

„Die Geophysik von Fukushima“ Das „**Große Tōhoku-Erdbeben 2011**“ Vergleich Japan – Rheingraben - Risiken

Plan

Was ist ein Erdbeben? Stärke, Intensität, Energie, Häufigkeit	Unklar?
Erdbeben – “Seebeben“ – Tsunami	Fragen Sie mich!
Das große Tōhoku-Erdbeben 2011	
Seismizität global – Erdaufbau – Plattentektonik	Die Präsentation
Risiko – Gefahr – Opfer – Schäden – Ingenieurseismologie	kann
Rheingraben – Europa	jede(r) von mir bekommen.
Was können / müssen wir tun?	Schicken Sie mir eine mail!
Literatur	jacob@uni-mainz.de
Anhang: Ergänzungen zur Seismologie	

Was ist ein Erdbeben?

Ein Bruchvorgang in der spröd-elastischen Kruste oder Lithosphäre, der abrupt Spannungen abbaut und Verschiebungen erzeugt, „stick-slip“-Mechanismus genannt. Entspannung und Verschiebung breiten sich wellenartig aus

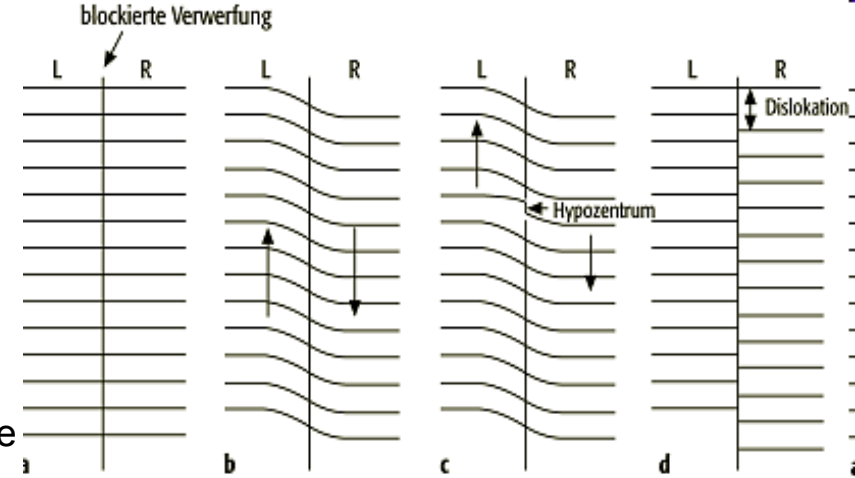
Der Punkt, wo der Bruch beginnt, heißt Hypozentrum, seine Projektion auf die Erdoberfläche Epizentrum.

In der Geophysik ist „Erdbeben“ der Bruchvorgang selbst, für die Betroffenen ist es das „Beben“ des Bodens, sind es die Wellen, die Zerstörungen.

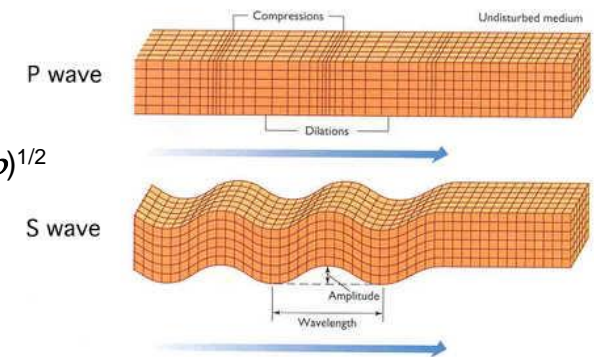
P-Wellen: Longitudinal-, Kompressions-, „Schallwellen“

S-Wellen: Transversal-, Scherwellen

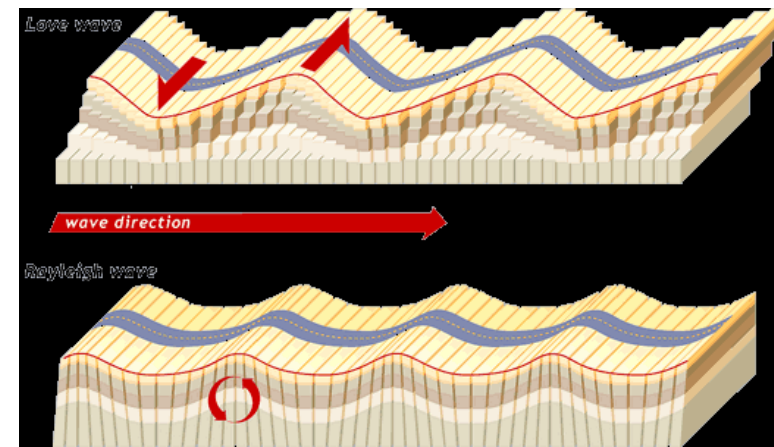
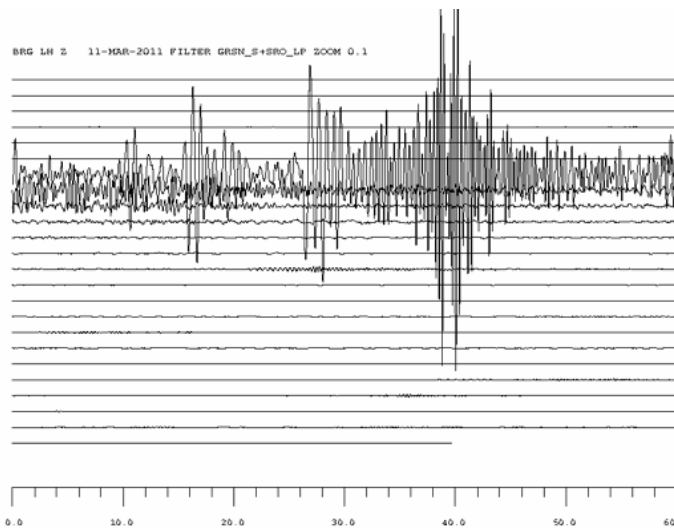
Oberflächenwellen (Rayleigh-, Lovewellen)



Spannungsaufbau – Bruch Spannungsabbau



$$V_p = ((K+4/3\mu)/\rho)^{1/2}, \quad V_s = (\mu/\rho)^{1/2}$$



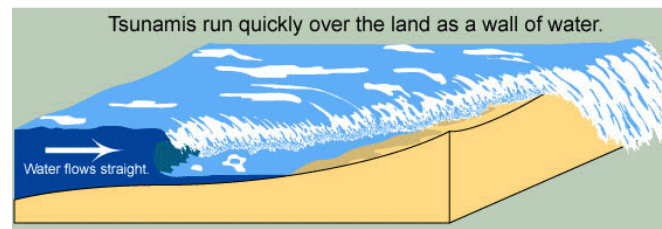
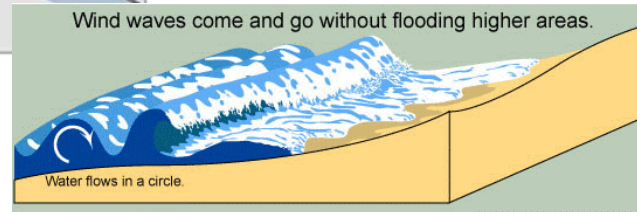
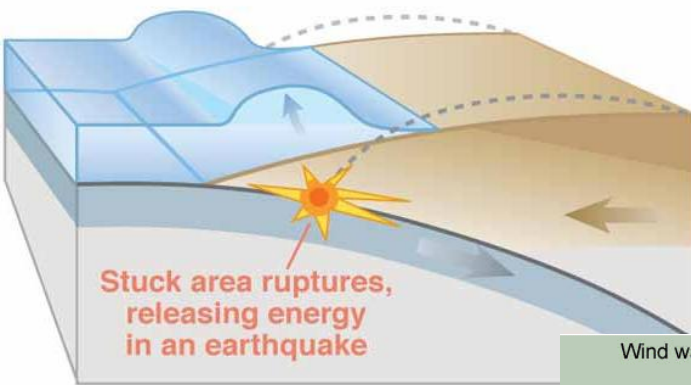
Erdbeben – „Seebeben“ – Tsunami

Alle **Beben** sind Erdbeben. Es gibt keine „Seebeben“, denn Wasser bricht nicht. Es gibt „submarine Erdbeben“ sprechen. „Seebeben spürt man auf einem Schiff (z.B. als Stoß).

Nachbeben bauen Restspannungen ab. Das größte Nachbeben ist oft 1 Magnitudenklasse kleiner als Hauptbeben. NE Japan: Hauptbeben M9, größtes Nachbeben bisher M7.4 (07-04-2011)

Tsunami (japanisch: Hafenwelle) wird von Prozessen am Meeresboden (Erdbeben, Hangrutsch) ausgelöst (manchmal „seismische Woge“ genannt – jedenfalls nicht Gezeiten-Welle!)

Earthquake starts tsunami



Bebenstärke, Magnitude („nach oben offene Richterskala“) (1)

Maß für die Stärke (Energie) des Bruchvorgangs („Lichtstärke der Quelle“)

abhängig von Verschiebungsbetrag u , Größe der Bruchfläche A , Elastizität des Gesteins (Modul μ) (Plötzlichkeit und Dauer des Vorgangs). Momentmagnitude $M_o = \mu A u$ (Nm=J)

Abgeschätzt aus **instrumentellen Registrierungen** (max. Amplitude a , Periode T) und Entfernungseinflüssen (Entfernung Δ , Herdtiefe z_o)

$$M \approx \log(a/T) + f(\Delta, z_o, \text{Abstrahlung});$$

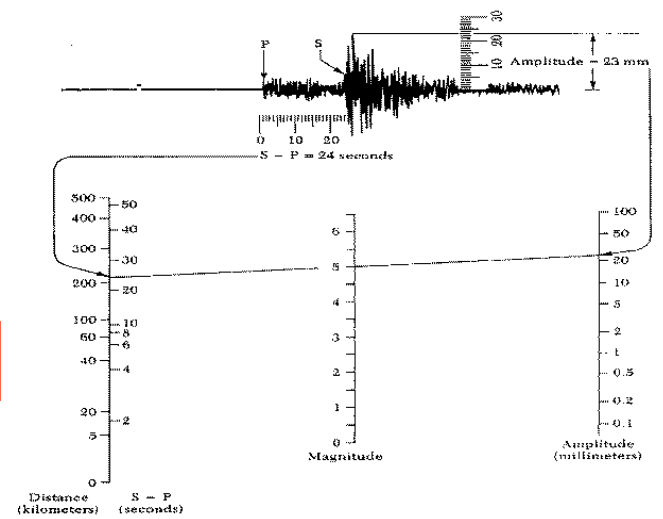
Logarithmisches Maß für den Energieumsatz E

in Zehnerpotenzen $\log_{10} E[\text{J}] \approx 5 + 1.5 M$

Oder $E \approx 10^{(5+1.5M)} \rightarrow M = 0: E = 100\text{kJ}, M = 9: E = 3 \times 10^{18}\text{J}$

1 Tag globaler Wärmefluss, 2 Tage Welt-Energieverbrauch, 5 t Uran Kernenergie

Erfassbare Magnituden von <0 bis etwa 10.



Intensität

Empirisches Maß für die Stärke des empfangenen Signals („Beleuchtungsstärke“)

Abhängig von Amplitude, Frequenz, z.B. maximaler Beschleunigung.

MSK-Skala (Mercalli-Sieberg-Karnik) in Stufen von **I bis XII**, von Wahrnehmungsgrenze bis zu totaler Zerstörung.

Abgeschätzt aus Befragungen der Bevölkerung (Fragebogen).

Linien gleicher Intensität nennt man Isoleisten.

Energieumsatz und Häufigkeit von Erdbeben

Obergrenze gegeben durch Gesteinsfestigkeit und geologische Situation, variabel von Gebiet zu Gebiet.

