



# Projekt Erdbebenfrühwarnung im SoSe 2011



## Entwicklung verteilter echtzeitfähiger Sensorsysteme



Joachim Fischer  
Klaus Ahrens  
Ingmar Eveslage

[fischer|ahrens|eveslage@informatik.hu-berlin.de](mailto:fischer|ahrens|eveslage@informatik.hu-berlin.de)

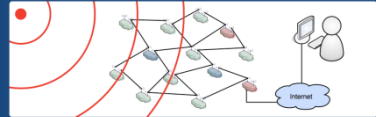


EDIM

SOSEWIN-extended



Systemanalyse



# Ausbildungsinhalte

Dienstag, 11.15 Uhr  
R 4.112

Erdbeben

Eingebettete Echtzeitsysteme  
Maschennetzwerke

Modellierung von  
Echtzeitsystemen

Simulation/Codegenerierung/  
Test

Donnerstag, 11.15 Uhr  
R 4.112

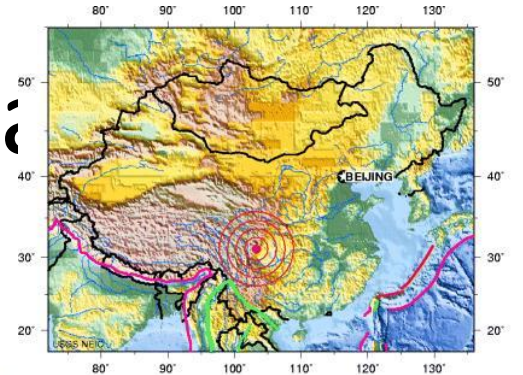
Objective-C erlernen

- ▶ Memory Management
- ▶ Multithreading, Blocks & GCD
  - mit xcode arbeiten
  - Frameworks kennenlernen:
- ▶ Foundation
- ▶ Protocols, Views und View Controllers
- ▶ Gestures, UI Kit
- ▶ Core Data, Core Location,  
Core Motion, Map Kit, Media

Dienstag, 13.00 Uhr  
R 4.112

**Praktikum:** Service-Entwicklung  
Applikationen für iPhone (und iPad) bauen

# Erdbeben und Zivilisa



EASTERN SICHUAN, CHINA  
2008 05 12 06:28:00 UTC 31.10N 103.28E Depth: 10.0 km, Magnitude: 7.9  
Earthquake Location



Sichuan,  
China, 2008

Schweres Beben, dauerte knappe 1,5 min



# Wenn die Erde stärker bebt, ...

werden ganze Städte zerstört.



5,8 Mill Obdachlose durch das Sichuan-Beben

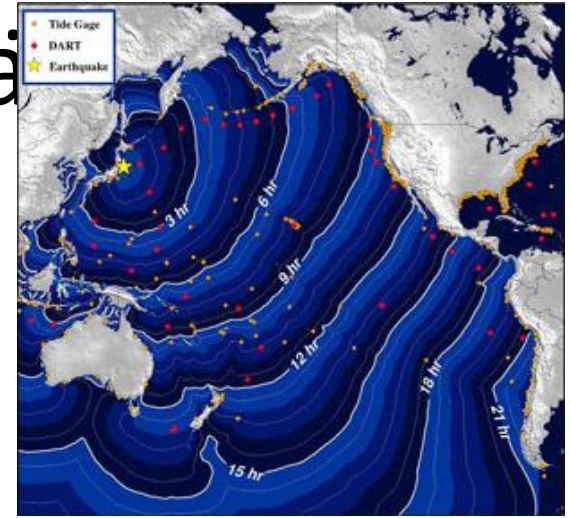
Quelle  
**GFZ**  
Helmholtz-Zentrum  
POTSDAM



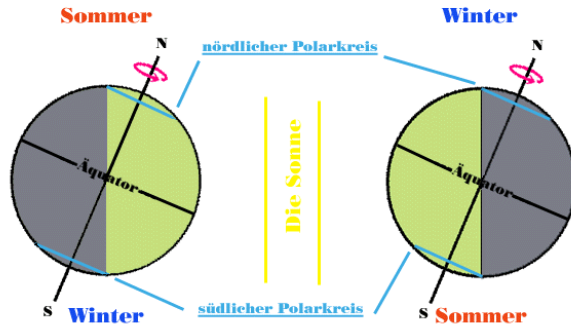
# Die Nachfolgeschä

## Schweres Beben in Japan

Infrastruktur des Landes empfindlich getroffen



# Erdbeben und Erdrotation



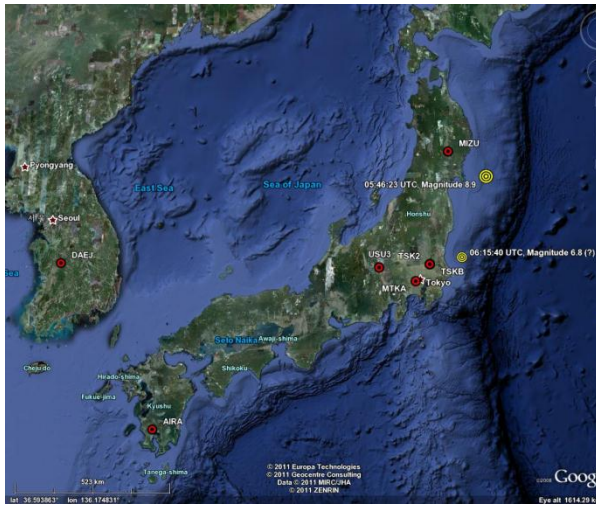
Die Neigung der Erdachse beträgt etwa 23,3 Grad. Dieser Wert ist nicht fest, sondern schwankt auf großen Zeitskalen von etwa 40 000 Jahren um ein Grad. Darüber hinaus gibt es Störungen durch Sonne, Mond und den großen Planeten, die auch kurzfristig - im Jahresverlauf - Schwankungen in der Größenordnung von zehn Metern erzeugen.

Erdbeben können nun zusätzliche Störungen hervorrufen:

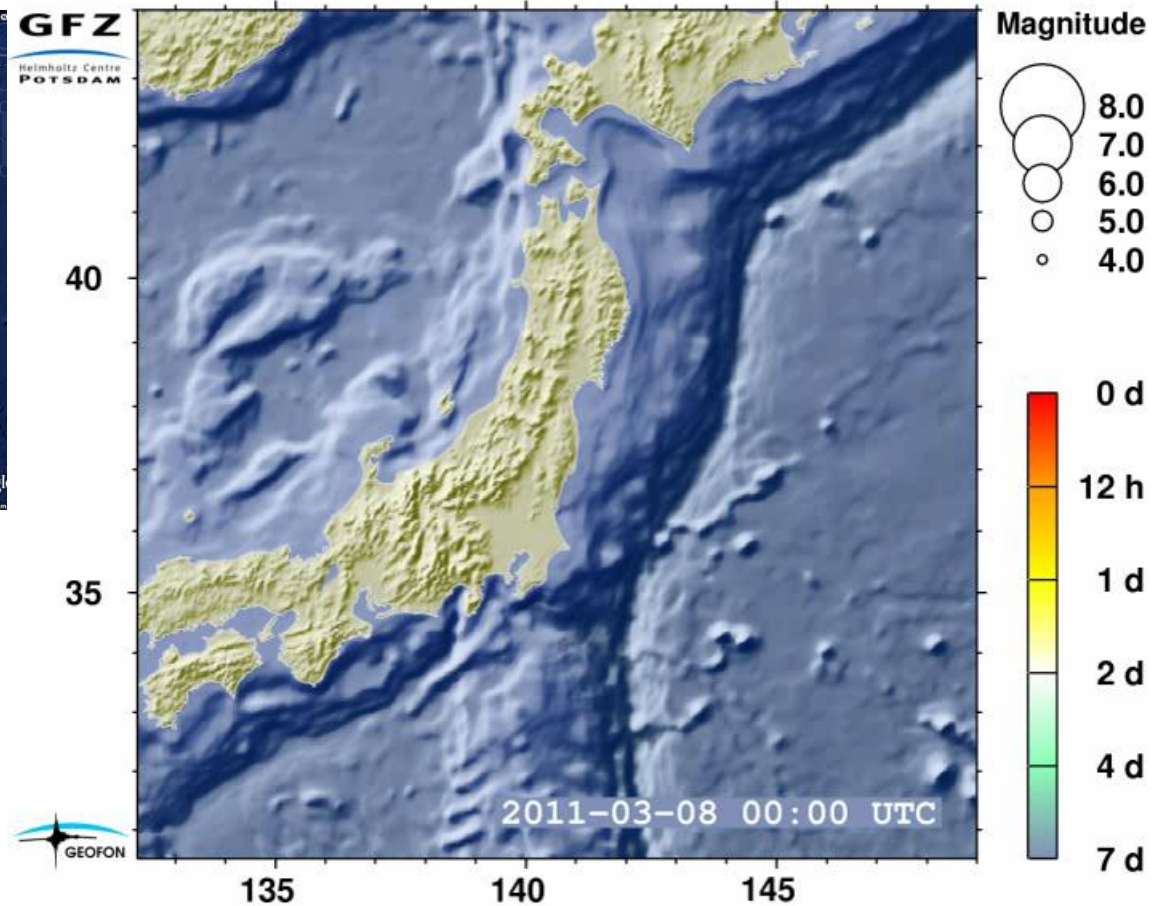
- Das Beben von Japan hat die Erdachse wohl um etwa zehn Zentimeter verschoben. Damit bewirkte diese Naturkatastrophe die stärkste Verschiebung der Erdachse seit knapp 50 Jahren
  - Hinzu kommt auch eine Verschiebung der japanischen Hauptinseln um 2,4 Meter.
  - Das Beben von Chile im vergangenen Jahr brachte es auf eine Neigungsänderung von acht Zentimetern.
- diese Änderungen fallen in den natürlichen Schwankungszyklen kaum auf



# Wandernde Nachbeben



hunderte Nachbeben,  
über einen ganzen Monat  
verteilt





# Yokohama-Beben, 1923

140.000 Tote (die meisten sind verbrannt)



# Erdbeben im Experiment

Quelle: ZDF-Reihe „Terra-X“ vom 7.9.2008



# Die Richter-Skala

Im Schnitt mehr als **9.000** Beben pro Tag,  
die meisten spürt man nicht.

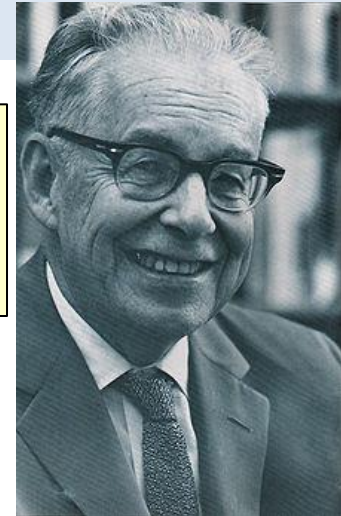
Es ist nützlich,  
die Stärke eines Bebens anzugeben.

**Aber wie?**  $M_L = \log_{10} A_{max} - A_0$

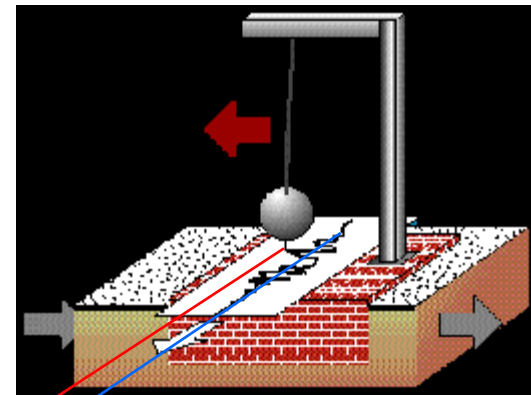
= 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, ...

1000 mal stärker

wobei  $A_{max}$  den maximalen Ausschlag (in  $\mu\text{m}$ ) angibt,  
mit der ein kurzperiodisches Standardseismometer  
(Wood-Anderson Seismograph) ein Beben in einer  
Entfernung  
von 100 km zum Epizentrum aufzeichnen würde.



