiden sie sich vor allem in der Kruste während der Lithosphärenmantel in beiden Fällen der gleiche ist. Die kontinentalen Anteile bilden die ca. 30% der Landmasse, auf der wir wohnen, die ozeanischen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

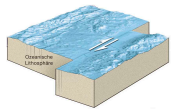
einmal durch den ganzen Wilson Zyklus

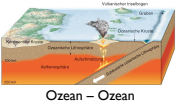
Diese Tour folgt den plattentektonischen Prozessen vom Zerbrechen eines Superkontinents bis zu seiner Wiedervereinigung, d.h. von der Entstehung einer konstruktiven Plattengrenze (seafloor spreading) über die Bewegung der tektonischen Platte – vorbei an andern Platten – hin zur destruktiven Plattengrenze (kontinentale Kollision).
Teil 1 diese Vorlesung

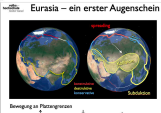
**volks-
hochschule
beider basel** Wilson Zyklus – Teil I

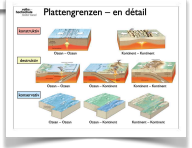
konstruktiv 1  Kontinent – Kontinent

konstruktiv 2  Ozean – Ozean

konservativ 3  Ozean – Ozean

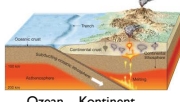
destruktiv 4  Ozean – Ozean

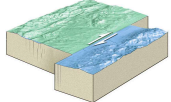
Eurasia – ein erster Augenschein

Bewegung in Plattengrenzen

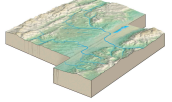
Plattengrenzen – en détail


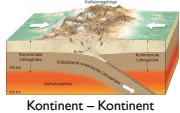
Teil 2 folgt in Vorlesung 5

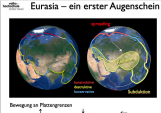
**volks-
hochschule
beider basel** Wilson Zyklus – Teil 2


destruktiv 5  Ozean – Kontinent

konservativ 6  Ozean – Kontinent

konservativ 7  Kontinent – Kontinent

destruktiv 8  Kontinent – Kontinent

Eurasia – ein erster Augenschein

Bewegung in Plattengrenzen

Plattengrenzen – en détail


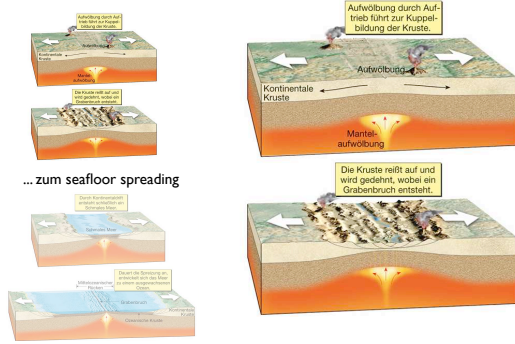
I - konstruktive Plattengrenzen
kontinentaler Graben
Topografie
Vulkanismus
Schwereanomalie

1 kontinentaler Graben

9

Ein möglicher Startpunkt ist der Aufstieg eines **Mantle Plumes**.

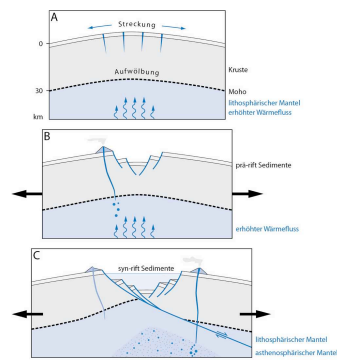
vom kontinentalen Rift ...



10 Rift – geophysikalische Merkmale

10

Stadien der Grabenbildung (Abbildung aus Pfiffner et al. Erdwissenschaften)
 A-Mantelmaterial Aufwölbung Streckung
 B-Grabenbildung Abschiebungen Vulkanismus
 C-Einsenkung Isostasie Kippschollen SYN RIFT
 D-Kruste durchbrochen Ozeankruste an Oberfläche
 POST RIFT

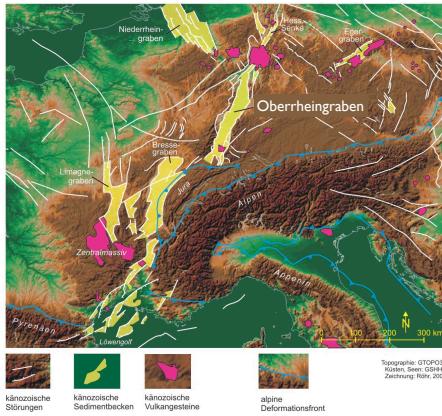


- **Topographie:**
Hebung und Abschiebungen
- **Ausdünnung der Kruste**
- **negative Bouguer-Anomalien**
- **divergente Plattenbewegung**
- **seichte seismische Aktivität**
- **erhöhter Wärmeffluss**
- **Vulkanismus**

11 Känozoische Graben in Europa

11

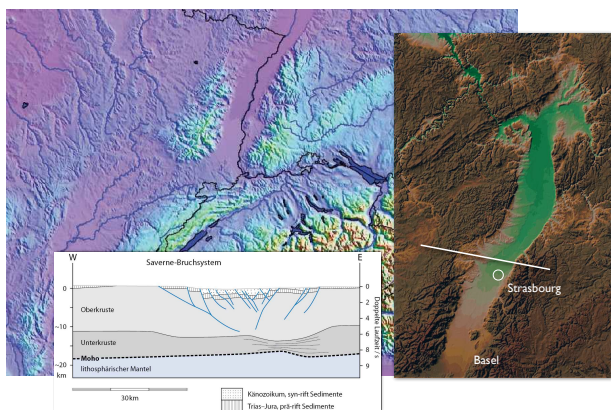
Karte des **Europäischen Känozoischen Grabensystems** (EKG) nach einer Vorlage in Dèzes, Schmid & Ziegler (2004)
<https://www.oberrheingraben.de/index.htm>



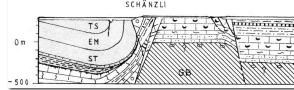
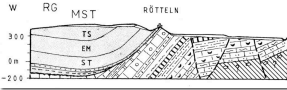
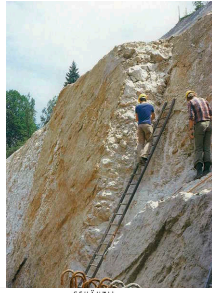
12 Rheingraben – ein fossiler Rift

12

Fossile Riftzonen (auf englisch aborted rift, besser failed rift) sind Riftzonen, welche sich nicht bis zum vollständigen Ozean entwickelt haben.
 Beispiel Rheingraben: Der Graben hat sich stellenweise bis zu 3,5 Kilometer tief eingesenkt, jedoch wurde diese Absenkung weitgehend durch die Auffüllung mit Sedimenten ausgeglichen. Die randlichen Berge wurden entgegengesetzt zum Graben bis zu 2,5 Kilometer angehoben, jedoch hat starke Abtragung der Gebirge diesen Aufstieg oberflächlich verringert. Die Einsenkung begann vor etwa 45 Millionen Jahren im mittleren Eozän und dauert bis heute an.
 (<https://www.oberrheingraben.de/>)



Flexuren – Spuren des Riftings



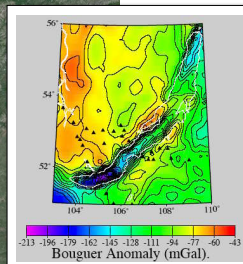
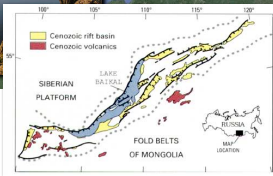
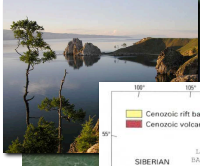
13

Die **Flexur** (Umbiegung der Sedimente im Südende des Rheingraben) entstand durch Schleppung der Sedimente entlang von Abschiebungen im Zusammenhang mit der Grabenbildung. Sie sind ein Abbild der Relativbewegung (Rheingraben hinunter - Schwarzwald hoch).

