



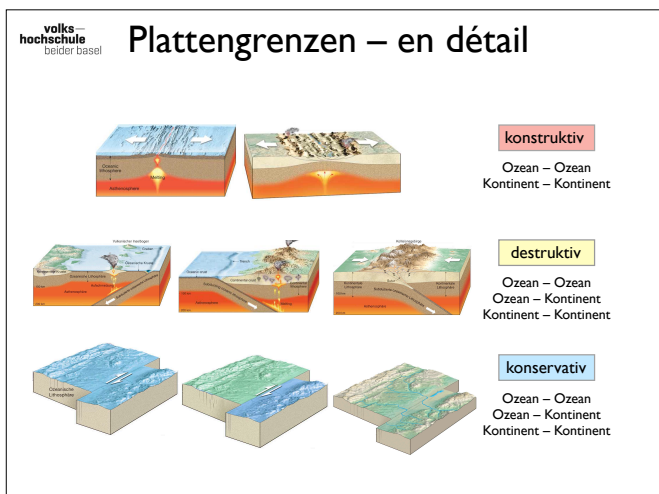
1
 Konservative Plattengrenzen gibt es in zwei "Ausführungen": einmal als Transformstörungen, welche Segmente von mittelozeanischen Rücken verbinden, wo sich zwei Platten auseinander bewegen (links: Transforms am mittelatlantischen Rücken), und einmal als Blattverschiebungen zwischen zwei aneinander vorbeigleitenden Platten (rechts: Grenze zwischen der N-Amerikanischen und der Karibischen Platte). Die Transformstörungen an mittelozeanischen Rücken bilden also lokal konservative Plattengrenzen in einer, übers Ganze gesehenen, konstruktiven Plattengrenze.



2
 (korrigierte Version der Beilagen vom 23.11.2021)
 Bitte beachten: es handelt sich hier, wie bei allen Beilagen, nicht um ein sorgfältig editiertes Skriptum, sondern nur um Notizen, welche ich mir zur Vorlesung gemacht habe.



3
 pro memoria:
 konservativ = physikalisch - materialbezogen (Oberfläche)
 transform = kinematisch - bewegungsbezogen (Platte)
 transform = geometrisch - verformungsbezogen (Kruste)

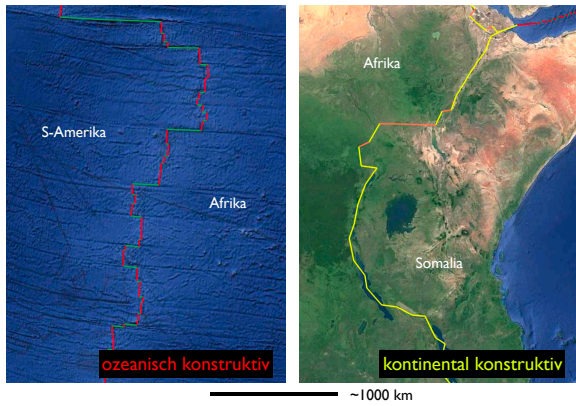


4
 Zur Erinnerung:
 Bezeichnung von Plattengrenzen: worauf sie sich beziehen:
 konstruktiv/destruktiv/konservative (physikalisch) Material an der Oberfläche
 divergent/konvergent/Transform (kinematisch) Bewegung der angrenzenden Platten
 extensiv/kompressive/Transform (geometrisch) Deformation der Kruste

konstruktive Plattengrenzen

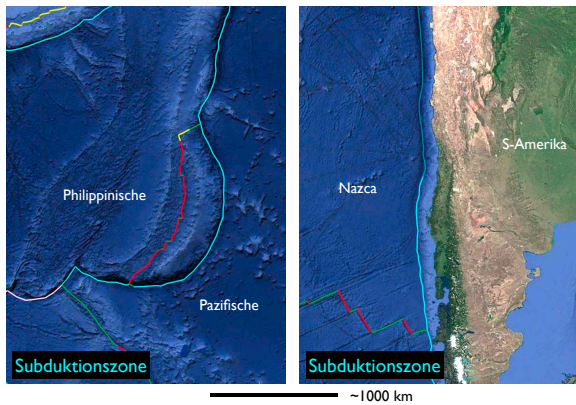
5

aus 5000 km Höhe



destruktive Plattengrenzen

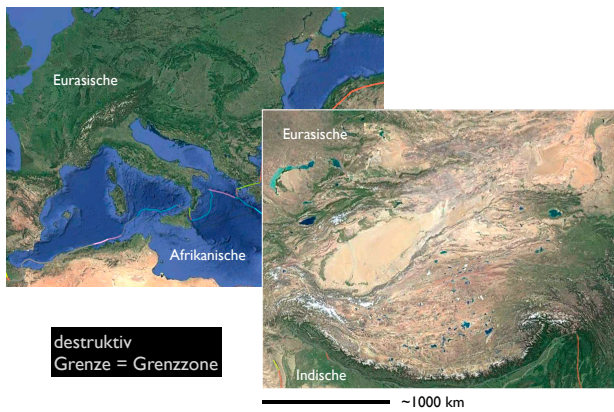
6



destruktive Plattengrenzzonen

7

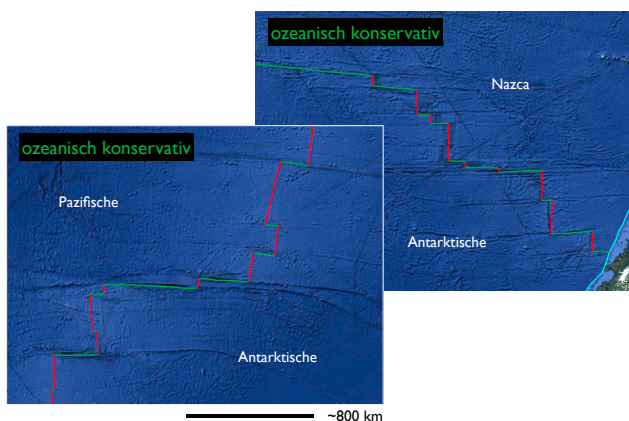
Eingezeichnet ist die heute aktive Plattengrenze – besser wäre, statt Linien Grenzzonen einzuzeichnen.



konservative Plattengrenzen

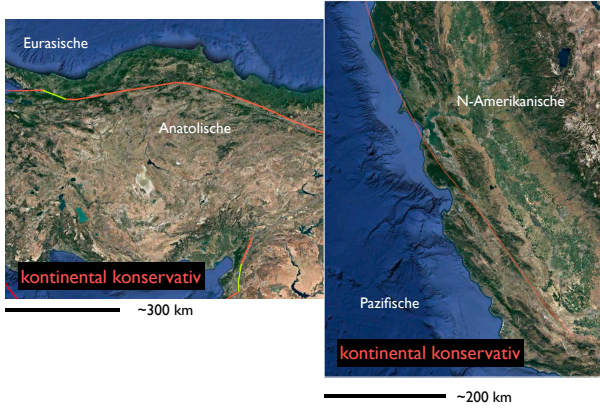
8

aus 4000 m Höhe



konservative Plattengrenzen

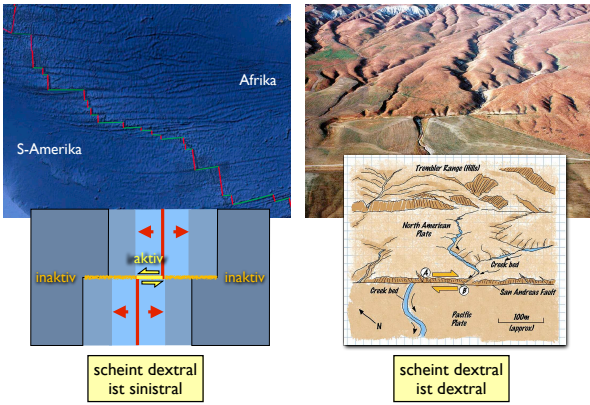
9



Achtung Bewegungssinn

10

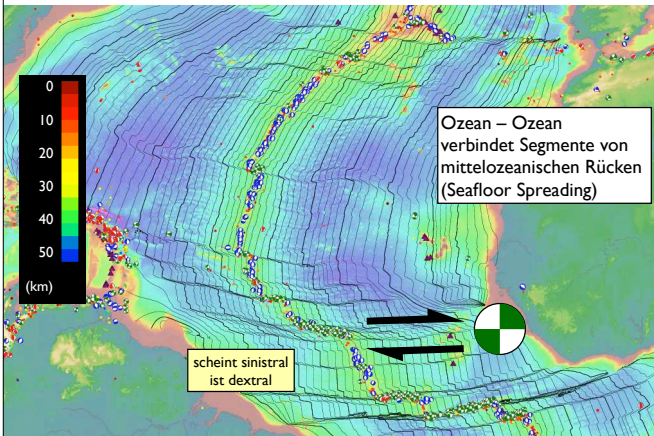
Der Bewegungssinn für Transformbrüche ist nicht intuitiv