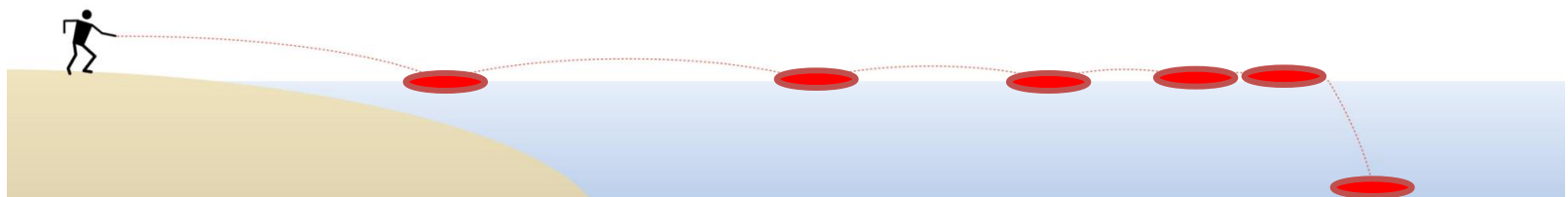
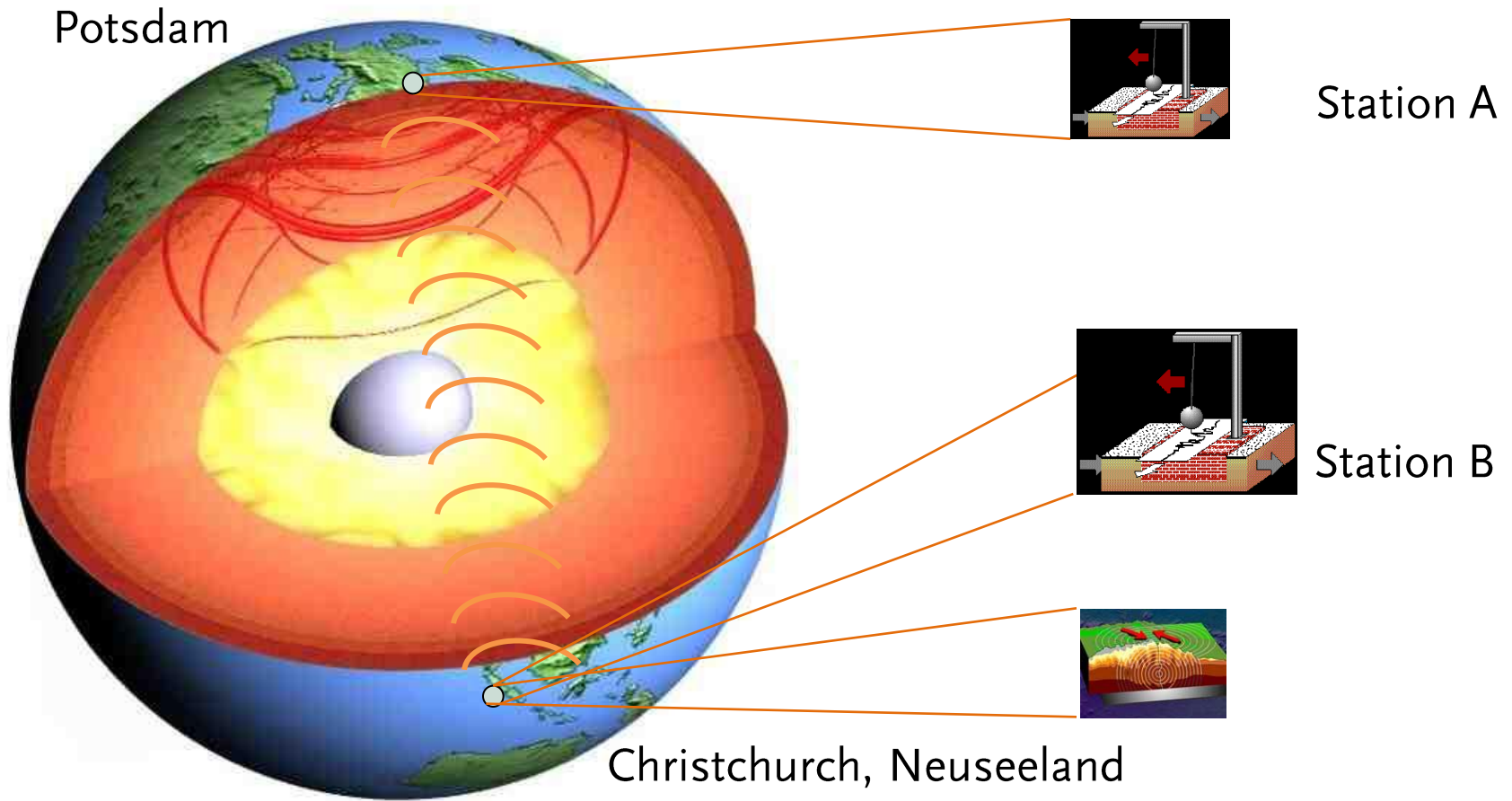
Charles Francis Richter  
1900 - 1985



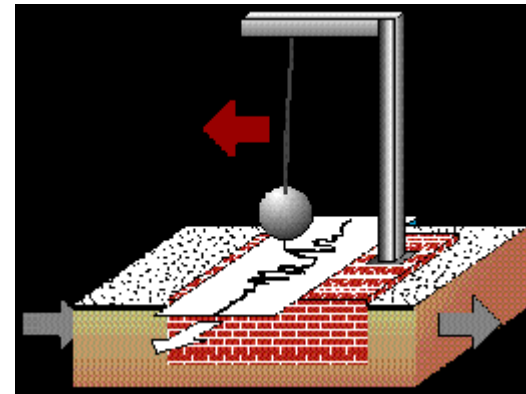
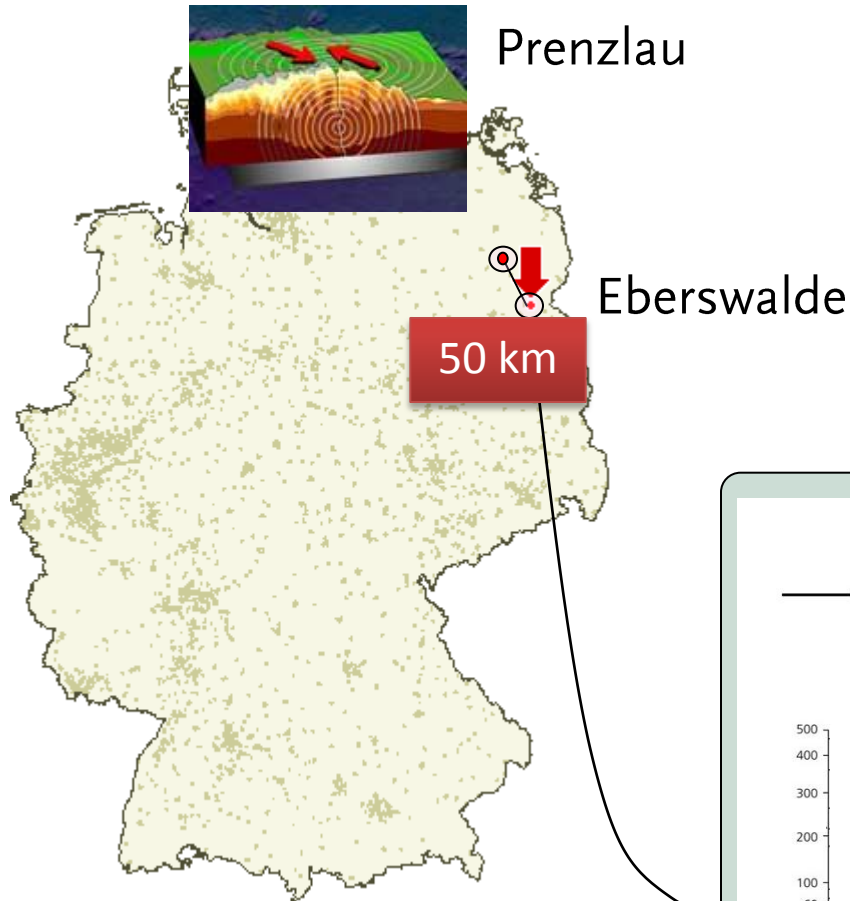
$(A_{max}$  in  $\mu\text{m}$ )