Links am Rötteler Schloss,

rechts am Schänzli (heute nicht mehr offen sichtbar, <https://www.museenmuttENZ.ch/natur-und-landschaft/einzelraeume/schaenzli-geol-denkmal>)

aktiver Graben – Baikalsee



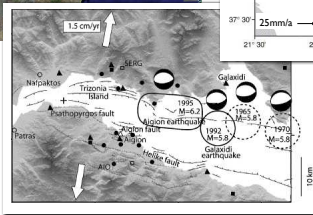
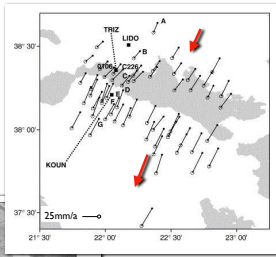
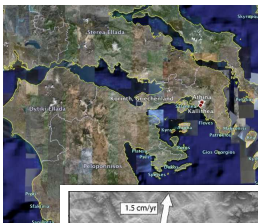
tiefe Werte
→ geringe Dichte
→ verdünnte Lithosphäre
→ Sedimentfüllung

14

Der **Baikal-Graben** – sowie die folgenden – sind heute (im Känozoikum) **aktiv**.

Beachte die typische stark **negative Schwereanomalie**

Golf von Korinth



Seismizität zeigt N-S-Dehnung

Relativbewegung zeigt
Öffnung = 5-10mm/Jahr

15

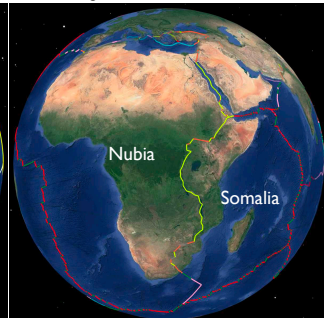
Beide Seiten des **Golf von Korinth** (Eurasische Platte) bewegen sich gegen SW; die südliche Seite etwas schneller als die nördliche. Die Differenz (geschätzt 5-10mm/Jahr) entspricht der Öffnungsgeschwindigkeit. Im NW ist zu erkennen dass die südliche Seite eine kleine Rotation (im Gegenuhrzeigersinn) gegenüber der nördlichen macht.

Die Herdflächenlösungen (beachballs) zeigen eine **N-S-Extension** an.

was geschieht hier gerade ?!

1990 Plattengrenzen

2003 Plattengrenzen



16

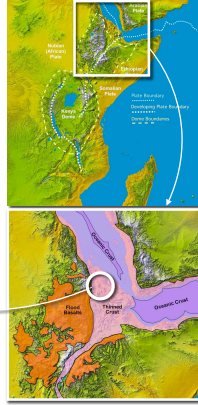
die **Afrikanische Platte** wird zur Zeit zweigeteilt: in die **Nubische Platte im Westen** und die **Somalische Platte im Osten**

(das geschieht natürlich nicht erst seit 1990 und 2003 – die konstruktive Plattengrenze im ostafrikanischen Riftsystem wurde erst 2003 als solche etabliert)

breaking up is hard to do ...



Erta Ale Vulkan, Ethiopia

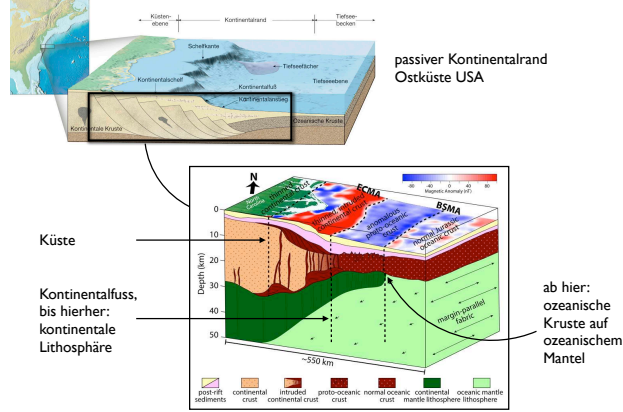


17

Erta Ale volcano in Ethiopia is a surface manifestation of the East African Rift, which may provide a modern analogue to ancient continental rifts, such as the one that split Africa and North America. Credit: filippo_jean, CC BY-SA 2.0 <https://eos.org/science-updates/breaking-up-is-hard-to-do-especially-for-continents>

Magmatismus ist involviert, wenn Kontinente auseinander brechen

Spuren des kontinentalen Riftings

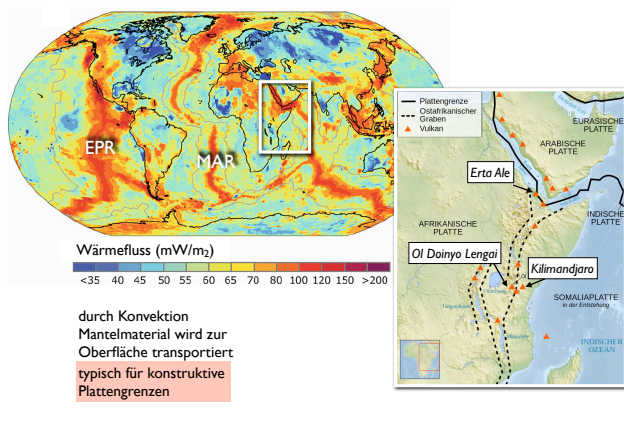


18

Die Begriffe "**aktiv**" und "**passiv**" beziehen sich auf plattentektonische Prozesse, ... bzw. **Stadien der plattentektonischen Entwicklung**. Ein aktiver Kontinentalrand ist immer eine Plattengrenze (konstruktiv oder destruktiv); ein passiver Kontinentalrand ist keine Plattengrenze. Von einer wirklichen Öffnung kann man erst sprechen, wenn die kontinentale Lithosphäre der ozeanischen Platz gemacht hat, sodass ozeanische Kruste auf ozeanische Mantellithosphäre zu liegen kommt. Dies geschieht nicht am Kontinentalfuss, wie man bisher aufgrund seismischen Untersuchungen (ECMA) dachte, sondern weiter draussen im Atlantik, wie es durch geomagnetische Daten (BSMA) jetzt belegt wurde. Der Übergang von rein kontinentaler zu rein ozeanischer Lithosphäre erstreckt sich also über 100-150km.

Seismische Daten: Eastern North American Margin Community Seismic Experiment (ENAM-CSE), Magnetische Daten: East Coast Magnetic Anomaly (ECMA) und Blake Spur Magnetic Anomaly (BSMA). (Results suggest that the **full lithospheric rupture of Pangea occurred along the BSMA, not the ECMA** as previously thought. <https://eos.org/science-updates/breaking-up-is-hard-to-do-especially-for-continents>)

ostafrikanischer Graben



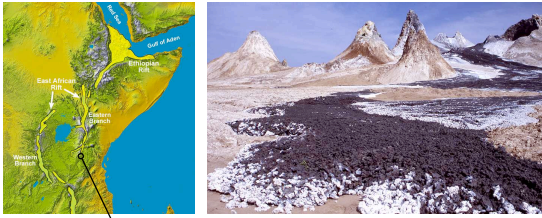
19

Ein **erhöhter Wärmefluss** ist typisch für konstruktive Plattengrenzen.

