

volks-
hochschule
beider basel



5. und letzte Vorlesung
Plattentektonik – so tickt die Erde
Renée Heilbronner

1

volks-
hochschule
beider basel

wo waren wir ?



2

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

東北地方太平洋沖地震
Tohoku Erdbeben
11. März 2011
– auf deutsch !

3

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>)

Ausgewählte Folien – auf deutsch übersetzt

IRIS Teachable Moments
Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

Vor 10 Jahren, am 11. März 2011, ereignete sich ein verheerendes Magnitude 9.1 Erdbeben, 130 km östlich von Sendai, Honshu, Japan und 373 km nordöstlich von Tokyo in einer Tiefe von 24.4 km.



Auf diesem Photo vom 15. März sieht man einen Überlebenden des Erdbebens und Tsunamis, der mit dem Velo durch die komplett flachgelegte Stadt Minamisanriku, im Nordosten von Japan, fährt
(AP Photo/David Guttenfelder)

4

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>)

https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20110311054624120_30/executive

IRIS Teachable Moments
Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
 Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

Auf diesen zwei Luftaufnahmen sieht man das Okawa Schulhaus in Ishinomaki, Miyagi,

oben: am 15. März, nach dem Tsunami,
 unten: am 28. September 2020.

78 Schülerinnen und Schüler und 10 Lehrpersonen kamen im Tsunami um.

(Quelle: The Yomiuri Shimbun via AP Images)

5

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>)

Additional Reading:
 Ghosts of the Tsunami: Death and Life in Japan's Disaster Zone, Richard Lloyd Parry, Picador, 320 pp., 2018
 The Extraordinary Voyage of Kamome - A Tsunami Boat Comes Home: <https://kamome.humboldt.edu/>
 Redwoods Coast Tsunami Work Group Remembrance page: <https://rctwg.humboldt.edu/rememering-great-east-japan-earthquake-march-11-2011>

IRIS Teachable Moments
Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
 Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

Die modifizierte Mercalliskala (MM-Skala oder MM-31, engl. Modified-Mercalli Intensity scale) hat 12 Stufen (I bis XII), welche die Intensität der Bodenbewegungen angibt. Sie basiert auf beobachteten Effekten an der Oberfläche und variiert abhängig von der Magnitude und Tiefe des Bebens, Distanz zum Beben und lokaler Beschaffenheit des Untergrundes.

MMI	Perceived Shaking
II	Kaum bemerkbar
III	Schwach verspürt
IV	Deutlich verspürt
V	Stark verspürt
VI	Leichte Gebäudeschäden
VII	Gebäudeschäden
VIII	Schwere Gebäudeschäden
IX	Zerstörend
X	Extreme
XI	Violent
XII	Severe
	Very Strong
	Strong
	Moderate
	Light
	Weak
	Not Felt

Quelle: Schweizerischer Erdbebendienst

6

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>)

<http://www.seismo.ethz.ch/de/earthquakes/alerting/shakemap/>
 Relevant animation: Earthquake Intensity https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/earthquake_intensity

IRIS Teachable Moments
Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
 Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

Im Norden von Honshu taucht die Pazifische Platte mit einer Geschwindigkeit von 8.3 cm / Jahr unter die Okhotsk Platte. Der rote Stern markiert das Epizentrum des M9.1 Erdbebens.

7

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>)

IRIS Teachable Moments
Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
 Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

Herdflächen-Darstellung der räumlichen Spannungsorientierung, welche das Erdbeben erzeugte. In diesem Fall zeigt die Herdflächenlösung an, dass die Pazifische Platte relativ flach unter die Okhotsk Platte abtauchte

USGS W-phase Moment Tensor Solution

Die Quadranten der "Tension" (T, blau, bzw. farbig) enthalten die Richtungen minimaler kompressiver Spannung, die Quadranten des "Drucks" (P, weiss) diejenigen maximaler kompressiver Spannung.

8

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>)

Relevant Animation:
 Focal Mechanisms Explained: https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/focal_mechanisms_explained

IRIS Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

Die Karte zeigt die Epizentren von Erdbeben mit einer Magnitude grösser als M5 im Zeitraum von 1990 bis 2011. Gelb = Tohoku Erdbeben.

Das Profil zeigt die Tiefenverteilung der Hypozentren im Japan-Graben.

Seismisches Profil der Mega-Überschiebung (Mega-thrust)
Bild generiert mit dem IRIS Earthquake Browser

9

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>)

Explore the Seismicity:
IRIS Earthquake Browser: <http://ds.iris.edu/ieb/>

IRIS Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

um wieviele Meter der Bruch bewegt wurde

Bruchfläche des Tohoku Erdbebens

Die Bruchfläche des Tohoku Erdbebens misst ca 500 x 200 km (= 100'000 km²)

10

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>)

IRIS Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

Diese (schräg liegende) Karte der Bruchfläche zeigt, wie sich der Versatz (Slip) vom Hypozentrum (in 24 km Tiefe) ausgehend, in alle Richtungen fortplant. Die Gesamtlänge der Bruchfläche beträgt ca. 500km, die Breite 100km, entsprechend einer Tiefe bis zu 50 km.

Oberfläche

Horizontale Distanz (km)

Tiefe bezüglich Hypozentrum (km)

E

W

Verteilung des Versatzes auf der Fläche der Mega-Überschiebung. Der rote Stern bezeichnet das Hypozentrum. Die Länge des Versatzes ist farbkodiert (max. = rot = 56m). Die Pfeile geben die Richtung des Versatzes der Eurasischen Platte gegenüber der (abtauchenden) Pazifischen Platte. Punktlierte Linie: 40-Sekunden-Intervalle der Ausbreitung der Trennfläche (Ruptur)

11

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>)

Image courtesy of the U.S. Geological Survey

IRIS Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
Freitag 11. März 2011, 05:46:24 UTC

W

E

GPS Start 4.4 m

-2m

+7m

Überhöhtes Profil des Bruchflächenversatzes. Beim Hypozentrum (~25 km Tiefe) beträgt der Versatz ca. 40 m. Der Versatz nimmt bis zur Oberfläche und bis zu einer Tiefe von ca. 50 km auf Null ab.

12

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>)

Offenbar ist diese Folie gegenüber der ersten Version (s. Ende der 4. Vorlesung) nochmals **korrigiert** worden.

IRIS Teachable Moments
Magnitude 9.1 NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
 Friday, March 11, 2011 at 05:46:24 UTC
 Image courtesy of NOAA

Im Anschluss an das Erbeben wurde eine Tsunami-Warnung für den gesamten Pazifikraum ausgegeben.

Das Intervall der Konturen für die Ausbreitungsgeschwindigkeit beträgt 1 Stunde, die Wellenhöhe ist farbkodiert (s. Legende rechts)

Wo die Basis der Tsunami-Wellen den Ozeanboden erreicht, beeinflusst dessen Topografie die Wellenhöhe.

Im offenen Meer können Tsunami-Wellen bis zu 800km/Std erreichen (und sind damit so schnell wie ein Flugzeug)

13

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>)

Seismische Methoden

Magnitude

Herdflächen

Tomografie

14

volks-
hochschule
beider basel

vom Seismogramm ...

P- und S-Wellen:
6-8 km/s (24'000 km/h)

Oberflächenwellen:
3-4 km/s (12'000 km/h)

P-Wellen S-Wellen Q-Wellen R-Wellen Aftershocks
 Erdbeben-Wellen

Ankunftszeit der seismischen Wellen (min)

15

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.

volks-
hochschule
beider basel

... zur Analyse

zeitliche Distanz (S - P) → Magnitude
 maximaler Ausschlag

P S

ab pull
oder
auf push

relative Ankunftszeit der P-Welle
 zu früh ⇒ kühleres Gestein
 zu spät ⇒ wärmeres Gestein

→ Herdflächenlösung

→ Tomografie

16

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 Messstation.

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.

Für **seismische Tomografie** benützt man die abweichende Ankunftszeiten

Erdbeben-Magnitude

die Magnituden-Skala ist zusammengesetzt aus:
Gutenberg-Richterskala (M_L), 1935

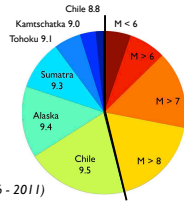
hängt ab vom
maximalen Ausschlag des Seismografen

L = Lokale Magnitude
Geeignet für Distanzen von wenigen 100 km

Momenten-Magnituden-Skala (M_w), ab 1970

hängt ab von
Steifigkeit (Schermodul), durchschnittlicher Slip-
Distanz (m) und Fläche zwischen bewegten
Blöcken (m²)

W = geleistete Arbeit (Work)
Geeignet für grosse Erbeben
Konsistent mit der Richterskala



globales seismisches Moment (1906 - 2011)

17

Generell wird heute – in den Nachrichten – die Magnitude in der "nach oben offene Richterskala" angegeben
Die **6 grössten Erdbeben**, welche sich zwischen 1906 und 2011 ereignet haben, haben zusammen mehr als die Hälfte des gesamten seismischen Momentes erbracht.