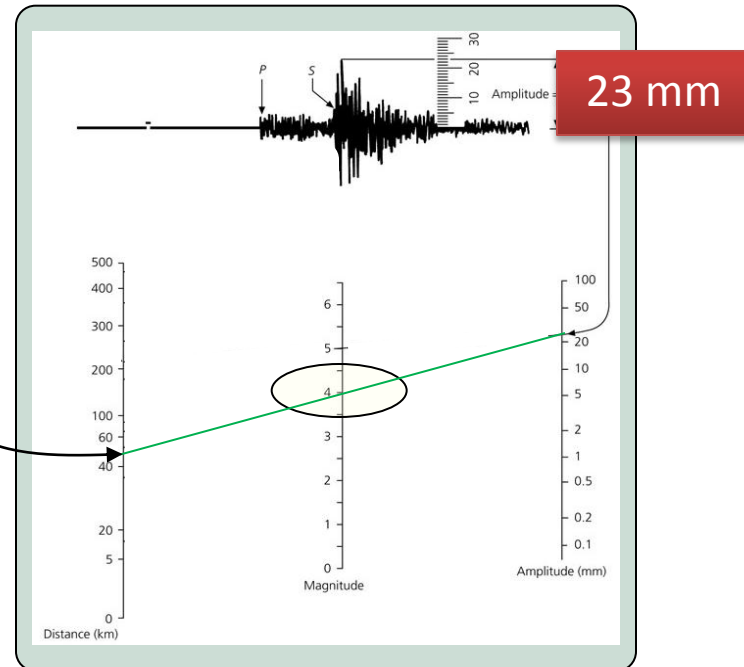
# Erschütterungswellen



# Welche Stärke hat das 1. Beben?

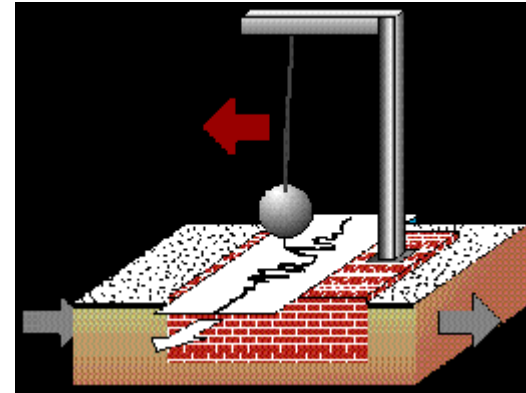


23 mm Auslenkung

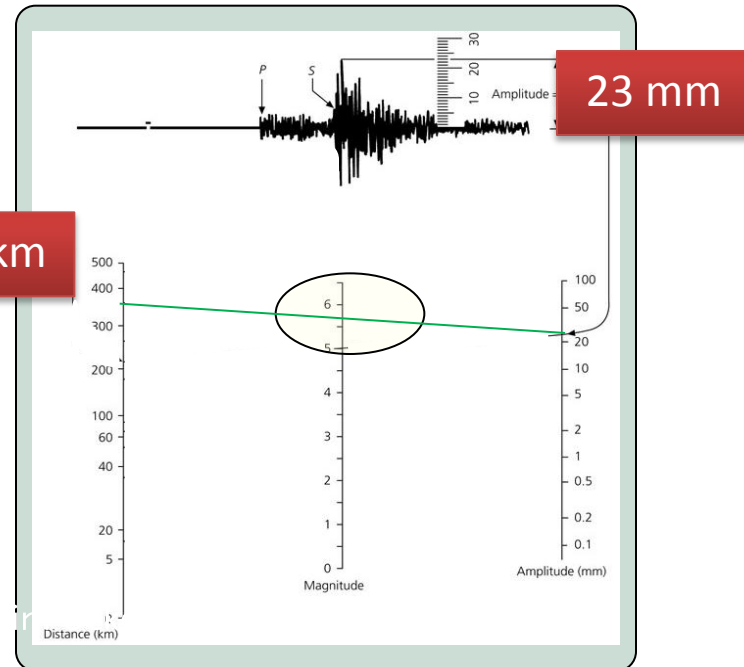


Das Beben in Prenzlau hätte  
die Stärke 4

# Welche Stärke hat das 2. Beben?



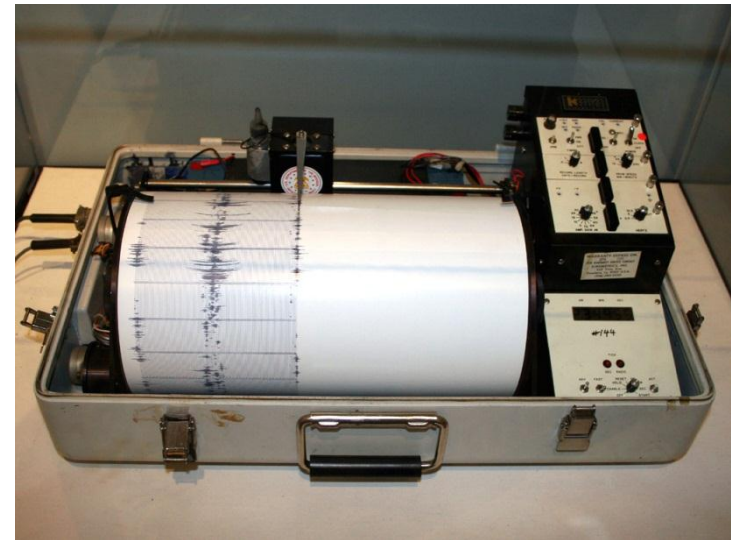
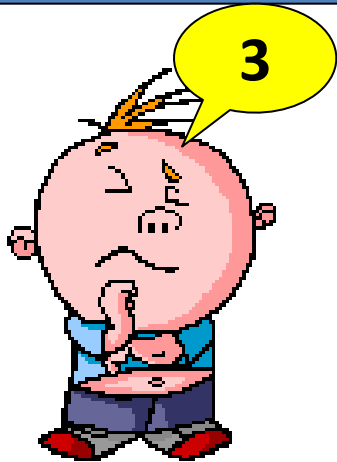
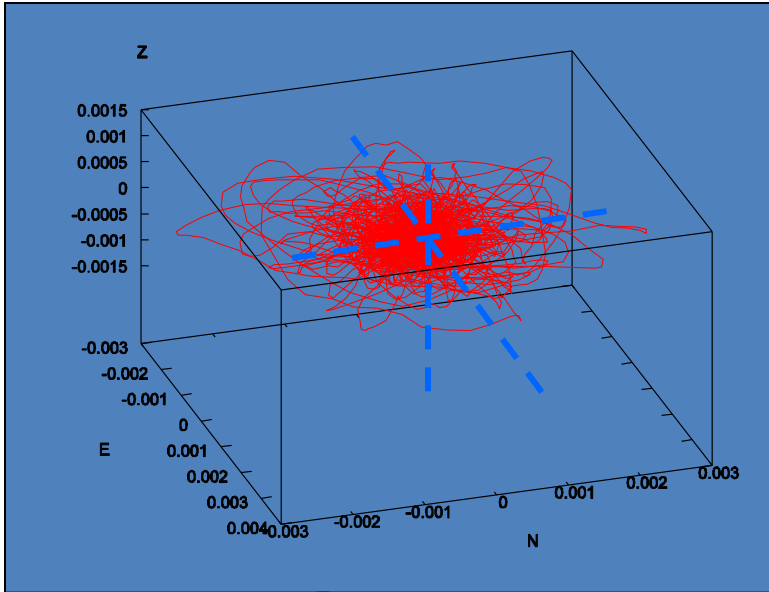
23 mm Auslenkung



Das Beben in Bremerhaven hätte  
die Stärke 5.6



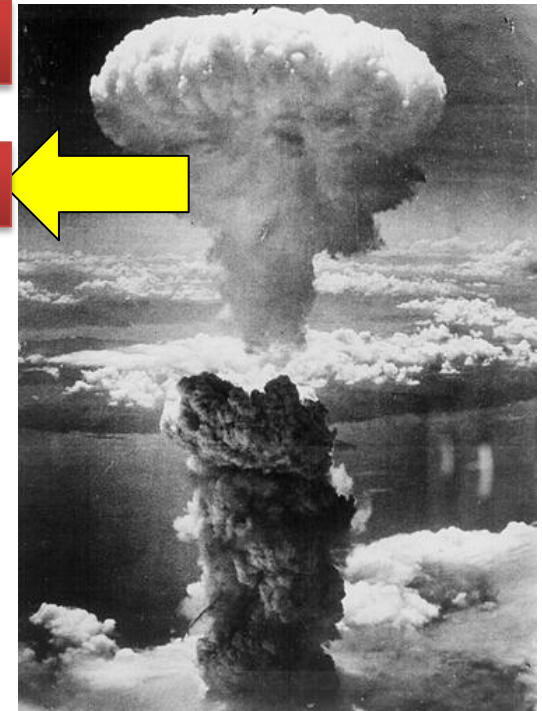
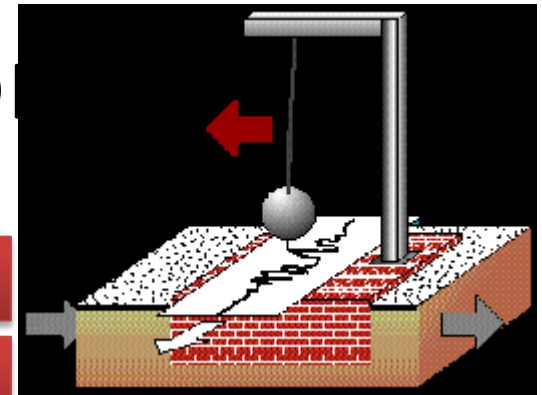
# Seismometer



# Stärke und Anzahl von

|                     | Magnitude         | Wahrnehmung | Häufigkeit   |
|---------------------|-------------------|-------------|--------------|
| mikro               | 1-2               |             | 8.000 am Tag |
| extrem leicht       | 3-4               |             | 1.000 am Tag |
| leicht              | 4-5               |             | 150 am Tag   |
| mittel              | 5-6               |             | 800 pro Jahr |
| stark               | 6-7               |             |              |
| groß                | 7-8               |             |              |
| sehr groß           | 8-9               |             |              |
| extrem groß         | 9-10              |             |              |
| globale Katastrophe | <sup>15</sup> >10 |             |              |

(Quelle:  
Stein & Wysession, 2003)

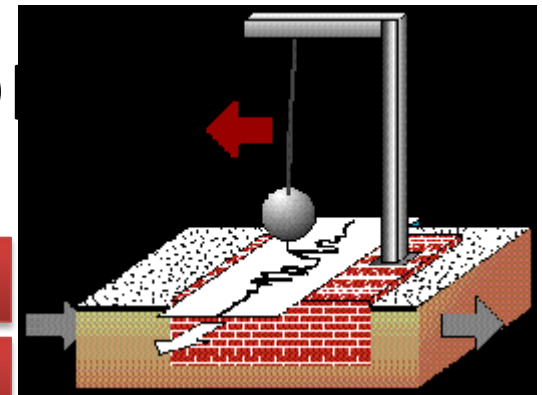


Hiroshima-Atombombe

# Stärke und Anzahl von

|                     | Magnitude                   | Wahrnehmung   | Häufigkeit          |
|---------------------|-----------------------------|---|---------------------|
| mikro               | <b>1-2</b>                  | nur mit Messinstrumenten nachweisbar                                      | <b>8.000 am Tag</b> |
| extrem leicht       | <b>3-4</b>                  | nur in der Nähe spürbar   | <b>1.000 am Tag</b> |
| leicht              | <b>4-5</b>                  | 30 Kilometer um das Bebenzentrum herum spürbar, manchmal kleinere Schäden | <b>150 am Tag</b>   |
| mittel              | <b>5-6</b>                  | Todesopfer und deutliche Gebäudeschäden möglich                           | <b>800 pro Jahr</b> |
| stark               | <b>6-7</b>                  | katastrophalen Schäden  | <b>120 pro Jahr</b> |
| groß                | <b>7-8</b>                  |   |                     |
| sehr groß           | <b>8-9</b>                  |   |                     |
| extrem groß         | <b>9-10</b>                 |   |                     |
| globale Katastrophe | <sup>16</sup> <b>&gt;10</b> |   |                     |

(Quelle:  
Stein & Wyssession, 2003)





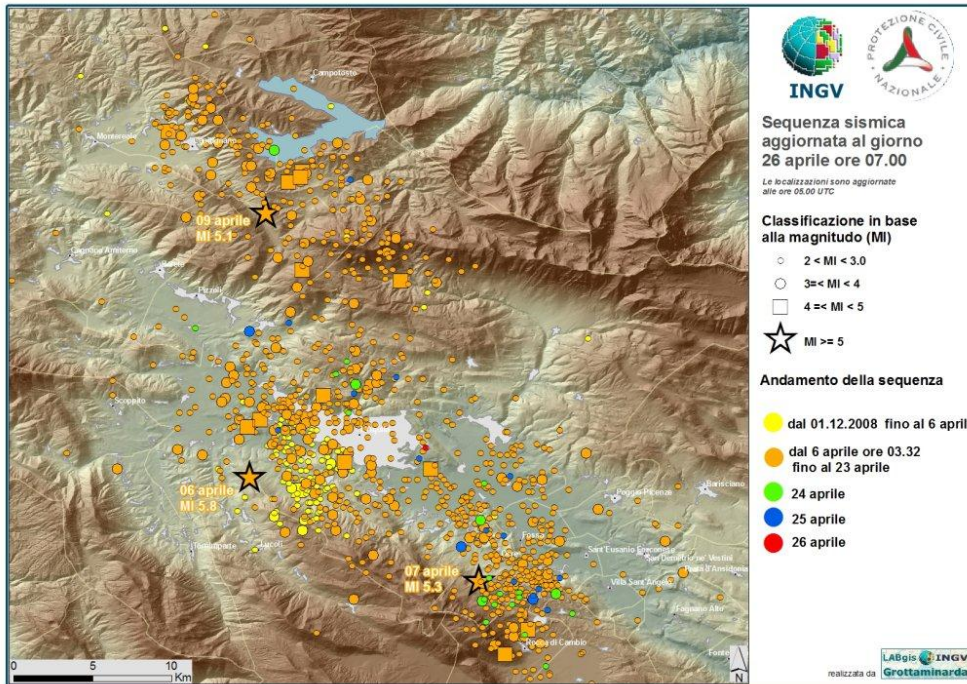
# Das letzte Beben in Europa: **Stärke 6.3**



6 April 2009



**Castelnovo (AQ)**

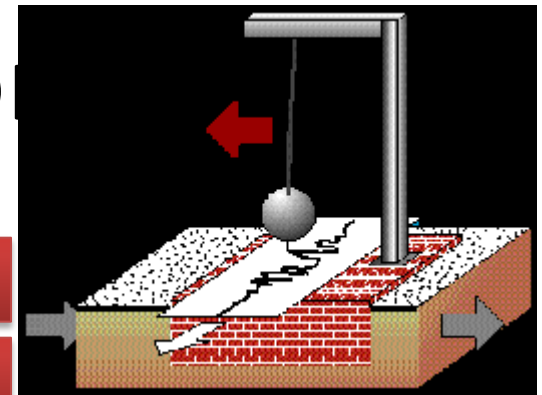


**~ 32 km vom Epizentrum entfernt**

# Stärke und Anzahl von

|                     | Magnitude                   | Wahrnehmung   | Häufigkeit          |
|---------------------|-----------------------------|---|---------------------|
| mikro               | <b>1-2</b>                  | nur mit Messinstrumenten nachweisbar                                      | <b>8.000 am Tag</b> |
| extrem leicht       | <b>3-4</b>                  | nur in der Nähe spürbar   | <b>1.000 am Tag</b> |
| leicht              | <b>4-5</b>                  | 30 Kilometer um das Bebenzentrum herum spürbar, manchmal kleinere Schäden | <b>150 am Tag</b>   |
| mittel              | <b>5-6</b>                  | Todesopfer und deutliche Gebäudeschäden möglich                           | <b>800 pro Jahr</b> |
| stark               | <b>6-7</b>                  | katastrophalen Schäden  | <b>120 pro Jahr</b> |
| groß                | <b>7-8</b>                  | Zerstörung über weite Gebiete   | <b>18 pro Jahr</b>  |
| sehr groß           | <b>8-9</b>                  |   | <b>1 pro Jahr</b>   |
| extrem groß         | <b>9-10</b>                 |   |                     |
| globale Katastrophe | <sup>18</sup> <b>&gt;10</b> |   |                     |