Transformstörungen

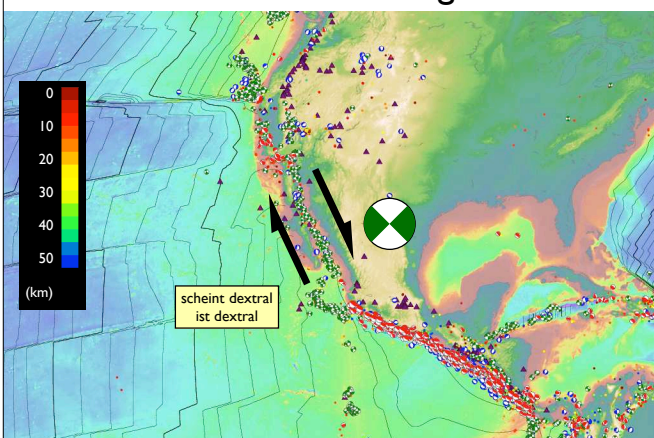
11

Beachte die runden Signaturen: das sind die Herdflächenlösungen



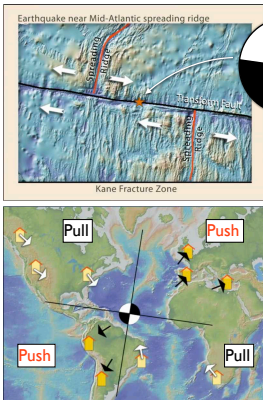
konservative Plattengrenze

12



Herdfächenlösungen

Herdfächenlösungen ...



Kartenbild des Momententensors

weisse Quadranten = Verkürzungsrichtung
 gefärbte Quadranten = Dehnungsrichtung

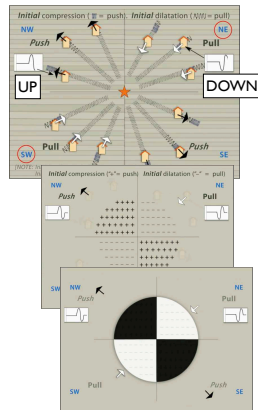
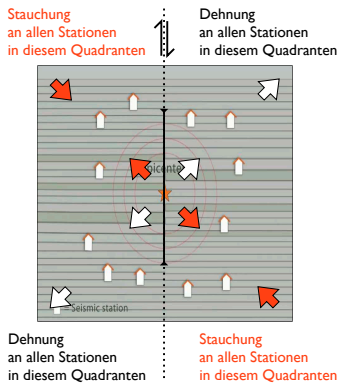
PULL – WEISS:

die erste Bewegung der ankommenden Welle ist **WEG** von der Messtation
 das bedeutet **HIN** zum Epizentrum (dort Kompression, Verkürzung)

PUSH – FARBIG/SCHWARZ:

die erste Bewegung der ankommenden Welle ist **HIN** zur Messtation
 das bedeutet **WEG** vom Epizentrum (dort Tension, Dehnung)

... für Transformbrüche



Achtung: diese Abbildung zeigt eine um 90° gedrehte Situation gegenüber der letzten Folie.

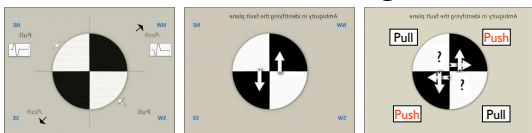
Beachte:

In den Quadranten, wo an den Messtationen Stauchung (Push) verzeichnet wird, herrscht am Epizentrum Dehnung. Umgekehrt herrscht am Epizentrum in den Quadranten Verkürzung, in denen an den Messtationen Dehnung (Pull) aufgezeichnet wird.

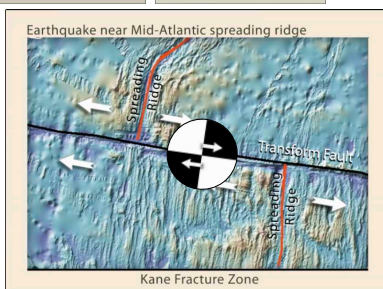
Pull bedeutet, dass der Erstausschlag der eintreffenden Welle hinunter geht (down)
 Push bedeutet, dass der Erstausschlag der eintreffenden Welle hinauf geht (up)

PULL – WEISS – DOWN

welche Verwerfung ist aktiv ?



geologische Einsicht



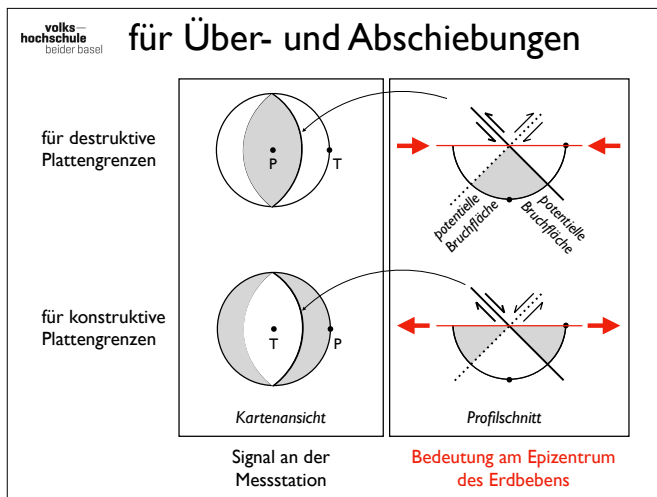
Achtung: hier sind die drei oberen Darstellungen in die gleiche Orientierung gedreht wie das Bild unten (daher seitenverkehrte Beschriftung).

PULL – WEISS – DOWN

bedeutet: am Epizentrum Verkürzung (Kompression)

PUSH – FARBIG/SCHWARZ – UP

bedeutet: am Epizentrum Dehnung (Dehnung)



17

Beachte: die dick eingezeichnete Bruchfläche im Profilschnitt entspricht jeweils der schwarzen Spur in der Herdflächenlösung. Grundsätzlich sind aber beide Bruchflächen möglich.

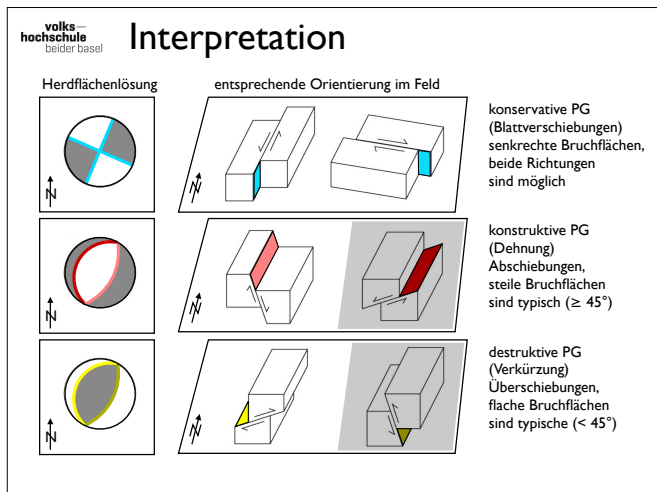
PULL – WEISS – DOWN

bedeutet: am Epizentrum Verkürzung (Kompression)

PUSH – FARBIG/SCHWARZ – UP

bedeutet: am Epizentrum Dehnung (Dehnung)

Vollends verwirrend wird dies durch die Bezeichnungen P und T: pressure und tension...



18

Blattverschiebungen:

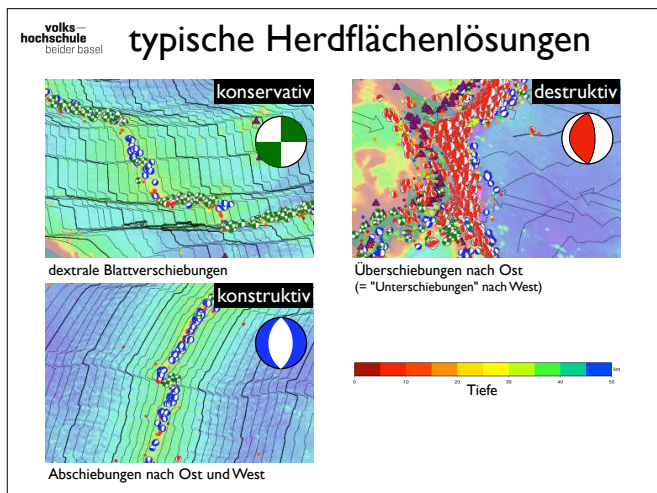
1. Herdflächenlösung sieht aus wie ein "Schachbrett"
2. beide Bruchflächen (hellblau) sind möglich

Abschiebungen:

1. Herdflächenlösung aussen farbig, innen weiss
2. die steilere Bruchfläche (hellrot) ist wahrscheinlicher als die flachere (dunkelrot)

Überschiebungen:

1. Herdflächenlösung aussen weiss, innen farbig ("Katzenauge")
2. die flachere Bruchfläche (hellgelb) ist wahrscheinlicher als die steile (dunkelgelb)



19

konservativ:

Transform am mittelatlantischen Rücken: S-Amerikanische Platte im Westen, Afrikanische im Osten

konstruktiv:

mittelatlantischer Rücken: S-Amerikanische Platte im Westen, Afrikanische im Osten

destruktiv:

Überschiebungen im Osten von Japan: Okhotsk Platte im Westen wird über Pazifische Platte im Osten überschoben

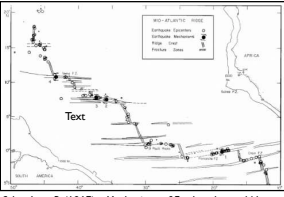
20

Beispiele und Anwendungen

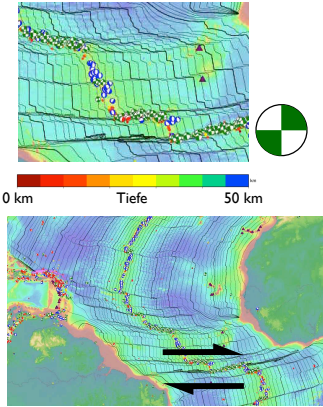
volks-hochschule beider basel **Puzzlestein zur Plattentektonik**



Lynn Ray Sykes (* 16. April 1937)



Sykes, Lynn R. (1967). *Mechanisms of Earthquakes and Nature of Faulting on the Mid-Ocean Ridges.* *Journal of Geophysical Research.* p. 2131-2153.