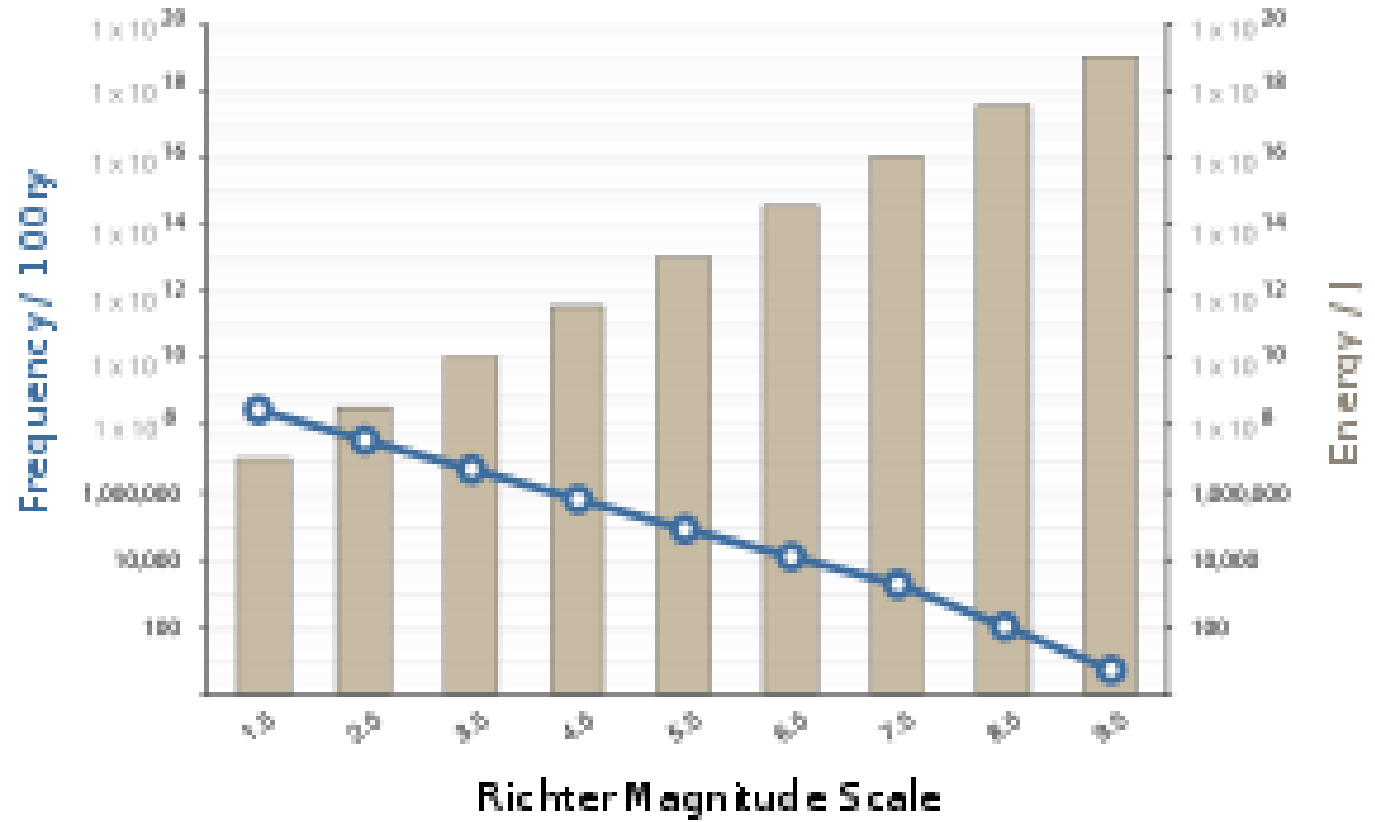
Anzahl der Beben pro Jahr ***n/a***

$$\log(n/a) \approx 8.2 - M \quad \text{oder} \quad \underline{n/a \approx 10^{(8.2-M)}}$$

z.B. $M = 5 \rightarrow n \approx 2000$ / Jahr;

$$\log(n/a) \approx 11 - 2/3 \log(E/J) \quad \text{oder} \quad \underline{n/a \approx 10^{11-2/3(E/J)}}$$

z.B. $E = 1$ TJ $\rightarrow n \approx 1000$ / Jahr



Das große Tōhoku-Erdbeben 2011



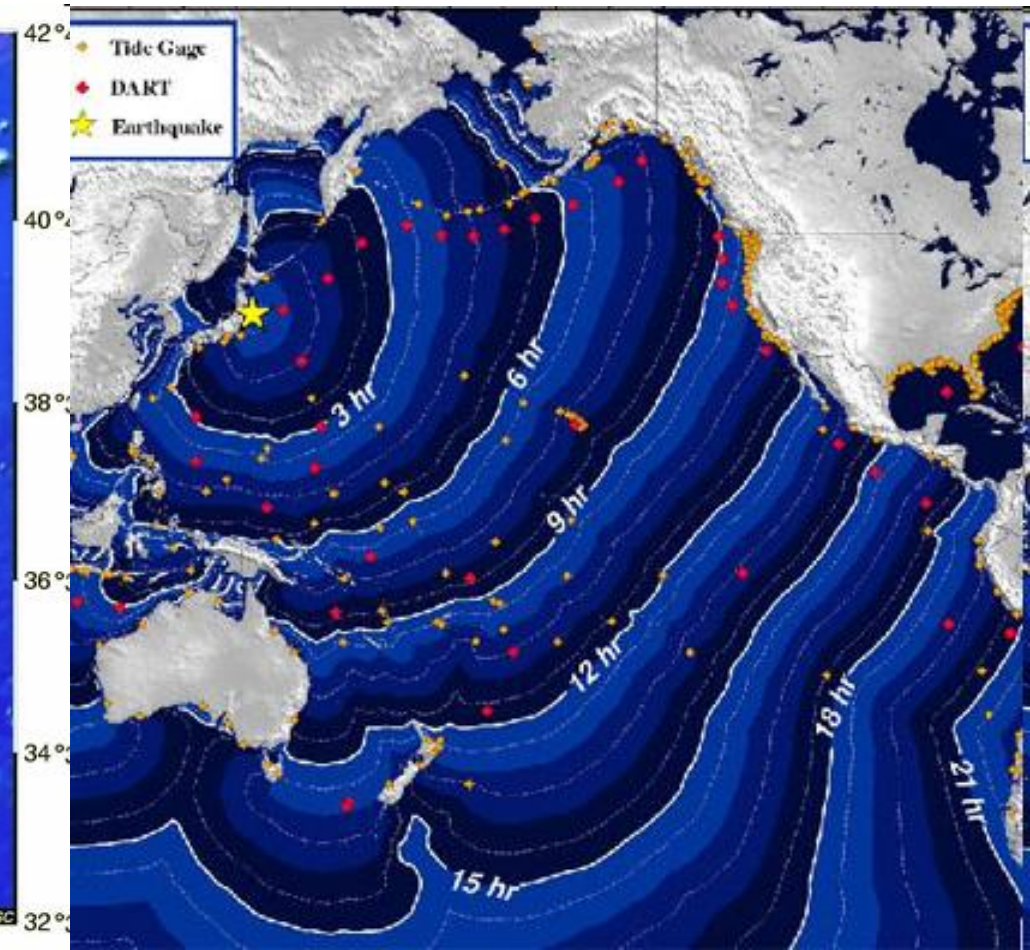
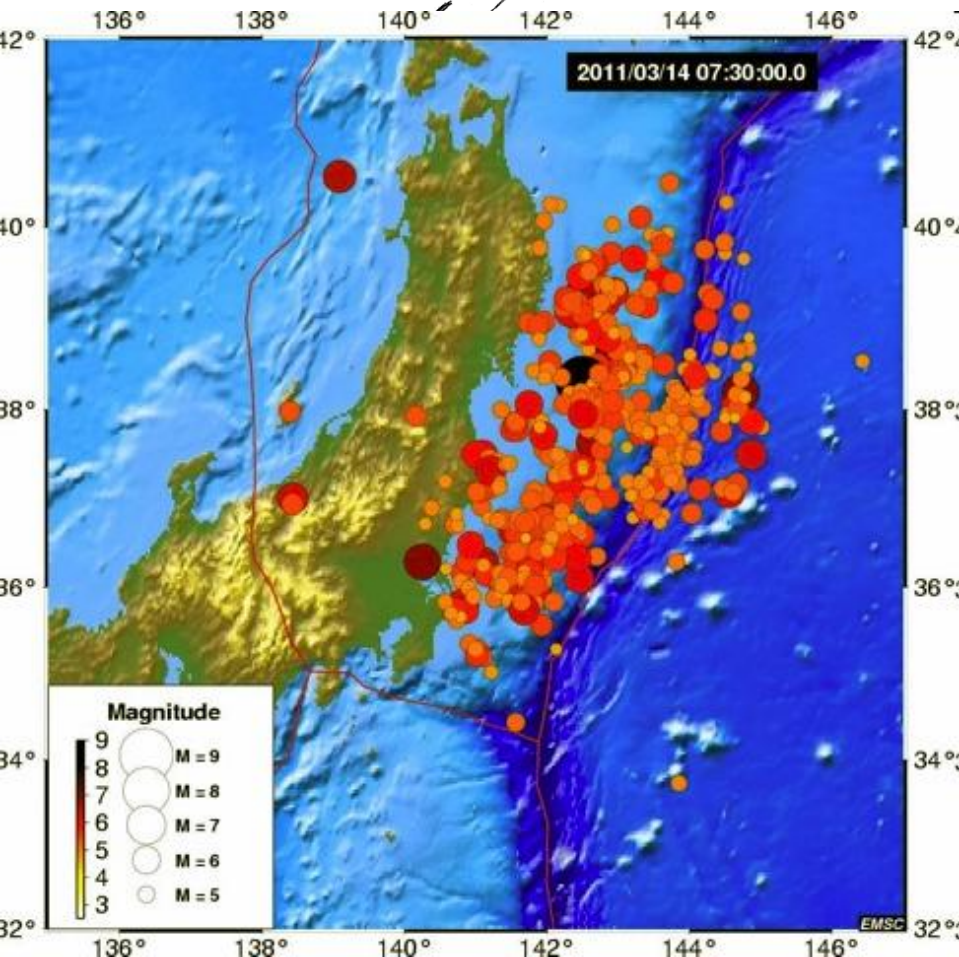
Tōhoku-Erdbeben 2011: 14-03-2011, 14h 07min, 30s (lokale Zeit), Magnitude 9 (n ≈ 1/(5-20))

Nachbeben auf ~Bruchfläche (~500 × 200 km²)

$E \approx 10^{18-19} \text{ J}$ ($10^{6-7} \text{ TJ} = 1-10 \text{ EJ}$) (Tera- ExaJoule)

Momentmagnitude $M_o = \mu Au$, $\mu \approx 3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 (4 \times 10^3)^2 \text{ m}^2/\text{s} = 5 \times 10^{10} \text{ Pa}$; $Au \approx 10^{11-12} \text{ m}^3$ - $M_o \approx 5 \times 10^{21-22} \text{ J} = \text{Nm}$

Diskrepanz: $M_o \approx 500\text{fach } E$ aus $M_o^{\text{Total}}/\text{Initialbruch}$
>1 Jahr globaler Wärmefluss, 3 Jahre Weltenergieverbrauch



Scientific data about the earthquake, from USGS

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2011/usc0001xgp/#details>

11/03/11 5:46:23

Epicenter: 38.321 N, 142.369 E

MW 8.9

USGS/WPHASE CENTROID MOMENT TENSOR

11/03/11 05:46:23.00

Centroid: 37.321 N, 141.769 E

Depth 24 km, No. of stations: 89

Moment Tensor; Scale 10^{22} Nm

Mrr= 1.16 Mtt= 0.18

Mpp=-1.34 Mrt= 1.33

Mrp= 2.17 Mtp=-0.10

Principal axes:

T Val= 2.88 Plg=55 Azm=313

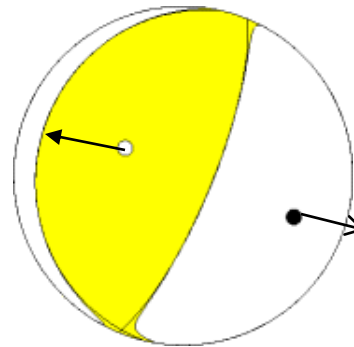
N = -0.08 11 205

P = -2.79 32 108

Best Double Couple: $M_0 = 2.8 \times 10^{22}$

NP1: Strike=162 Dip=17 Slip= 45

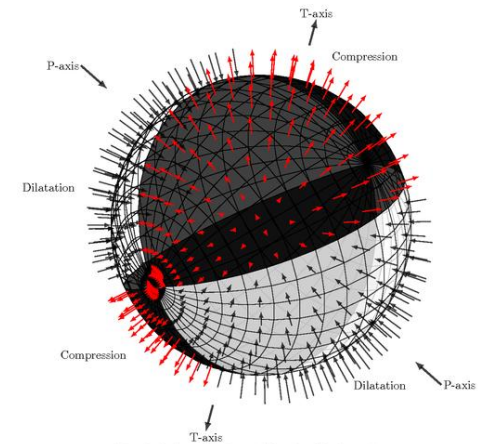
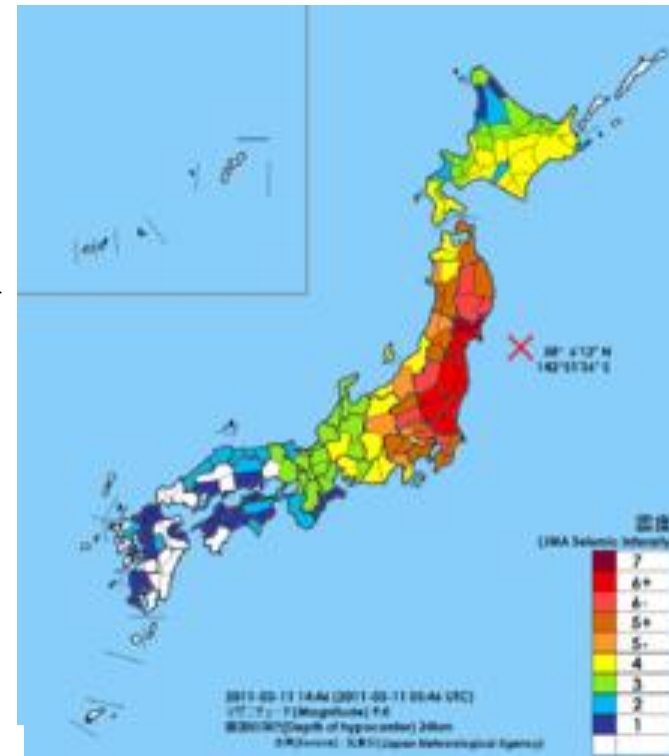
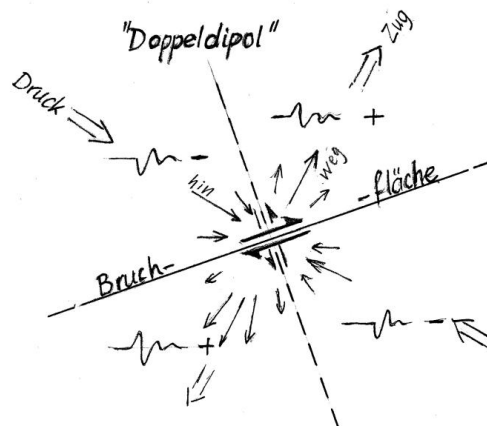
NP2: 28 78 102