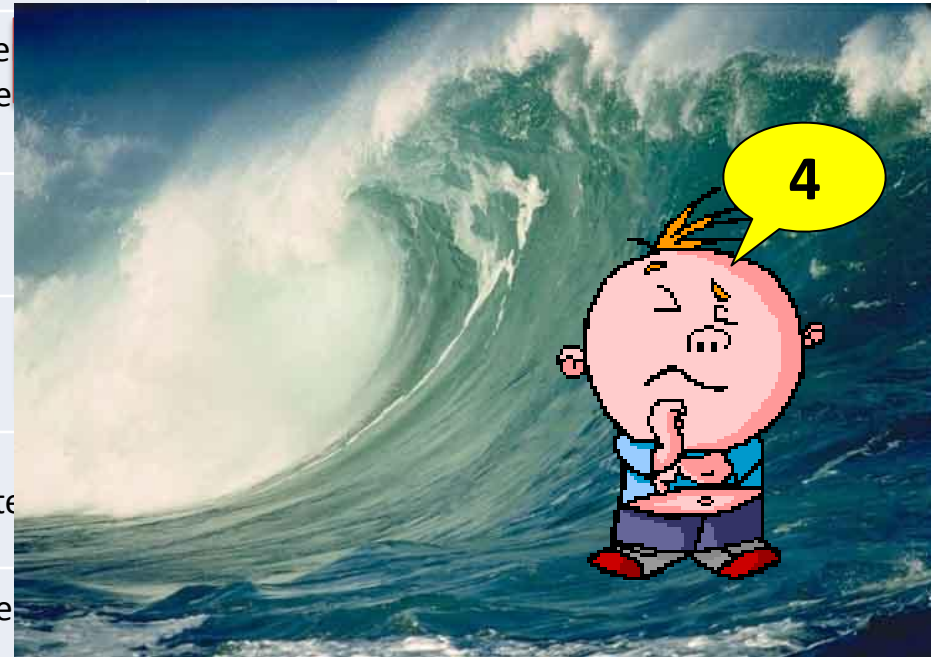
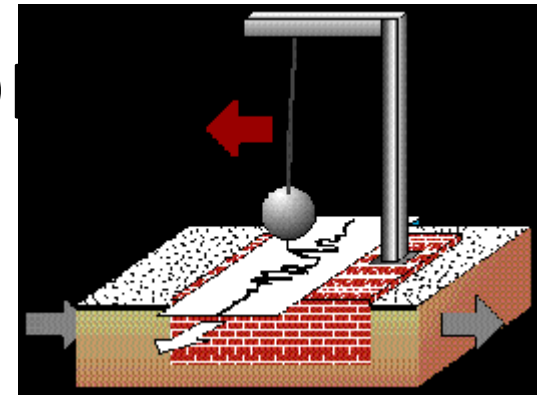
(Quelle:  
Stein & Wysession, 2003)





# Stärke und Anzahl von

|                     | Magnitude | Wahrnehmung   | Häufigkeit |
|---------------------|-----------|---|------------|
| mikro               | 1-2       | nur mit Messinstrumenten nachweisbar                                    |            |
| extrem leicht       | 3-4       | nur in der Nähe spürbar   |            |
| leicht              | 4-5       | 30 Kilometer um das Bebenzentrum herum spürbar, manchmal kleine Schäden |            |
| mittel              | 5-6       | Todesopfer und deutliche Gebäudeschäden möglich                         |            |
| stark               | 6-7       | katastrophalen Schäden  |            |
| groß                | 7-8       | Zerstörung über weite Gebiete   |            |
| sehr groß           | 8-9       | Zerstörung in Bereichen von mehreren hundert Kilometern                 |            |
| extrem groß         | 9-10      | Zerstörung in Bereichen von mehreren hundert Kilometern                 |            |
| globale Katastrophe | >10       |   |            |



alle 20 Jahre

Sumatra-Beben mit **Stärke von 9,1**  
drittstärkstes aufgezeichnetes  
 Beben in der Geschichte.

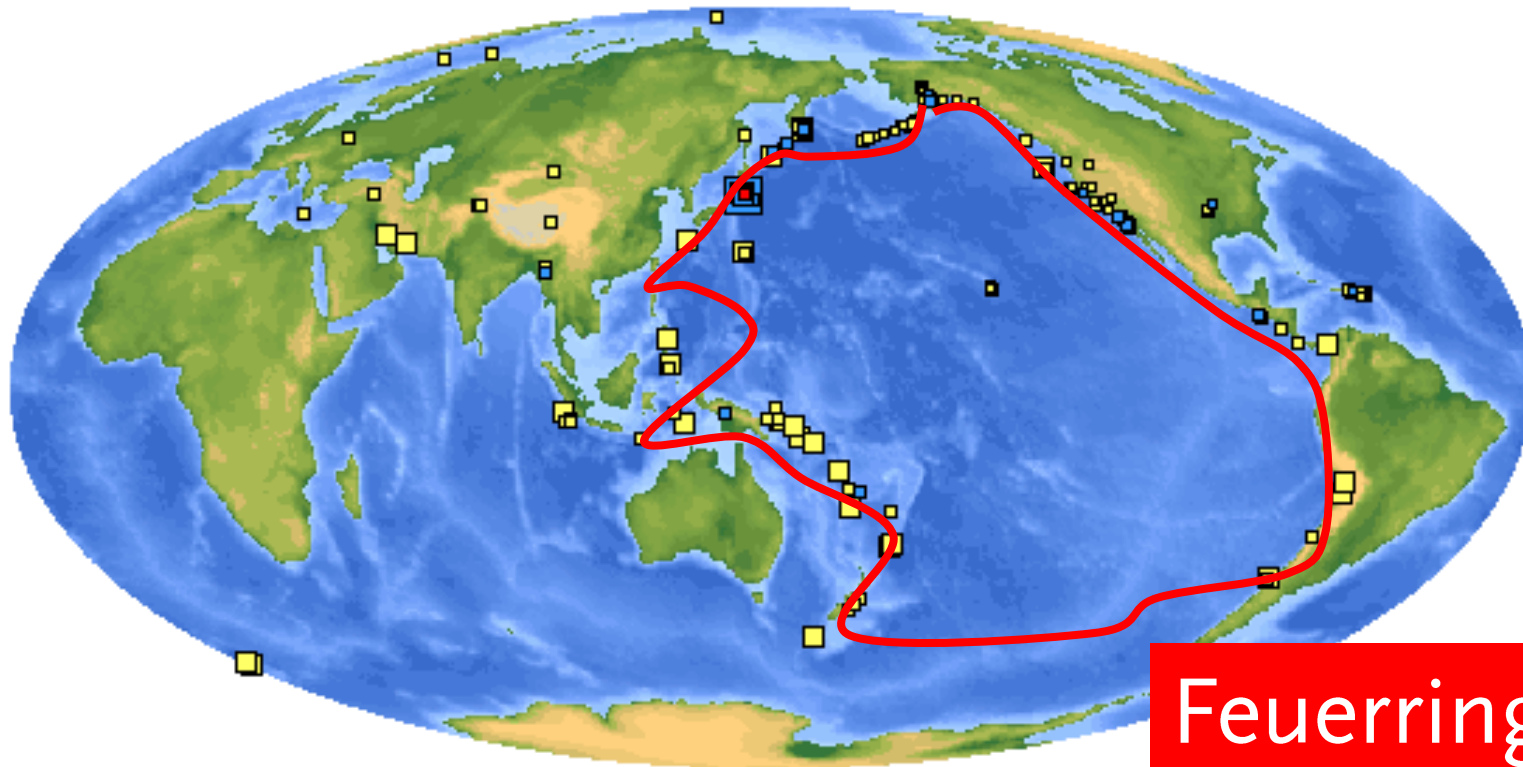
26. Dezember 2004

(Quelle:  
 Stein & Wysession, 2003)

# Weltweite Erfassung von Beben

Wed Mar 9 09:55:10 UTC 2011

223 earthquakes on this map



Feuerring



Quelle

<http://earthquake.usgs.gov>

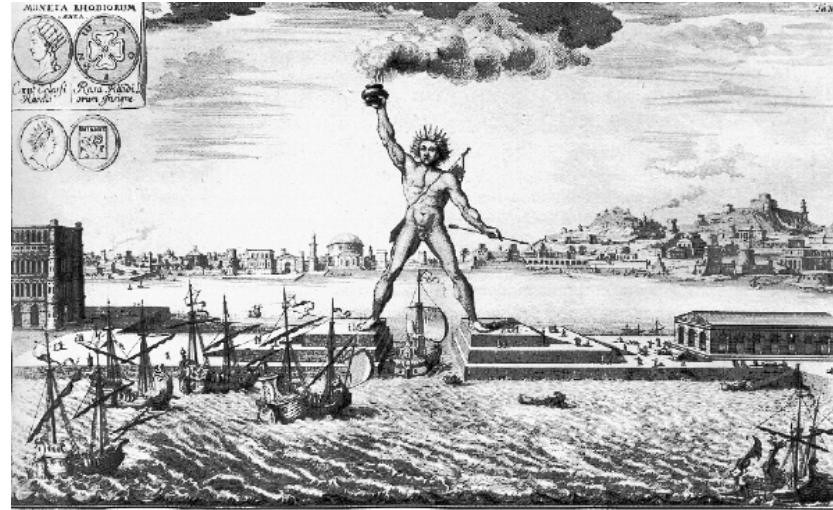


# Gab es schon immer Erdbeben?

Leuchtturm von Alexandria  
270 v. Chr



Pyramiden von Gizeh  
2500 v. Chr.



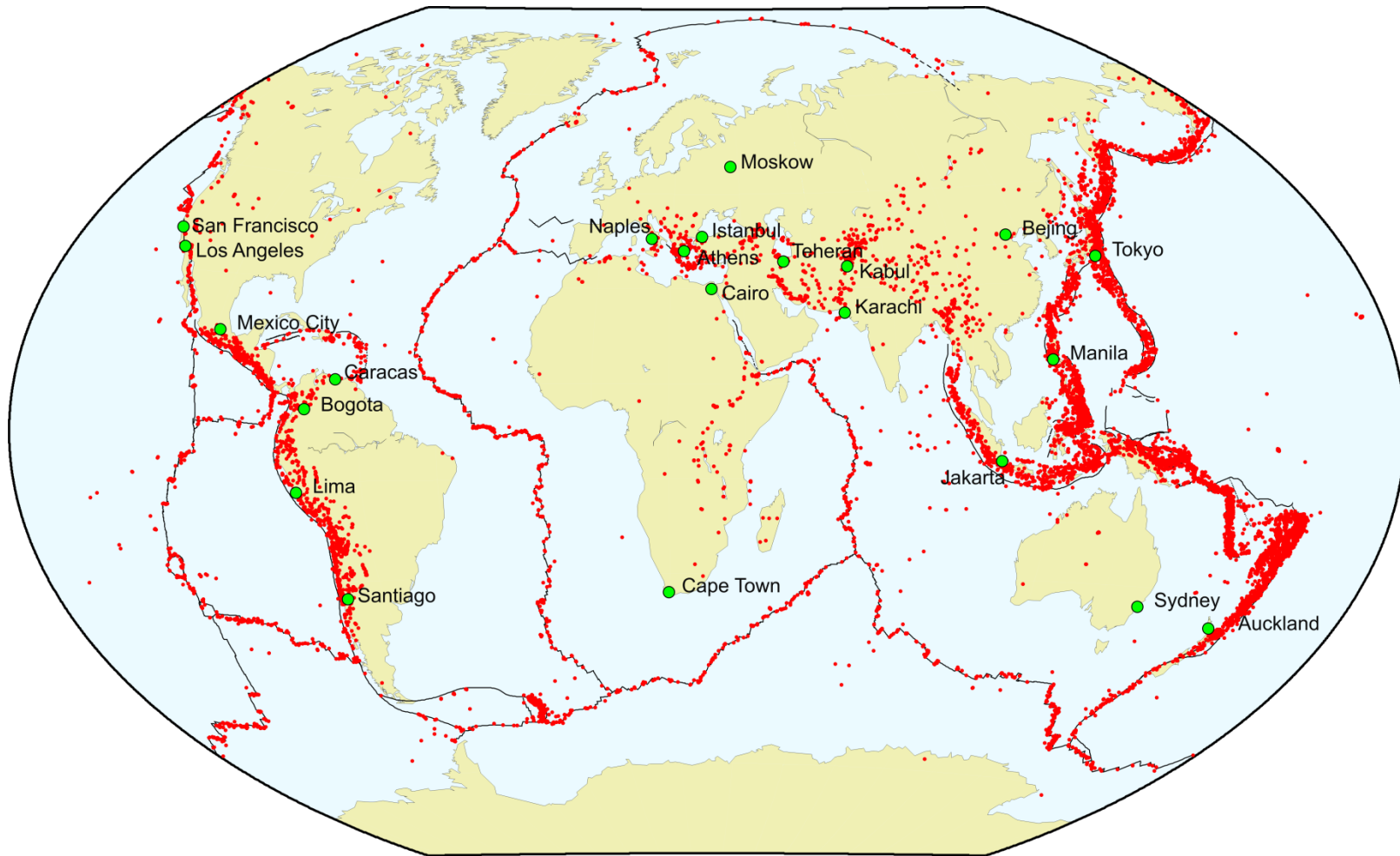
Koloss von Rhodos, 280 v. Chr.