21

https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l2_p8.html

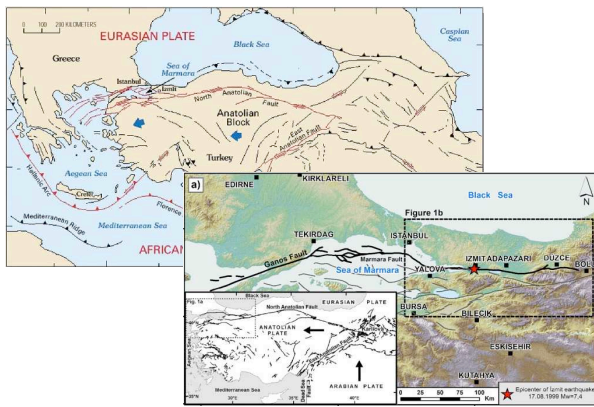
Lynn Ray Sykes (* 16. April 1937)

Lynn Sykes was able to gather most of his seismic data using the Worldwide Standard Seismographic Network (WWSSN) of the U.S. Coast and Geodetic Survey. This was a seismographic network originally intended for detecting nuclear bombs.

Transformbrüche sind nicht gerade, sondern gekrümmt. Bei konstanter Spreizungsrate ist die Bogenlänge abhängig von der Breite: sie ist minimal am Pol, maximal am Äquator.

Dextral = leicht zu erkennen

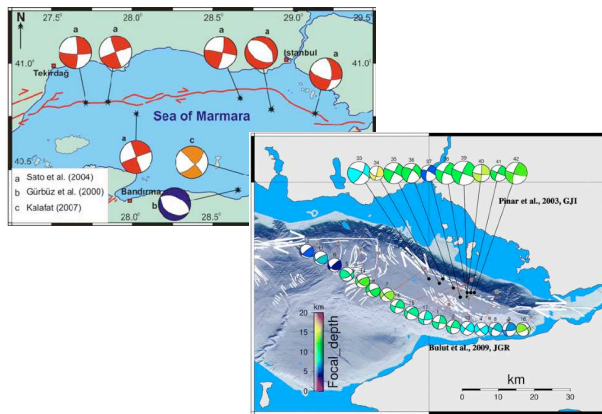
volks-hochschule beider basel **North Anatolian Fault (NAF)**



22

Der seismisch sehr aktive Nordanatolische Bruch bildet die konservative Plattengrenze zwischen der Eurasischen und der Anatolischen Platte

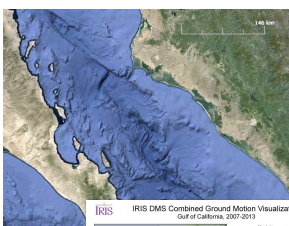
volks-hochschule beider basel **Sea of Marmara**



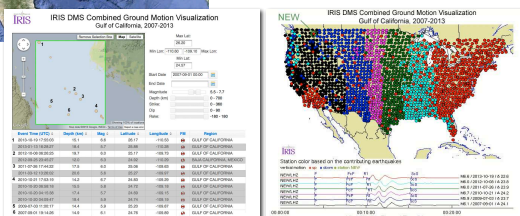
23

Der gekrümmte Verlauf des Bruches spiegelt sich in verschieden orientierten Herdflächenlösungen. Auf der Innenseite einer grossen Krümmung (s. obere Abbildung, südlich von Istanbul) kann es etwas entfernt vom Bruch auch zu Dehnungen kommen.

volks-hochschule beider basel **Kombination von 6 Erdbeben ...**



Aufnahmen von 6 Erdbeben mit ± identischem Herd (innerhalb 100 km) (sinistraler strike slip) mit 6 verschiedenen Anordnungen des USArray aufgenommen



24

Hier wurden die Bodenbewegungen von sechs Erdbeben, welche sich zu Zeiten ereigneten, an welcher sich der USArray TA Stationen an jeweils anderen Orten befanden zu einem Bild kombiniert <http://ds.iris.edu/ds/products/usarraygmv-super/>

... zeigt gesamte Bodenbewegung

25

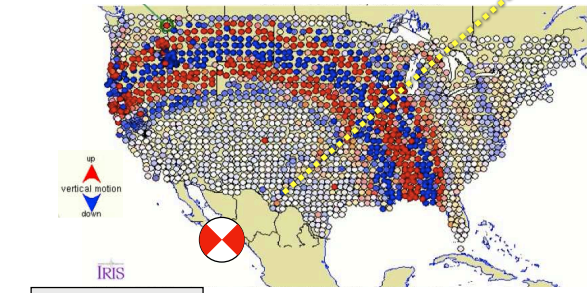
Kombiniertes Resultat für 6 Erdbeben im Golf von Kalifornien 2007-2013

Der Vergleich mit der Herdflächenlösung zeigt:

1. die Messstationen, an welchen die Wellenbewegung als erstes hinuntergeht (blau) liegen im Norden des Epizentrums (P, weisser Sektor der Herdflächenlösung, beachball)

2. die Messstationen, an welchen die Wellenbewegung als erstes hinaufgeht (rot) liegen im Osten des Epizentrums (T, farbiger Sektor der Herdflächenlösung, beachball).

Zusammen bedeutet das eine N-S Ausdehnung und eine E-W Verkürzung. Diese findet statt an einem NW-SE verlaufenden Bruch (= San Andreas Fault). (Theoretisch wäre auch eine NE-SW Störung denkbar,



pro memoria:
pull – weiss – down
push – farbig – up

Beispiel Tohoku 2011

26

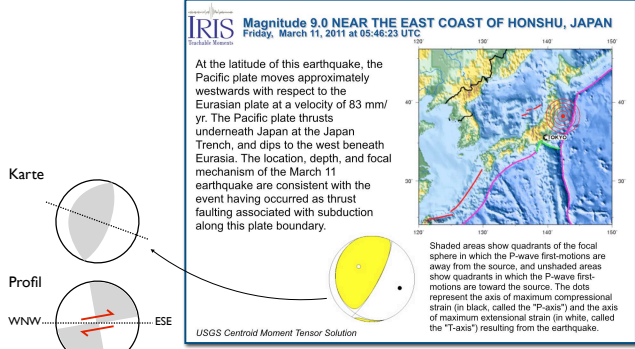
Herdflächenlösung (beachball) zeigt ganz flache Überschiebung von W auf E

Später nachgerechnete Lösungen bestätigen das erste Resultat (nicht im slide).