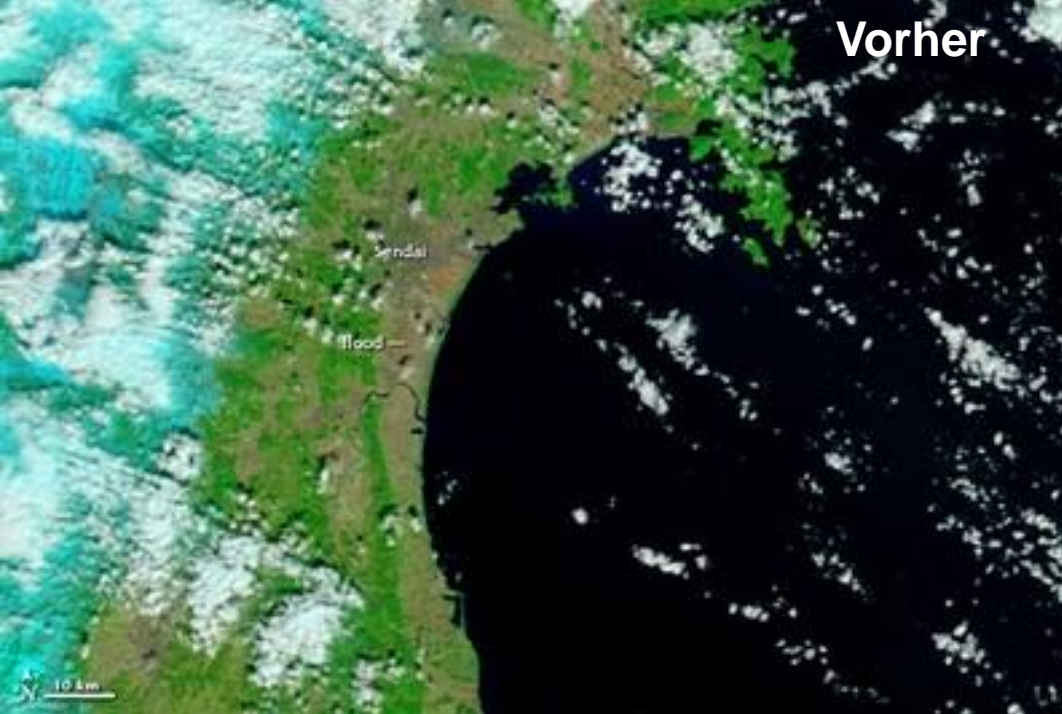


Projektion der unteren Herdhalbkugel.

Gelb: Stoß ← WMW

Weiß: Zug → ESE





Vorher

Wellenmplituden
(Verschiebung)
E→, Z↑, N→,
Station MIZU,
140 km

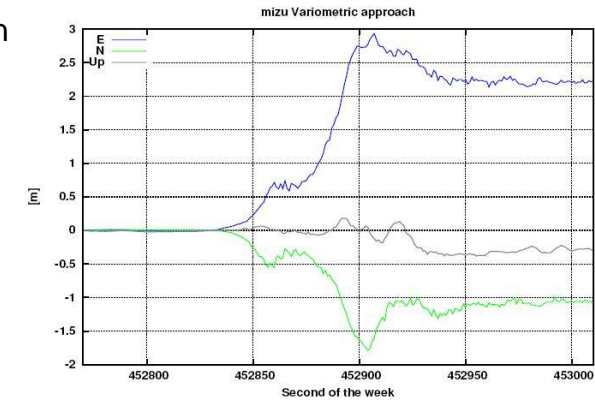
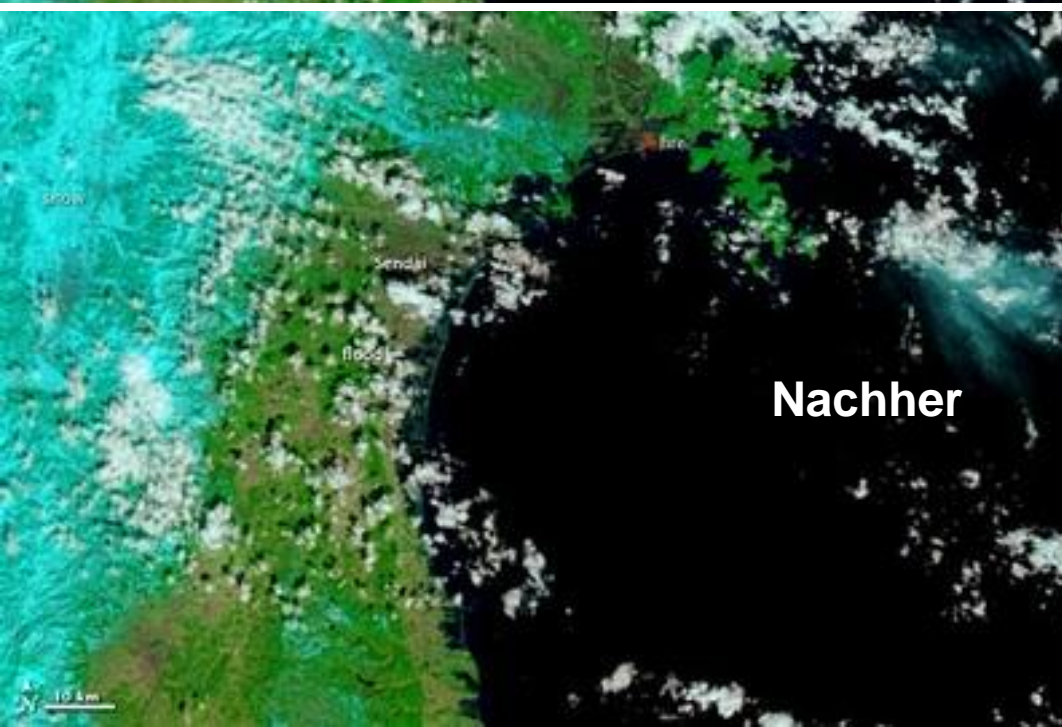
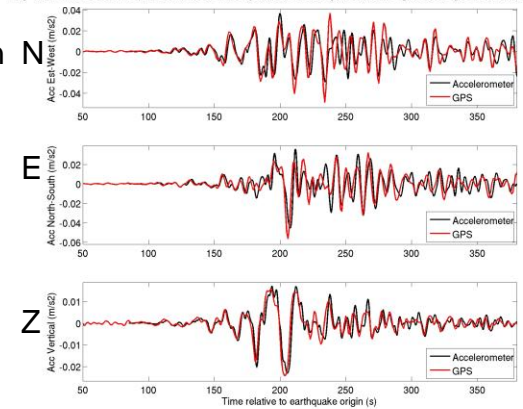
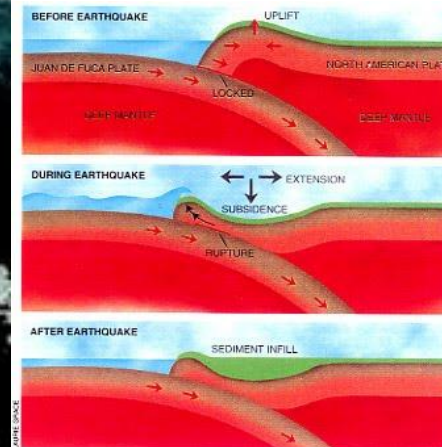


Figure 1: MIZU – variometric solution over the 240 seconds interval 05:46:10–05:50:10, March 11, 2011 (DOY 070) GPS time. Data used: observations data (mizu070645.11a), broadcast ephemeris (brdc0700.11a).