Aktuelle Beispiele:

Rotes Meer – Heisses Material steigt hoch - Kruste wird verdünnt - Oberfläche senkt sich
 Afarsenke – Tanganyika See und Nyasa See (Malawi) liegen in einem Graben
 Kilimandjaro – mit typisch kontinentalem Vulkanismus
 Ol Doinyo Lengai – Spezialfall Karbonatitlava

Vulkanismus am Rift



Ol Doi Nyongai (Mountain of God)

Einzigster aktiver Karbonatit Vulkan der Welt

- Zusammensetzung: typisch für Ozeanrücken-Mantel mit $\geq 30\%$ CO_2
- Sehr niedrige Viskosität: dünnflüssig, sprudelt fast wie Wasser fließt aus bei $\sim 540^\circ\text{C}$
- An der Oberfläche wird das Na_2CO_3 - nach Erkalten - fest

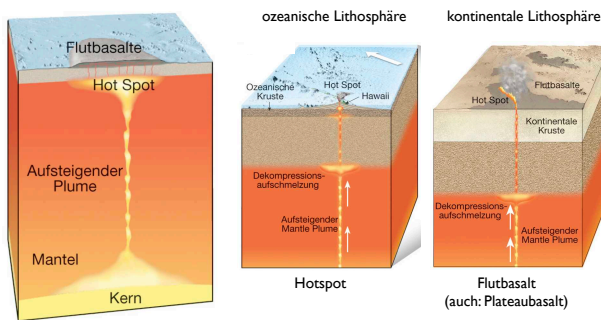


Probennahme (B. Marty and T. Fischer)

20

Der **Ol Doi Nyongai** befindet sich über dem sogenannten Tansania-Kraton und ist der weltweit einzige aktive Vulkan, der **Karbonatitlava** fördert. Diese Lava ist sehr dünnflüssig, hat etwa die Viskosität von Wasser. Kürzlich erstarrte Lava hat eine dunkle Farbe, die sich schnell in ein helles Beige verwandelt. Die Natrokarbonatit-Lava (Na_2CO_3) dieses Vulkans erreicht mit zwischen 491°C und bis zu 590°C im Vergleich zur Lava anderer Vulkane eine vergleichsweise niedrige Temperatur, entstammt aber dem Erdmantel.

Manteldiapire (mantle plumes)

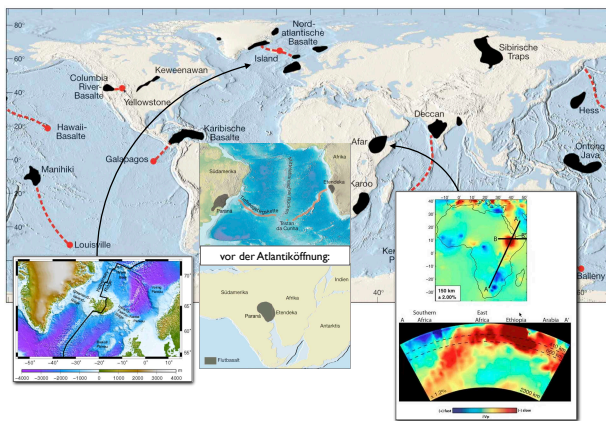


Manteldiapire beginnen an der Kern-Mantelgrenze

21

Mantel-Plume (kurz auch Plume, aus dem Englischen/Französischen für „buschige Feder“ oder „Rauchfahne“) auch **Manteldiapir** bezeichnet eine für die Konvektion im Erdmantel vorgeschlagene Aufstiegsstruktur. Sie können **Hotspots** (ozeanische Lithosphäre) oder **Flut- oder Plateaubasalte** (kontinentale Lithosphäre) bilden.

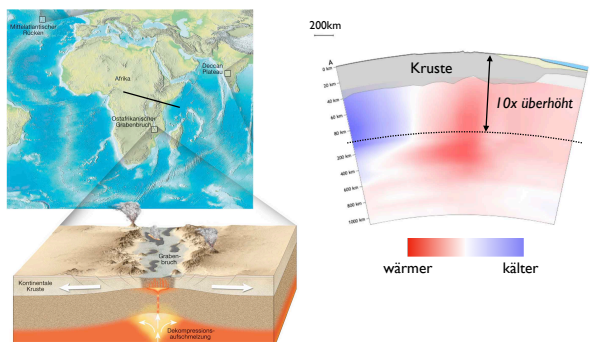
von Plateaubasalten ...



22

Plateaubasalte entstehen durch das Erstarren von dünnflüssiger Lava, die aus nebeneinander liegenden tiefreichenden Spalten aus dem Untergrund austritt. Die so entstandenen mehr oder weniger ebenen Lavadecken der erkalteten Lava werden auch als Trapp, Trappdecke oder Flutbasalt bezeichnet, und können mitunter mehrere tausend Meter mächtig werden. Trapp ist die alte, aus dem Skandinavischen (schwedisch trappa für „Treppe“) stammende Bezeichnung für treppenartige Formationen aus Flutbasalt. Parana und Etendeka Flutbasalte sind heute der hotspot von Tristan de Cunha

... zum kontinentalen Rifting



23

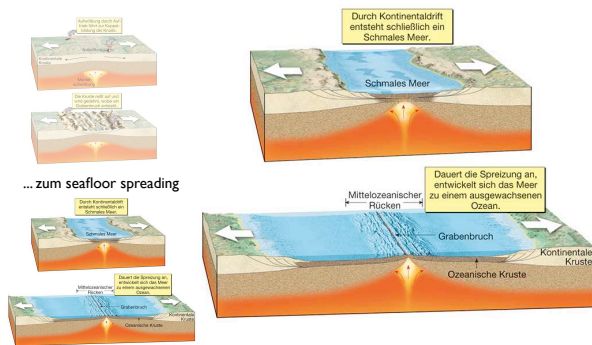
Der **Super-Plume** unter Ostafrika treibt das kontinental Rifting an.

2 - konstruktive Plattengrenzen seafloor spreading Bildung von ozeanischer Kruste high life for thermophiliacs

das Riftstadium ist vorbei, ozeanische Lithosphäre wird gebildet, **seafloor spreading** setzt ein.

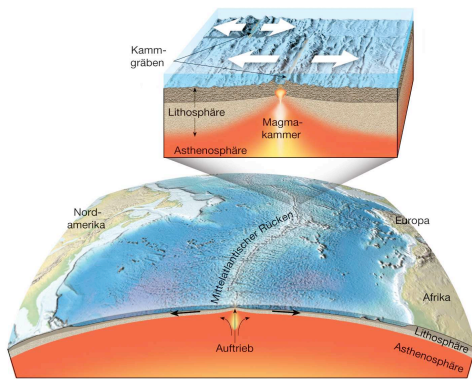
2 seafloor spreading

vom kontinentalen Rift ...



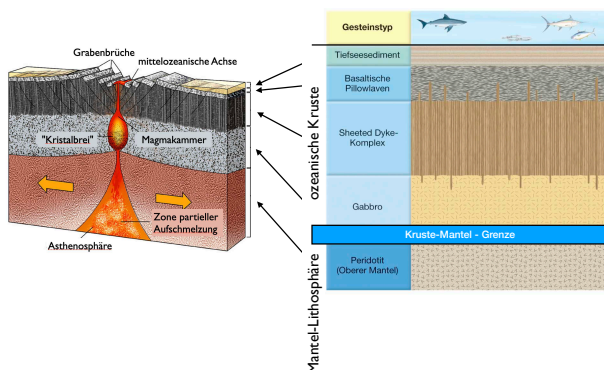
Sea floor spreading (Ozeanbodenspreizung) tritt im Zentrum von mittelozeanischen Rücken auf. Diese Idee wurde 1960 von Harry Hess formuliert. Die aktiven Zonen sind 20 - 30 km breit. Beim Auseinanderdriften der Platten dringt von unten heisses Magma ein. Magma erstarrt und bildet neue ozeanische Lithosphäre, welche auf beiden Seiten an die auseinander driftenden Platten angefügt wird (daher der Name "konstruktiv"). Die Lithosphäre bewegt sich wie ein Förderband über die Asthenosphäre hinweg.