GFZ Geoforschungszentrum Potsdam

HARV Harvard

CPPT Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives

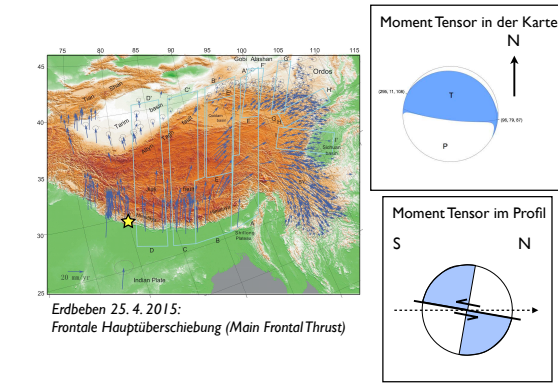


Überschiebung nach Ost = Abtauchen der Pazifischen Platte nach West

Beispiel Himalaya

27

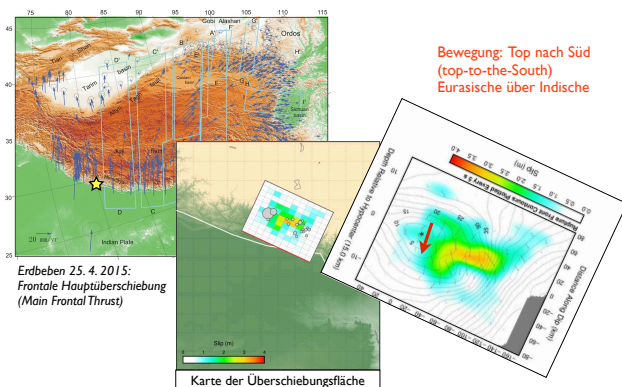
Die eurasische Platte wird über die indische Platte überschoben



Erdbeben 25. 4. 2015:
Frontale Hauptüberschiebung (Main Frontal Thrust)

Beispiel Himalaya

28



Bewegung: Top nach Süd
(top-to-the-South)
Eurasische über Indische

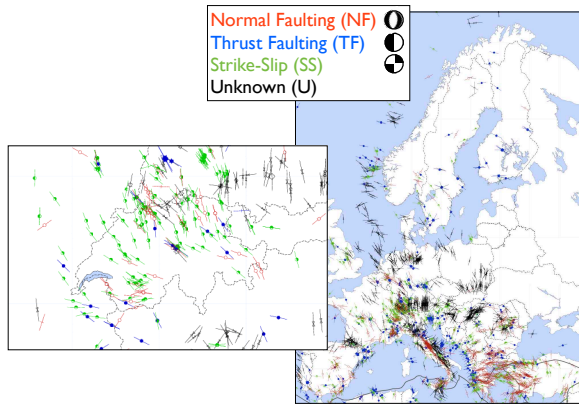
Erdbeben 25. 4. 2015:
Frontale Hauptüberschiebung
(Main Frontal Thrust)

Karte der Überschiebungsfäche

Spannungsfeld aus Herdlösungen

29

Dargestellt ist immer die grösste kompressive Hauptspannung. Im Fall von Dehnung ist diese senkrecht zur Dehnungsrichtung (s. Ägais)



Spannungsfeld im Jura

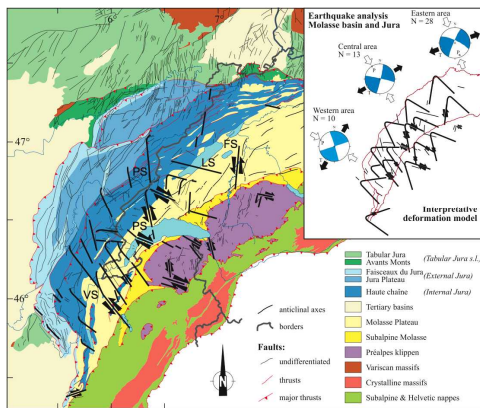
30

Blattverschiebungen sind mit dicken schwarzen Linien markiert + Schersinn angegeben.

Beachte: Konjugierte Bruchsystem in Préalpes, Molassebecken und Faltenjura, sowie 'Rotation' der Paläospannungsrichtungen von NNW-SSE im Osten nach NW-SE im Westen

FS: Fribourg-Störung, LS: La Lance-Störung, PS: Pontarlier-Störung, VS: Vuache-Störung (neotektonische Aktivität nachgewiesen oder vermutet, Kap. 2.7.1.1 und 2.7.2)

(Quelle: Tekt. Übersicht W Molassebecken: Faltenjura (Internal+External) und Préalpes (Bonnet 2007))



2 strike-slip Erdbeben als Auslöser für eine neue Wissenschaft

31

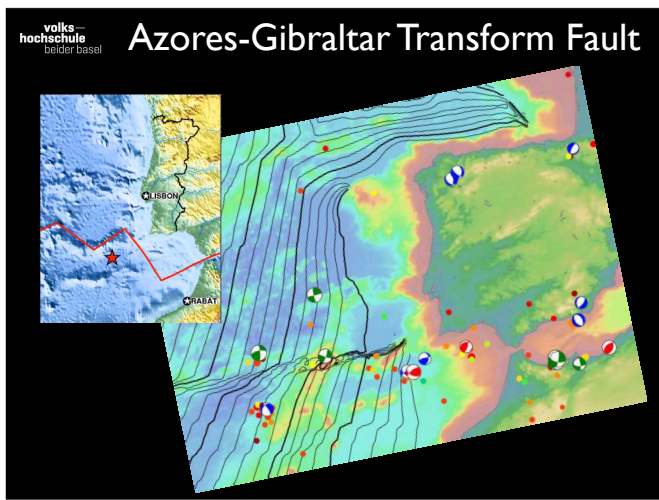
Lissabon 1755

32

Local date	1 November 1755
Local time	09:40
Magnitude	7.7–9.0 Mw (est.)
Epicenter	36°N 11°W Coordinates: 36°N 11°W
	About 200 km (120 mi) west-southwest of Cape St. Vincent and about 290 km (180 mi) southwest of Lisbon
Fault	Azores-Gibraltar Transform Fault
Max. intensity	XI (Extreme)
Casualties	12,000–50,000 deaths

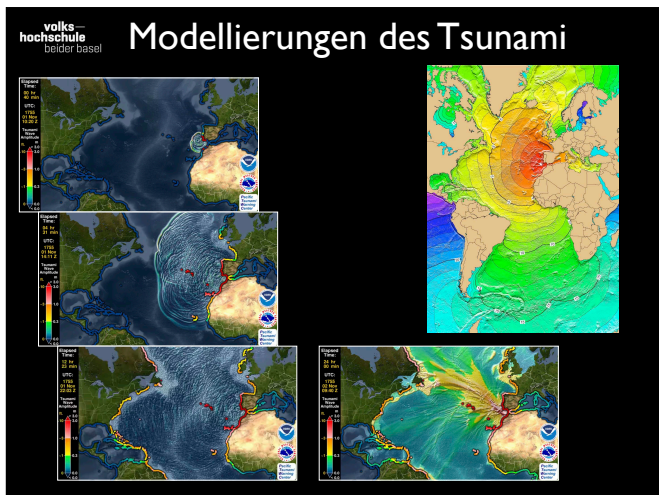
Azores-Gibraltar Transform Fault





33

Die geologischen Ursachen des Bebens sind bis heute umstritten. Als wahrscheinlichste Ursache gilt die Plattentektonik der Azoren-Gibraltar-Bruchzone, an der die Afrikanische und die Eurasische Platte zusammenstoßen. Aufgrund der speziellen Situation an dieser Stelle kann es zu massiven vertikalen Bewegungen kommen, die besonders starke Tsunamis auslösen können.



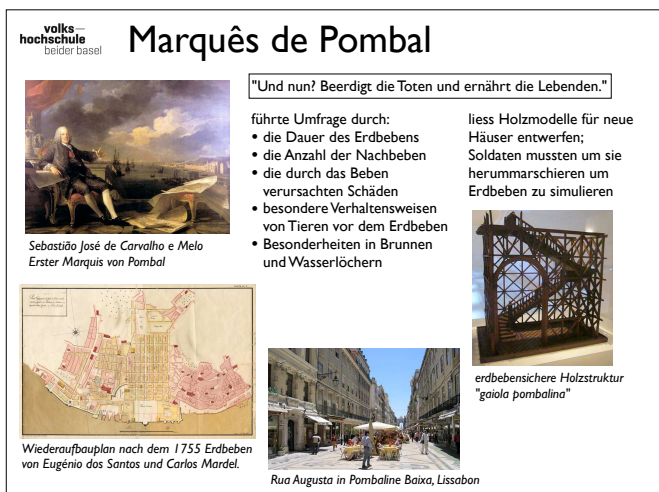
34

Animation: https://en.wikipedia.org/wiki/1755_Lisbon_earthquake



35

- Magnitude etwa 8,5 bis 9
- Tsunami
- Grossbrand (Zerstörung der Stadt)
- 30'000 bis 100'000 Todesopfer
- Auswirkungen auf Politik, Kultur und Wissenschaften
- Vielfältige Diskurse unter den Philosophen: wie ein gütiger Gott das Übel in der Welt zulassen könne
- Anstoß zur Entwicklung der Erdbebenforschung



36

The Marquis of Pombal Enlightening and Rebuilding Lisbon, by Louis-Michel van Loo and Claude Joseph Vernet; 1766.

Dazu richtete man Holzmodelle der Häuser auf, um die man Soldaten herumarschieren ließ, um Erschütterungen zu erzeugen.

Model of the seismically protective wooden structure called "gaiola pombalina" (pombaline cage), developed for the reconstruction of Pombaline Lower Town

Die Antworten auf die Umfragen sind bis heute erhalten und liegen im Torre do Tombo, dem Zentrum des Nationalarchivs von Portugal. Ihr Studium erlaubt es modernen Wissenschaftlern, das Beben zu

rekonstruieren, was ohne diese Umfrage des Marquês de Pombal nicht möglich gewesen wäre. Deshalb wird er als Vorläufer der modernen Seismologie betrachtet.