Beschleunigungen
in Tokyo (350 km)
Max ~5 cm/s²



Nachher

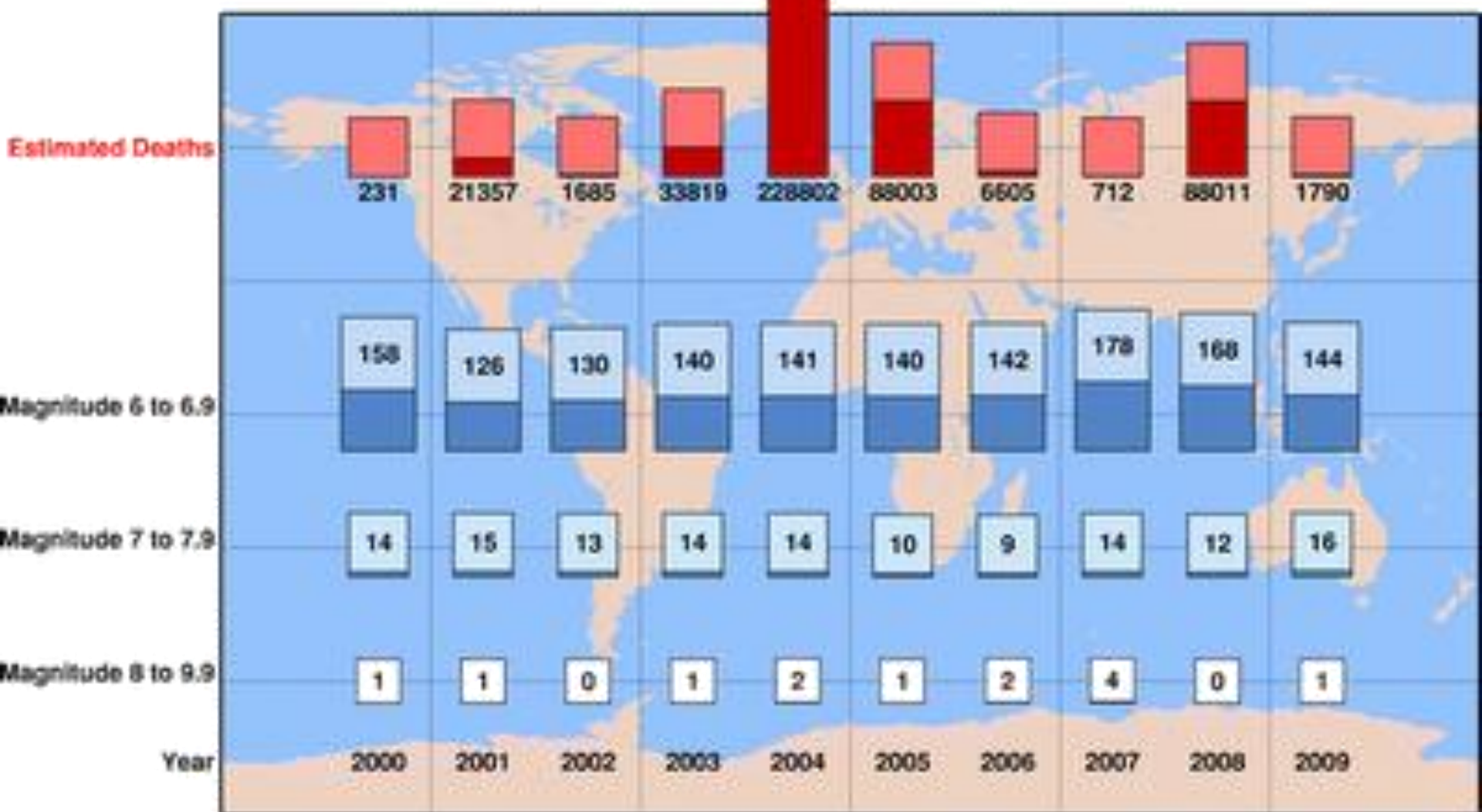


Schema Deformation

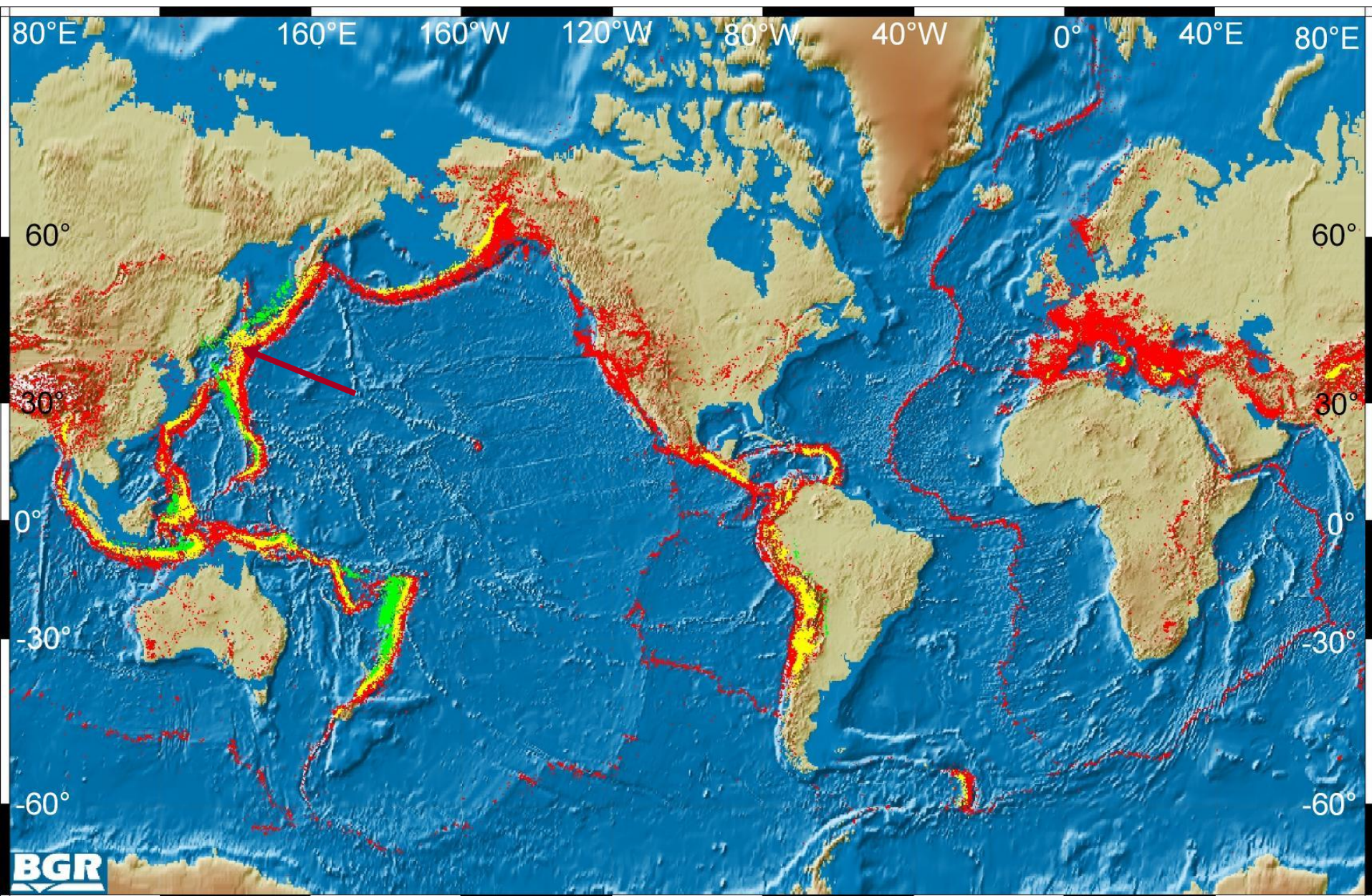
- präseismisch
- koseismisch
- postseismisch

Seismizität global – Erdaufbau – Plattentektonik

Worldwide Earthquakes: 2000 - 2009 *



Seismizität global



Tiefe der Erdbebenherde



Plattentektonik – Entdeckungsgeschichte bis heute

Wegener:

Kontinentalverschiebung,
Morphologie, Geologie Paläoklima

Plattenbewegungen, Tektonik

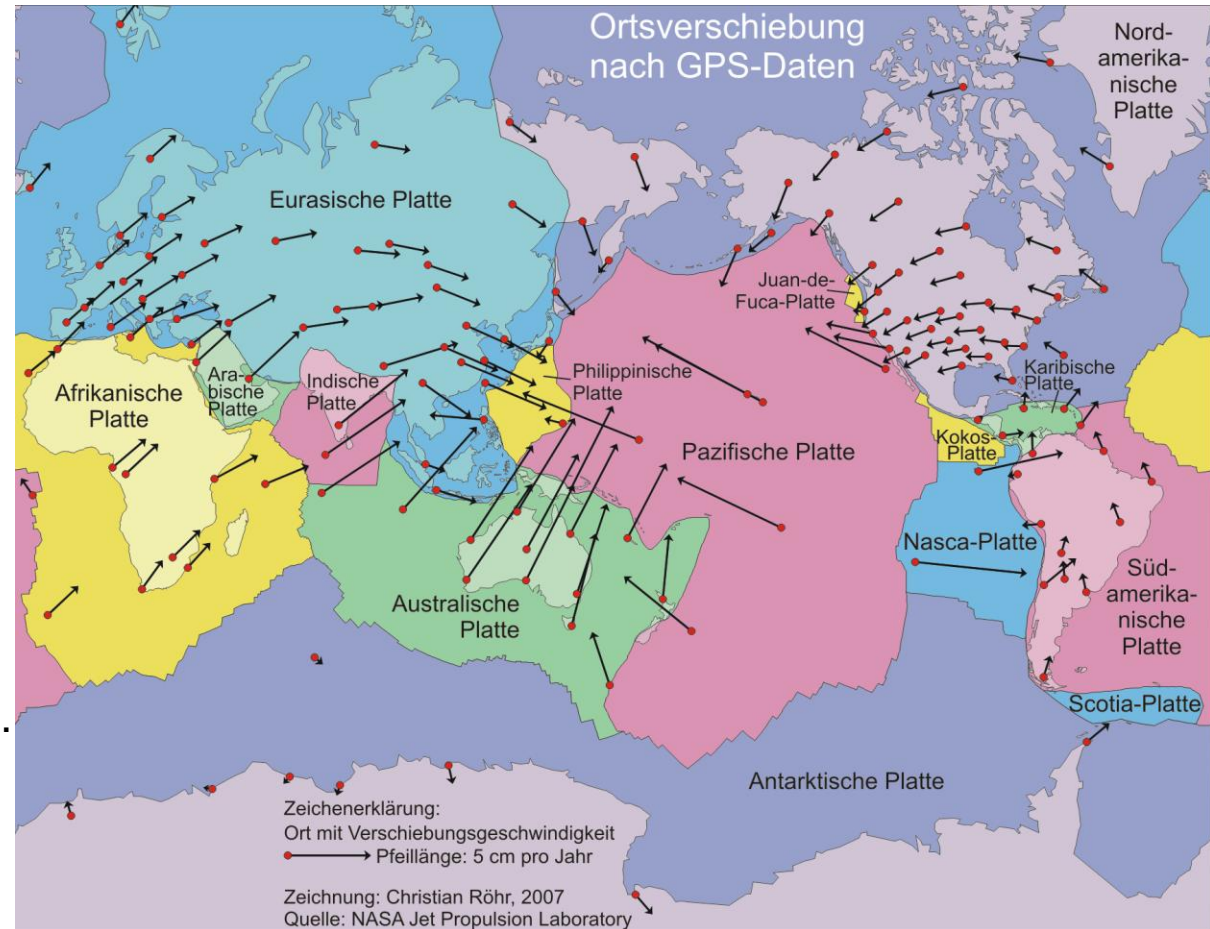
Paläomagnetismus, marine
Magnetanomalien, Seismologie
(Seismizität, Herdmechanismen),
Geologie

Konvergente, divergente und
antiparallele Plattengrenzen

Subduktion ozeanischer Platten (z.B.
Japan),

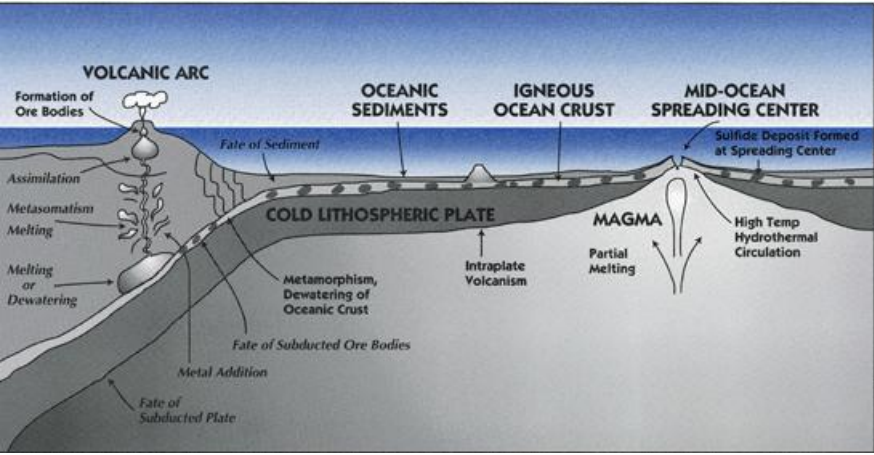
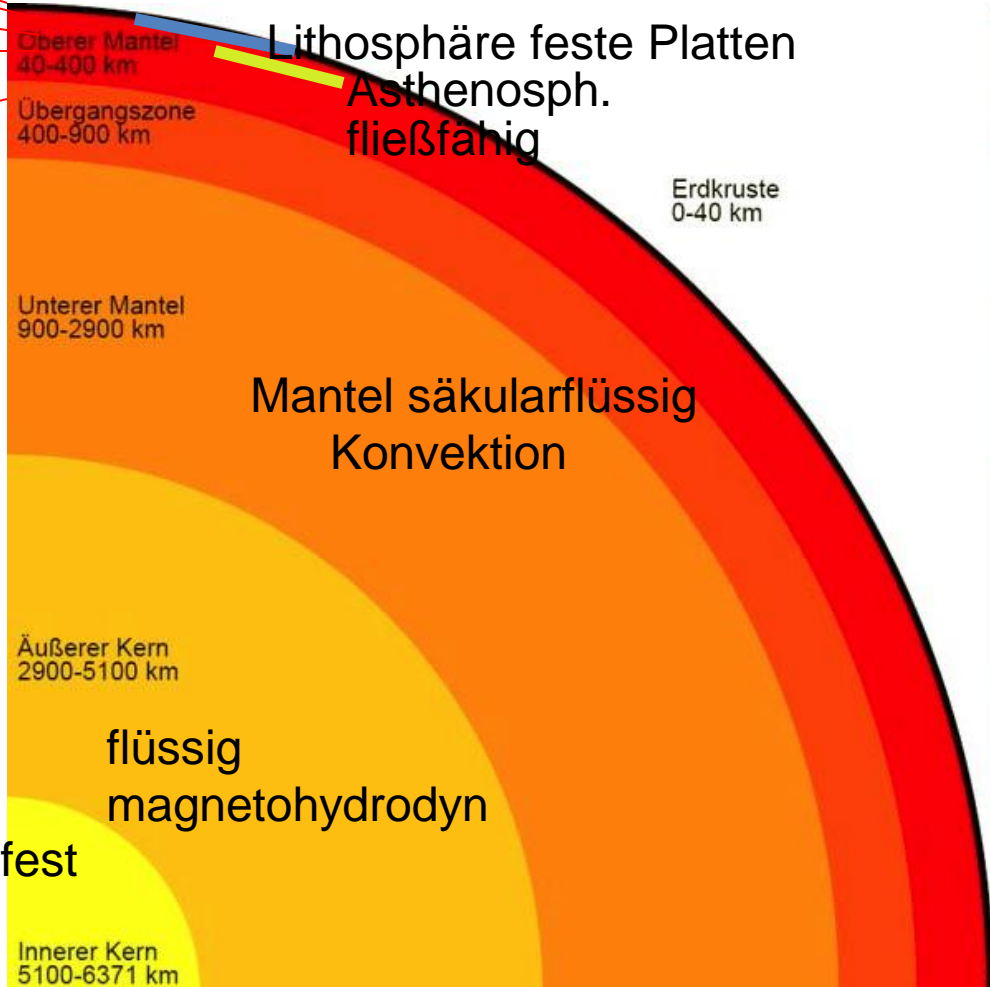
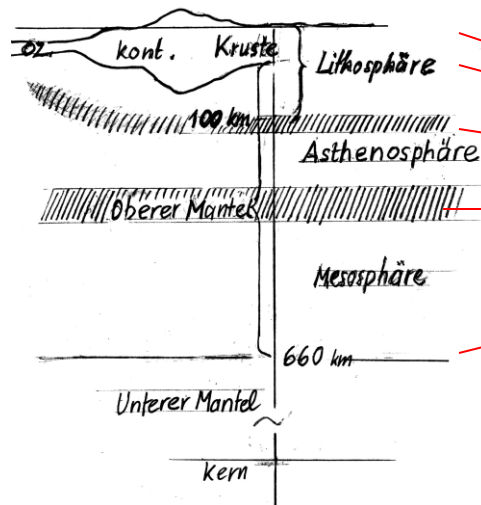
Achsen ozeanischer Rücken und
kontinentale Riftzonen
(Mittelatlantischer Rücken, Island,
Rheingraben),

Transform-Störungen (San Andreas
Fault, Nord-Anatolische Störung)