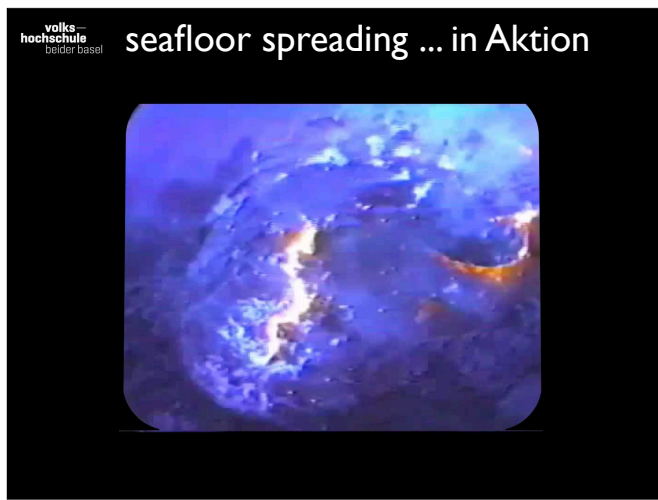
mittelozeanischer Rücken



Achtung: Kruste besteht nicht nur aus Sedimenten, sondern auch aus kristallinen Gesteinen. Basaltische Magmen entstehen aus partiell geschmolzenem Peridotit (Pyroxen, Plagioklas, Olivin). Die Injektion von geschmolzenem Material in die Spalten oberhalb der Magmakammern führt zum Sheeted Dyke Komplex. Die submarinen Lavaflüsse werden an der Oberfläche abgeschreckt, was zur charakteristischen Kissenlava (Pillow Lava) führt.

Entstehung ozeanischer Kruste





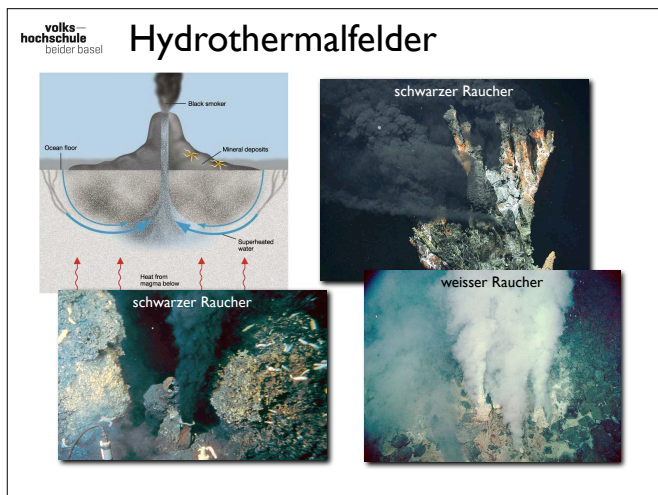
32

Videoaufnahme von Kissenlava - Bildung in Hawaii pillow lava, ocean crust, croûte océanique, basalt.mp4
www.youtube.com/watch?v=DdlUuUY0L9c (leider mit Werbung)



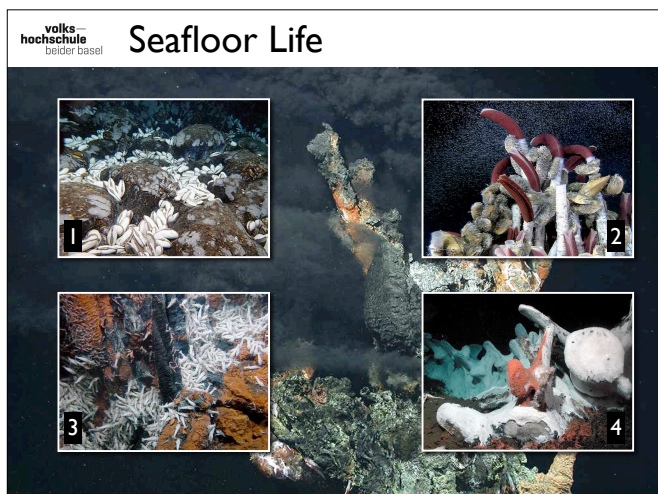
33

Kissenlava am Meeresboden und in geologischen Aufschlüssen



34

Schlote und Sedimentwolken:
Schwarze Raucher = Sulfide andere Fe- Mn- Cu - Zn Salze. schwarz = Pyrit
 Bsp.: Two Boats und Sister Peaks (MAR, 3000m): 300 bar (30 MPa) 400 °C heiß Meerwasser 2 °C (durch Druck bleibt das immer noch Wasser (nicht Dampf)
Weisse Raucher = Ca-Sulfate Anhydrit, Gips oder SiO₂
 Bsp: Northwest Eifuku volcano, Marianas Trench Marine National Monument White smokers emitting liquid carbon dioxide at the Champagne vent. White flocculent mats in and around the extremely gassy, high-temperature (>100°C, 212°F) white smokers at Champagne Vent.

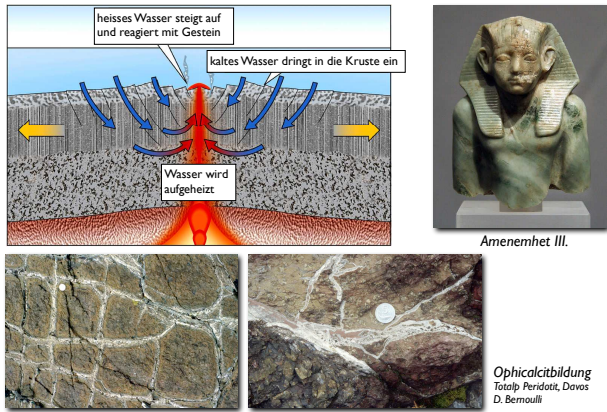


35

Leben am Ozeanboden in ca. 2-3km Tiefe
 1 Giant clams up to 1 foot long. This vent site on the Galápagos Rift, discovered in 2002, is called "Calyfield" after the clam (*Calyptogena magnifica*).
 2 A cloud of flea-like crustaceans called amphipods hovers around tubeworms encrusted with limpets and mussels at the 9°N vent site in the eastern Pacific.
 3 Shrimps swarm at the Rainbow vent site in the North Atlantic.
 4 Orange microbes coat the skeleton of a whale that fell to the seafloor off California producing hydrogen sulfide nutrients that sustain thriving animal populations.

volks-
hochschule
beider basel

Interaktion Meerwasser - Kruste



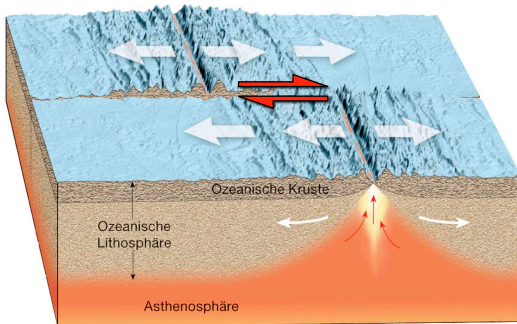
36

Ophicalcite sind metamorphe Gesteine mit stark schwankender Zusammensetzung, in der Regel Karbonatminerale und magnesiumhaltige Silikate, vorzugsweise der Serpentinegruppe.
Serpentine sind sekundäre Minerale und entstehen bei der Umwandlung magnesiumreicher Orthopyroxene oder Olivine in Peridotiten. Faseriger Chrysotilasbest ist ein krebserregendes Material.
 rechts oben: Jugendbildnis des Königs aus Ophicalcit (Staatliches Museum Ägyptischer Kunst in München).

3 - konservative Plattengrenzen Transformstörungen

37

3 Transformstörungen

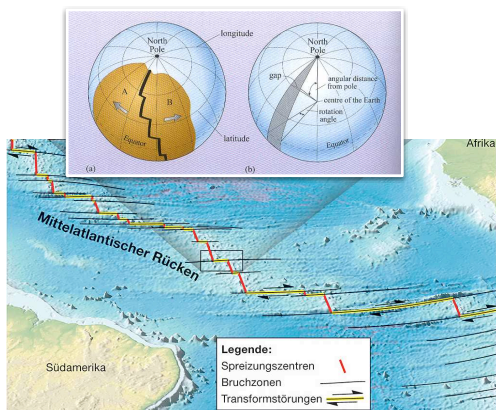


38

Transformstörungen verknüpfen versetzt angelegt Teile eines Spreizungsrückens. Sie sind oft als **lange Brüche** erkennbar, welche die Spreizungsrücken durchschneiden. Dabei ist nur der Teil **zwischen den Rückensegment** aktiv, d.h. nur dort bewegen sich die Platten in entgegengesetzter Richtung aneinander vorbei, nur dort **fungiert die Transformstörung als (konservative) Plattengrenze**. Ausserhalb dieses Bereichs findet keine Relativbewegung statt, der Bruch liegt innerhalb einer Platte und bildet folglich auch keine Plattengrenze.

volks-
hochschule
beider basel

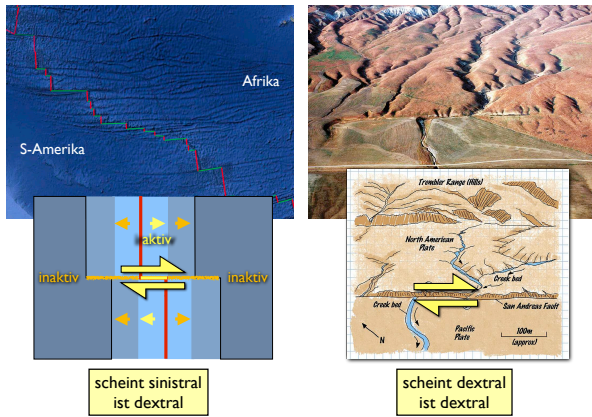
Versatz an Ozeanrücken



39

Transformstörungen am Mittelatlantischen Rücken (MAR) haben jeweils einen **aktiven Teil**, welcher zwischen den versetzten Teilen des MAR liegt. Links und rechts davon sind **ehemals aktive** Transformstörungen als Bruchzonen erkennbar.