37

Epizentrum des 1906 San Francisco Erdbebens. – Die Spur der San Andreas Verwerfung (San Andreas Faut (SAF)) ist gut erkennbar.
(Google Earth: 1906Epicenter.kmz)



38

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

Distribution of horizontal slip along the San Andreas Fault during the 1906 earthquake (segments shown in feet). – For more information: USGS - 1906 Offset
(Google Earth: Epicenter_of_the_1906_California_Earthquake.kmz)



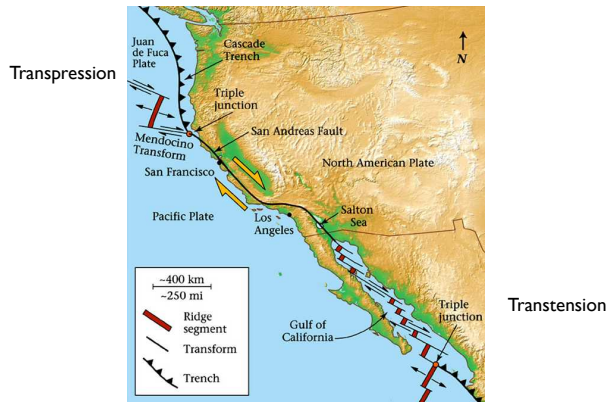
39

(Googel Earth: MajorRuptures.kmz)

San Andreas Fault (SAF)

40

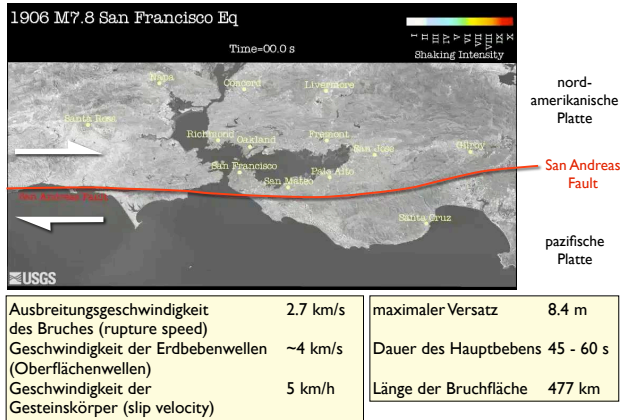
Der San Andreas Fault entspricht nicht überall einer reinen Transformbewegung. Im Norden gibt es eine zusätzliche Verkürzung (Transpression) und im Süden eine zusätzliche Dehnung (Transtension)



Verlauf des 1906 Erdbebens

41

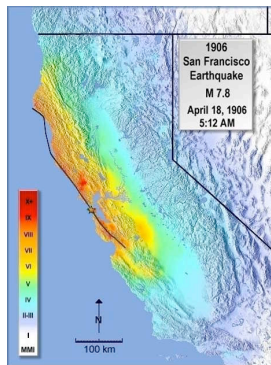
Magnitude: ML = 8.3 (Richter), MW = 7.9 (Momenten), MS = 7.7 (Oberflächenwellen)
 Intensität: MMI VII - IX (Mercalli) in ca. 80 km breitem Streifen landeinwärts
 Dauer: Hauptbeben 45-60 s, ca. 20 s nach Vorbeben um 5.12 Uhr
 Tote: offiziell 700 (wahrscheinlich 2500-3000)
 Schaden: ca. 9.5 Mrd. US\$ (umgerechnet auf Stand ~2006)



modellierte Mercalli Intensitäten

42

U.S. Geological Survey – Open-File Report 2005-1135 – Version 1.0
 Modified Mercalli Intensity Maps for the 1906 San Francisco Earthquake Plotted in ShakeMap Format
 By John Boatwright and Howard Bundock
 (<https://pubs.usgs.gov/of/2005/1135/>)



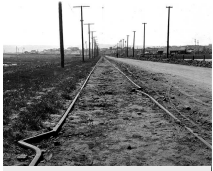
San Francisco 1906

43



volks-
hochschule
beider basel

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)



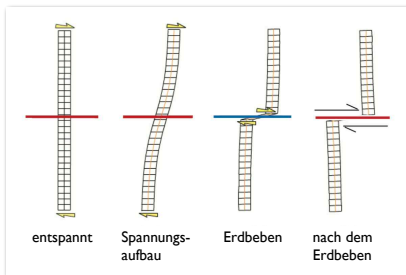
Near Bolinas in Marin County. Picture by G.K. Gilbert showing a fence that was offset about 8.5 feet along the trace of the fault (from Steinbrugge Collection of the U.C. Berkeley Earthquake Engineering Research Center)

44

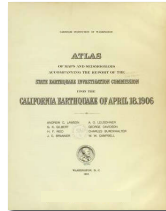
http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_photos/1906EQ/sanfran/008.html

volks-
hochschule
beider basel

Lawson Report



Andrew Cowper Lawson
1861-1952



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

45

Erkenntnis

- 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)

volks-
hochschule
beider basel

Description of Shaking & 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 overturned, 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**

46

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.

Magnitude – die Stärke eines Erdbebens

47

volks-hochschule beider basel **Aufzeichnung: Seismograph**

48

Bis circa 1900 Erschütterungsanzeiger: hängendes Gewicht in Ruhe - Boden schüttelt.
 Erste funktionsfähigen Seismographen (ab 1875) rein mechanisch.
 Elektrodynamische Seismometer (seit 1904) messen die Relativbewegung über eine Induktionsspannung, indem sich eine mit der seismischen Masse verbundene Spule in einem Magnetfeld bewegt.

volks-hochschule beider basel **Amplituden – ausschlaggebend...**

49

Erdbeben werden durch Oberflächenwellen ausgelöst.
 Aber die P- und S-Wellen sind schneller, zwischen S- und P-Wellen können Minuten vergehen, zwischen P und Erdbeben-Wellen noch mehr.

eine Traverse = 5.15 (315 Minuten) => vier Traversen = 25 Stunden (1 Tag + 1Stunde)
 15 Abschnitte à 21 Minuten

volks-hochschule beider basel **Gutenberg-Richter Skala**

$$M_L = \log_{10} \left(\frac{A}{T} \right)_{\max} + q(\Delta, h)$$

M_L Magnitude (body wave magnitude)
 A maximale Amplitude (μm)
 T Periode (s)
 q Korrekturfunktion
 Δ Winkelabstand Seismograph - Herd ($^\circ$)
 h Herdtiefe (km)

50

Charles F. Richter at home in southern California with his personal seismograph.
 Photo courtesy of California Institute of Technology.

volks-hochschule beider basel **wie gross ist ein Erdbeben ?**

Magnitude	Erdbebenstärke
< 2.0	Mikro
2.0 - 3.0	extrem leicht
3.0 - 4.0	sehr leicht
4.0 - 5.0	leicht
5.0 - 6.0	mittelstark
6.0 - 7.0	stark
7.0 - 8.0	groß
8.0 - 9.0	sehr groß
9.0 - 10.0	extrem groß
≥ 10.0	globale Katastrophe

51

M_L = Lokale Magnitude Geeignet für Distanzen von wenigen 100 km
 Deshalb basiert die heutige sog. Richterskala auf dem seismischen Moment.
 Die Skala ist logarithmisch, daher gilt:
 Energie der Magn. 5 = 32x Magn. 4
 Energie der Magn. 6 = 1000x Magn. 4

Mit der Beschreibung der Schäden welche Erdbeben anrichten haben sich im 19 Jh. vor allem Italiener, aber Japaner auseinandergesetzt

Intensitäten - "gefühlte Magnituden"

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.

2. Hälfte 19. Jh. Mercalli Skala, zuerst auch nur mit 10 Stufen (s. Lawson Report)

Mercalli und Omori beschreiben Messina EQ

volks-
hochschule
beider basel

Intensitäten



Detail of Schiantarelli's map of the 1783 Calabrian earthquake - different symbols are used for villages according to the amount of damage



Giuseppe Mercalli
1850-1924



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



Mercalli - Skala Heute: Europäische Makroseismische Skala EMS

volks-
hochschule
beider basel

wie schädlich ist ein Erdbeben ?



Giuseppe Mercalli
1850-1924

EMS	Intensität
I	nicht fühlbar
II	kaum bemerkbar
III	schwach
IV	deutlich
V	stark
VI	leichte Gebäudeschäden
VII	Gebäudeschäden
VIII	schwere Gebäudeschäden
IX	zerstörend
X	sehr zerstörend
XI	verwüstend
XII	vollständig verwüstend

Intensität = 'gefühlte Magnitude'

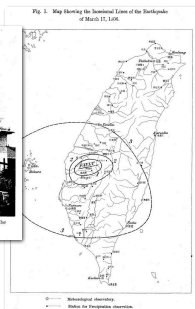
Omori besucht Kalifornien vom 18. Mai bis 14. Aug. 1906 um die Folgen des grossen Erdbebens von San Francisco zu studieren (http://en.wikipedia.org/wiki/Fusakichi_Omori)

volks-
hochschule
beider basel

Intensitäten auf japanisch



Fig. 8. The New Inn-Professor's Office, Tokyo, showing the effects of vibration of the earthquake. The falling over of roof, with splintered walls.