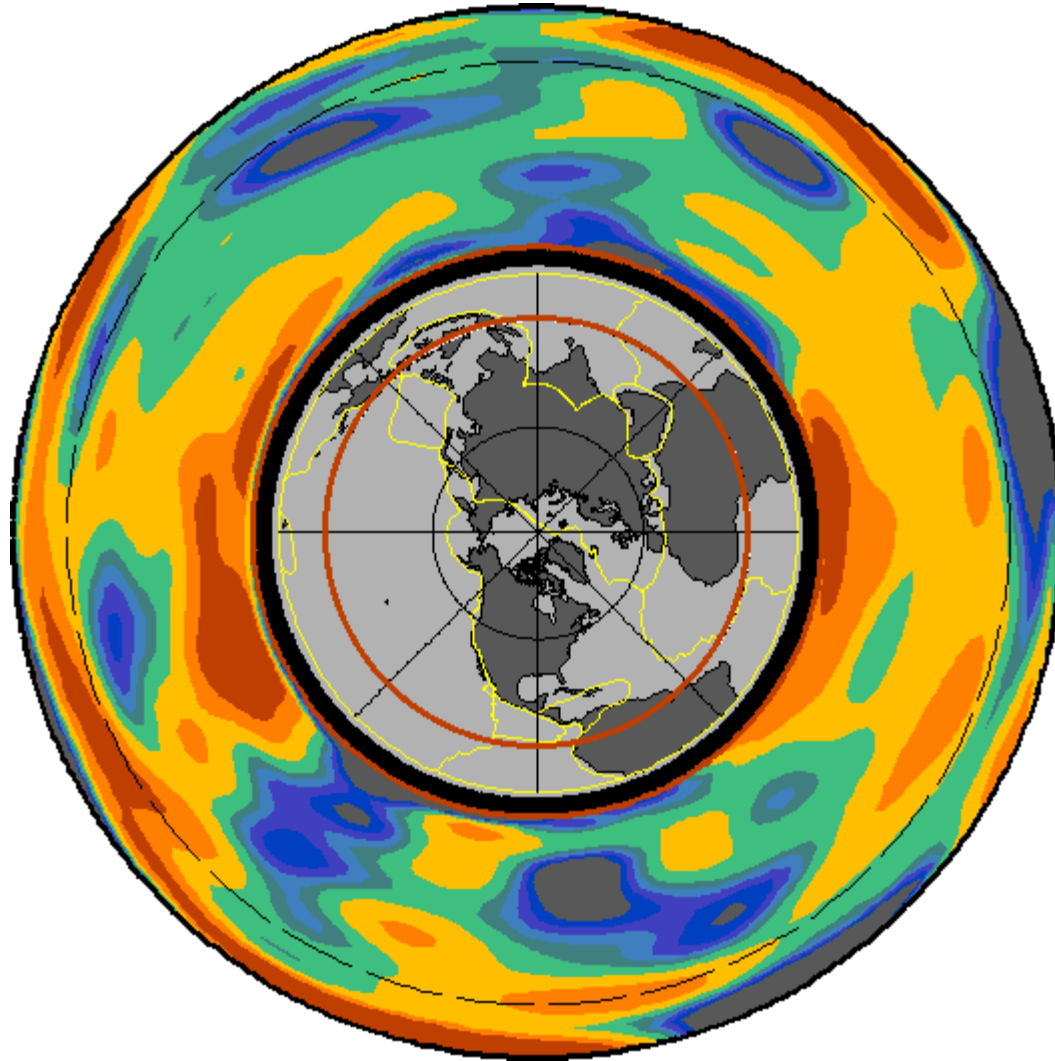
Erdaufbau: Schalenmodell

Kruste Mantel (oberer, unterer) äußerer Kern innerer Kern
 Lithosph. Asthenosph. Mesosph. unterer Mantel



Manteltomographie: man sieht, dass der Erdaufbau komplizierter ist –

Folge der Dynamik (Mantelkonvektion und als ihr Ausdruck Plattenbewegungen)

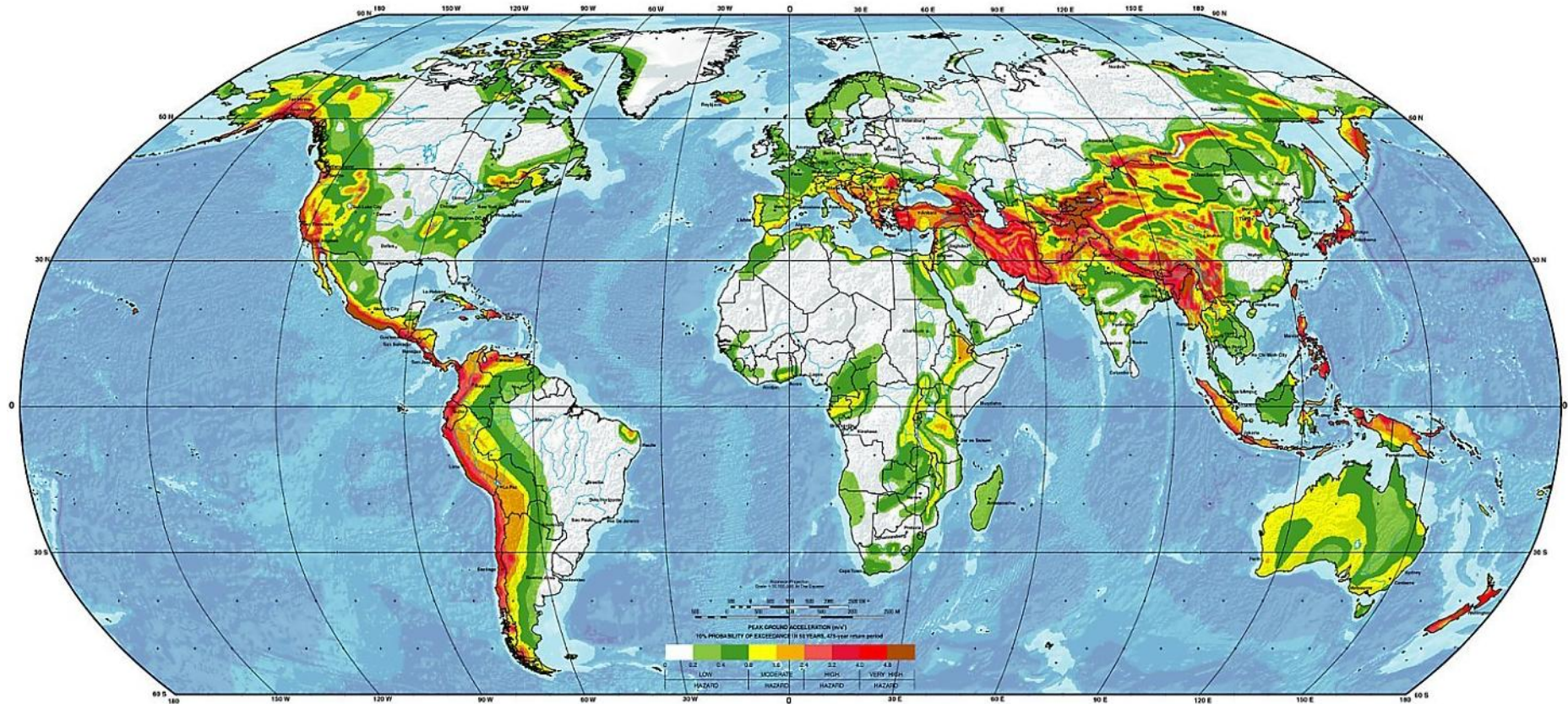


Risiko – Gefahr – Opfer – Schäden – Ingenieurseismologie

Seismisches Risiko – Bebenwahrscheinlichkeit – Gefahr (Hazard) - Vorhersage

GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP

Produced by the Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP),
a demonstration project of the UN International Decade of Natural Disaster Reduction, conducted by the International Lithosphere Program.
Global map assembled by D. Giardini, G. Gr'Ynthal, K. Shedlock, and P. Zhang
1999

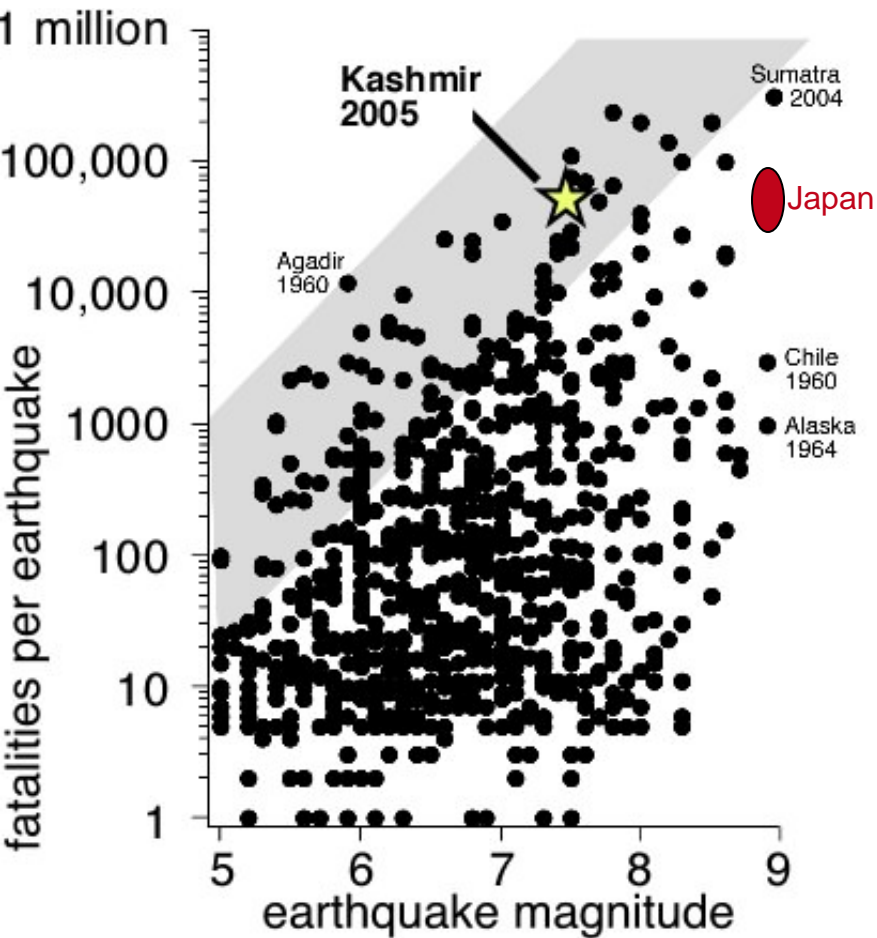


Wahrscheinlichkeit aus archivierter Seismizität geschätzt. Beispiel: Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb eines Kreises ($r = a$ km) um einen Punkt in b Jahren ein Beben der Stärke $M \geq M_x$ passiert oder: dass Erschütterungen der Intensität $I \geq I_x$ auftreten.

Gefahr (Hazard), dass man zu materiellem oder leiblichen Schaden kommt

Vorhersage muss Ort, Zeit und Stärke umfassen – bisher kaum möglich

Gefahr für Leben



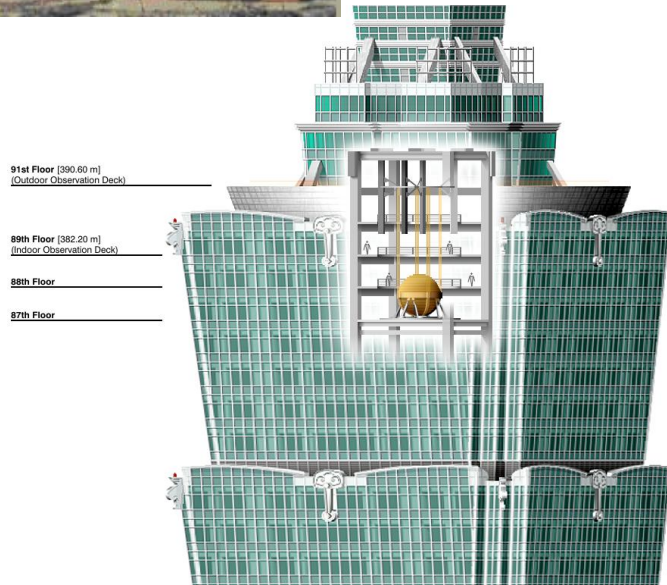
Relation between earthquake magnitude and numbers of fatalities for all earthquakes (worldwide) since 1900

Ingenieurseismologie – Bauvorschriften

Hauptelemente erdbeben-resistenten Bauens sind Scherfestigkeit und Dämpfung („Stoßdämpfer“) – Testen von Modellstrukturen



Intensität
XII



Aftermath of an earthquake in Japan, 2004
Photograph by Kimimasa Mayama/Reuters

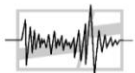
Rheingraben – Europa

Wie sieht es in Deutschland aus? In

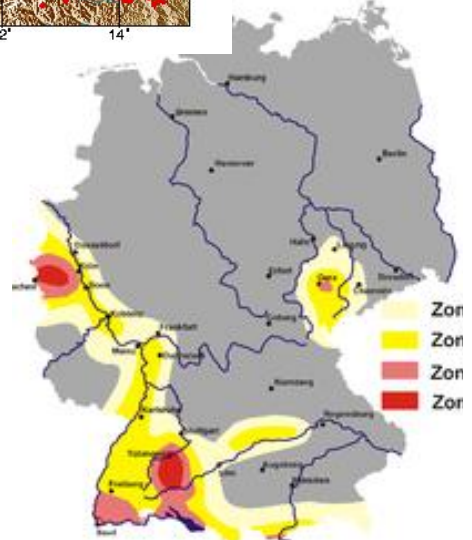
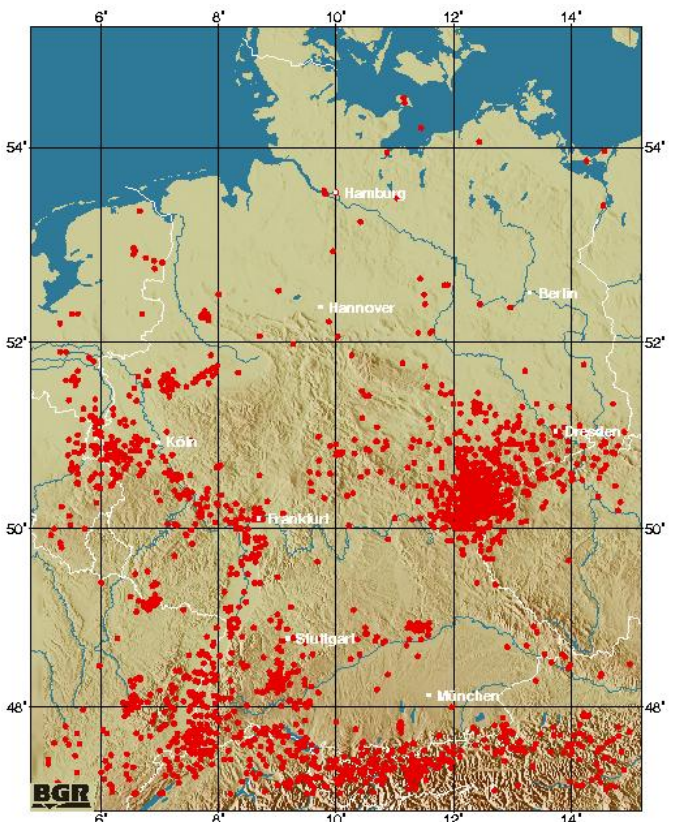