Intensität ≠ Magnitude



Kartierung der Schäden eines Erdbebens in Kalabrien (1783) von Schiantarelli



Messina, nach dem Erdbeben (1908)
M = 7.1 (123'000 Tote)



Giuseppe Mercalli (1850-1924)



18

Intensitäten = "gefühlte Magnitude"

http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/hazard/History_intensity.htm

Nach seiner Priesterweihe studierte Mercalli bei Antonio Stoppani Geologie. Er war zuerst Professor an den Priesterseminaren in Mailand und Domodossola. 1892 wechselte er an die Universität Catania, wo er Mineralogie und Geologie lehrte, und 1892 an die Universität Neapel als Lehrer für Vulkanologie. Von 1911 bis 1914 war er Leiter des Vesuv-Observatoriums bei Neapel.

Europäische Makroseismische Skala (EMS) 1998

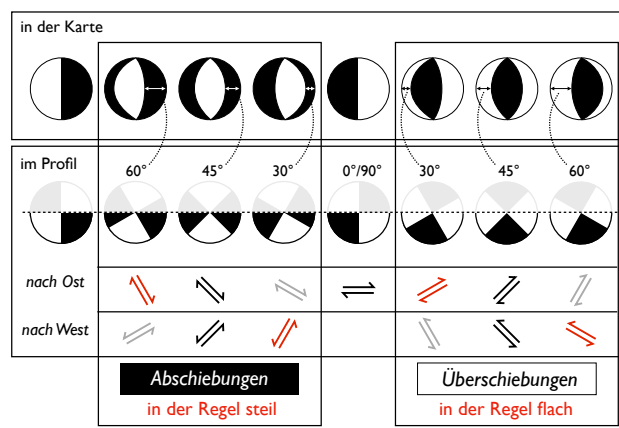
Intensität	Beschreibung (Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Europäische_Makroseismische_Skala)	≈ M
I nicht fühlbar	Selbst unter günstigen Bedingungen nicht fühlbar.	1
II kaum bemerkbar	Einzelne ruhende Personen nehmen die Erschütterung an Stockwerken von Gebäuden.	2
III schwach	Schwache Erschütterungen werden durch Personen an ruhenden Orten wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein Schwanken.	3
IV deutlich	Von vielen Personen innerhalb von Gebäuden v. Schlafende erwachen. Die Stärke der Erschütterung-Geschirr klappern, hängende Objekte beginnen zu schwingen.	4
V stark	Von den meisten Personen innerhalb von Gebäuden Personen flüchten aus Gebäuden, viele Schlafende erwachen. Porzellan und Glas sind stark, kopflastige Objekte fallen um. Türen klappen.	5
VI leichte Gebäudeschäden	Wird von den meisten Personen innerhalb von Gebäuden in Gebäuden erschrecken und flüchten. Leichte Schäden an normalen Gebäuden.	5.3 - 5.9
VII Gebäudeschäden	Die meisten Personen in Gebäuden erschrecken viele Gegenstände fallen aus Regalen und offen beschädigt, so etwa durch Mauerrisse und teilweise umfallen.	6.0 - 6.9
VIII schwere Gebäudeschäden	Möbel können umfallen. Viele normale Gebäude Mauerrisse, einige Gebäude fallen teilweise zusammen.	7.0 - 7.3
IX zerstörend	Hohe Strukturen wie Denkmäler oder Säulen fallen teilweise zusammen, einige Gebäude werden zerstört.	7.4 - 7.7
X sehr zerstörend	Viele normale Gebäude stürzen ein.	7.8 - 8.4
XI verwüstend	Die meisten normalen Gebäude stürzen ein.	8.5 - 8.9
XII vollständig verwüstend	Fast alle über- und unterirdischen Bauwerke werden zerstört oder schwer beschädigt.	> 9.0

19

Weitere heute noch verwendete Skalen:

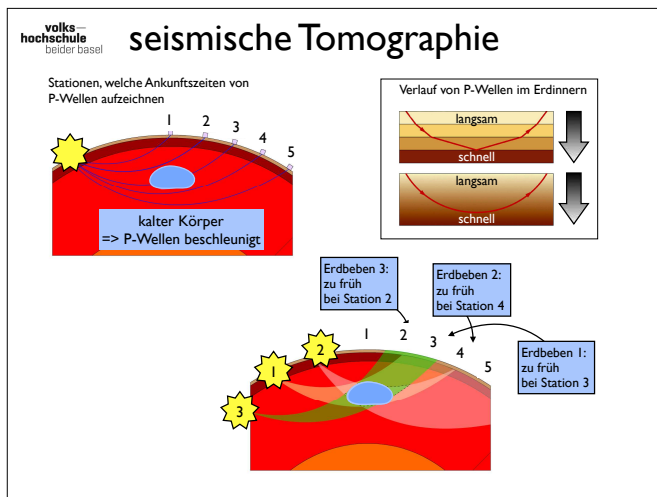
1. Mercalli 1902 Mercalli Cancani 1912 Mercalli Cancani Sieberg 1923 daraus modif. Mercalliskala MM
2. übersetzt engl (Richter) Mercalli Wood Neuman 1931 = Modified Mercalli Scale MM-S
3. JMA (Japan Meteor. Agency) 1951 (7 Stufen wie Omori)
4. 956 MM-56 modified Mercalli (durch Richter überholt, aber ohne seinen Name, wegen Richterskala)
5. 1998 EMS-98 europ.makroseism.skala (nach meeting 1991 in München)

beachballs oder ...bowls



20

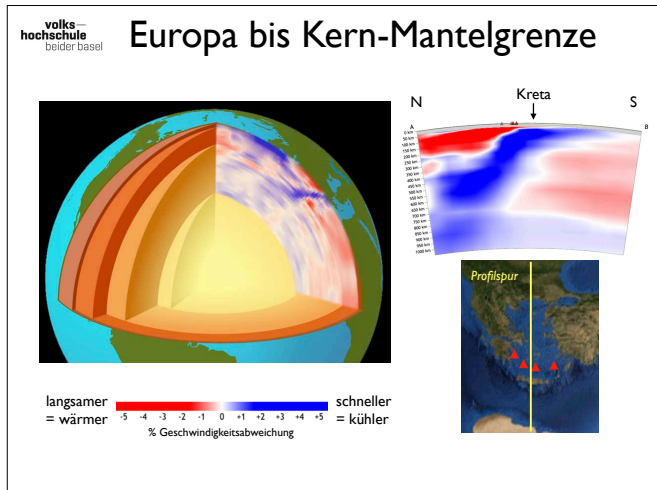
Man muss sich vorstellen, **nicht auf den Ball**, sondern in die untere Hälfte des aufgeschnittenen Balls, **in die Schüssel (bowl)** zu schauen. Man nennt diese Form der Darstellung "untere Halbkugel Projektion" (lower hemisphere projection). Beachte: **rot** eingezeichnet sind die **wahrscheinlich benutzten** Bruchflächen, grau die eher unwahrscheinlichen.



21

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). 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.

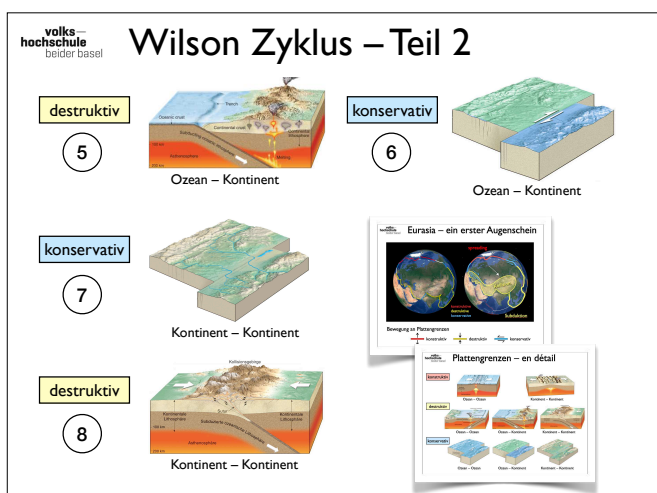


22

Do-it-yourself Tomografie auf dem Server <https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/tomographie2/>
Da der äussere Kern flüssig ist, ist seismische Tomografie nur bis zur Kern-Mantelgrenze möglich.