Achtung Bewegungssinn

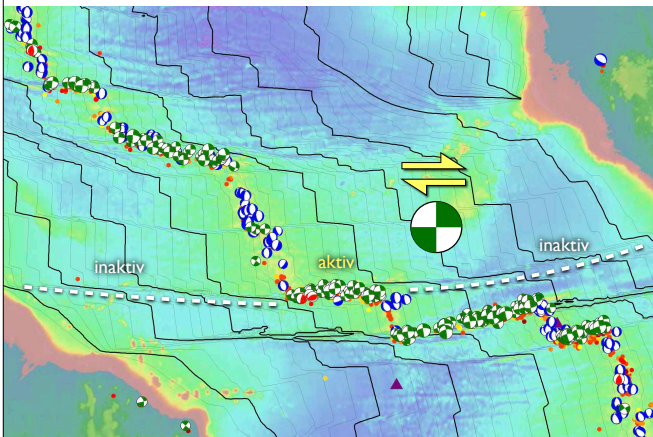


40

Transformbrüche des mittelatlantischen Rückens (MOR) mit **dextralem Schersinn** (links). Der **scheinbar sinistrale** Versatz des MOR, ist aber nicht durch den Transformbruch entstanden, sondern bereits initial angelegt. Der Transformbruch verbindet diese, schon ursprünglich veretzten, Teile des MORs. Der **aktive Teil** des Transformbruches bleibt **immer gleich lang**.

Im Gegensatz dazu wird ein Transformbruch, welcher bestehende Strukturen (z.B. ein Flusstal) versetzt, immer länger. Der dextrale Versatz entspricht also dem dextralen Schersinn (rechts).

beachballs → dextraler Schersinn

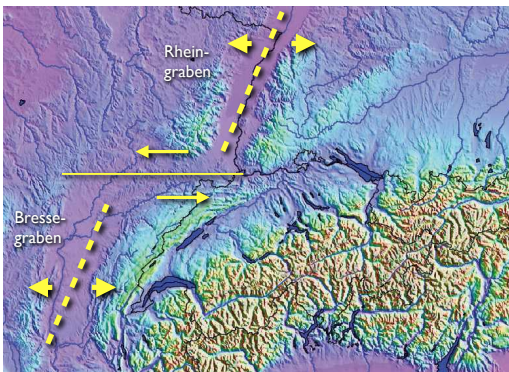


41

Herdflächenlösungen zeigen **dextralen Versatz** der Transformstörungen.

Beachte: lediglich der **aktive Teil** der Transformstörungen (und der mittelatlantische Rücken) sind seismisch aktiv. Die inaktiven Bruchzonen sind erkennbar an den Stufen in Alter-Isolinien (schwarz und hellgrau) und haben keine Erdbeben.

Transform Rhein – Bresse



42

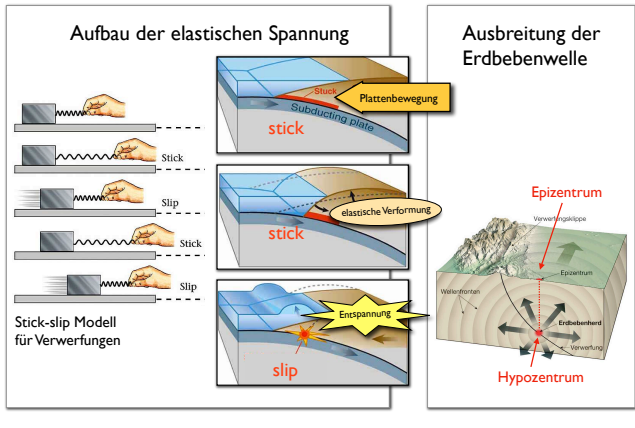
Auch an **fossile Riftzonen** zeigen Transformstörungen den scheinbar falschen **Schersinn**.

43

höchste Zeit, zu erklären, was Erdbeben sind, und was es mit seismischen Wellen auf sich hat.

Exkurs – Erdbeben
P- S- Q- und R-Wellen
Herdflächenlösungen

Anatomie eines Erdbebens



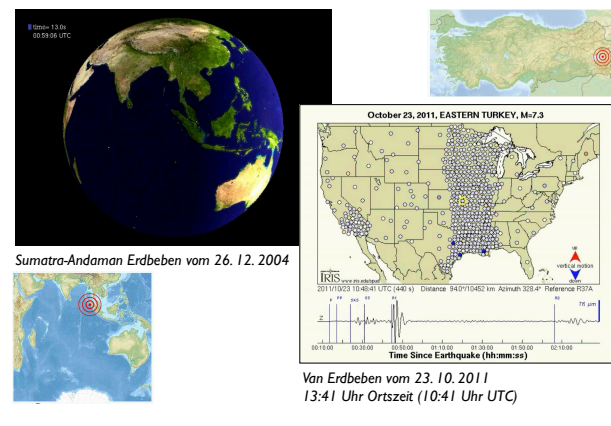
44

Ablauf eines Erdbebens:

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 ~1m/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.

Ausbreitung an der Oberfläche



45

Ausbreitung von Erdbebenwellen über den Erdball

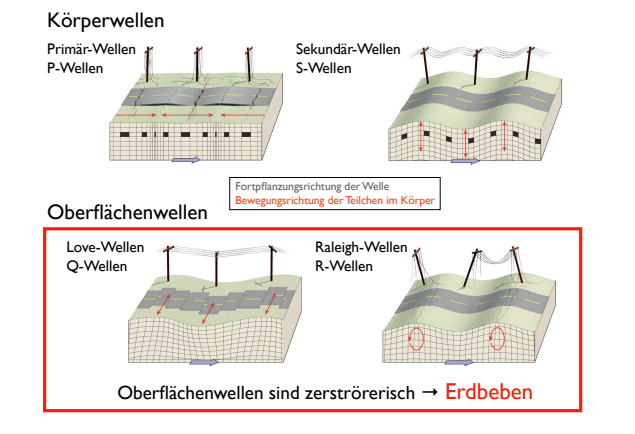
links: Sumatra Erdbeben vom 26. 12. 2004

rechts: Van Erdbeben vom 23. 10. 2011 (13:41 Uhr Ortszeit = 10:41 Uhr UTC) aufgezeichnet vom USArray (=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/usarraygmv-super/>

seismische Wellen



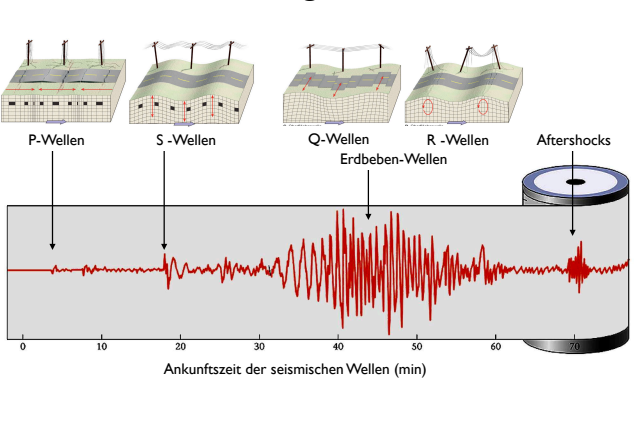
46

Achtung: **S-Wellen sind Körperwellen** ≠

Wasserwellen. Wasserwellen sind Oberflächenwellen.