Baden-Württemberg
REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG

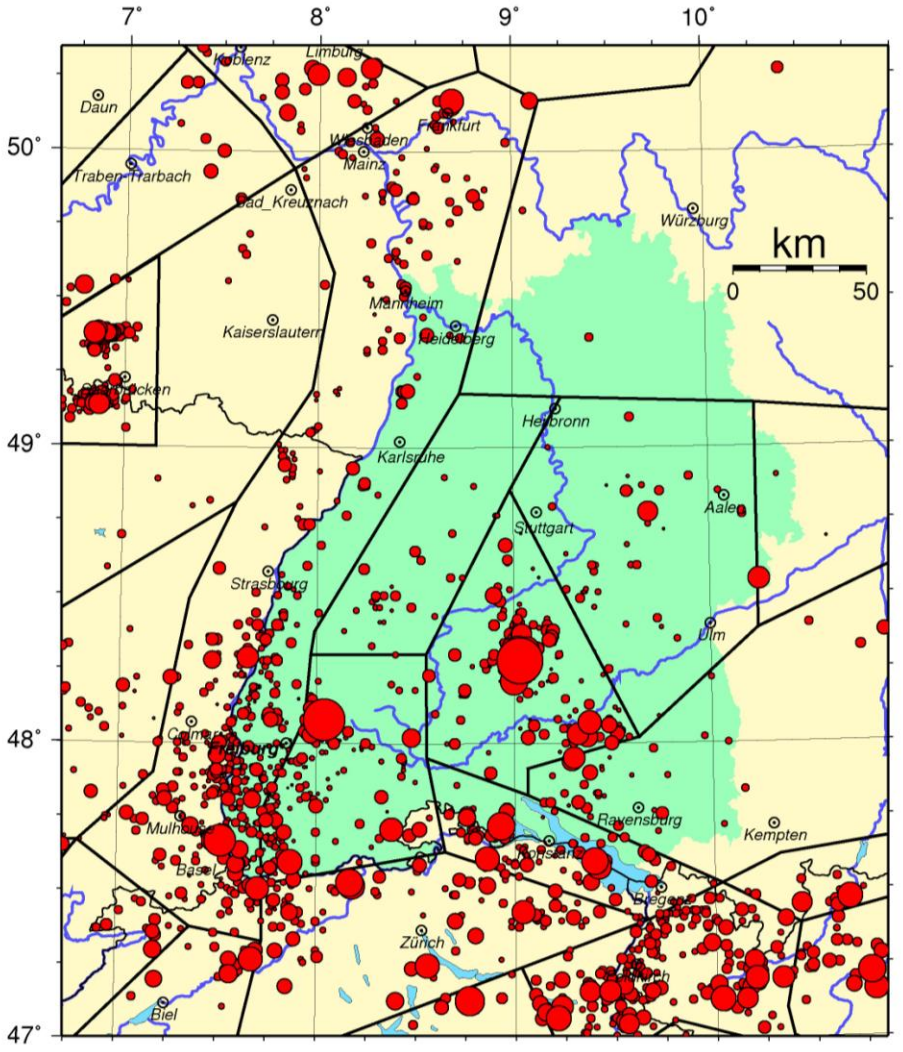
LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU



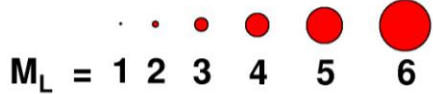
ERDBEBENDIENST



Erdbeben in Baden-Württemberg 1973-2008



Magnitude, Richterskala

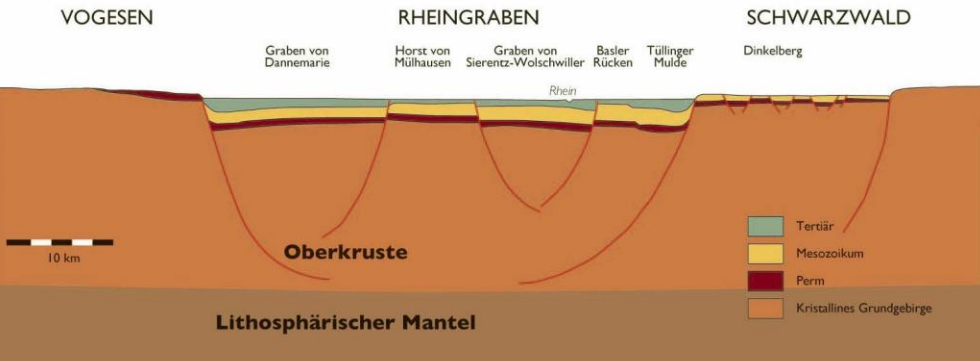
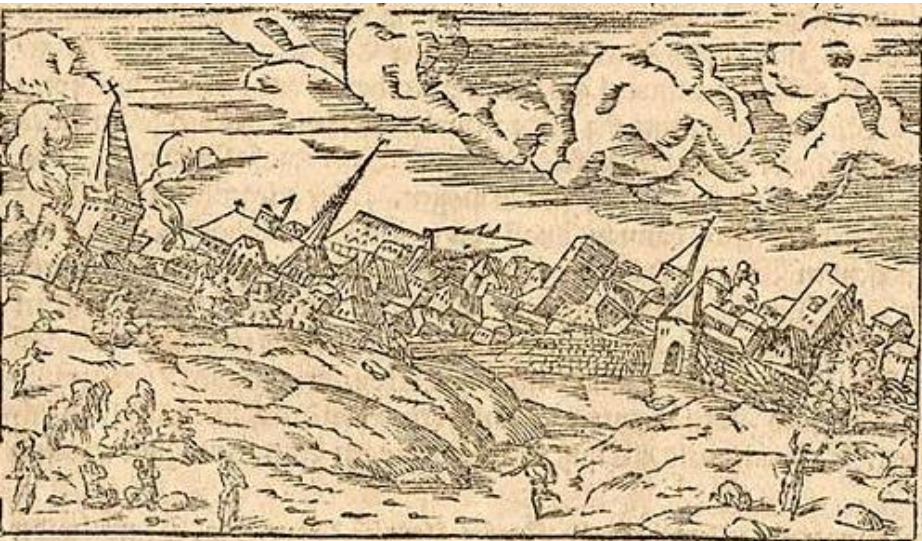


Seismogeographische Regionen nach Leydecker & Aichele (1998)

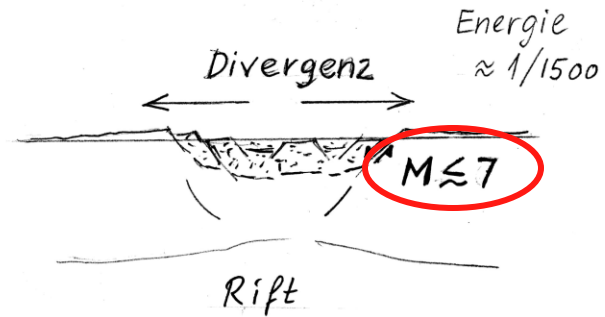
Seismizität SW-Deutschland, Rheingraben

Stärkstes bekanntes Beben: Basel 1356 – geschätzt M 6.2 – 6.9 (Schweizer Erdbebendienst)

Niederrhein: Roermond 1992 – M 6 0.2 Wiederholungsrate ~200 Jahre
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich (140 km)



Geologischer West-Ost-Schnitt durch den Oberrheingraben



Kernkraftwerk Fessenheim (1977, 35 km von Basel)

Biblis?



Was können / müssen wir tun?

Kernkraftwerke zügig ersetzen - nicht in Panik hysterisch überstürzt

Energie sparen!

Wachstum in dauerhafte qualitative Bahnen lenken!

Heutiges, von Wirtschaft und Politik anvisiertes Wachstum hat keine 100 Jahre mehr Chancen.

Forcierter globaler Ausbau der Sonnenenergie

**Eine enorme Herausforderung von
Wissenschaft und Technik,
Wirtschaft,
Ökologie,
Psychologie,
Politik.
(Schul)Bildung!**

Defizite der Schule und Lehrer (und Lehrerausbildung ...)

Auf Dauer können wir nur im Einklang mit der Erde leben
Die Hysterie um die Kernkraftwerke lässt und das leicht vergessen.

Die Erde wird heute sträflich vernachlässigt – in jeder Hinsicht.
Man lernt bis zum Abitur viel zu wenig über die Erde – mit der Folge, dass fast niemand bei geologischen Problemen an sie denkt: Umwelt, Klima, Risiken der Kernkraft

Die Schule steht in der Verantwortung. Sie hat eine Bringschuld!

Geologie ist kein Schulfach, viele (auch Lehrer) denken, es gäbe nur drei Naturwissenschaften Physik, Chemie und Biologie – Wir vergessen die Geologie in einer Zeit, in der wir unseren Lebensraum Erde immer mehr schänden und zerstören. – Zufall?

Hinzu kommt, dass wir Risiken und Gefahren völlig irrational wahrnehmen. Wir wägen Nutzen und Schaden nicht nüchtern ab. Das ist ein weiteres Desiderat der Schule. Was heißt Gefahr, Naturkatastrophe, Risiko? Themen für die Naturwissenschaften, auch für Mathematik, Geschichte, Geographie ...

Geologie gehört in die Schule, aber richtig!

Literatur

Grotzinger, J., Jordan, T.H., Press, F., Siever, R.: Allgemeine Geologie, 5. Aufl. Elsevier.Spektrum Akad. Verlag, XXIV+736 S., 2008

Hess, H.: TaschenAtlas Vulkane und Erdbeben , 2. Aufl. Klett Verlag, 288 S., 2006

Schneider, G.: Erdbeben, Eine Einführung für Geowissenschaftler und Bauingenieure. Elsevier.Spektrum, 246 S., 2004

Watts, C.: Naturkatastrophen: Tsunamis, Hurrikane, Erdbeben, Vulkanausbrüche, 2. Aufl.. Gerstenberg, Hildesheim, 64 S. [für 10-12 Jahre] 2008

Wegener, A.: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Nachdruck der ersten Auflage (1915) und der vierten Auflage (1929). [1. Aufl. mit handschriftlichen Anmerkungen des Autors], Hrsg. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 2005

Weidmann, G.: Erdbeben in der Schweiz. In Zusammenarbeit m.d.Schweizerischen Erdbebendienst, Desertina, Chur [ISBN 3-85637-271-7], 2002

http://en.wikipedia.org/wiki/2011_T%C5%8Dhoku_earthquake_and_tsunami

<http://www.structuralgeology.org/>

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2011/20110311.php>

Anhang: Ergänzungen zur Seismologie

Herdmechanismen

Seismometrie

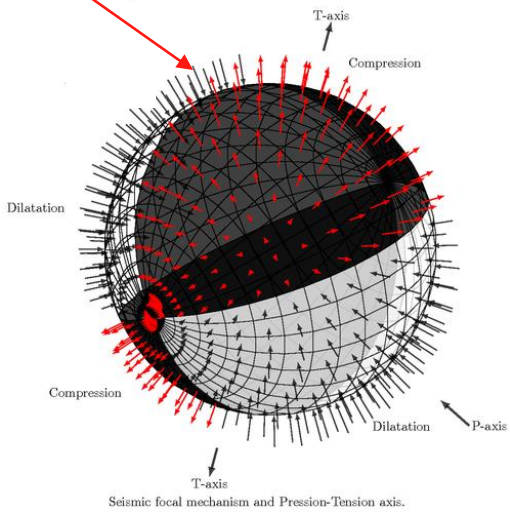
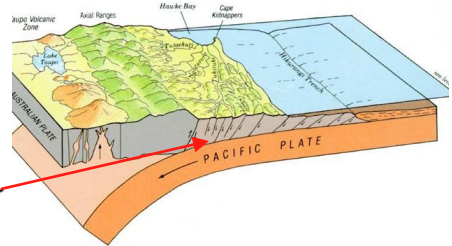
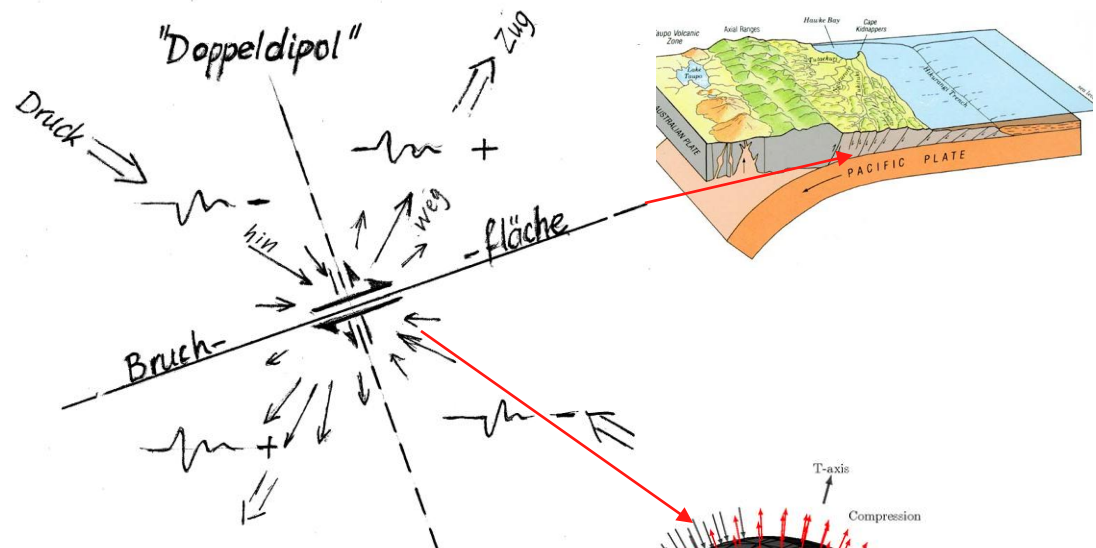
Seismogramme – Wellen, Sektionen