Leuchtturm: zerstört durch Erdbeben 1303 und 1323

Koloss: zerstört durch Erdbeben ( 224 v. Chr ),  
soll 33m hoch gewesen sein  
(Freiheitsstatue NY 46m)

# Gibt es überall Erdbeben ?



Grenzen tektonischer Platten, 9 große und viele viele kleine Platten

# Die bislang stärksten (gemessenen) Beben

1906 vor Ecuador, Stärke 8,

1952 Kamtschatka, Stärke 9,0

1960 Chile, Valdivia, Stärke 9,5

1964 Großes Alaska-Beben, Stärke 9,2

2004 Seebeben vor Sumatra, Stärke 9,1

2010 vor Maule, Chile, Stärke 8,8

2011 vor Fukushima, Japan, Stärke 9,0

# Bewegung der Erdteile



Alfred Wegener  
(1880 – 1930)

Vergleich von

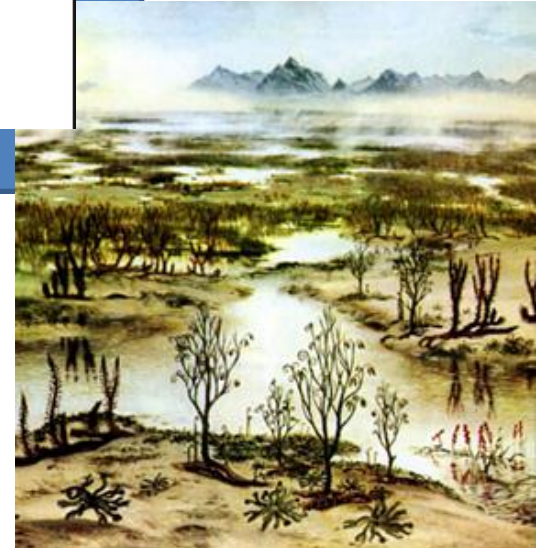
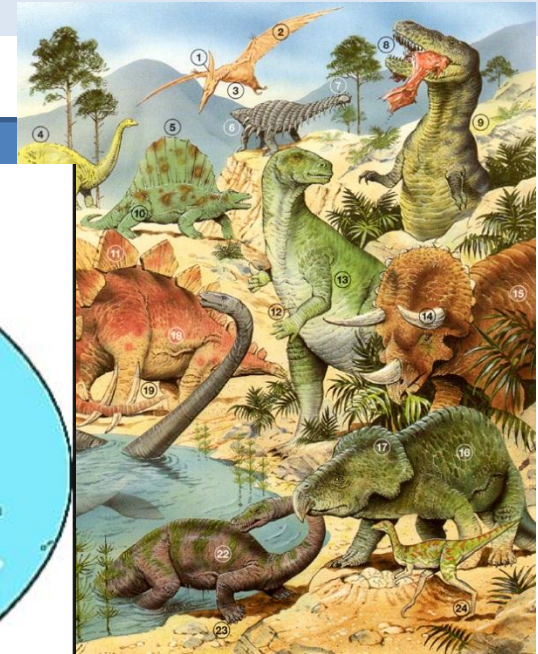
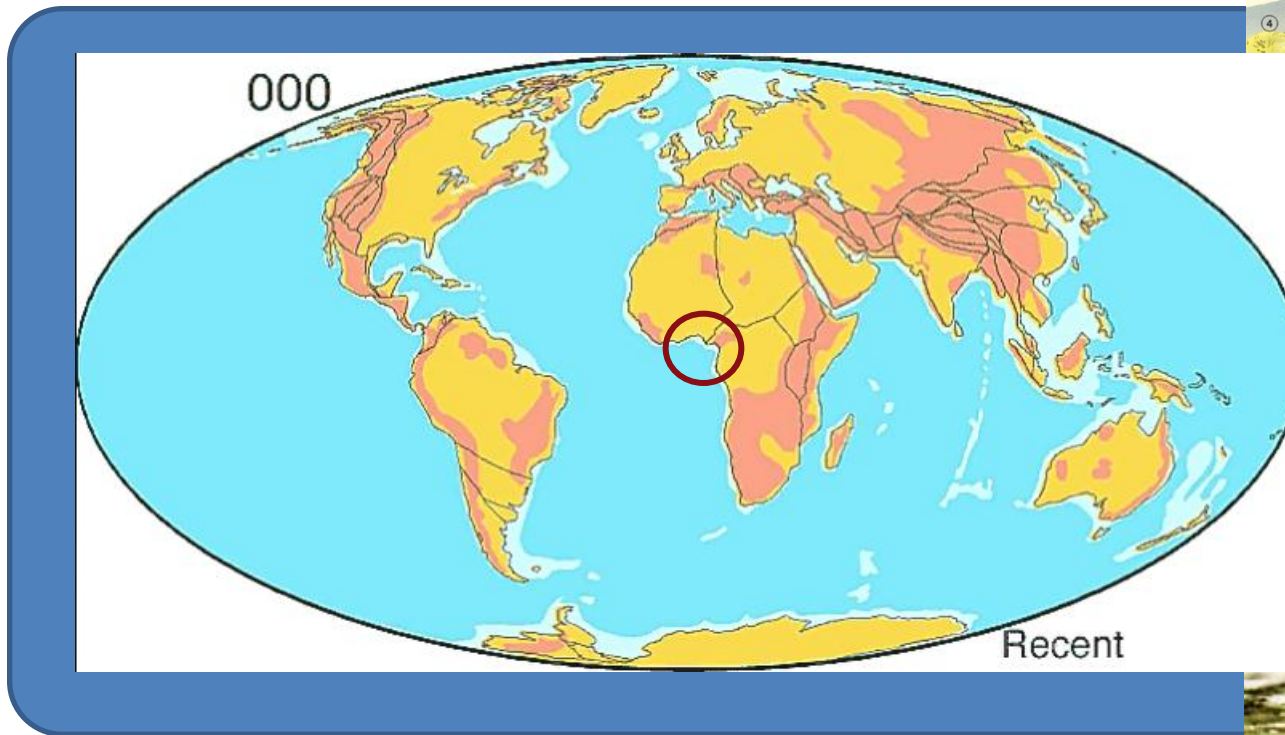
- Gesteinsarten und dem Alter Ihrer Entstehung,
- fossilen Pflanzen und von
- fossilen Tieren

1915  
Theorie eines Urkontinents

**Gondwana**



# Zeitreise: Wir drehen die Zeit zurück

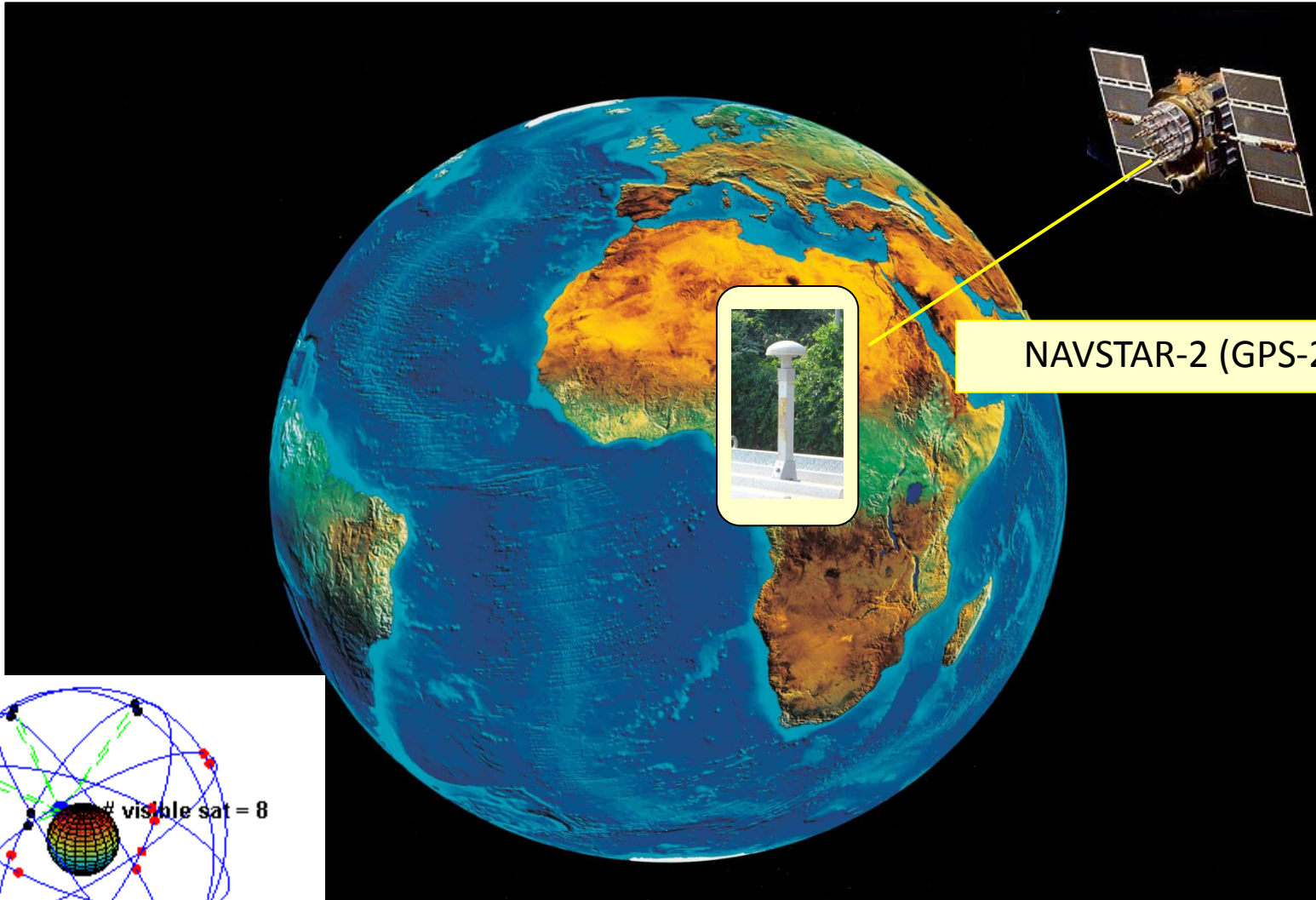


Vor 20 Mill Jahren gab es noch keine Menschen

**Aber wie sah die Erde vor 300 Mill Jahre aus ?**

Und wo lag Berlin ?