Achtung: zerstörerische Wellen (= Erdbeben) sind nicht die P-S-Wellen, sondern die Love- und Raleigh-Wellen.

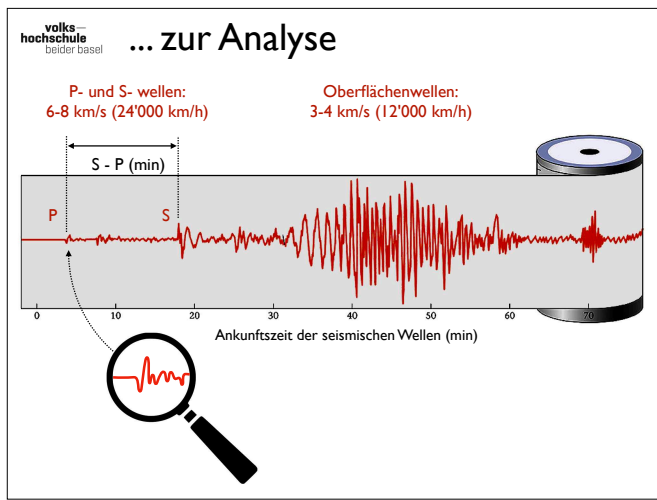
vom Seismogramm ...



47

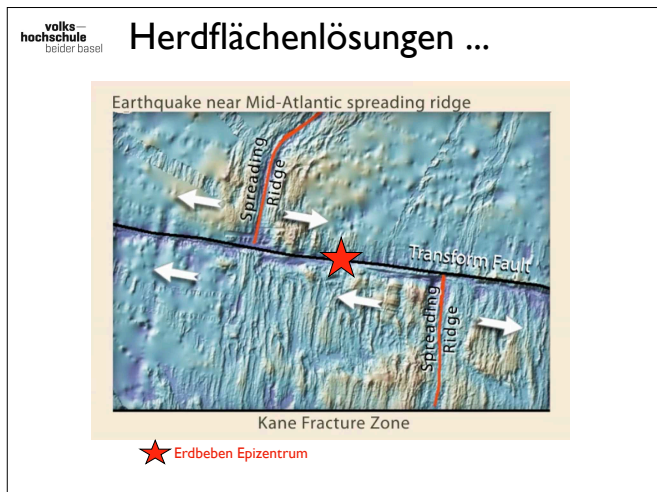
Körperwellen (P- und S-Wellen) haben eine Geschwindigkeit von **6 - 8 km/s** (bis zu 24'000 km/h), d.h. sie durchdringen die Erde und gelangen an jeden Ort an der Erdoberfläche in weniger als 1 Stunde.

Oberflächenwellen (Q- und R-Wellen) haben eine Geschwindigkeit von **3 - 4 km/s** (bis zu 12'000 km/h), d.h. die sie umrunden die Erde (40'000 km) in ca. 3.5 Stunden.



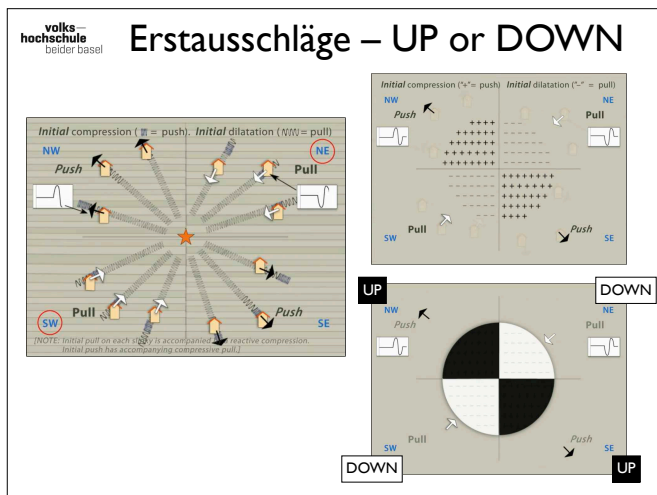
48

Zur **Lokalisierung** eines Erdbebens benützt man das sog. Laufzeitendiagramm. Aus dem zeitlichen Abstand zwischen dem Eintreffen der P- und der S-Welle ergibt sich die Distanz des Erdbebens von der Messtation.
Zur Berechnung der **Magnitude** eines Erdbebens benützt man die Amplitude der Erstausschläge von P- und S-Wellen.
Zur Bestimmung der **Bewegungsfläche** eines Erdbebens benützt man die sog. **Herdflächenlösung**, d.h. das Vorzeichen des Erstausschlags der P-Welle.



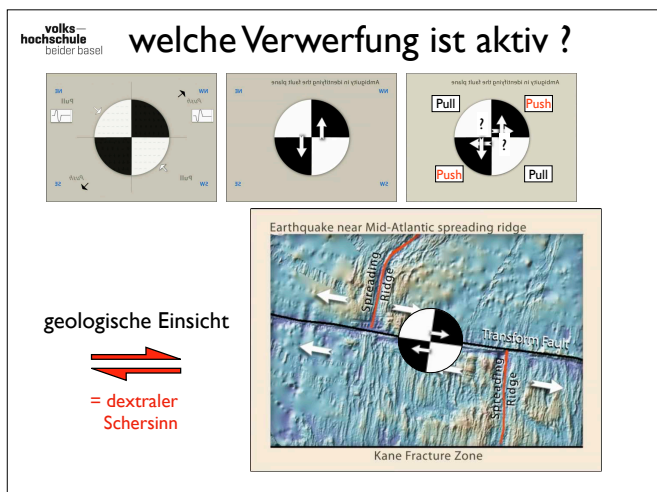
49

am **Beispiel** einer Transformstörung am mittelatlantischen Rücken



50

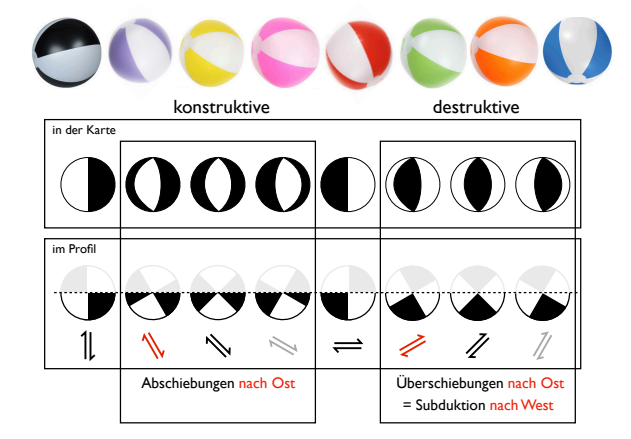
Achtung: **seitenverkehrt** zu Beispiel in der letzten Folie
PULL – WEISS bedeutet, dass der **Erstausschlag** der eintreffenden Welle **hinunter** geht
PUSH – SCHWARZ bedeutet, dass der **Erstausschlag** der eintreffenden Welle **hinauf** geht
In den Quadranten, wo an den **Messtationen Stauchung (Push)** verzeichnet wird, herrscht **am Epizentrum Dehnung** (schwarze Pfeile)
Umgekehrt, wo an den **Messtationen Dehnung (Pull)** aufgezeichnet wird, herrscht **am Epizentrum Verkürzung** (weisse Pfeile) – in diesen Quadranten ist die **Spannung kompressiv**.



51

Achtung: hier sind die drei oberen Darstellungen in die gleiche Orientierung gedreht wie das Bild unten (daher seitenverkehrte Beschriftung).
Herdflächenlösungen ergeben **immer zwei mögliche**, aufeinander senkrecht stehende, Bruchflächen. Auf diesen ist eine Bewegung **von weiss nach schwarz** möglich (einmal dextral, einmal sinistral) wie oben rechts gezeigt. Welche der beiden Möglichkeiten bei einem Erdbeben realisiert wird, geht nicht aus den Herdflächenlösungen selber hervor, dazu braucht es weiter geologische Informationen.