Laufzeitkurven – Wellenstrahlen

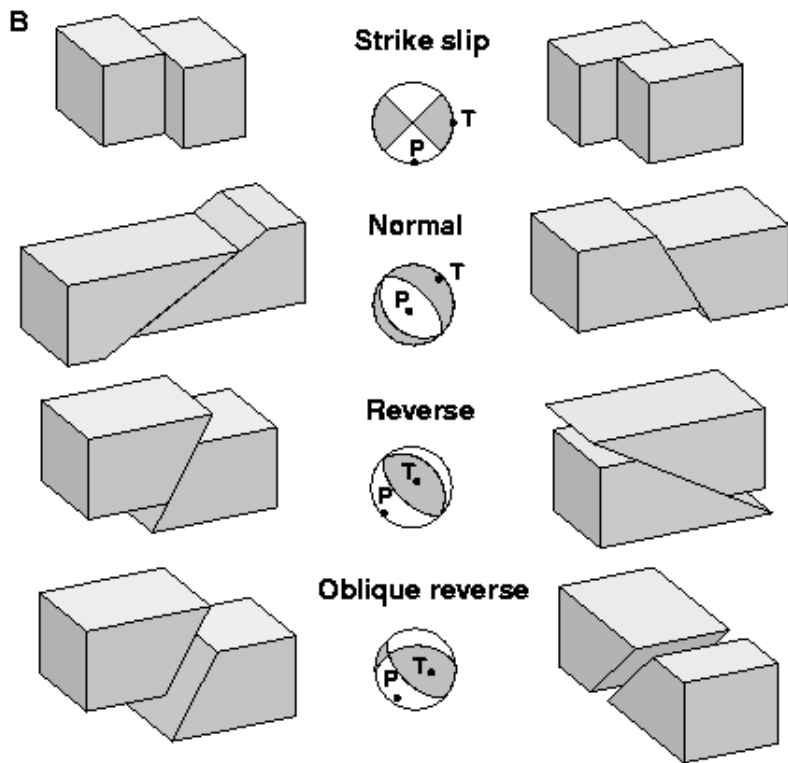
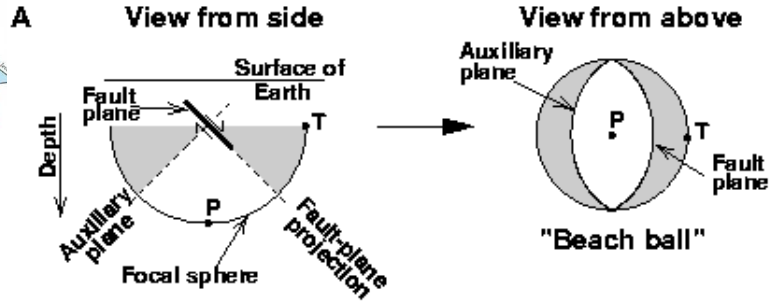
Tōhoku-Erdbeben 2011

Herdmechanismen Bruchmechanismen – Orientierungen im Raum von Bruchfläche und Verschiebungsvektor. Abstrahlcharakteristik

Bestimmt aus instrumentellen Messwerten – **Herdlösungen**, Anpassung von theoretisch berechneten Wellenfeldern (Centroid-Momententensor)



Seismotektonik

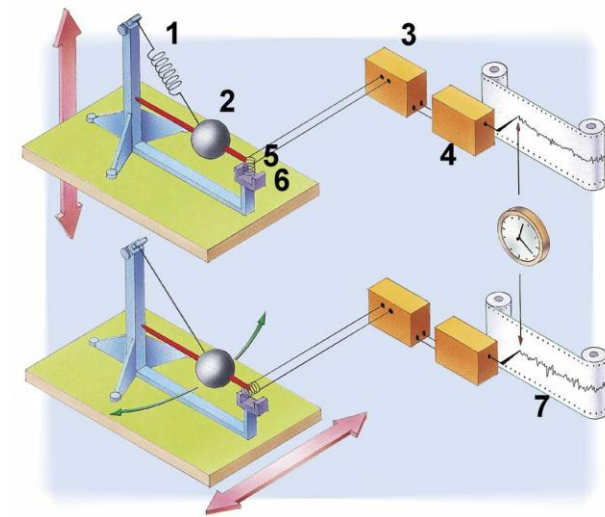


Seismometrie – Seismometer, Seismometernetze (WWSSN)

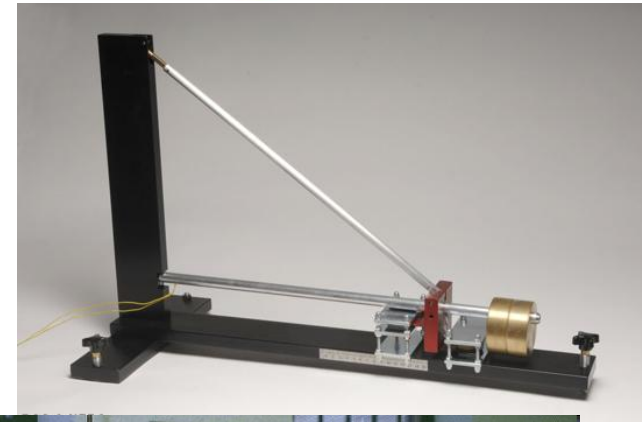


Chinesisches Seismoskop

Vertikal- und
Horizontalseismometer,
mechanische Registrierung

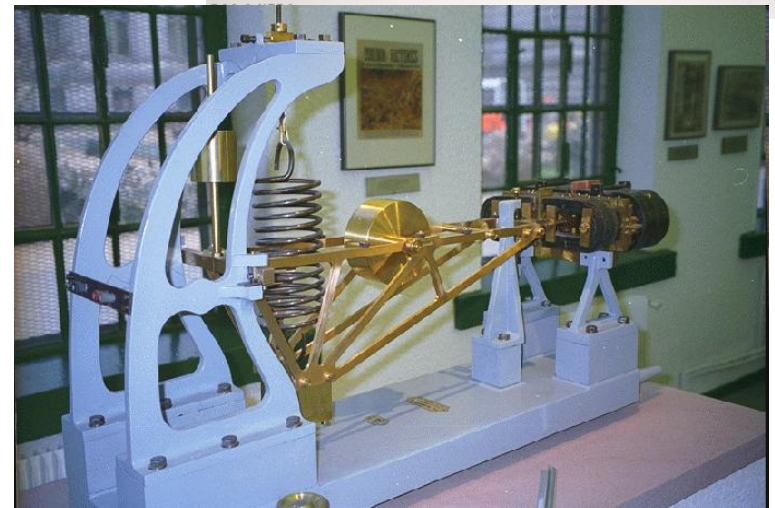


Horizontalseismometer,
elektromagnetische
Übertragung

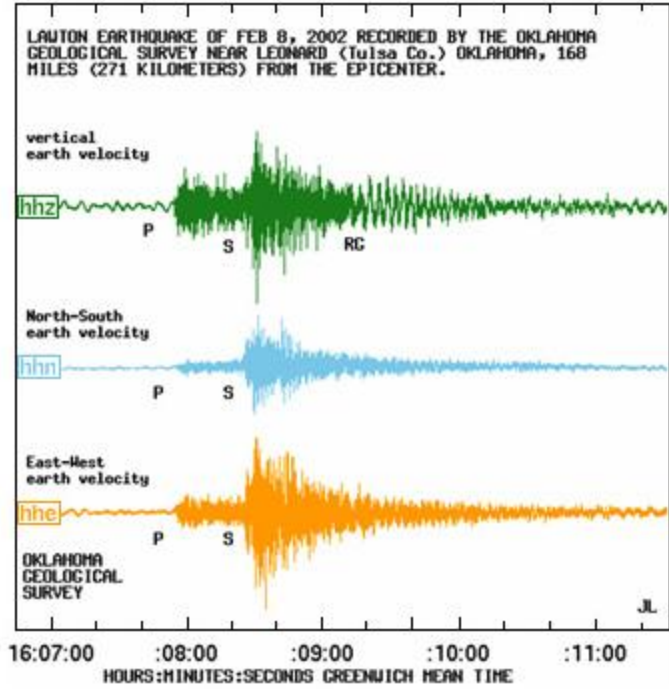


Vertikalseismometer

Alle Seismometer müssen gedämpft sein, am besten „kritisch“, so dass Rückschwung eines Impulses auf $1/e$ abklingt.