einmal durch den ganzen
Wilson Zyklus

23

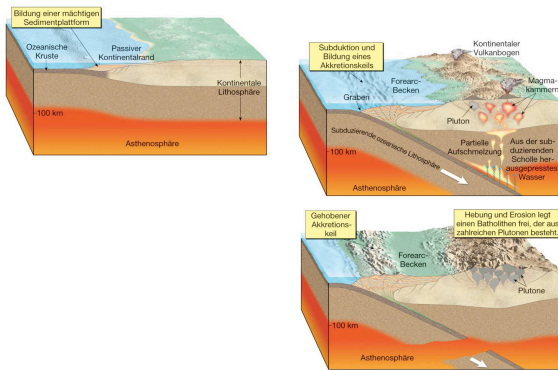


24

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 2

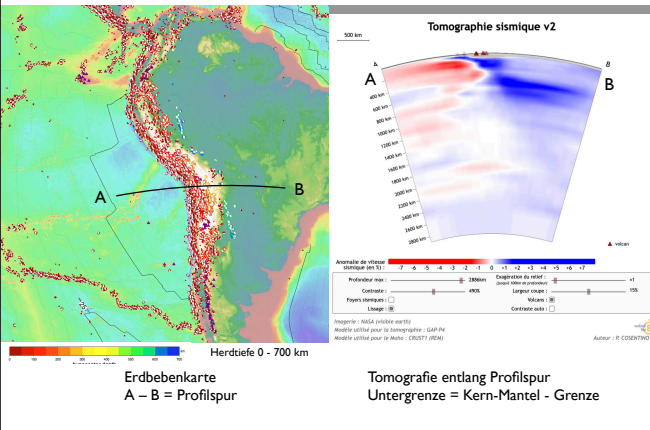
5 kontinentale Vulkanbögen Anden

5 kontinentalen Vulkanbögen



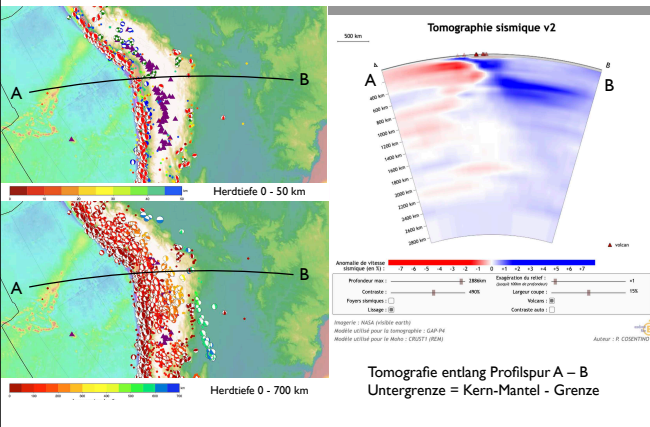
Destruktive Plattengrenze: Subduktion einer ozeanischen unter eine kontinentale Platte

die Anden

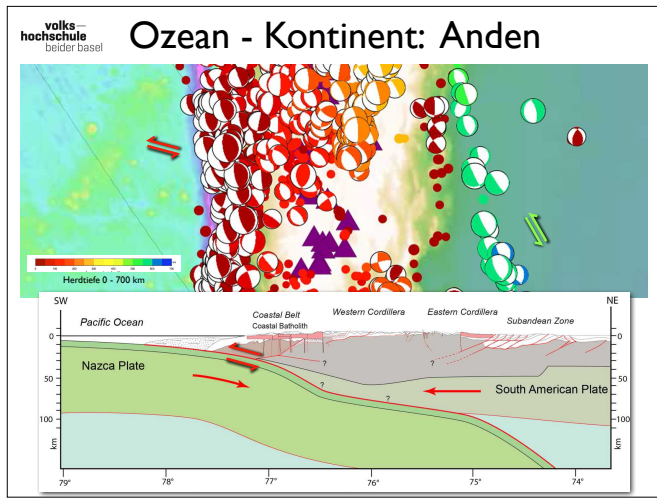


Do-it-yourself Tomografie auf dem Server <https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/tomographie2/>

Hypozentren und Vulkane



Do-it-yourself Tomografie auf dem Server <https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/tomographie2/>
oben: **Seichte Beben** zeigen im **Westen Überschiebungen** nach Westen (=Subduktion nach Osten), und im **Osten sinistrale Verwerfungen** parallel zum Gebirgsrand. In der Mitte Vulkanismus. unten: **Tiefbeben** (600km Tiefe, grün) zeigen aber **Subduktionen der Nazca Platte nach Osten**, bzw. Aufschiebungen der südamerikanischen Platte (bzw. Mantels), an.



29

Seichte Beben (dunkelrot) zeigen an der Küste (**im Westen**) **Überschiebungen** nach Westen (=Subduktion nach Osten), und in der "subAndean Zone" (**im Osten**) **sinistrale Verwerfungen** parallel zum Gebirgsrand.

Tiefbeben (600km Tiefe, grün) sind im Profil nicht dargestellt, zeigen aber steile **Subduktionen der Nazca Platte nach Osten**, bzw. Aufschiebungen der südamerikanischen Platte (bzw. Mantels), an.

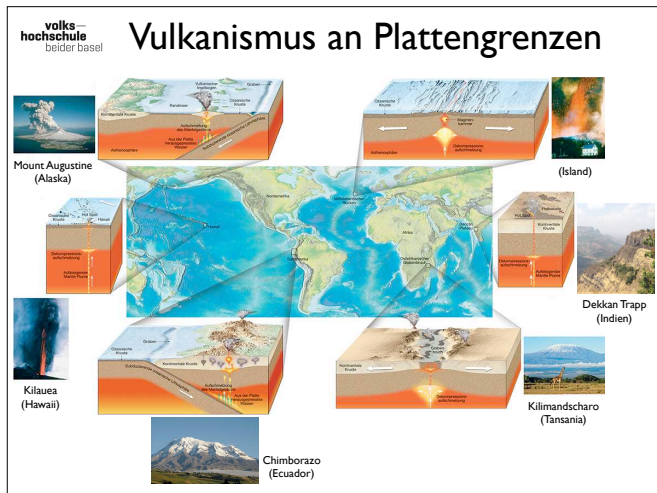
Vulkanismus

News

plattentektonisches Setting

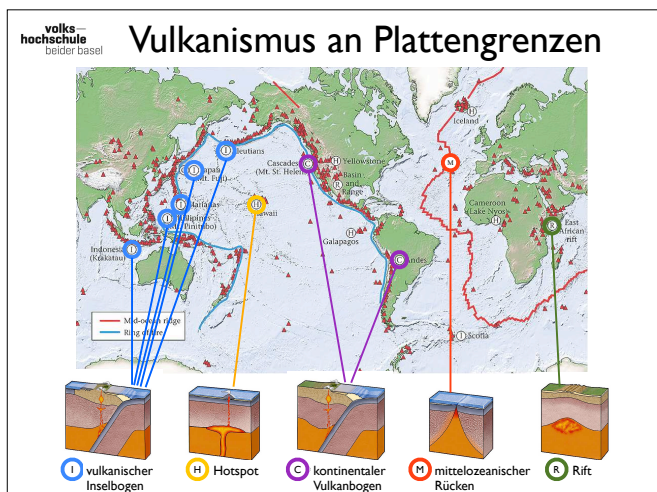
Magmen und Vulkane

30



31

Typischerweise ist der **Vulkanismus** an konstruktive und destruktive **Plattengrenzen** gebunden, die Zusammensetzung der Magmen an diesen beiden Orten ist deutlich verschieden.



32

Aber es gibt **auch platteninternen Vulkanismus**. **Hotspot** Vulkanismus ist basaltisch, wenn das Magma direkt aus dem Mantel stammt. Steigt es durch kontinentale Kruste auf, kann es auch rhyolitisch werden (s. Yellow Stone)

volks-
hochschule
beider basel

www.volcanodiscovery.com

WHAT'S ERUPTING? LIST & MAP OF CURRENTLY ACTIVE VOLCANOES

Updated: Nov 28, 2023 20:46 GMT - 37 minutes ago

Interactive Map of Active Volcanoes and recent Earthquakes world-wide

REYKJANES VOLCANO

LISTED NEWS

Volcanoes (340) | Active | Awaiting activity | Archived News

Interactive Map of Active Volcanoes and recent Earthquakes world-wide

Europe and Atlantic Ocean: **Snowdon** (British Islands, Italy), **Etna** (Italy), **Camel Ridge** (Philippines Fields) (Italy), **Tenerife** (Azores, Portugal), **São Jorge** (Azores Islands, Portugal), **Volcano** (British Islands, Italy)

Iceland: **Popocatepetl** (Central Mexico), **Santaguito** (Guatemala), **Fuego** (Guatemala)

Aleutians, Alaska and North America: **Shishinef** (Aleutian Islands, Alaska), **Great Sitkin** (United States, Aleutian Islands), **Trident** (United States, Alaska Peninsula)

Mexico, Central America and Caribbean: **Popocatepetl** (Central Mexico), **Santaguito** (Guatemala), **Fuego** (Guatemala)

Volcano earthquake report for Tuesday, 28 Nov 2023

Earthquakes at volcanoes 28 Nov 2023 00:00 (UTC) past 24 hrs map 1.0

World map showing volcanoes with shallow focus (less than 10 km) earthquakes within 20 km radius during the past 24 hours on 28 Nov 2023. Number in brackets indicates 5° of scales.