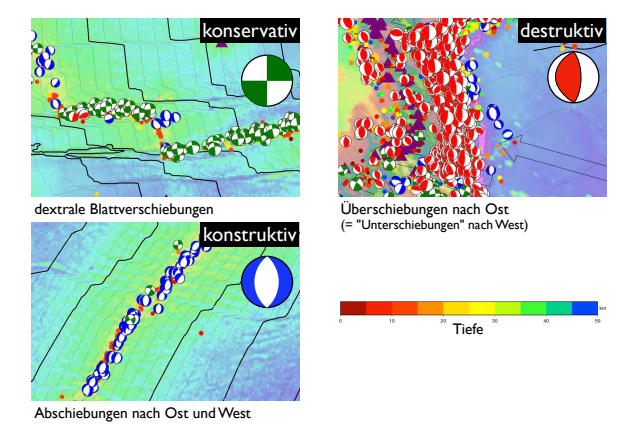
3D beachballs in Karte und Profil



52

Beachte: **rot** eingezeichnet ist die **wahrscheinlich** benutzte Bruchfläche, grau die eher unwahrscheinliche
PULL – WEISS bedeutet: am Epizentrum Verkürzung (Kompression)
PUSH – SCHWARZ bedeutet: am Epizentrum Dehnung (Dehnung)
 Achtung: die bunten beachballs haben sechs Sektoren, die seismischen "beachballs" aber nur vier Quadranten

typische Herdflächenlösungen



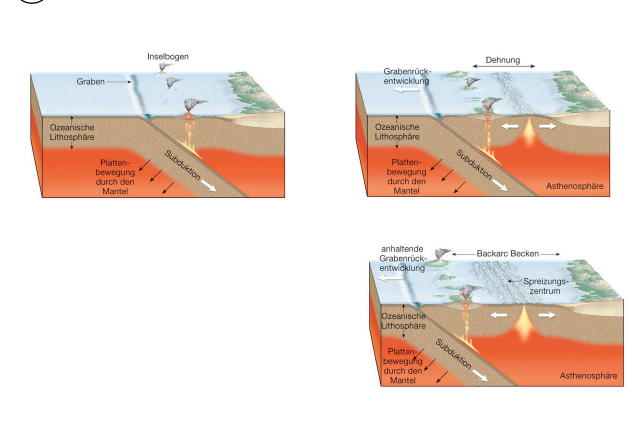
53

konservativ: "Schachbrett" Bruchfläche senkrecht, typisch sind horizontale Transform-Bewegungen.
 Karte: Transform am mittelatlantischen Rücken: S-Amerikanische Platte im Westen, Afrikanische im Osten
konstruktiv: "weisser Schnitt in der Mitte", typisch sind steile Abschiebungen, → horizontale Dehnung
 Karte: mittelatlantischer Rücken: S-Amerikanische Platte im Westen, Afrikanische im Osten
destruktiv: "Katzenauge", typisch sind flache Überschiebungen (bzw. Subduktionen) → horizontale Verkürzung
 Karte: Überschiebungen im Osten von Japan: Okhotsk Platte im Westen wird über Pazifische Platte im Osten überschoben

4 - destruktive Plattengrenzen Subduktionen Tohoku EQ 2011

54

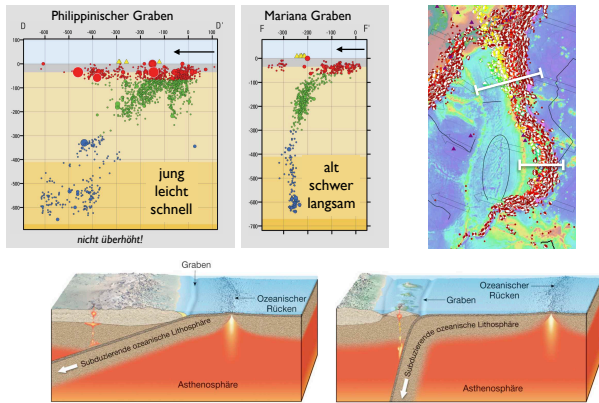
4 Subduktionen



55

Subduktionen sind **Senken** für die tektonischen Platten, welche zuvor an mittelozeanischen Rücken (Quellen) gebildet worden waren. Sie führen die Lithosphären in den konvektierenden Mantel zurück (re-cycling).

Subduktionen



56

Der **Winkel**, unter welchem eine ozeanische Lithosphäre abtaucht hängt zum ab 1. vom **Alter** – und damit der Dicke und Dichte – der Platte und 2. von der **Geschwindigkeit** mit welcher die Platte ubduziert wird.

Sowohl beim Philippinischen als auch beim Mariana Graben wird die Pazifische Platte subduziert. Theoretisch müssten die beiden Profile gleich aussehen, die Subduktionen gleich steil sein. Einfluss haben aber auch der hinge roll-back am Mariana Graben (back-arc spreading) und die gekrümmte Geometrie des Marianagrabens (Platzproblem in der Tiefe).

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

57

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) am Tag nach dem Beben herausgegeben wurde.
japanische Bezeichnung: 東北地方太平洋沖地震 (Tōhoku-chihō taihei-yō-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
Teachable Moments

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.

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

New York Times

58

Powerpoint Präsentation von IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), am Tag nach dem Erdbeben auf dem Internet zur Verfügung gestellt: unter Teachable Moment Presentation (<https://www.iris.edu/hq/retm/event/1328>)
Das ganze Archiv ab Dezember 2009: <https://www.iris.edu/hq/retm/archive>

Message hier: ein Magnitude 9.0 Erdbeben hat sich am 11. März 2011 vor der Nordost-Küste Japans ereignet, gefolgt von einem Tsunami

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

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	Not Felt
III	
II	
I	

Image courtesy of the US Geological Survey

This earthquake occurred 130 km east of Sendai, Honshu, Japan and 373 km northeast of Tokyo, Japan.

USGS Estimated shaking Intensity from M 9.0 Earthquake

59

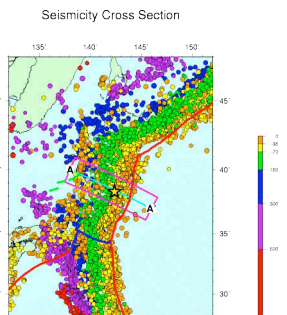
Powerpoint Präsentation von IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), am Tag nach dem Erdbeben auf dem Internet zur Verfügung gestellt: unter Teachable Moment Presentation (<https://www.iris.edu/hq/retm/event/1328>)

Message hier: Es gibt zu jedem Erdbeben genau eine Magnitude, aber ortsabhängige, variable Intensitäten. Maximale Werte von VII bis VIII.

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

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

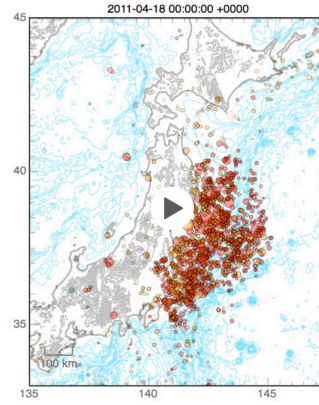
60

Powerpoint Präsentation von IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), am Tag nach dem Erdbeben auf dem Internet zur Verfügung gestellt: unter Teachable Moment Presentation (<https://www.iris.edu/hq/retm/event/1328>)

Message hier: Hypozentren (im Profil, 0-200km Tiefe) und Epizentren (auf der Karte, 0-800km Tiefe) von 1990 bis 2011 sind dargestellt. Japan liegt auf der Eurasischen (im Südwesten) und auf der Okhotsk Platte (ehemals N-Amerika) (im Nordosten).

volks-
hochschule
beider base

Seismizität I. I. 1973 - 18.4.2011



2011-04-18 00:00:00 +0000

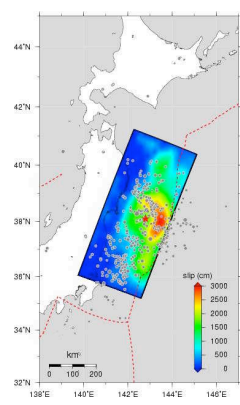
61

Seismische Aktivität von 1973 - 2011
Immer wieder treten **zeitliche und räumlich Erdbeben - Cluster** auf

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

This "map" of the slip on the fault surfaces shows how fault displacement propagated outward from an initial point (or focus, shown as star) 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.