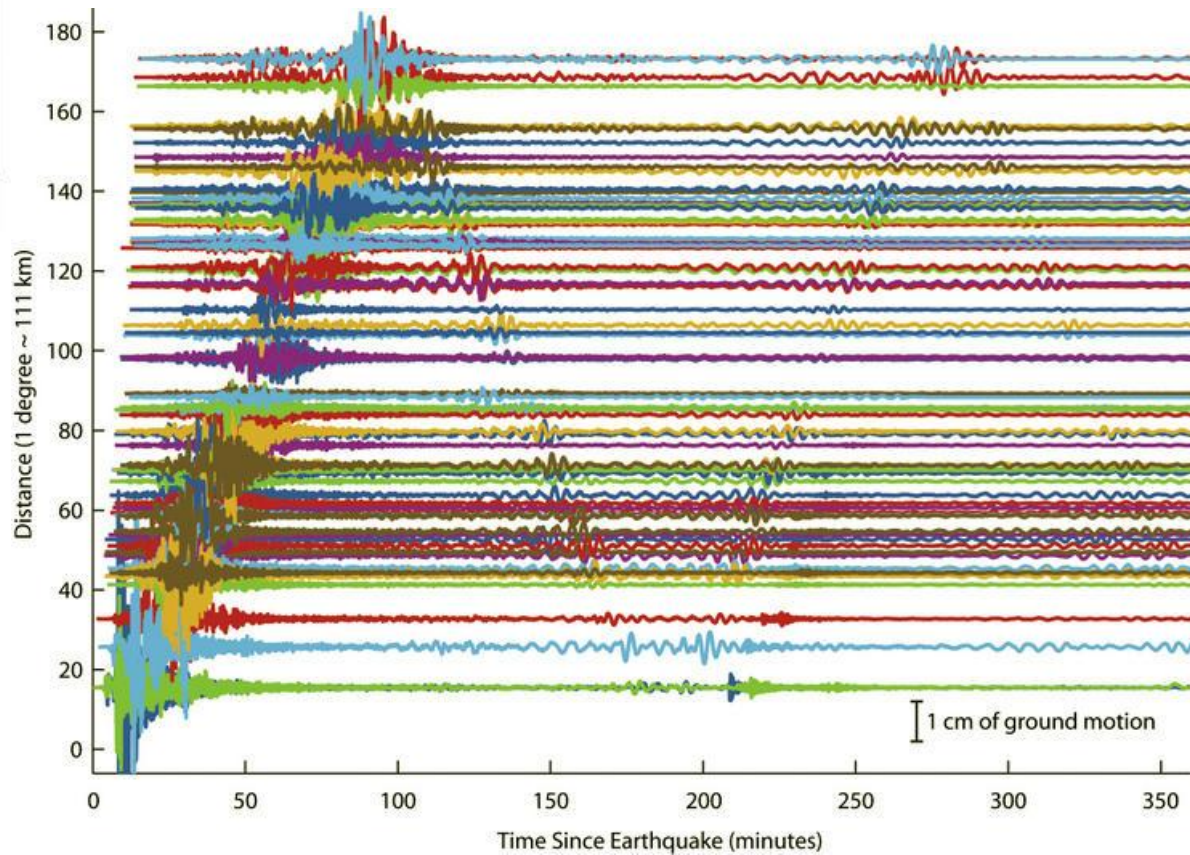


Seismogramme – Wellen, Sektionen

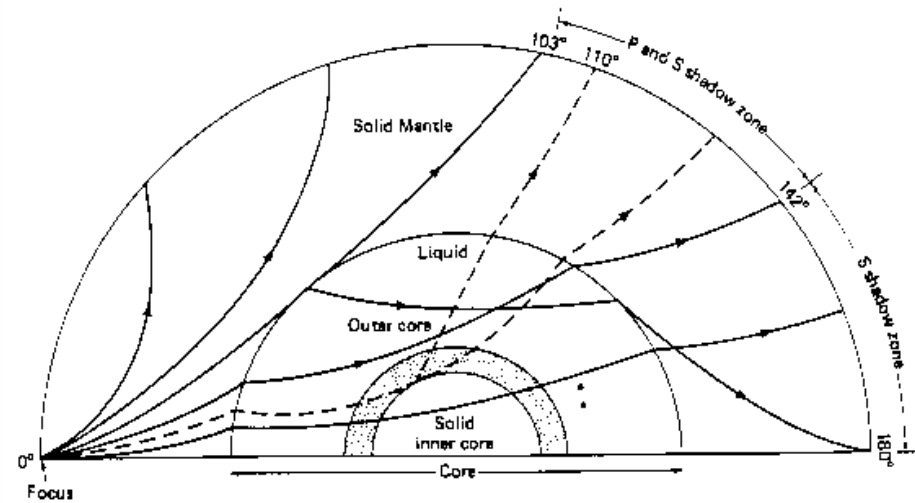
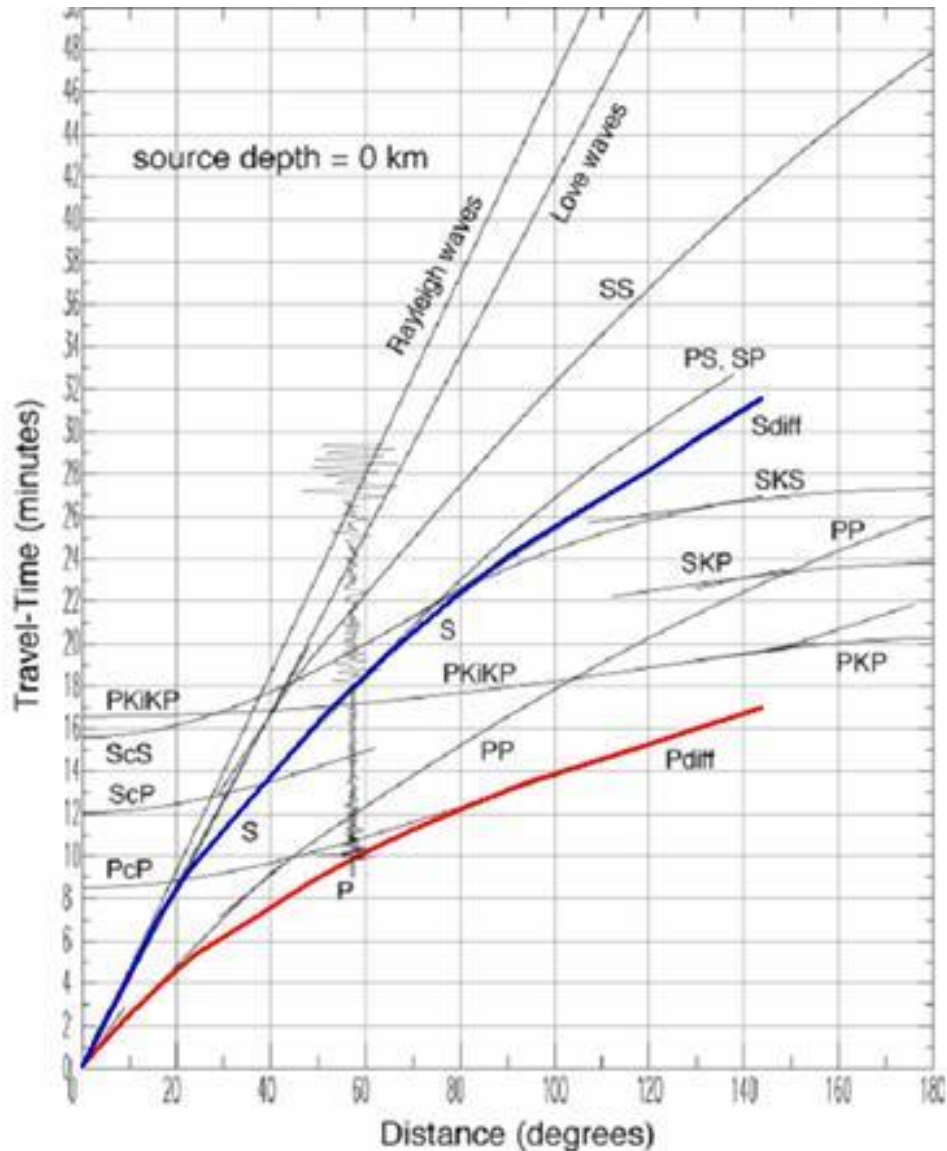


Globale Wellenausbreitung

Oberflächenwellen laufen mehrmals um den Globus



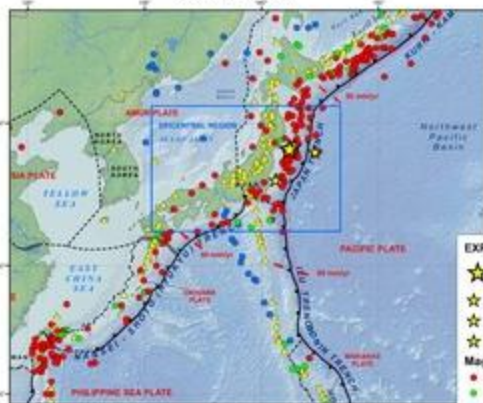
Laufzeitkurven – Wellenstrahlen



The M9.0 Great Tohoku Earthquake (northeast Honshu, Japan) of March 11, 2011

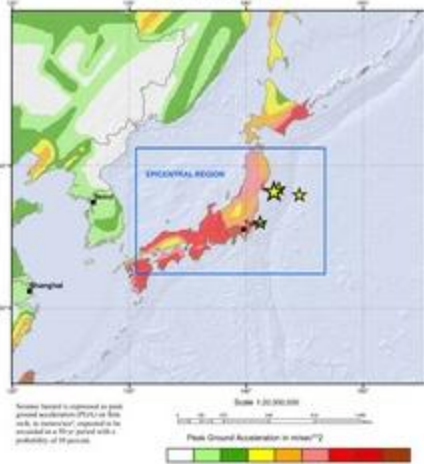


Tectonic Setting



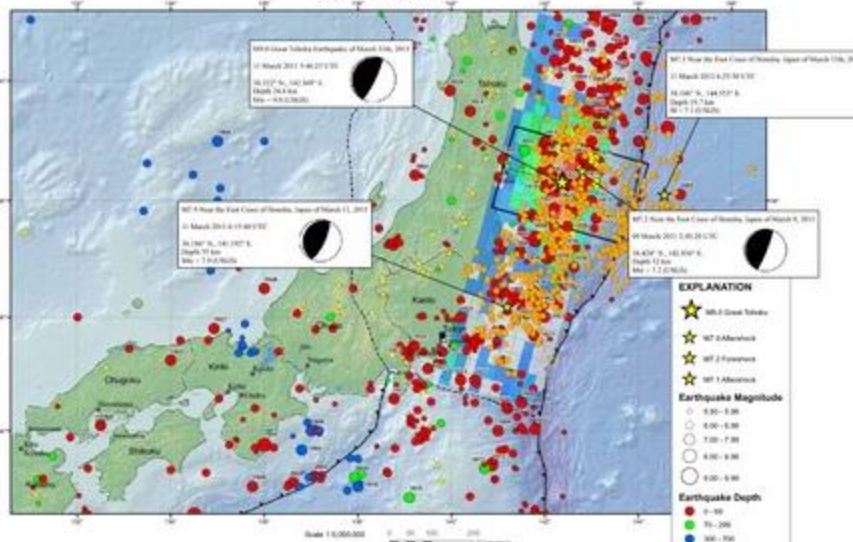
RELATIVE PLATE MOVEMENT
Scale 1:20,000,000
The red vector represents the motion of the Pacific Plate relative to the Philippine Plate, and the Philippine Plate relative to the North American Plate. The vector of the Pacific Plate is generally 60 cm/yr north-southward with respect to the Philippine Plate. The vector of the Philippine Plate is generally 40 cm/yr north-southward with respect to the North American Plate.

Seismic Hazard



Scale 1:20,000,000
Peak Ground Acceleration in m/s²
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 100

Epicentral Region



EXPLANATION

- ★ M9.0 Great Tohoku
- ★ M7.0 Aftershock
- ★ M7.2 Fore shock
- ★ M7.1 Aftershock

Earthquake Magnitude

- ★ 9.0 - 9.99
- ★ 8.00 - 8.99
- ★ 7.00 - 7.99
- ★ 6.00 - 6.99
- ★ 5.00 - 5.99

Earthquake Depth

- ★ 0 - 99
- ★ 10 - 200
- ★ 300 - 700
- ★ Aftershocks
- ★ Fore shocks

EXPLANATION

- ★ M9.0 Great Tohoku
- ★ M7.0 Aftershock
- ★ M7.2 Fore shock
- ★ M7.1 Aftershock

Mag ≥ 7.0

- ★ 0 - 99 km
- ★ 10 - 200
- ★ 300 - 600

Plate Boundaries

- Subduction
- Transform
- Divergent
- Others

M9.0 GREAT TOHOKU TECTONIC SUMMARY

The magnitude 9.0 Tohoku earthquake on March 11, 2011, which occurred near the northeast coast of Honshu, Japan, resulted from thrust faulting on or near the subduction zone plate boundary between the Pacific and North American plates. At the latitude of this earthquake, the Pacific plate moves approximately westward with respect to the North American plate at a rate of 8.5 cm/yr, and begins to subduct beneath Japan at the Japan Trench. Near the same latitude this region is also marked by a transform fault that defines the relative motions between the larger Pacific, North American and Eurasian plates. These include the Okhotsk and Aomori microplates that are respectively part of North America and Eurasia.

The March 11 earthquake was preceded by a series of large earthquakes over the previous two days, beginning on March 9 with a M 7.2 event approximately 40 km from the epicenter of the March 11 earthquake, and continuing with another three earthquakes greater than M 6 on the same day.

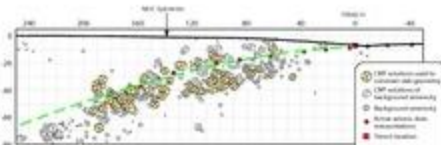
The Japan Trench subduction zone has hosted two events of magnitude 7 or greater since 1975. The largest of these, a M 7.9 earthquake approximately 200 km to the north of the March 11 epicenter, caused 3 fatalities and almost 700 injuries in December 1994. In June of 1976, a M 7.5 earthquake 70 km to the southwest of the March 11 epicenter caused 22 fatalities and over 400 injuries. Large shallow earthquakes have occurred on the same subduction zone in 1615, 1896 and 1953 that each produced devastating tsunami waves on the Pacific coast of Pacific 700 Japan. That coastline is particularly vulnerable to tsunami waves because it has many deep isolated embayments that amplify tsunami waves and cause great wave inundations. The M 7.0 subduction earthquake of 1956 created tsunami waves as high as 10 m and a reported death toll of 22,000. The M 9.0 earthquake of March 11, 2011 produced tsunami waves as high as 20 m on the Pacific coast and caused more than 3000 fatalities.

The March 11, 2011 earthquake was an infrequent catastrophe. It far surpassed other earthquakes in the western Japan Trench of the 20th century, most of which attained M 8. A predecessor may have occurred on July 13, 1691, when the failure area was swept by a large tsunami that Japanese scientists have identified from written records and a wood block.

Significant Earthquake Mag = 7.0

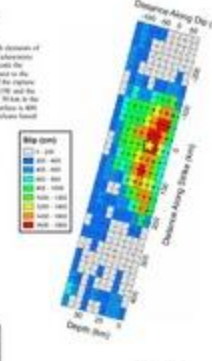
Year	Mag	Time	Lat	Long	Depth
1875	7.0	08:19:23	36.500	142.200	20
1904	7.2	12:45:00	36.500	142.200	20
1909	7.1	14:02:00	36.500	142.200	20
1912	7.1	07:24:00	36.500	142.200	20
1923	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1927	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1931	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1933	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1935	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1938	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1940	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1942	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1944	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1946	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1948	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1950	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1952	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1954	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1956	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1958	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1960	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1962	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1964	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1966	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1968	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1970	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1972	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1974	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1976	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1978	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1980	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1982	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1984	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1986	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1988	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1990	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1992	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1994	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1996	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
1998	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
2000	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
2002	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
2004	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
2006	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
2008	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
2010	7.0	02:04:00	36.500	142.200	20
2011	9.0	05:46:23	38.319	142.603	24

Depth Profile



Finite Fault Model

Description of the magnitude and distance of slip for each block element of the fault rupture model are depicted from the orientation of subvertical block boundaries and long period surface waves. Arrows indicate the magnitude and direction of slip for the hanging wall with respect to the slip on the slip surface adjacent to magnitude. The sense of the rupture plane is shown above. The strike of the fault rupture plane is N100W and the dip is 8.6W. The dimensions of the rupture surface is 400 km in the strike direction and 20 km in the dip direction. The rupture surface is 400 km long strike and 20 km dip direction. The seismic rupture extent is 400 km strike and 20 km dip.



PAGER

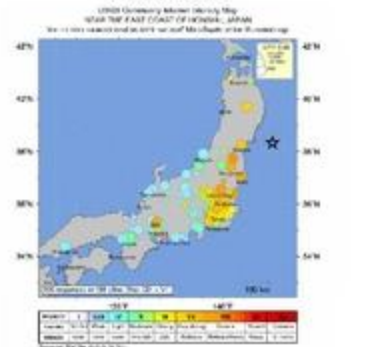
U.S. GEOLOGICAL SURVEY
U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
U.S. GEOLOGICAL SURVEY

Estimated Fatalities
Estimated Economic Losses
Estimated Population Exposed to Earthquake Shaking

Estimated City Exposure

U.S. GEOLOGICAL SURVEY
U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
U.S. GEOLOGICAL SURVEY

Did You Feel It?



DATA SOURCES

U.S. GEOLOGICAL SURVEY
U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
U.S. GEOLOGICAL SURVEY

REFERENCES

U.S. GEOLOGICAL SURVEY
U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
U.S. GEOLOGICAL SURVEY