33

Link zu aktuellen und weiterführenden Informationen zu Vulkan-Tätigkeit – International
<https://www.volcanodiscovery.com>

volks-
hochschule
beider basel

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

THE PERFECT ERUPTION
ETNA 2002-2003

Etna: the great return

REAL-TIME DATA

Dam of Flegrei: current yellow status - September 2023

REAL-TIME DATA

SUSTAINABILITY

ATNA

Campi Flegrei

34

Link zu aktuellen und weiterführenden Informationen zu Vulkan-Tätigkeit – Italien
<http://www.ingv.it/en/>
Video: <https://www.youtube.com/watch?v=KweKAZx2Hr8>

volks-
hochschule
beider basel

USGS Observatories

USGS Science for a changing world

SCIENCE PRODUCTS NEWS CONTACT ABOUT

Observatories

Cascades Volcano Observatory

Explains Observatory

SCIENCE CENTERS

ALASKA VOLCANO OBSERVATORY
The Alaska Volcano Observatory (AVO) is a joint program of the U.S. Geological Survey (USGS), the Department of Geology and Atmospheric Sciences (DGAS), and the State of Alaska. Research, monitoring and emergency response activities. The primary AVO website is www.alaska.gov.

GUADALUPE VOLCANO OBSERVATORY
As a part of the U.S. Geological Survey's Volcano Research Program, the Guadalupe Volcano Observatory is a research center for understanding the volcanic processes and hazards of the Guadalupe Volcano in the northern part of the Cascade Range.

CASCADES VOLCANO OBSERVATORY
The U.S. Geological Survey's Cascade Volcano Observatory works to reduce the national disaster by helping people to live more safely and sustainably in the Cascades, Oregon, and Idaho.

HAWAIIAN VOLCANO OBSERVATORY
HVO provides monitoring and data for active volcanoes in Hawaii, issues short-term forecasts, and provides scientific understanding to reduce the impact of volcanic eruptions. Contacting the HVO is your best way to get the most up-to-date information on volcanic activity. Contacting the HVO is your best way to get the most up-to-date information on volcanic activity.

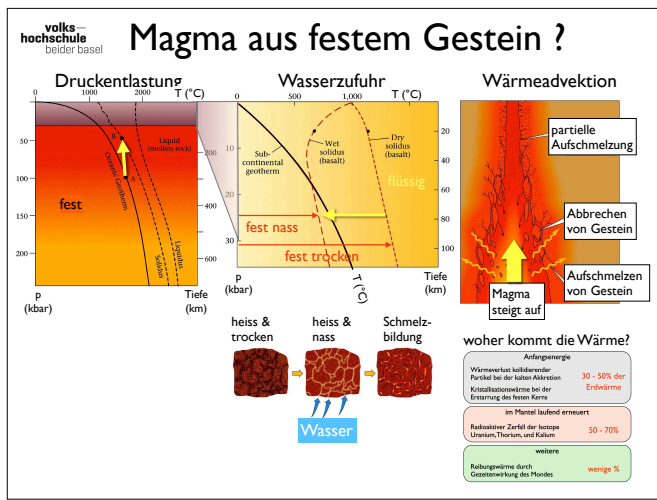
YELLOWSTONE VOLCANO OBSERVATORY
The Yellowstone Volcano Observatory (YVO) is a consortium of five state and federal agencies who provide the monitoring and emergency response of Yellowstone, Yellowstone National Park, and the Yellowstone Plateau Region. The YVO is also responsible for monitoring and reporting on volcanic activity in the Yellowstone world-class system.

35

Link zu Vulkan-Tätigkeit – USA
<https://www.usgs.gov/science/observatories>
 5 Observatorien: Alaska, California, Cascades, Hawaii, Yellowstone

Magmen Vulkane und Plutone

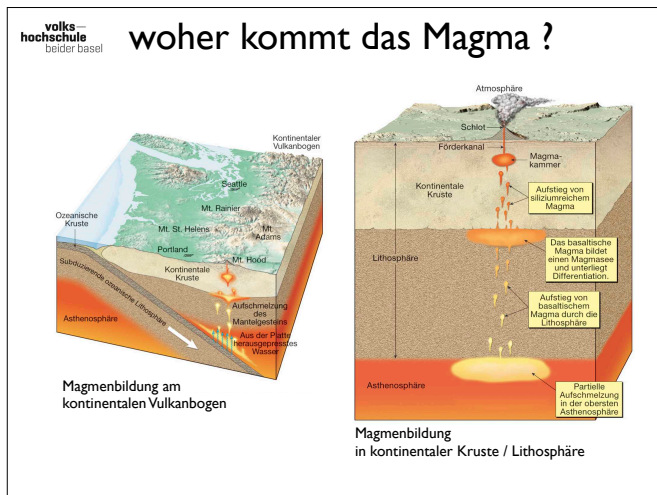
36



37

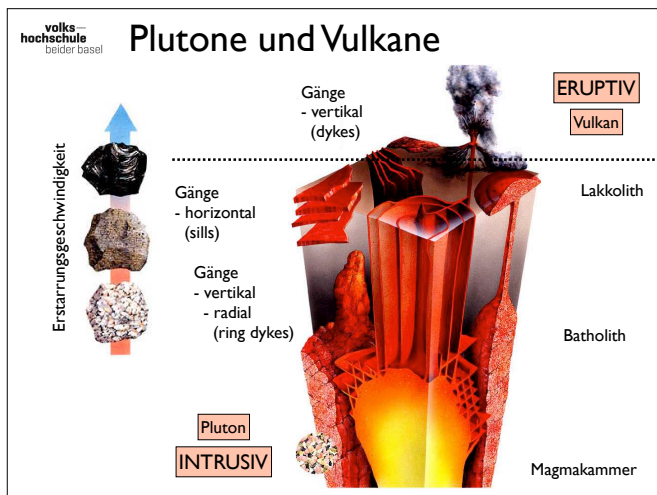
unter welchen Bedingungen schmilzt ein Gestein?

- 1 - Druckentlastung: Bereich zwischen Liquidus und Solidus = Schmelze - Festkörper-Gemisch
- 2 - Wasserzufuhr: Solidus Nass und Trocken = Schmelzbereich für nasses (tiefer) und komplett trockenes (höher) Gestein => Schmelzen ist ein Oberflächen-Prozess
- 3 - Advektion: Heisses Magma bringt Wärme => Wirtsgestein schmilzt (teilweise oder ganz)



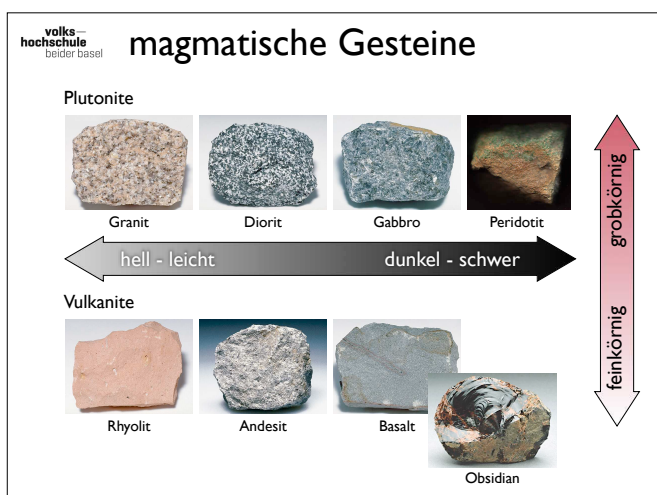
38

Im kontinentalen Vulkanbogen bildet sich das Magma, durch Wasserzufuhr aus dem subduzierten Krustengestein, im Mantel der oben liegenden - nicht in der abtauchenden - Platte. Aufstieg und Assimilation des aufsteigenden basaltischen Magmas mit der kontinentalen Kruste, führt zu silikatreichem Magma mit hohem Gasgehalt



39

Vulkane befördern Magma an die Oberfläche. **Plutone** sind Intrusionen in der Tiefe.

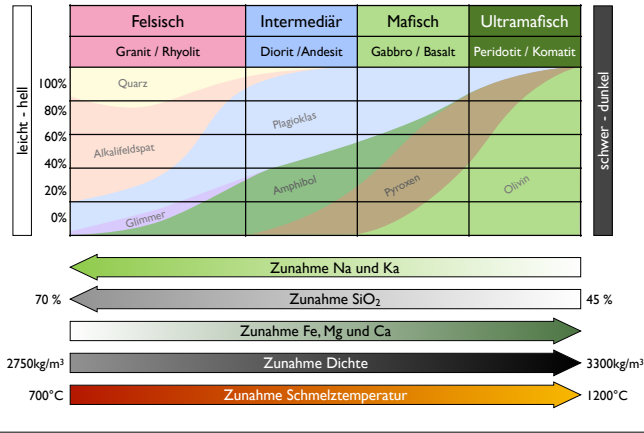


40

Dank langsamer Abkühlung sind **Plutonite** in der Regel **grobkörnig**. Infolge Abschreckung an der Erdoberfläche sind **Vulkanite feinkörnig**, sie können sogar als **Gläser** erstarren.