Karte mit Konturen gleicher Erdbeben-Intensität (F. Omori, 1907) 1906 Meishan Erdbeben, Taiwan
M = 7.1 (~1300 Tote, ~2400 Verletzte)



Fusakichi Omori
(1868-1923)

volks- hochschule beider basel		Omoroi - Skala (1900)	
M	g max	Beobachtung	
I	300	Der Erdstoß ist so stark, dass die meisten Personen in Gebäuden erschrecken und nach draußen flüchten. Leichte Wandrisse und Putzschäden an schlecht gebauten Ziegelgebäuden, normale Holzhäuser knirschen laut. Möbel fallen um, Pendeluhren bleiben stehen, schlecht gebaute, hohe Kamine (z.B. Fabrikschloten) fallen um. Bäume erzittern sichtbar und das Wasser in Teichen und Tümpeln wird schlammig.	
II	900	Wandrisse an normalen Holzhäusern, alte Holzhäuser werden schiefl. Manche japanischen Grabsteine und andere aufragende Objekte wie Steinlaternen fallen um, manche Thermal- und Mineralquellen ändern ihr Verhalten. Normale Fabrikschornsteine halten noch stand.	
III	1200	Etwa ein Viertel aller Fabrikschornsteine wird beschädigt. Schlecht gebaute Ziegelhäuser werden zum Teil oder vollständig zerstört. Einige Holzbrücken werden beschädigt, manche Grabsteine und andere aufragende Objekte wie Steinlaternen fallen um, japanische papierbespannte Türen gehen zu Bruch, Dachziegel verrutschen und leichter Steinschlag wird an einigen Bergflanken beobachtet.	
IV	2000	Alle Fabrikschornsteine werden beschädigt. Die meisten Ziegelhäuser werden zum Teil oder vollständig zerstört, einige Holzhäuser werden vollständig zerstört. Holzschiebetüren springen aus ihren Führungen, normale Steinlaternen fallen um und Holzbrücken werden zum Teil zerstört. Spalten mit einer Breite von fünf bis acht Zentimetern öffnen sich in ebenem und weichem Untergrund, hier und da werden Dämme und Uferböschungen beschädigt.	
V	2500	Alle normalen Ziegelhäuser werden sehr schwer beschädigt, etwa drei Prozent der Holzhäuser werden vollständig zerstört. Einige buddhistische Tempel stürzen ein. Dämme und Uferböschungen werden schwer beschädigt. Eisenbahngleise werden leicht verbogen, Ziegelmauern beschädigt und normale Grabsteine stürzen um. An einigen Stellen entstehen große Spalten im Boden entlang von Wasserläufen, die bis zu 60 cm breit werden können. Das Wasser aus Bächen und Flüssen schwapp ans Ufer, Brunnenwasser trübt sich. Erdbeben kommen vor.	
VI	4000	Die meisten buddhistischen Tempel stürzen ein, 50 bis 80 Prozent der Holzhäuser werden vollständig zerstört. Dämme und Uferböschungen werden fast vollständig zerstört. Wege und Straßen durch Reisfelder werden stark beschädigt und in einem Maße von Rissen und Spalten unterbrochen, dass der Verkehr mittels Reitern oder Fahrzeugen auf ihnen verhindert wird. Eisenbahngleise werden stark verbogen, große Eisenbrücken werden zerstört. Holzbrücken werden zum Teil oder völlig zerstört und auch stabil gebaute Grabsteine fallen um. Meterbreite Spalten öffnen sich im Boden und werden manchmal von Sand- oder Wasserfontänen begleitet. Die meisten unterirdischen Tanks aus Eisen oder solche aus Keramik werden zerstört. Alle niedrig gelegenen Ebenen werden horizontal und vertikal solchermaßen geschüttelt, dass manchmal alle Bäume und Pflanzen absterben, es kommt zu zahlreichen Erdbeben.	
VII	> 4000	Alle Gebäude außer einigen Holzkonstruktionen werden zerstört. Einige Türen oder Holzhäuser werden 30 bis 90 cm weit gestoßen. Große Erdbeben stürzen von den Bergflanken und große Abrisse entstehen im Boden.	

56

Beachte Lokalkolorit - Skala beginnt bei hohen Intensitäten, wo Schäden entstehen.

M = Stärkegrad, g max = Maximale Beschleunigung gibt die durch Erdbebenwellen erzeugte und an der Erdoberfläche wirkende (horizontale) Beschleunigung an.

Da die Ömoriskala vor allem Schäden beurteilt, enthält sie keine Stufen, die den Stufen I bis V der Mercalliskala entsprechen (keine Beschädigungen). Die Stufe I der Ömoriskala ist demnach ungefähr gleichzusetzen mit der Mercallstufe VI.

volks- hochschule beider basel		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 Erschütterungen wahr, vor allem in höher gelegenen Stockwerken von Gebäuden.	2
III	schwach	Schwache Erschütterungen werden durch Personen wahrgenommen, die sich innerhalb von Gebäuden befinden. Ruhende Personen fühlen ein Schwanken oder leichtes Erzittern.	3
IV	deutlich	Von vielen Personen innerhalb von Gebäuden wahrnehmbar, außerhalb nur von einigen. Manche Schlafende erwachen. Die Stärke der Erschütterungen ist nicht beängstigend. Fenster, Türen und Geschirr klappern, hängende Objekte beginnen zu schwingen.	4
V	stark	Von den meisten Personen innerhalb von Gebäuden wahrnehmbar, außerhalb von einigen. Manche Personen flüchten aus Gebäuden, viele Schlafende erwachen. Gebäude erzittern komplett, hängende Objekte schwingen deutlich, Porzellan und Gläser stoßen vernehmlich zusammen. Die Erschütterungen sind stark, kopflastige Objekte fallen um, Türen und Fenster öffnen und schließen sich.	5
VI	leichte Gebäudeschäden	Wird von den meisten Personen innerhalb von Gebäuden wahrgenommen, außerhalb von den meisten. Viele Personen in Gebäuden erschrecken und flüchten nach draußen. Kleine Gegenstände fallen herunter. Leichte Schäden an normalen Gebäuden, so etwa Risse und Ausbrüche in Verputzen.	5.3 - 5.9
VII	Gebäudeschäden	Die meisten Personen in Gebäuden erschrecken und flüchten nach draußen. Möbel verrutschen und viele Gegenstände fallen aus Regalen und offenen Schränken. Viele normale Gebäude werden beschädigt, so etwa durch Mauerrisse und teilweise einstürzende Kamine.	6.0 - 6.9
VIII	schwere Gebäudeschäden	Möbel können umfallen. Viele normale Gebäude werden beschädigt; Kamine stürzen ein, große Mauerrisse, einige Gebäude fallen teilweise zusammen.	7.0 - 7.3
IX	zerstörernd	Hohe Strukturen wie Denkmäler oder Säulen fallen um oder werden verbogen. Viele normale Gebäude fallen teilweise zusammen, einige Gebäude werden vollständig zerstört.	7.4 - 7.7
X	sehr zerstörernd	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

57

(wiederum qualitative Beschreibungen, vergleiche mit Lawson Report, Folie 46)

Weitere heute noch gebrauchte 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)

Aufzeichnung und Analyse von Erdbeben

58


IRIS Magnitude 7.8 NEPAL
Saturday, April 25, 2015 at 06:11:26 UTC
Trackable Moment

A magnitude 7.8 earthquake occurred with an epicenter 77 km (48 miles) northwest of Kathmandu, the capital city of Nepal that is home to nearly 1.5 million inhabitants. The earthquake flattened homes, buildings and temples, causing widespread damage across the region and killing more than 2,300 and injuring more than 5,000.



Rescue workers remove debris as they search for victims of earthquake in Bhaktapur near Kathmandu, Nepal. A major earthquake shook Nepal's capital and the densely populated Kathmandu Valley before noon Saturday, causing extensive damage with toppled walls and collapsed buildings, officials said.

(AP Photo/Niranjan Shrestha)



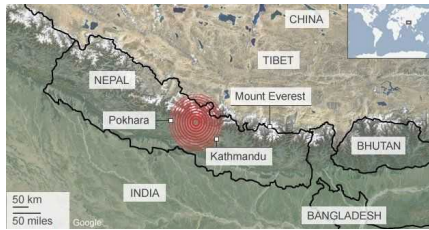
59

Beispiel Nummer 1



60

The earthquake centered outside Kathmandu, the capital, was the worst to hit Nepal in over 80 years. It destroyed swaths of the oldest neighborhoods of Kathmandu and severely damaged three Unesco World Heritage sites. The earthquake was strong enough to be felt all across parts of India, Bangladesh, China's region of Tibet and Pakistan.