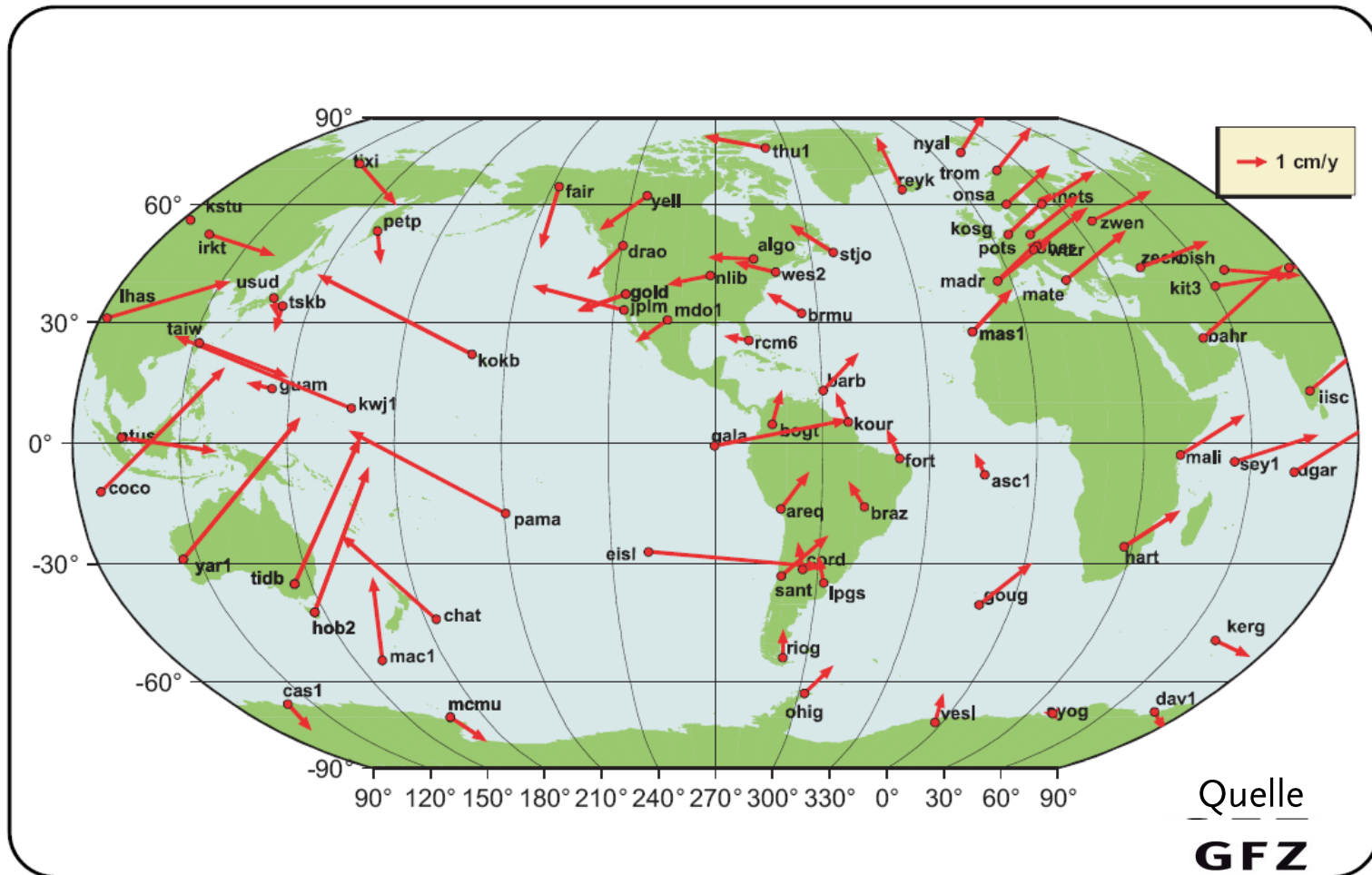
# Die Platten sind immer noch in Bewegung



32 Satelliten umkreisen ständig der Erde

# Sammlung von GPS-Daten

der letzten 7 Jahre



Quelle  
**GFZ**  
Helmholtz-Zentrum  
POTSDAM



# Wodurch entstehen Beben ?

Götter,  
die die Menschen für ihr lasterhaftes Leben bestrafen



Neptun(röm.)



Poseidon (griech.)



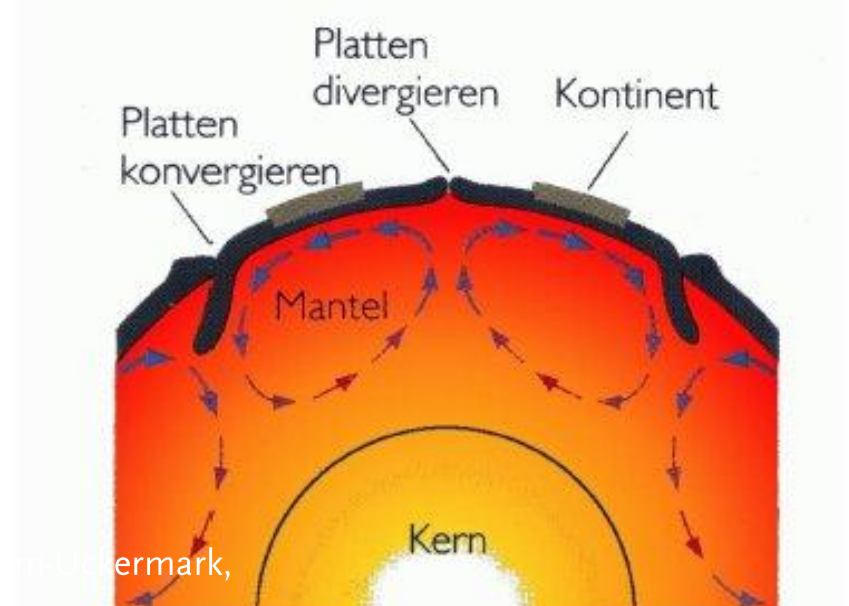
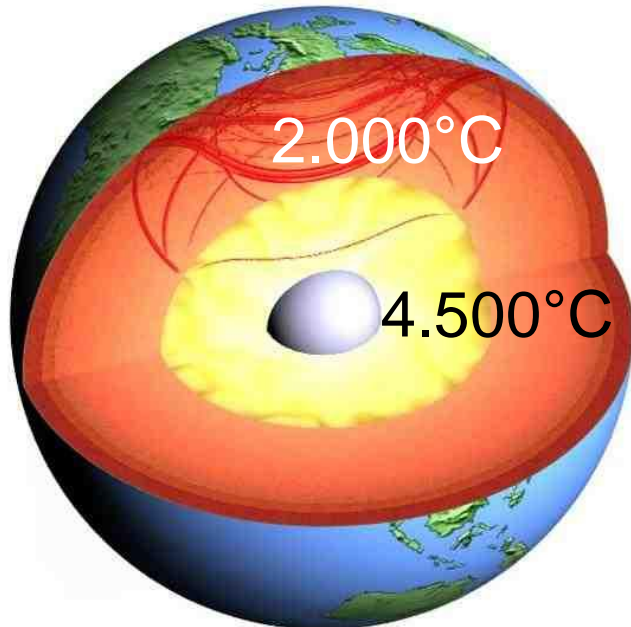
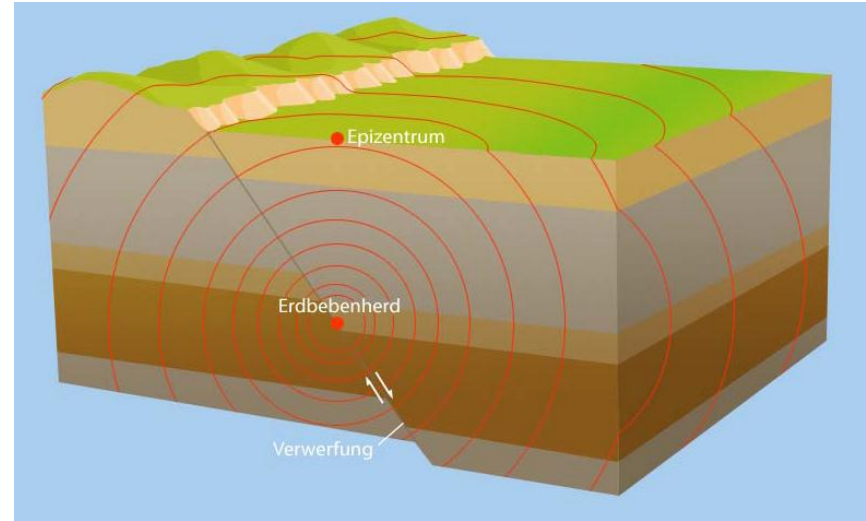
# Die Vorstellung im alten Japan

Japan zählt zu den am meisten gefährdeten Regionen der Welt.

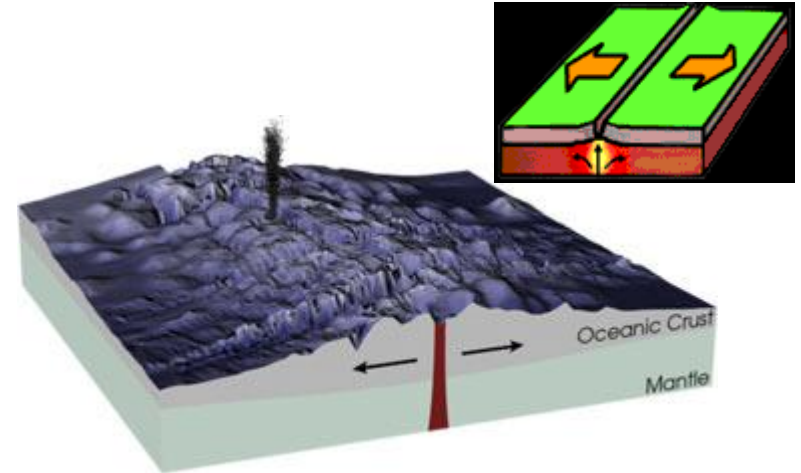
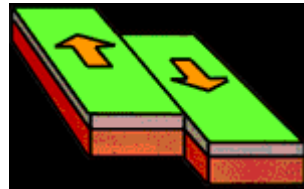
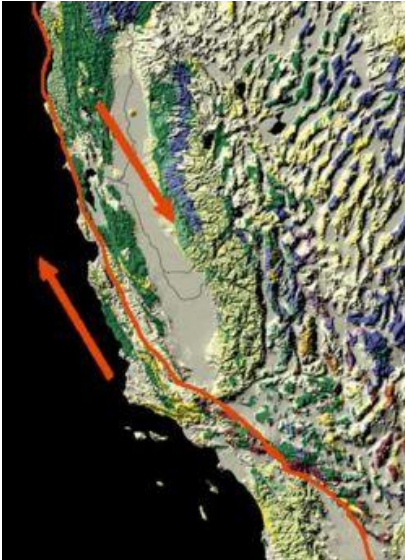


der Riesenwels Namazu

# Warum bewegen sich die Platten wirklich?

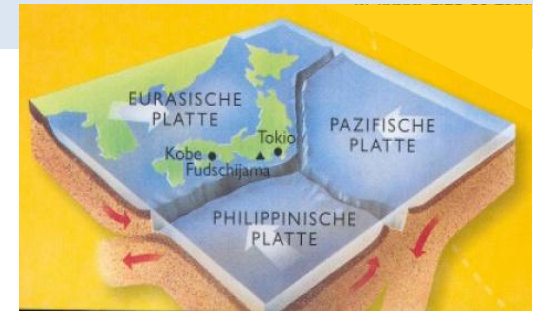


# Typische Bewegungsarten





# Verwerfungsarten



(Quelle: Tessloff-Verlag)

Japan hat ca 1500  
aktive Verwerfungen:  
400 schwere Beben  
in den letzten 1000 Jahren

## Abschiebungen

- sind Risse, bei denen ein Gesteinsblock nach unten rutscht und sich von dem anderen wegbewegt
- existieren meist in Gegenden, in denen eine Platte langsam zerrissen wird oder wo zwei Platten auseinanderdriften