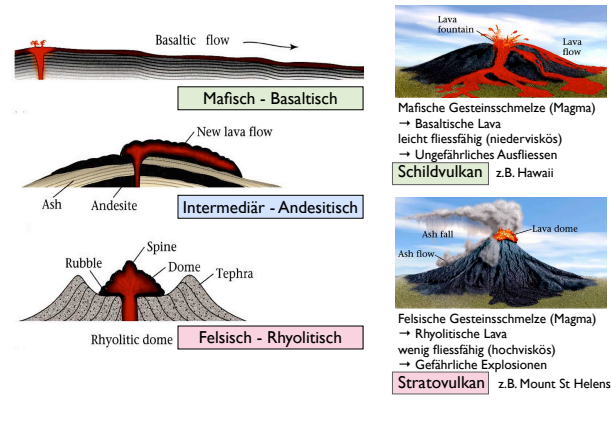
magmatische Gesteine

41



will it flow or will it blow?

42



Basaltisch (90% aller Laven) – **flow**: Warm weniger dicht - nach oben wandern - eventuell differenzieren: leichte Bestandteile oben - weiter aufsteigen - Druckentlastung - entgasen - in basaltischen Laven: Lavafontänen (nicht gefährlich)

Sauer - blow: Druckanstieg - Festigkeit des Umgebungsgesteins wird überschritten - Kettenreaktion: Bruchbildung - Druckabfall - entgasen - Explosion - bildet Eruptionssäulen

Vulkanexplosivitätsindex

43

als Liste leider nur auf der englischen Website erhältlich

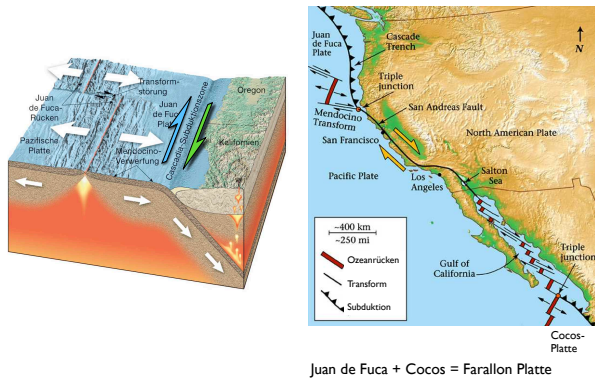
Volcanic Explosivity Index VEI

VEI	Ejecta volume (bulk)	Classification	Description	Plume	Periodicity	Tropospheric injection	Stratospheric injection ^[1]
Examples							
0	< 10 ⁴ m ³	Hawaiian	Effusive	< 100 m	constant	negligible	none
1	> 10 ⁴ m ³	Hawaiian / Strombolian	Gentle	100 m – 1 km	daily	minor	none
2	> 10 ⁶ m ³	Strombolian / Vulcanian	Explosive	1–5 km	2 weeks	moderate	none
3	> 10 ⁷ m ³	Strombolian / Vulcanian / Peléan / Sub-Plinian	Severe	3–15 km	3 months	substantial	possible
4	> 0.1 km ³	Peléan / Plinian / Sub-Plinian	Catastrophic	> 10 km	18 months	substantial	definite
5	> 1 km ³	Peléan / Plinian	Cataclysmic	> 10 km	12 years	substantial	significant
6	> 10 km ³	Plinian / Ultra-Plinian	Colossal	> 20 km	50–100 years	substantial	substantial
7	> 100 km ³	Ultra-Plinian	Super-colossal	> 20 km	500–1,000 years	substantial	substantial
8	> 1,000 km ³	Ultra-Plinian	Mega-colossal	> 20 km	> 50,000 years ^{[2][4]}	vast	vast

44

6
Transformstörung
San Francisco EQ 1906
Lawson report

6 Transform - Plattengrenzen



45

Der **San Andreas Fault (SAF)** ist nicht gerade sondern gekrümmt, und vollzieht deshalb nicht überall einer reinen Transformbewegung. Im Norden (Cascade trench) gibt es Subduktion (der Juan de Fuca Platte), das bedeutet eine zusätzliche Verkürzung (sog. **Transpression**) und im Süden (Gulf of California) gibt es eine Staffel von Spreizungsrücken, das bedeutet eine zusätzliche Dehnung (sog. **Transtension**).

volks-
hochschule
beider basel

San Francisco, 14. April 1906

The Great 1906 San Francisco Earthquake



Photograph by Arnold Genthe: Sacramento Street and approaching fire. (Steinbrugge Collection of the UC Berkeley Earthquake Engineering Research Center)

Magnitude: $M_w = 7.9$ (Momentenmagnitude)
 Intensität: Mercalli VII - IX in ca. 80 km breitem Streifen landeinwärts
 Dauer: Hauptbeben 45-60 s, ca. 20 s nach Vorbeben um 5.12 Uhr

46

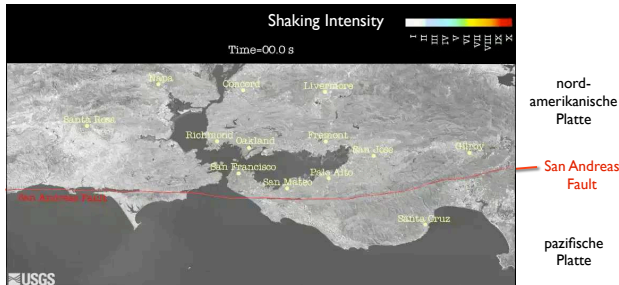
Datum: 1906-04-18

Uhrzeit: 13:12:26 (UTC)

Hypozentrum: 37.750°N 122.550°W; 11.7 km depth

volks-
hochschule
beider basel

Ausbreitung des Erdbebens



Ausbreitungsgeschwindigkeit des Bruches (rupture speed)	2.7 km/s	super-shear → sonic boom
Geschwindigkeit der Erdbebenwellen (Oberflächenwellen)	~4 km/s	
Geschwindigkeit der Gesteinskörper (slip velocity)	5 km/h	
	maximaler Versatz	8.4 m
	Dauer des Hauptbebens	45 - 60 s
	Länge der Bruchfläche	477 km

47

Magnitude: $M_L = 8.3$ (Richter), $M_W = 7.9$ (Momenten), $M_S = 7.7$ (Oberflächenwellen)

Intensität: MMI VII - IX (Mercalli) in ca. 80 km breitem Streifen landeinwärts

Dauer: Hauptbeben 45-60 s, ca. 20 s nach Vorbeben um 5.12 Uhr

Tote: offiziell 700 (wahrscheinlich 2500-3000)

Schaden: ca. 9.5 Mrd. US\$ (umgerechnet auf Stand ~2006)

volks-
hochschule
beider basel

Versatz – San Francisco 1906



Achtung: Angaben in Fuss !

48

Slip entlang der Verwerfung während des Erdbebens ... in Fuss (!)

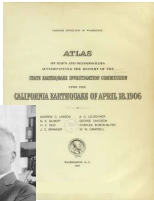
Google Earth:

1906Epicenter.kmz und DistributionofSlip.kmz

Lawson Report 1908



Andrew Cowper Lawson
1861-1952



"At Point Reyes Station at the head of Tomales bay the 5:15 train for San Francisco was just ready. The conductor had just swung himself on when the train gave a great lurch to the east, followed by another to the west, which threw the whole train on its side. The astonished conductor dropped off as it went over, and at sight of the falling chimneys and breaking windows of the station, he understood that it was the Temblor. The fireman turned to jump from the engine to the west, when the return shock came. He then leaped to the east and borrowing a kodak he took the picture of the train here presented." (From "The 1906 California Earthquake", David Starr Jordan, Editor, 1907, A.M. Robertson, San Francisco.)

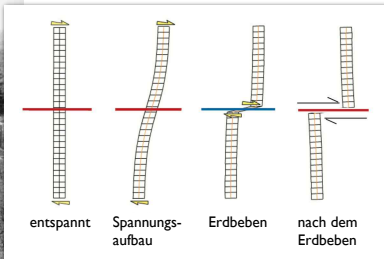
49

Andrew Cowper Lawson (1861 – 1952) war ein Professor der Geologie an der University of California, Berkeley. Er war der Erste, der 1895 in der San Francisco Bay Area die San-Andreas-Verwerfung identifizierte. Er war Herausgeber und Mitautor des 1908 veröffentlichten Berichts über das San-Francisco-Erdbeben, der als „Carnegie-“ oder „Lawson-Report“ bekannt wurde (Wikipedia) Man wusste damals nichts von Plattentektonik, es wurden reine Beobachtungen wurden dargestellt. <http://earthquake.usgs.gov/regional/nca/1906/18april/howfast.php>

Lawson Report 1908



Near Bolinas in Marin County. Picture by G.K. Gilbert showing a fence that was offset about 8.5 feet along the trace of the fault. (from Steinbrugge Collection of the UC Berkeley Earthquake Engineering Research Center)



Elastic rebound hypothesis after Reid (1910): der Zaun symbolisiert eine Linie, welche sich > 100 km auf beiden Seiten der Verwerfung ausdehnt.