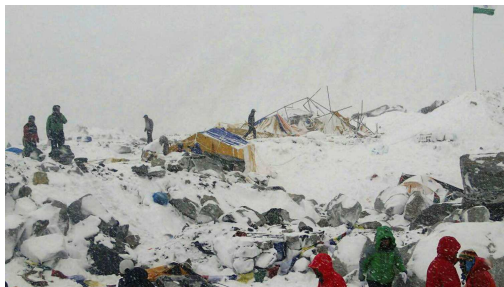


Reports of damage and injuries are still being confirmed. The situation is unclear in remote areas which remain cut off or hard to access. Many mountain roads are damaged or blocked by landslides.

Image courtesy of the BBC

61

The earthquake triggered a major avalanche on the south slopes of Mt. Everest, located approximately 160 km east-northeast of the epicenter. The avalanche destroyed the base camp, where climbers were waiting for a break in the weather to ascend the mountain. According to reports, the avalanche killed at least 17 people and injured 61 others.



People approach the scene after an avalanche triggered by a massive earthquake swept across Everest Base Camp, Nepal on Saturday, April 25, 2015.
(AP Photo/Azim Afif)

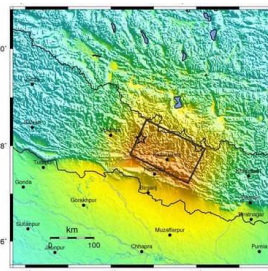
62

Shaking Intensity

The Modified Mercalli Intensity (MMI) scale depicts shaking severity. The area nearest Katmandu experienced very strong to severe shaking.

XII	grosse Katastrophe
XI	Katastrophe
X	vermitchend
IX	verwüstend
VIII	zerstörend
VII	sehr stark
VI	stark
V	ziemlich stark
IV	mässig
III	leicht
II	sehr leicht
I	unmerklich

IX	Extreme
VIII	Violent
VII	Severe
VI	Very Strong
V	Strong
IV	Moderate
III	Light
II	Weak
I	Not Felt



USGS Estimated shaking Intensity from M 7.8 Earthquake
Image courtesy of the US Geological Survey

ACHTUNG: Zahl = Intensität Begriff = Shaking
Intensitäten sind vorläufig (Instrumentell bestimmt) - werden nachkorrigiert (s. nächstes slide ein paar Monate später)
Intensität ≠ Magnitude Beachte: Magnitude = 7.8
Intensität geht von IV (mässig) bis VIII (zerstörend)
Shaking geht von IV (light) bis VIII (severe)

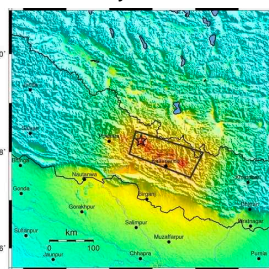
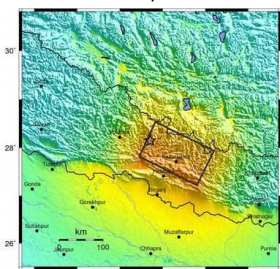
Shaking intensity scales were developed to standardize the measurements and ease comparison of different earthquakes. The Modified-Mercalli Intensity scale is a twelve-stage scale, from I to XII. Lower numbers represent imperceptible shaking while XII represents total destruction.

volks- hochschule Aufdatierte Intensitäten

63

25. April 2015

2. Juli 2015



Intensität: IV mässig – VIII zerstörend

Intensität: IV mässig – IX verwüstend

PERCEIVED	Not felt	Weak	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme	
PERCEIVED	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Most Heavy	Heavy	Very Heavy
PGA Accel (g)	<0.01	0.1	2.0	6.2	12	20	40	75	>100
Peak Velocity (cm/s)	<0.01	0.1	1.4	4.7	8.8	20	41	68	>100
ISO 2631-1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	>IX

Die erste Intensitäts-Karte wird aus der Magnitude abgeschätzt. Dann werden Informationen gesammelt (Feldarbeit, Beobachtungen) und die Karte wird nachgebessert

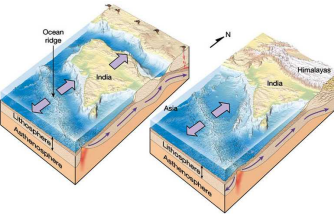
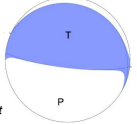
25.4.2015: Intensität: IV (mässig) - VIII (zerstörend) / Shaking IV (light) bis VIII (severe)

2. 7. 2015: Intensität: IV (mässig) - IX (verwüstend) / Shaking IV (light) bis IX (violent)

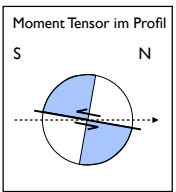
IRIS Magnitude 7.8 NEPAL
Saturday, April 25, 2015 at 06:11:26 UTC
Trackable Moments

This earthquake occurred as the result of thrust faulting between the subducting Indian Plate and the overriding Eurasian Plate to the north.

At the location of this earthquake the Indian Plate is converging with Eurasia at a rate of 45 mm/yr towards the north-northeast, driving the uplift of the Himalayas and the Tibetan Plateau.

USGS Centroid Moment Tensor Solution



Moment Tensor im Profil

The tension axis (T) reflects the minimum compressive stress direction. The pressure axis (P) reflects the maximum compressive stress direction.


64

Wir erinnern uns: Eurasia wird auf einer flach nach Norden einfallenden Überschiebung über die indische Platte im Süden überschoben.

IRIS Magnitude 7.1 RIDGECREST, CALIFORNIA
Saturday, July 6, 2019 at 03:19:52 UTC
Trackable Moments

A magnitude 7.1 earthquake occurred 17km (10.6 miles) NNE of Ridgecrest, California at a depth of 17 km (10.6 miles). The earthquake was felt as far north as San Jose and as far south as Mexico.

This earthquake follows a magnitude 6.4 Thursday that we can now define as a foreshock. The energy released from a magnitude 7.1 earthquake is 11 times stronger than from a magnitude 6.4 earthquake.




Source: USGS Graphic: Sean O'Keefe, CNN Map: Mapbox.com/HERE

65

Beispiel Nummer 1

IRIS Magnitude 7.1 RIDGECREST, CALIFORNIA
Saturday, July 6, 2019 at 03:19:52 UTC
Trackable Moments

Gas leaks caused structure fires throughout Ridgecrest, residents reported water main breaks, and the power and communications were out in some areas. Several injuries have been reported.



This photo shows damage on Highway 178 in Ridgecrest, Calif., following what is now known to be a M 6.4 foreshock on July 4, 2019. Both the M 6.4 and M 7.1 earthquakes shook a large swath of Southern California and parts of Nevada, rattling nerves and causing injuries and damage in the town near the epicenter.

(AP Photo/Matt Hartman)

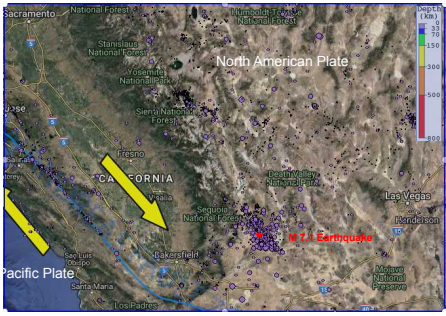
66

IRIS Magnitude 7.1 RIDGECREST, CALIFORNIA
Saturday, July 6, 2019 at 03:19:52 UTC
Trackable Moments

Locations of 5000 most recent earthquakes are shown.

At this latitude, the Pacific Plate is moving to the northwest with respect to the North American Plate at a rate of approximately 48 mm/yr.

The location of the earthquake falls within the Eastern California Shear Zone, a region of distributed faulting associated with motion across the Pacific - North American Plate boundary.



Map created with the IRIS Earthquake Browser

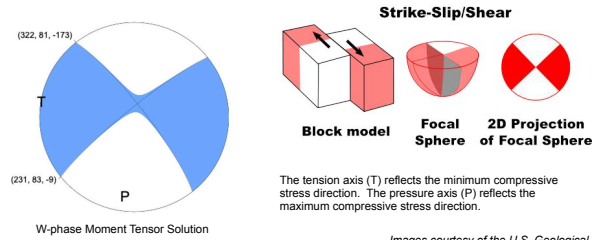
67

Exploring Seismicity:
Interactive Earthquake Browser—World map or 3D viewer <http://www.iris.edu/ieb>

IRIS Magnitude 7.1 RIDGECREST, CALIFORNIA
Saturday, July 6, 2019 at 03:19:52 UTC

The focal mechanism is how seismologists plot the 3-D stress orientations of an earthquake. Because an earthquake occurs as slip on a fault, it generates primary waves in quadrants where the first pulse is compressional (shaded) and quadrants where the first pulse is extensional (white). The orientation of these quadrants determined from recorded seismic waves identifies the type of fault that produced the earthquake.

This earthquake occurred as a result of strike-slip faulting. Either right-lateral strike-slip faulting on a NW – SE fault plane OR left-lateral strike-slip faulting on a NE – SW fault plane are consistent with the focal mechanism.