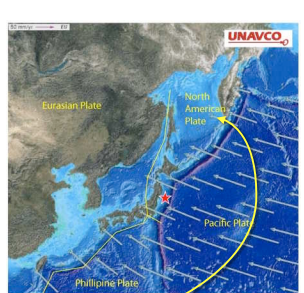
Cross-section of slip distribution.
The slip amplitude are showed in color. direction by black arrow.
Contours show the rupture initiation time in seconds.
Image courtesy of the U.S. Geological Survey

62

Powerpoint Präsentation von IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), am Tag nach dem Erdbeben auf dem Internet zur Verfügung gestellt: unter Teachable Moment Presentation (<https://www.iris.edu/hq/retm/event/1328>)

Message hier: Die aktivierte Bruchfläche misst 500 x 200km; die maximale Verschiebung (Slipdistanz Pazifische versus Eurasische Platte) misst ca. 17.5m (laut Profil) bzw. 30m (laut Karte)
Linkes Diagramm: Achsen sind gleich skaliert (keine Überhöhung)

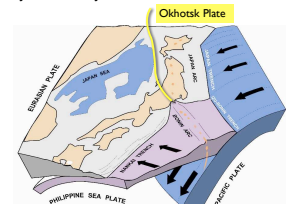
IRIS Magnitude 9.0 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Friday, March 11, 2011 at 05:46:23 UTC
Teachable Moments



Okhotsk-Platte

This earthquake was the result of thrust faulting along the convergent plate boundary where the Pacific Plate is subducted.

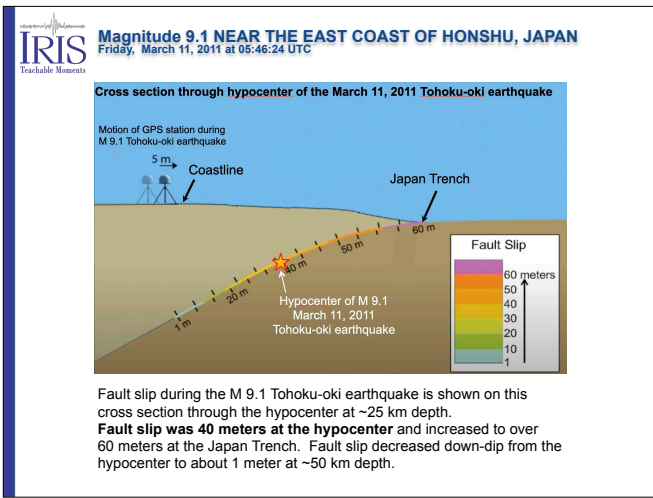
This map also shows the rate and direction of motion of the Pacific Plate with respect to the Okhotsk Plate near the Japan Trench. The rate of convergence at this plate boundary is about 83 mm/yr. This is a fairly high convergence rate and this subduction zone is very seismically active.



63

Powerpoint Präsentation von IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), am Tag nach dem Erdbeben auf dem Internet zur Verfügung gestellt: unter Teachable Moment Presentation (<https://www.iris.edu/hq/retm/event/1328>)

Message hier: Die Ursache für das Erdbeben ist die Subduktion der Pazifischen Platte. Die Geschwindigkeit mit welcher die Pazifische Platte auf die Eurasisch trifft (sog. Konvergenzrate) beträgt 83mm/Jahr.
Hier steht noch North American Plate, richtig wäre: Okhotsk Plate, bzw.: die Pazifische taucht unter die Okhotsk Platte

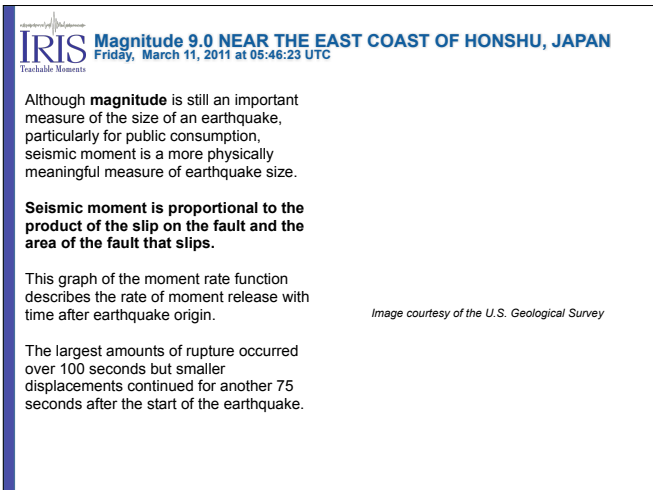


64

Powerpoint Präsentation von IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), **10 Jahre später** auf dem Internet zur Verfügung gestellt: unter Teachable Moment Presentation (<https://www.iris.edu/hq/retm/event/6868>)

Message hier: Nach 10 Jahren sind genauere Auswertungen der Messungen verfügbar.

1. (s. Titel) Die Magnitude wurde von 9.0 auf 9.1 hochgestuft, dies entspricht einer ca. 8x höheren Energie (die Zunahme um eine M-Einheit bedeutet 32-fache Energie)
2. die maximale Slip-Distanz war 40m beim Hypozentrum, im Japangraben sogar 60m. In ca. 50km Tiefe sinkt der Wert auf 1m.



65

Powerpoint Präsentation von IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology), am Tag nach dem Erdbeben auf dem Internet zur Verfügung gestellt: unter Teachable Moment Presentation (<https://www.iris.edu/hq/retm/event/1328>)

Message hier: Das **seismische Moment** ist proportional zum Produkt aus Slip-Distanz (slip), mal Fläche der aktivierten Überschiebung. Dieses wird heute, vor allem bei grossen Erdbeben zur Berechnung der Magnitude verwendet.

Dauer der Bewegung ca. 100-150 Sekunden. Der Slipdistanz beträgt bis zu 30 m => durchschnittliche Geschwindigkeit für die Überschiebung von 0.03km / 0.03h = **1km/h**, im Maximum erreicht sie **Fussgängertempo...**



66

Der Ōnamazu (japanisch 大鯰, 'Riesenwels') ist ein **fiktiver, riesiger Wels (namazu)**, der in Japan angeblich die Ursache für Erdbeben war. Der Glauben entstand in der Region um den **Biwa-See**, in dem **zwei, in Japan endemische, Welsarten** leben (*Silurus biwaensis*, jap. Biwako ōnamazu, wird über 1m lang). Während der Edo-Zeit verbreitete sich die Vorstellung dann entlang des Tōkaidō in die Hauptstadt Edo und schließlich landesweit. Die Darstellung des Ansei-Edo-Erdbebens am 11. November 1855 ist auf vielen „Welsbildern“ (Namazue) wiederzufinden. Hier „Die Geschichte des großen Namazu in Shin-Yoshiwara“ zeigt die von Männern unterstützten Prostituierten, wie sie mit Stangen und Shamisen auf den bereits bezwungenen Namazu (Wels) einprügeln.

volks-
hochschule
bilder basel

Zusammenfassung

was wir besprochen haben:

- Nachtrag zum Aufbau der Erde
- Zeitreise durch den Wilson-Zyklus I - IV
- Kontinentale Graben
 - Topografie – Vulkanismus – Schwereanomalie
- Seafloor Spreading
 - Bildung ozeanischer Kruste – thermophiles Leben
- Transformationsstörung
- Exkurs (crash course seismology)
 - Erdbeben – Herdflächenlösungen (beachballs)
- Subduktionen
 - Tohoku Erdbeben 2011

... und wie geht es weiter ?

67