50

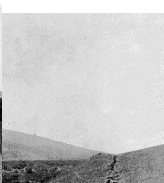
Resultate des Lawson-Berichtes:

- es gibt einen zusammenhängenden San Andreas Fault
- Die Bewegung an der Störung ist eine dextrale (rechtssinnige) Blattverschiebung
- Beben wiederholen sich entlang der Störung
- Beziehung Geologie - Intensität
- Einfluss der Bauweise
- Erklärung durch die "Elastic rebound" Hypothese des Geophysikers Harry Fielding Reid (1910)

Bodenbewegung



Cemetery Santa Rosa - R.S.H., plate 80B, Carnegie Report. (J. B. Macelwane Archives, Saint Louis University)



Fault trace a mile northwest of Olema. Looking northwest. Illustrates ridge phase. -G.K.G., plate 40A, Carnegie Report. (J. B. Macelwane Archives, Saint Louis University)

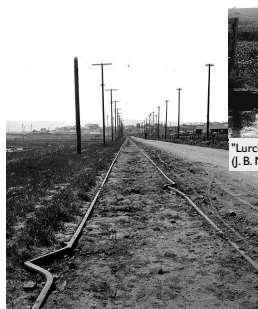


A cobblestone street, which was split down the middle after the Great Earthquake in San Francisco, California, in 1906

51

http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_photos/1906EQ/olema/40A.html
<http://www.theburningplatform.com/tag/earthquakes/>

horizontaler & vertikaler Versatz



"Roadbed and rails of electric railway, on marsh west of San Bruno" - Pl. 97A (J. B. Macelwane archives, Saint Louis University)



"Lurching of ground toward Salinas River near Spreckels" - nos. 137A (J. B. Macelwane archives, Saint Louis University)



Road to Inverness, California, which had been straight before the earthquake of April 18, 1906, offset twenty-one feet where it was crossed by the earthquake fault. - H.O.W., California Earthquake Investigation Commission. (J. B. Macelwane Archives, Saint Louis University)

52

http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_photos/1906EQ/sanfran/008.html

Descriptions of Shaking and Damage

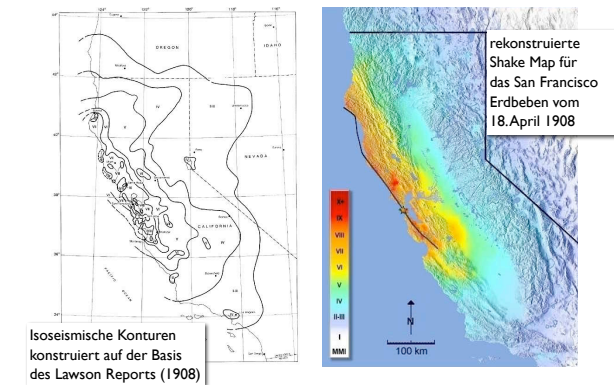
1	Not felt
2	Felt by people at rest, but not miners in works, lamps and open doors swing, some pendulum clocks stopped
2-3	Slight shock
3	Felt by most people, usually for a short duration (< 20 s), direction of motion described
4	Light shaking, most sleepers awakened, doors and windows rattled, longer duration (>30 s) and variability of motion described, water thrown from horse-troughs , water tanks, and canals
5	Moderate shaking, objects shifted, milk spilled from pans , houses rocked with slight plaster cracking, some water tanks thrown down
5-6	Trees strongly shaken, grassland and fields appear to move in waves
6	Heavy shaking, objects moved and thrown from shelves, plaster cracked, windows broken, some chimneys and poorly braced walls damaged, bricks thrown from parapets, tall monuments shifted
6-7	Ground cracks on roads and hillsides, some chimneys damaged
7	Most chimneys thrown down or damaged, some masonry but no frame buildings damaged, piles of cordwood overthrown, some headstones overturned, small landslides and earth-slumps
7-8	Liquefaction and large lateral spreads, all chimneys thrown down
8	Well-built masonry damaged, some frame buildings shifted on their foundations, headstones and cemetery monuments overturned , extensive ground failure and settlement, foundations, water and gas pipes broken, railway tracks twisted
8-9	Men, horses, and cattle thrown off their feet , bridges wrecked, frame buildings thrown from their foundations
9	Masonry and frame buildings destroyed, massive landslides, pervasive ground failure, limbs broken from healthy trees
9-10	Trees topped , almost all headstones and cemetery monuments thrown down

53

Diese Beschreibungen sind heute **nicht mehr ganz aktuell...**

Es werden aber auch heute sehr anschauliche Beschreibungen aus dem Alltag verwendet. Ganz ähnlich wie bei der Beaufort-Skala für die Bestimmung der Windstärke erweisen sich solche qualitativen Beschreibungen sehr zuverlässig.

rekonstruierte shake maps



54

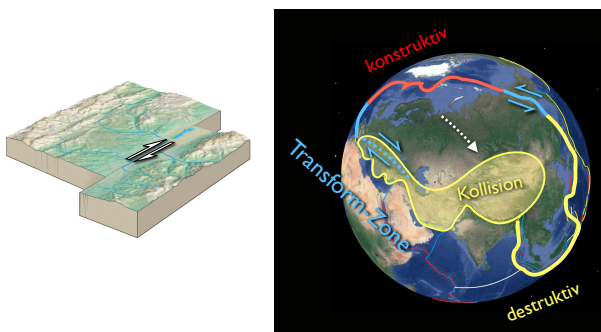
Links: Shake Map for 1906 constructed from felt reports, U.S. Geological Survey – Open-File Report 2005-1135 – Version 1.0

Rechts: Modified Mercalli Intensity Maps for the 1906 San Francisco Earthquake Plotted in ShakeMap Format (John Boatwright and Howard Bundock)
<https://pubs.usgs.gov/of/2005/1135/>
https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/states/events/1906_04_18_iso.php
<http://earthquake.usgs.gov/regional/nca/simulations/background.php>

7 Transformstörung Komplikationen bei der Gebirgsbildung

55

⑦ Kollisions- und Transform-Zonen



56

Bei der kontinentalen Kollision ist die Plattengrenze nicht mehr genau zu definieren, man spricht besser von Platten-Grenzzonen. Ähnliches gilt für die **"Aufsplitterung"** der Plattengrenze von Eurasia gegenüber Afrika in eine Anzahl sich individuell bewegender Mikroplatten. Die Summe der verschiedenen (und wechselnden) Bewegungen an ihren Plattengrenzen bewirkt eine Transformbewegung zwischen Eurasia und Afrika

volks-
hochschule
beider basel

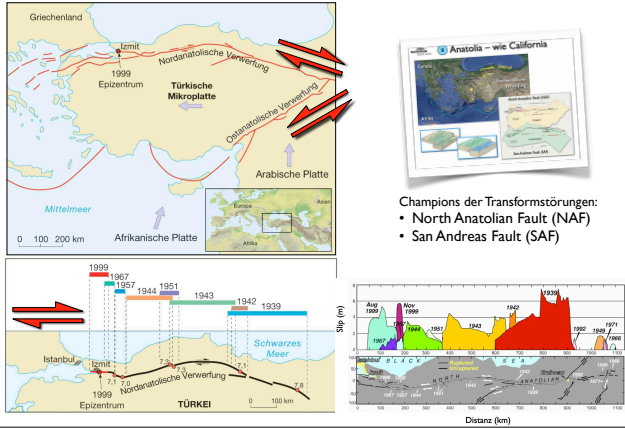
Nordanatolische Verwerfung

57

die **Nordanatolische Verwerfung** (North Anatolian Fault, NAF) ist wie die San Andreas Verwerfung eine **dextrale, über 1000km lange** Transformstörung.

Quellen:

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



volks-
hochschule
beider basel

komplexes Platten-Puzzle

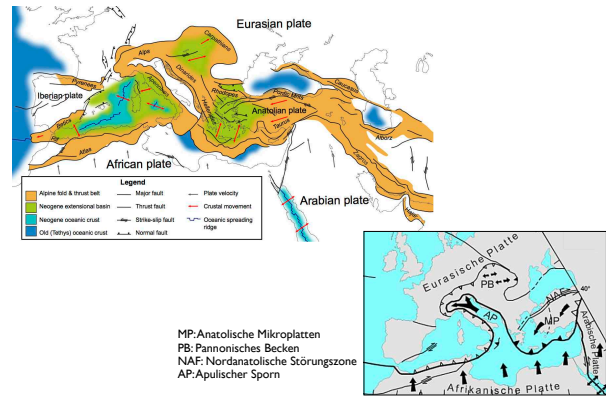
58

Das eingekeilte Stück der Afrikanischen Platte wird auch **Apulischer Sporn**, bzw. Adriatische Platte genannt.