## Horizontalverschiebungen

- sind Verwerfungen bei denen zwei Gesteinsblöcke horizontal aneinander vorbeigleiten.
- z.B.: St. Andreas Verwerfung in Kalifornien und die Nord-Anatolische Verwerfung in der Türkei

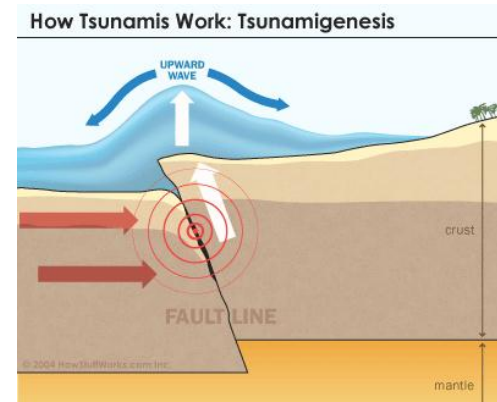
## Überschiebungen

- sind Verwerfungen bei denen ein Block auf einen anderen aufgleitet.
- kommen meist in Gegenden vor, wo zwei Platten gegeneinander geschoben werden

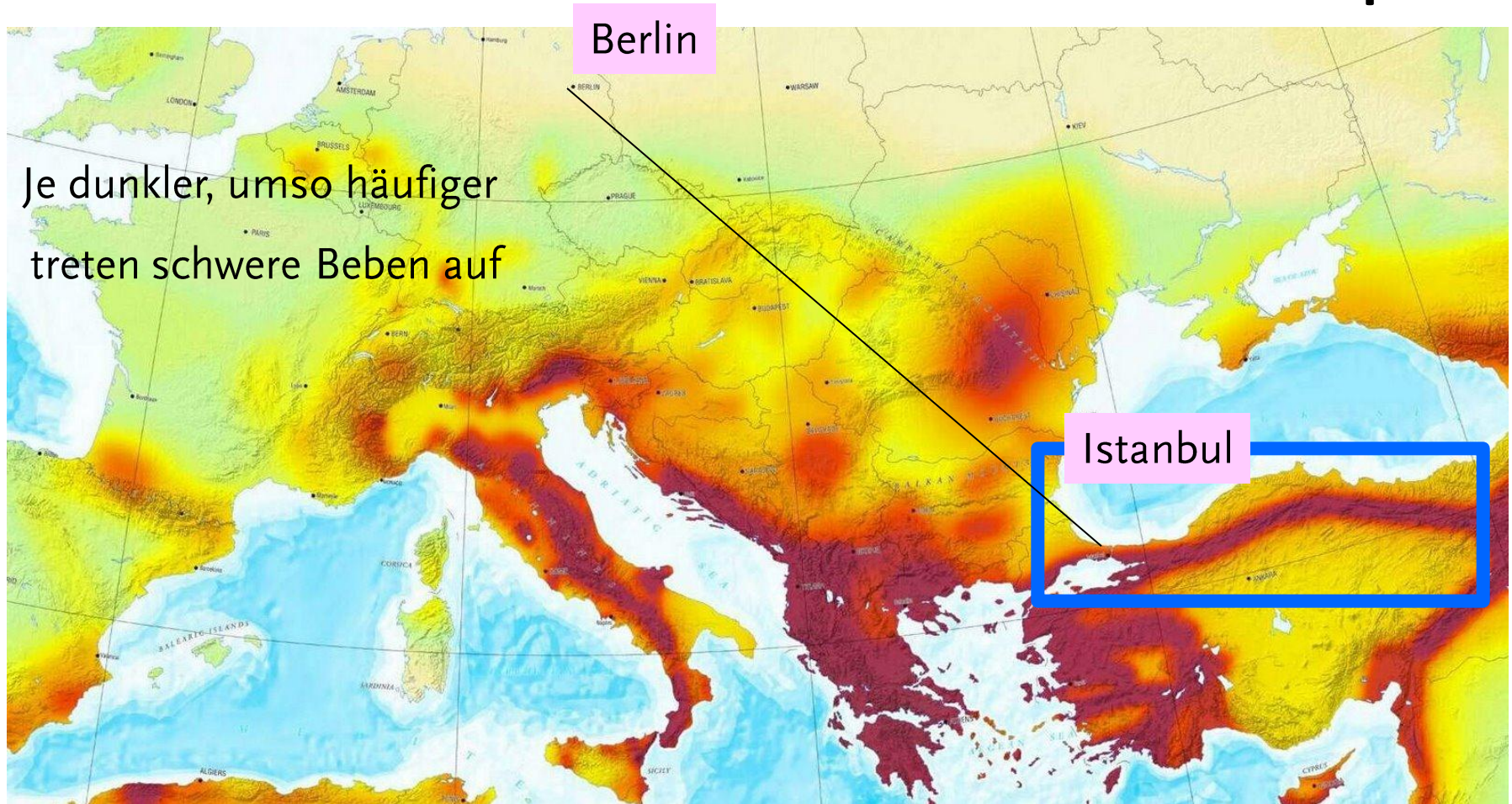


# Aulöser von Tsunamis

100 Mill. Euro hat das Frühwarnsystem gekostet.



# Erdbebenrisiko-Gebiete in Europa



Das Geoforschungsinstitut Potsdam spricht von einem "extremen Erdbebenrisiko".  
**20 Kilometer südlich von Istanbul** hätten sich große Spannungen in der Erdkruste aufgebaut.  
Die Geologen fürchten, dass im Marmarameer vor Istanbul eine Strecke von 120 Kilometern parallel zur Küste auf einmal brechen könnte. Das könnte ein Beben der Stärke 7,6 erzeugen.

Quelle



<http://www.saferproject.net>



# Die Hagia Sofia



## Zerstörungen der Kuppel durch Erdbeben

558 Einsturz (5 Jahre nach Fertigstellung)

989 und 1346 starke Beschädigungen

1509 Beben der Stärke 7,2

Epizentrum im Marmarameer

## **Beben löste Tsunami aus**

- 1.000 Häusern und 109 Moscheen zerstört
- etwa 10.000 Leute starben
- 45 Tage lang Nachbeben



# Kann ein Komet Erdbeben vorhersagen ?



Quelle  
Zentralbibliothek Zürich

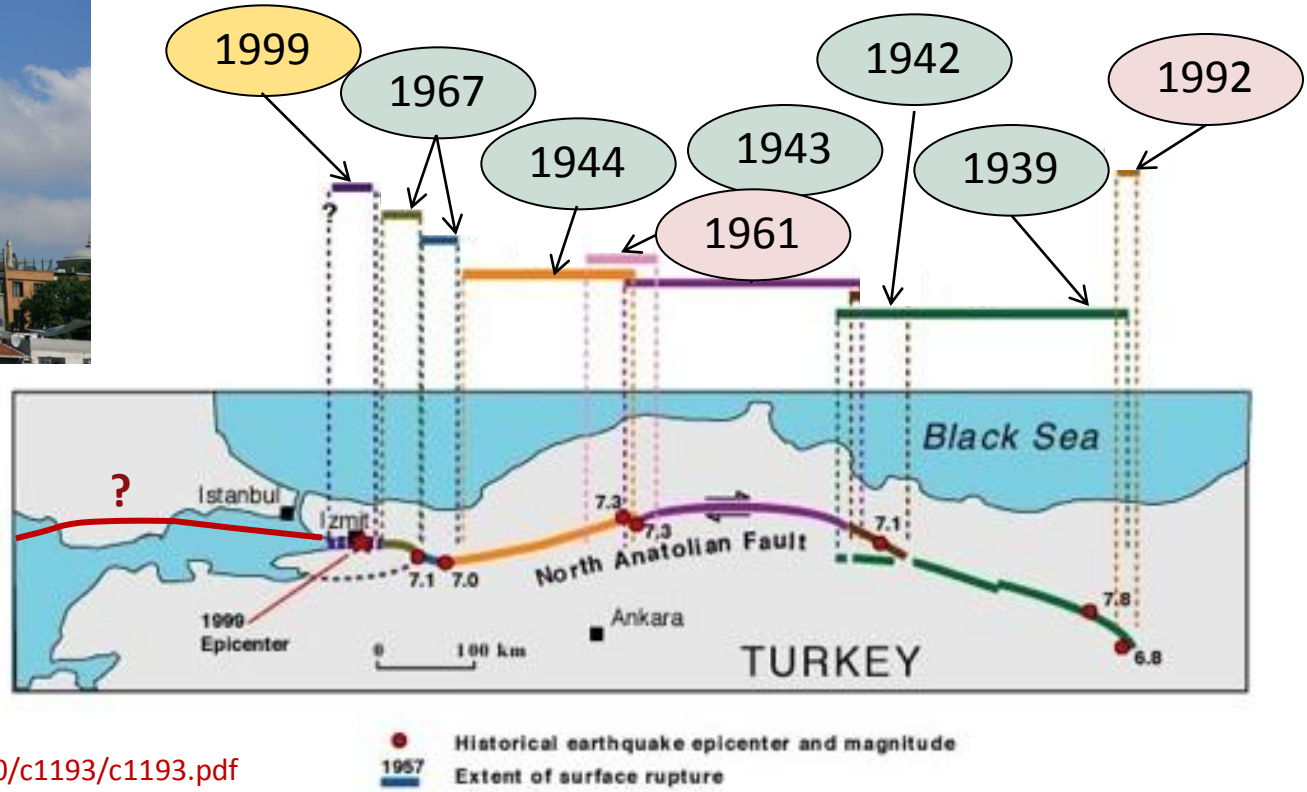


Ist

- 14 Mio Einwohner, jährlicher Zuwachs 250.000
- viele Gebäude wurden schlampig und illegal errichtet
- 50% der türkischen Wirtschaftsleistung



# Ernsteste Bedrohung von Istanbul



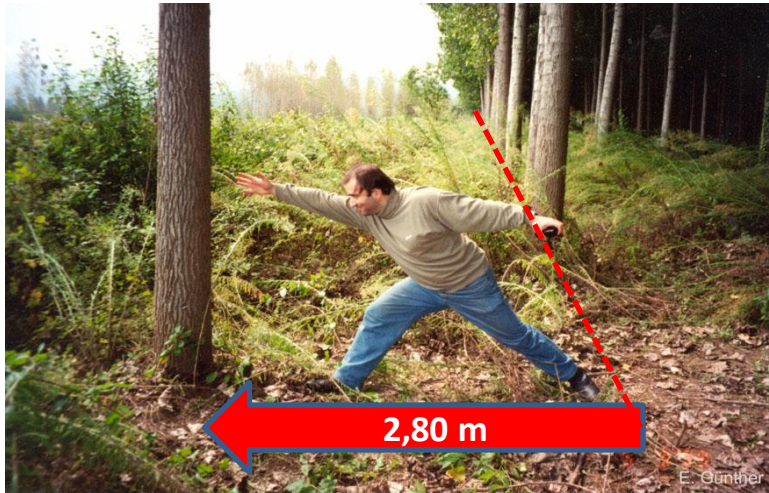
Quelle:  
<http://pubs.usgs.gov/circ/2000/c1193/c1193.pdf>

**Izmet-Beben: M 7,4 ~ 125-fache Energie der Hiroshima-Bombe**

- 20.000 zerstörte Häuser
- 40.000 Verletzte
- 24.000 Tote



# Letzte Warnung 1999: Izmit-Beben



A right-lateral displacement of 2.8 m was observed at the Sapanca segment near Caybasi (40.703° N, 30.451° E)



# Eine große Gefahr, aber **Was** können wir tun?

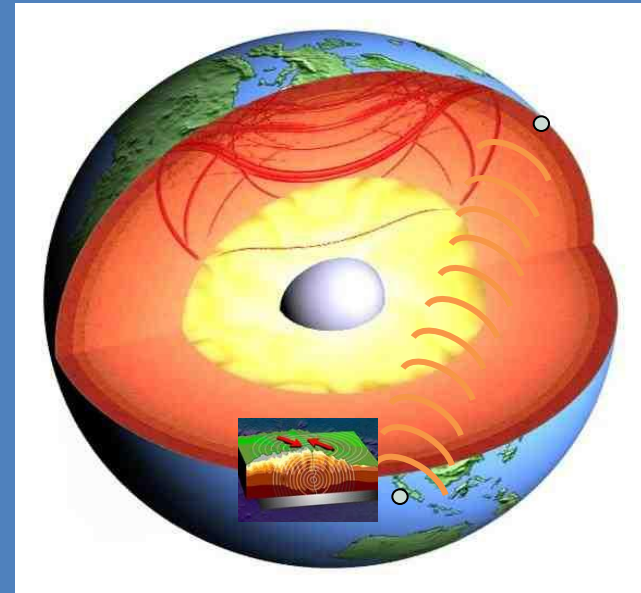
## bislang

keine seriösen Erkenntnisse über Erscheinungen, die Erdbeben ankündigen

- Kometen,
- Radon-Konzentration im Grundwasser
- ...