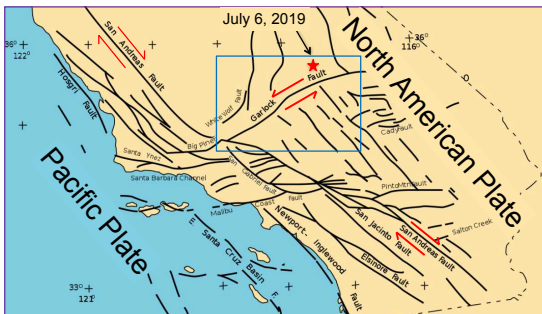
Images courtesy of the U.S. Geological Survey

68

Relevant Animation:

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

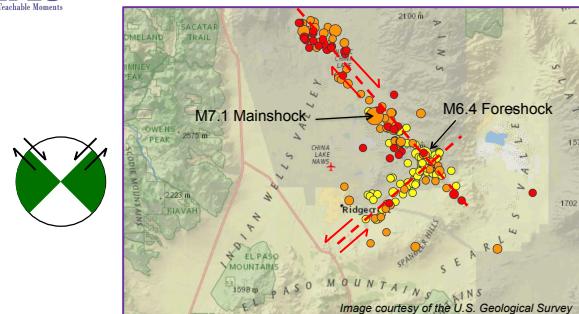
IRIS Magnitude 7.1 RIDGECREST, CALIFORNIA
Saturday, July 6, 2019 at 03:19:52 UTC



The San Andreas Fault is the transform plate boundary along which the Pacific Plate slides northwest with respect to the North American Plate. In southern California there are many intraplate faults within the Pacific and North American plates on both sides of the San Andreas. The Garlock Fault is a left-lateral strike-slip fault between the Mojave Desert and Sierra Nevada regions of southern California. The blue rectangle indicates the area of map on next slide.

69

IRIS Magnitude 7.1 RIDGECREST, CALIFORNIA
Saturday, July 6, 2019 at 03:19:52 UTC

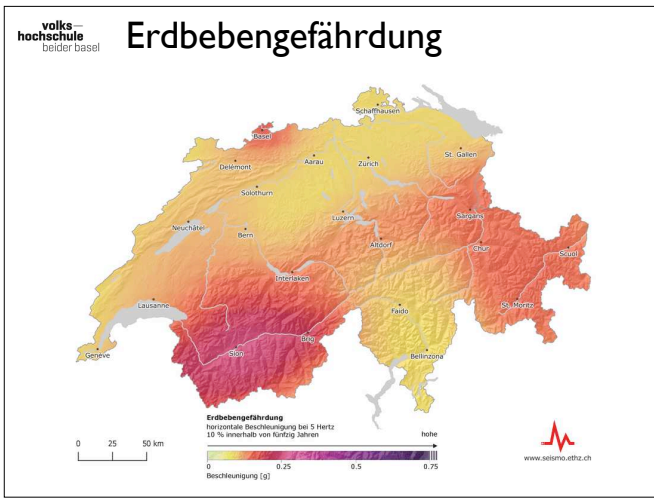


Locations of the magnitude (M) 6.4 foreshock of July 4, the M7.1 mainshock of July 6, and 174 earthquakes of $M \geq 3.0$ in the July 4 – 6 sequence are shown on this map. Earthquakes are distributed along one NW-SE trend and another NE-SW trend. All focal mechanisms are consistent with right-lateral strike-slip faulting on a NW – SE fault plane or left-lateral strike-slip faulting on a NE – SW fault plane. This earthquake sequence lies within the western part of the Basin and Range Province and also within the Walker Lane – Eastern California Shear Zone.

70

71

die Erde beb't – was nun?



72

<http://www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/seismic-hazard-switzerland/>

volks-
hochschule
beider basel

was tun bei einem Erdbeben ?

es gibt (bis heute) keine zuverlässige zeitgenaue Vorhersage
aber man kann sich vorbereiten

Was tun?
Erdbeben lassen sich nicht vorhersagen. Mögliche Auswirkungen und Schäden können aber mit einfachen Mitteln verringert werden, Zuhause und in den Ferien.

Vor einem starken Erdbeben
Während eines starken Erdbebens
Nach einem starken Erdbeben

Beben Sie sich im Wimmelbild auf Entdeckungstour. Durch Klicken in die schwarzen Kreise erfahren Sie hilfreiche Verhaltensempfehlungen und was der Erdbebendienst im Ereignisfall unternimmt.

Mehr erfahren
Häufig gestellte Fragen (FAQ)

Hilfe, die Erde beb! Was tun im Ereignisfall? (PDF)

Poster für Schulen: Was tun, wenn die Erde beb? (PDF)

73

(siehe <http://www.seismo.ethz.ch/de/earthquakes/what-to-do/>)

volks-
hochschule
beider basel

was tun bei einem Erdbeben ?

Was tun?
Erdbeben lassen sich nicht vorhersagen. Mögliche Auswirkungen und Schäden können aber mit einfachen Mitteln verringert werden, Zuhause und in den Ferien.

Vor einem starken Erdbeben
Während eines starken Erdbebens
Nach einem starken Erdbeben

Bei Neubauten, Umbauten und Sanierungen

- Den besten Schutz vor den Folgen eines erdbebengerichteten Bebensach Sie verfügen als oberstes Ziel, den Ort und damit Todesopfer und Verletzte zu vermeiden.
- Prüfen, ob der Abschluss einer Erdbestandsprüfung, um das persönliche Risiko zu reduzieren.

Gefahrenherde im Gebäudeinneren

- Gegenstände sichern, die aufgrund d schuldig, leicht um / oder herunter zu fallen veranlassen könnten. Dazu: Deckenverankerungen, Regale und in Klackstagen oder Bödenverankerungen.

Vorbereitet sein (auf Erdbeben und andere Not)

- Nachrichte bereithalten (siehe Hertz)
- Ein Erste-Hilfe-Kasten zusammenstellen
- Wichtige Dokumente wie Pass oder ID und für den Ereignisfall bereithalten.
- Um Stromausfälle zu überbrücken, 1 batteriebetriebenes Radio und genügend Brennstoff (Benzin) mit sich nehmen.

In einem Gebäude

- In Deckung gehen (z. B. unter einem stabilen Objekt stehen).
- Im Acht nehmen vor herunterfallenden oder umstürzenden Gegenständen (z. B. Regale, schwere Möbel, Hängelampen und Beleuchtung) sowie die Nähe zu Glaswänden meiden, die zerbrechen könnten.
- Das Gebäude nur verlassen, wenn die Umgebung (z. B. keine weiteren Gegenstände wie es unterfallen).

Im Freien

- Im Freien bleiben, nicht in ein Gebäude fliehen.
- Nähe zu Gebäuden, Brücken, Strommasten, gr und weiteren Dingen meiden, die einstürzen o fallen könnten.
- An Gewässern Uferbereich verlassen.

In einem Fahrzeug

- Fahrzeug anhalten und während des Bebens in einem möglichst nicht auf Brücken, Tunneln oder Kurven anhalten.
- Nähe zu Gebäuden am Strassenrand meiden (S)

Im Schädigungsgebiet

- Auf Nachbeben gefasst sein.
- Nähe lassen, ohne sich dabei selbst zu gefährden.
- Gebäude auf Schäden prüfen. Im Fall von größeren Schäden Gebäude verlassen. Das Gebäude ist möglicherweise einsturzgefährdet und hält seinem weiteren Beben stand.
- Vorsicht beim Verlassen des Gebäudes. Es können Feuerwerkstoffe, Dachbalken, Ziegel etc. herunterfallen.
- Gebäude und Umgebung nach auffälligen Brandherden absuchen. Kleinere Feuer bei Möglichkeit löschen und / oder die Feuerwehr alarmieren.
- Gas-, Wasser- und Stromleitung auf Schäden prüfen und bei Verdacht abschalten.
- Sich über das Radio, Fernsehen oder Internet informieren.
- Anweisungen der Einsatzkräfte befolgen.
- Nur in Notfällen telefonieren. Netz für wirkliche Notfälle freihalten.
- Keine privaten Aufnahmen. Straßen für Einsatzkräfte freihalten.
- Auf Spornauslässe gefasst sein.

Ausserhalb des Schädigungsgebiets

- Auf Stromausfälle gefasst sein.
- Nähe lassen.
- Auf Nachbeben gefasst sein.
- Sich über das Radio, Fernsehen oder Internet informieren.
- Das Schädigungsgebiet meiden.
- Nur in Notfällen telefonieren. Das Netz wird überlastet sein und sollte für wirkliche Notfälle freigehalten werden.

74

volks-
hochschule
beider basel

kann man Erdbeben verhindern ?

... das kann nur einer ... und leider auch nur im Film ...

75

Verhindern kann man Erdbeben nicht... aber man kann sich vorbereiten:

- Interdisziplinäre Forschung (Geophysik, Seismologie), Erbebedienste, Gefährdungsanalyse, Erdbebenmikrozonierung, Szenario Modellierung (Bsp.: Ausnützen der kurzen Frist zwischen P und Oberflächenwellen)
- Ingenieurwissenschaften, Umsetzung von Baunormen, Überprüfung, Versicherung
- Information, Kommunikation, Stadtplanung