Beachte: Vulkanismus und seismische Aktivität in Italien

Quellen:

<http://www.gfz-potsdam.de/en/research/organizational-units/departments-of-the-gfz/department-2/seismic-hazard-and-stress-field/topics/long-term-basic-data/crustal-stress-field-in-europe/>
<https://www.gfz-potsdam.de/sektion/erdbebengefaehrung-und-dynamische-risiken/themen/hintergrundinformationen-erdbeben/krustales-spannungsfeld/>



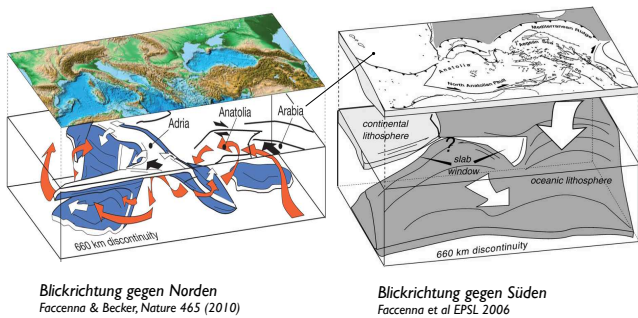
volks-
hochschule
beider basel

schwierige Subduktionen

59

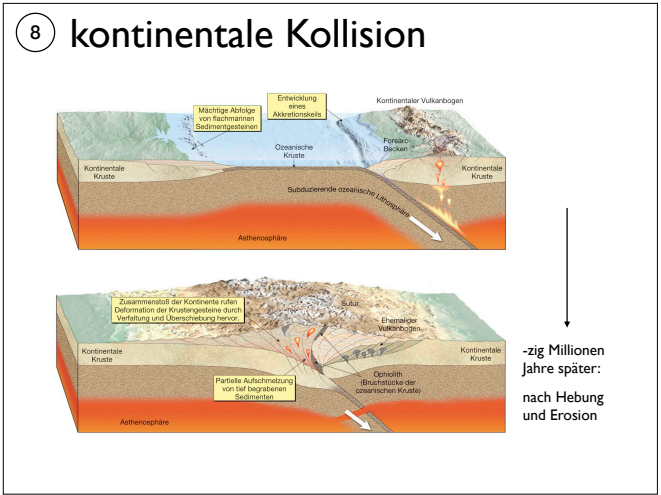
Wenn die Platten, der Schwerkraft folgend, **ins Erdinnere abtauchen**, entsteht ein Platzproblem. Aber nicht nur das. Durch das Eintauchen in immer höhere Temperaturen, kann die Platte auch mechanisch geschwächt werden und abreißen (**slab break-off**). Inset von Faccenna et al EPSL 2006: Blickrichtung gegen Süden. Ein nicht ganz reibungsloses Abtauchen der afrikanischen Platte unter die Türkei und die Ägäis ist dargestellt. Claudio Faccenna, Thorsten Becker: Shaping mobile belts by small-scale convection, June 2010 Nature 465(7298):602-5 DOI 10.1038/nature09064

Abtauchende Lithosphäre zwischen Adria, Anatolia und Arabia

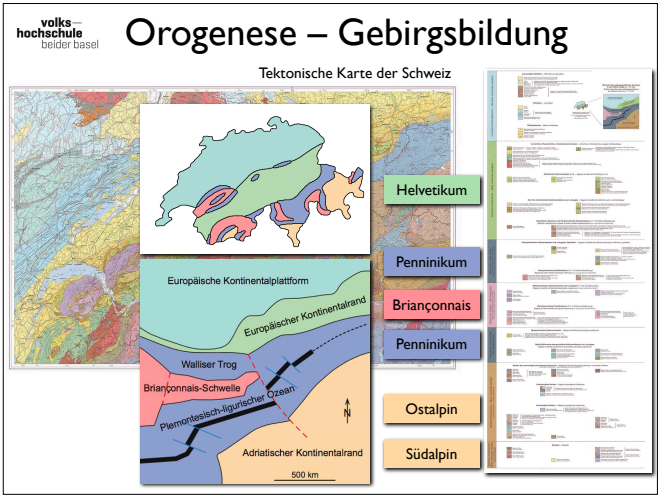


8
kontinentale Kollision
die Alpen ... in five easy steps

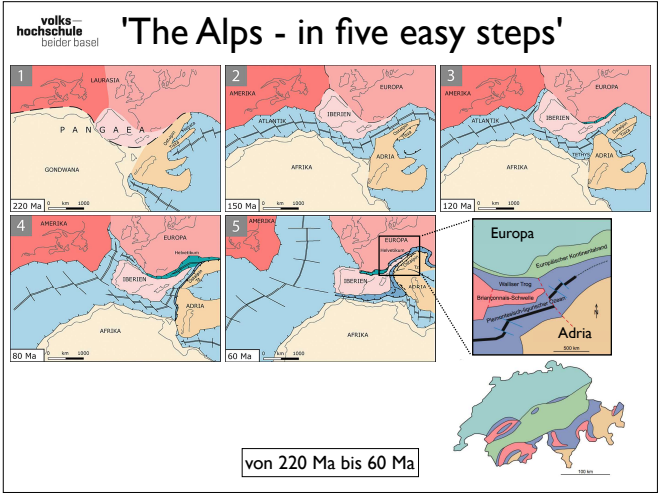
60



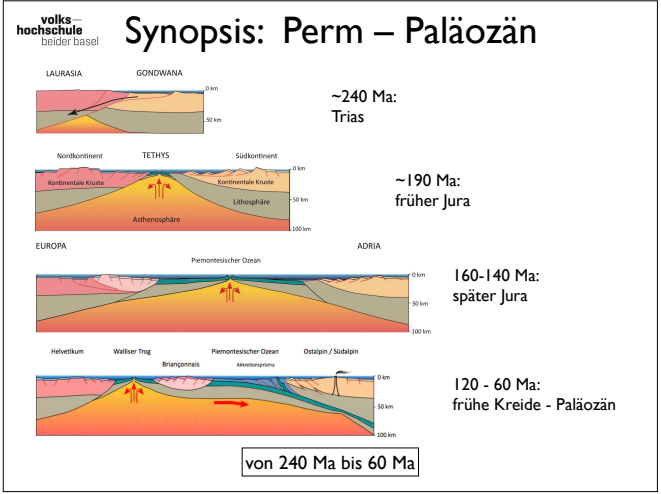
61 **Achtung:** was unten gezeigt wird, ist, was wir heute sehen. Aber die komplexe Verteilung inklusive Deckenbildung, Überschiebungen etc. geschieht nicht an der Oberfläche, sondern **in der Tiefe bei hohen Temperaturen und Drucken.**



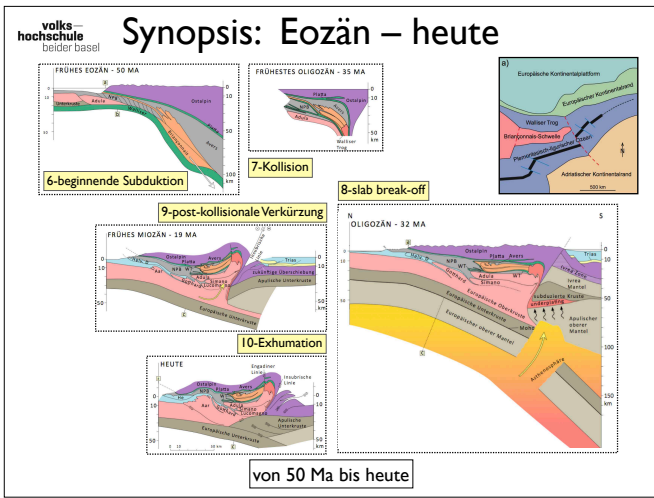
62 Hintergrund = **Tektonische Karte der Schweiz**, rechts die Legende.
 Vordergrund, oben: Schematische Karte mit der heutige Lage der **paläogeographischen Einheiten**;
 unten: deren Anordnung zur Zeit der grösste Öffnung des Tethys-Ozeans:
 graugrün: Europäische Kontinentalplattform
 grün: Europäische Kontinentalrand – Helvetikum
 lila: Wallisertrug – Penninikum (Ozean)
 rosa: Briançonnais-Schwelle (Mikrokontinent)
 lila: Piemontesische-ligurischer Ozean – Penninikum (Ozean)
 beige: Adriatischer Kontinentalrand – Ostalpin und Südalpin



63 **Phase 1**-Pangäa im Verlauf der paläozoischen Gebirgsbildungen aus verschiedenen Kontinenten zusammengeschweisst. In der Trias beginnt Pangäa zu zerbrechen (Permokarbontröge).
Phase 2-In der Jurazeit wachsender alpinen Tethys-Ozeans
Phase 3-Öffnung der alpinen Tethys entlang ozeanischer Transform-Brüche. Ähnlich dem heutigen Golf von Kalifornien.
Phase 4-Frühe Kreidezeit: in der östlichen alpinen Tethys erste Gebirgszüge => ostalpinen Deckenstapel. Ab der mittleren Kreidezeit: Öffnung des Südatlantiks bzw. Rotation Afrikas: Plattenbewegung zwischen Afrika/Adria/Ostalpen und Europa auf einander zu.
Phase 5-Frühes Paläogen: Kollision Ostalpin mit Briançonnais und Europa.



64 **Phase 1 bis 5** (siehe vorige Folie) in schematischen Profilen



65

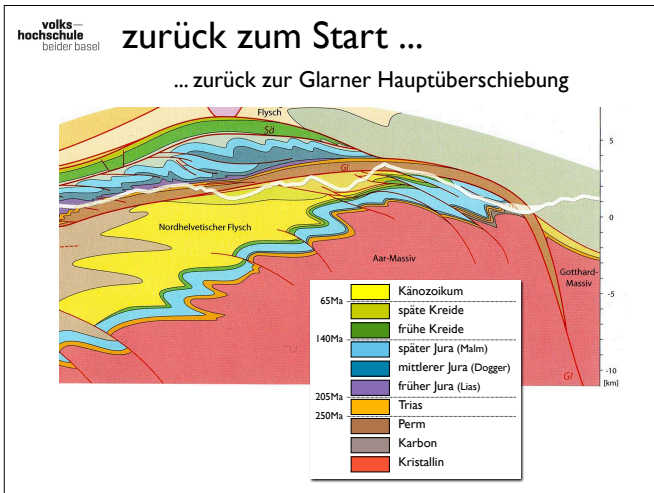
Phase 6-Die europäische Unterkruste und der Mantel tauchen unter Adria-Kruste und -Mantel, zwei Ozeane verschwinden.

Phase 7-Die Alpen werden ganz auf den europäischen Untergrund geschoben.

Phase 8-Europäischer Kontinent: hochmetamorphe Gesteine nördlich der Insubrischen Linie aus tiefen Bereichen der alpinen Subduktionszone. Wärmequelle "slab break-off".

Phase 9-Die Insubrische Linie hat einen dextralen Bewegungssinn: Europa bewegt sich gegenüber Adria nach Osten.

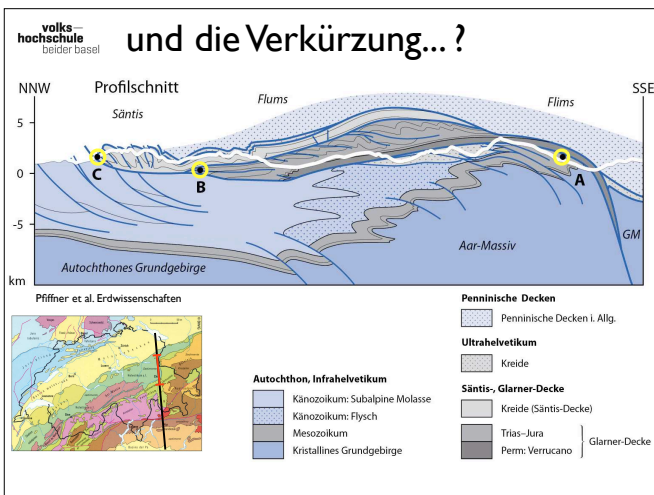
Phase 10-Bei fortschreitender Kollision werden die Deckenstapel stark ausgedünnt und steilgestellt ("Wurzelzone").



66

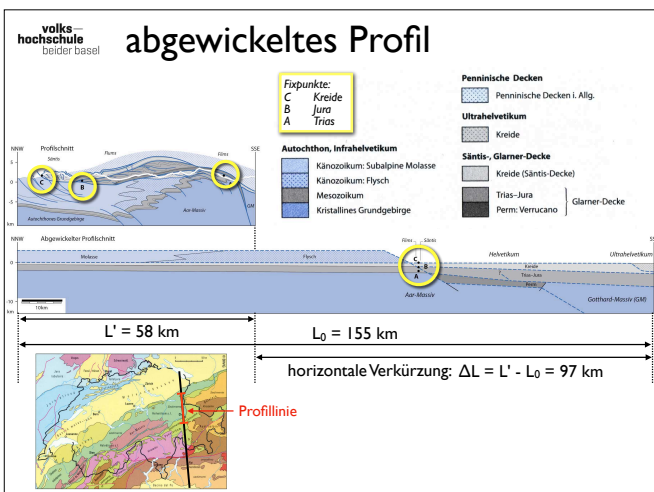
Tektonisches **Profil der Glarner**

Hauptüberschiebung: inklusive extrapolierter Überschiebungsdecken oberhalb der Topografie aus O.A. Pfiffner: Geologie der Alpen, 3.Auflage, utb (2015)



67

Um die **Gesamtverkürzung** in den helvetischen Decken zu finden, muss man die Decken so weit auseinander ziehen (abwickeln) bis die ursprünglich übereinander liegenden Punkte A, B und C wieder übereinander liegen.



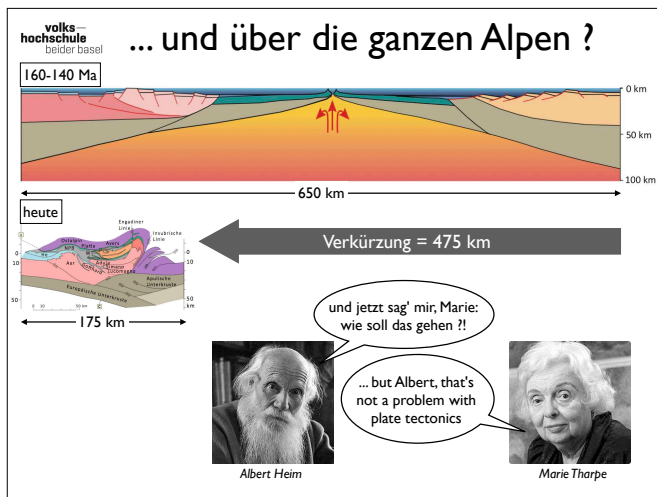
68

Obden: Profil (Profillinie auf rot eingezeichnet auf der tektonischen Postkarte)

Mitte: **abgewickeltes Profil**, Lage der geologischen Einheiten vor der Überschiebung.

Pfiffner et al. Erdwissenschaften

Die Verkürzung ist nur ganz **grob** aus dem Vergleich der beiden Profile **abgeschätzt**.



69

Auch hier: **Verkürzung** ganz **grob abgeschätzt** aus den Profilen

volks-
hochschule
beider basel

was haben wir gelernt ?

Plattentektonik – Theorie und Prozesse

- Start am mittelozeanischen Rücken (sea floor spreading) basaltischer Vulkanismus (effusiv)
- Entwicklung der ozeanischen Platte sie werden älter, dicker, schwerer, sinken ab
- Transformstörungen (versetzen MOR) beachballs beweisen "verkehrten" Schersinn
- Subduktionen – slab pull (eigentlich slab glide) sind treibende Kraft, wie ridge push an MOR
- Vulkanische Inselbögen – seismisch höchst aktiv back-arc spreading → neue Plattengrenzen
- Kontinentale Vulkanbögen saurer Vulkanismus (explosiv)
- Kontinentale Kollision (all hell breaks loose) → Gebirgsbildung (Orogenese)

70

volks-
hochschule
beider basel

... und was noch ?

Tektonische Platten

- sind Lithosphärenplatten kontinentale und ozeanische Anteile
- Ozeanische Lithosphäre ist ~100 km dick ozeanische Kruste ist ~7 km dick
- Kontinentale Lithosphäre ist bis zu 250 km dick kontinentale ist Kruste bis zu 70 km dick
- Plattengeschwindigkeiten betragen weniger als 10 cm / Jahr
- Erdbeben markieren Plattengrenzen Hypozentren → Beginn der Bruchbildung (rupture) Herdflächenlösungen (beach balls) → Bewegungssinn
- Vulkanismus ist typisch für Subduktionen – ring of fire
- Hotspots – Mantel Diapire (mantle plumes) sind Fixpunkte der Plattenbewegungen

71

volks-
hochschule
beider basel

zu guter Letzt

πάντα ῥεῖ ...

- Plattentektonik – seit 1968 das neue Paradigma (Plattentektonik ≠ Kontinentaldrift)
- Entwicklung von Seismologie, Geomagnetik, GPS, ... → zunehmende Detailkenntnis
- Plattentektonisches Puzzle verändert sich → Wilson Zyklus
- Motor für die Plattentektonik Wärmefluss (Abkühlung der Erde) → Mantelkonvektion Gravitation → ridge push und slab pull

... und das war's

72