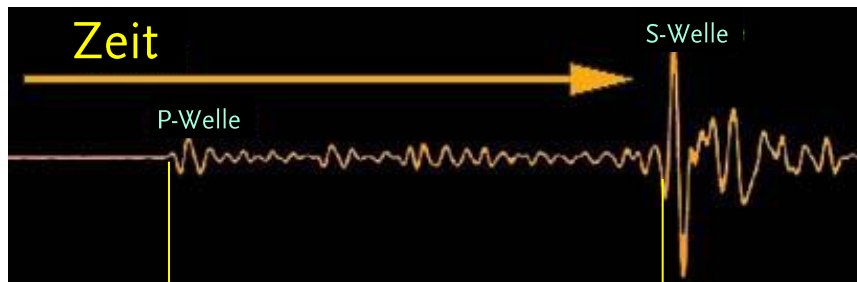
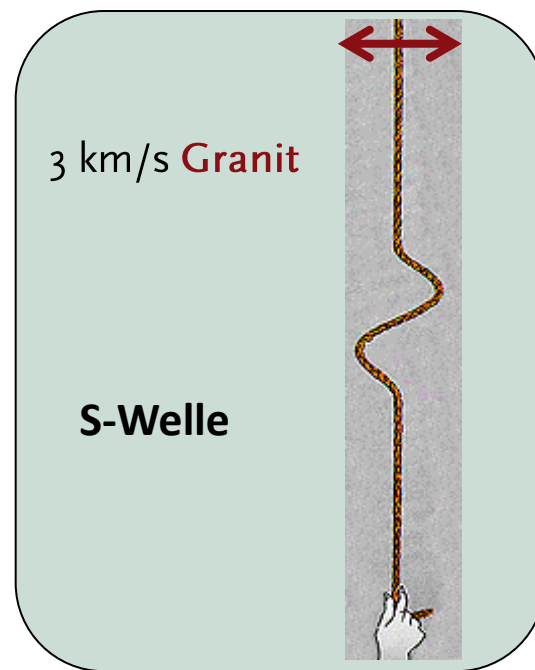
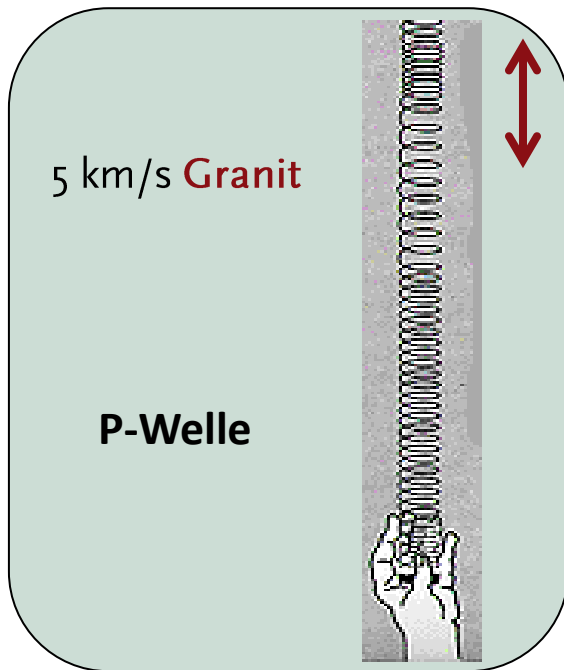
## bleibt nur

Wettlauf mit den tödlichen Wellen





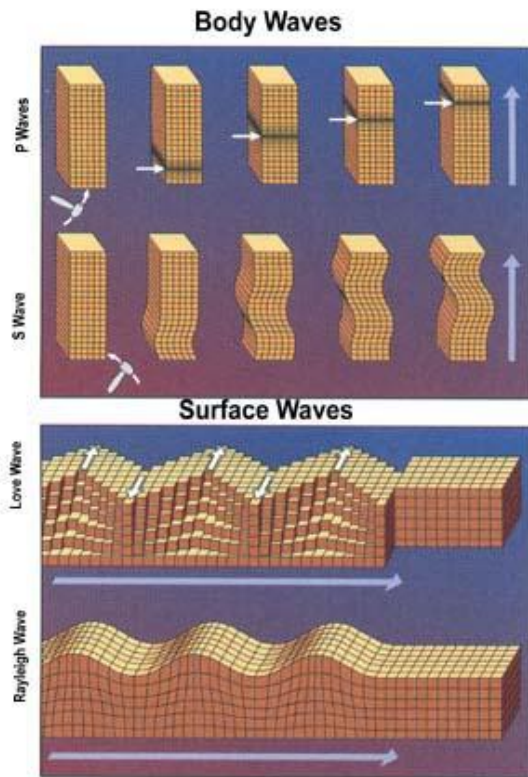
# Wellenarten



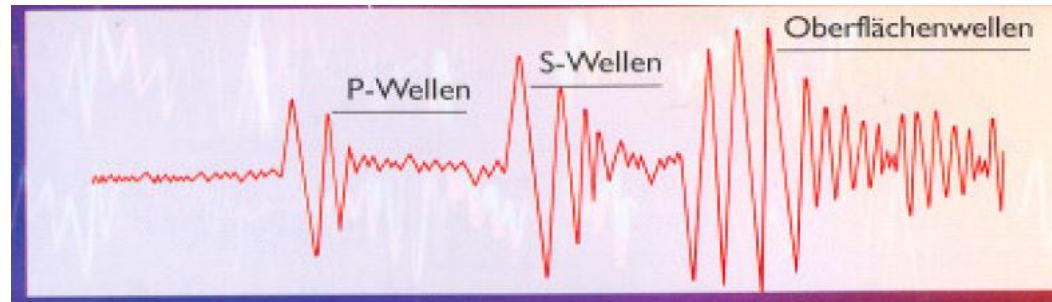
Vorwarnzeit



# Wellenarten



Ein (idealisiertes) Seismogramm



**Frequenzen:**

0,01 ..10 Hz

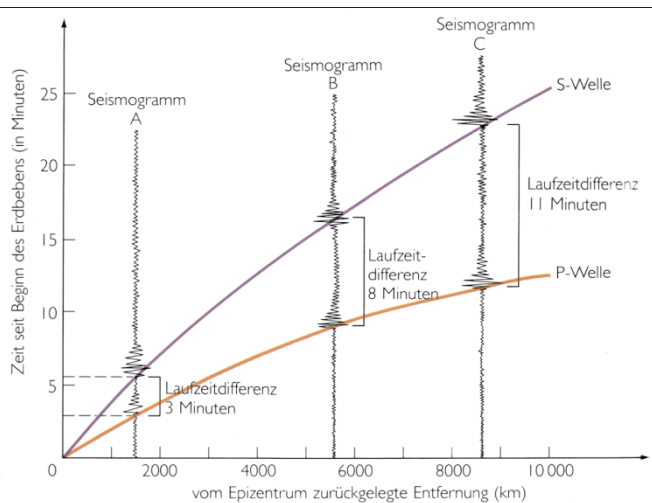
**Abtasttheorem:** Abtastfrequenz  $> 2 \cdot$  höchste Frequenzkomponente

The **Anti-triggering algorithm STA/LTA** (Short Time Average over Long Time Average) has been designed to reject energetic transients from ambient vibration recordings, in view of keeping only (quasi-)stationary windows .

The **STA/LTA** tool, reached from the [Waveform menu](#), is based on the comparison of short term average amplitude (**STA**) and long term average (**LTA**) of the signals in the active [signal viewer](#).

The anti-triggering algorithm STA/LTA can be used in most of [advanced signal processing tools](#) to process the signals only on stationary time windows.

# Wettlauf mit tödlichen Wellen

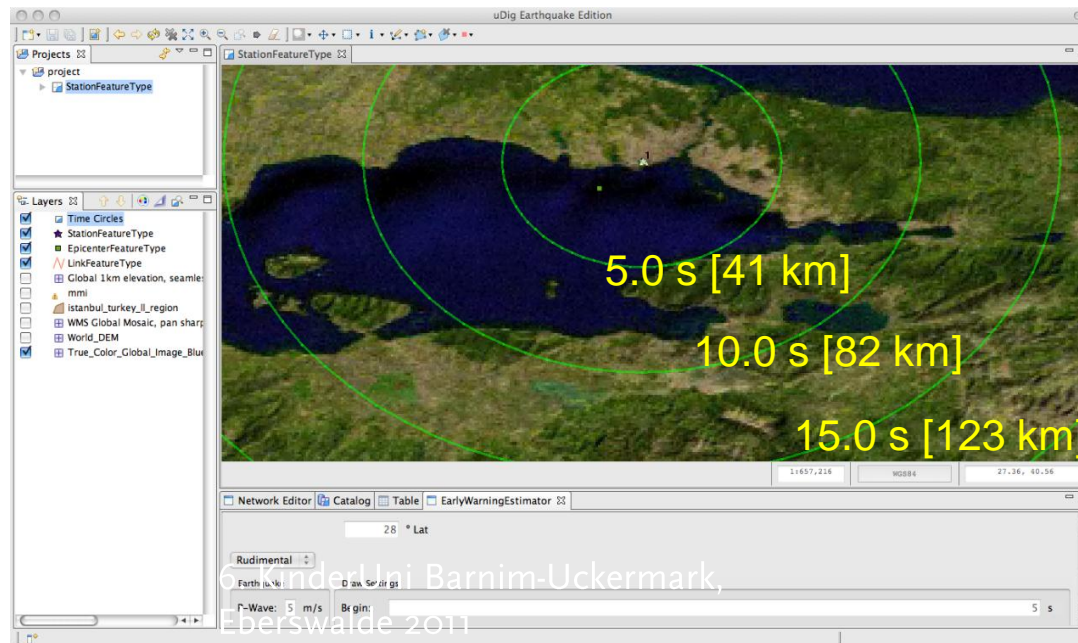


**Vorwarnzeit**

## Automatisierte Aktionen

- Absperung von Gasleitungen,
- Stromabschaltung
- Stopp des öffentlichen Verkehrs,
- Drosselung chemischer Produktionen,
- ...

➔ **Reduktion von Folgeschäden**



6 Kinder-Uni Barnim-Uckermark,  
Eberswalde 2011



# Schlechte Presse: Deutsches Tsunami-Warnsystem hat versagt

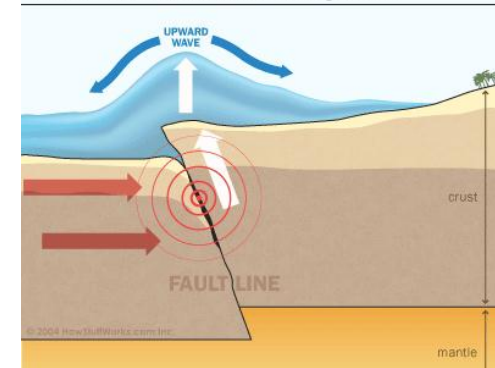
28.10.2010

100 Millionen Euro hat das Frühwarnsystem gekostet. Vor dem neuen Tsunami hat es dennoch nicht gewarnt – es war nicht richtig gewartet worden.

300.000 €



How Tsunamis Work: Tsunamigenesis



# GFZ verteidigt Frühwarnsystem



29.10.2010  
ARD-Tagesschau

- Eine der beiden vor den indonesischen Mentawai-Inseln ausgebrachten Tsunami-Warnbojen funktionierte nicht.
- Es besteht derzeit kein Kontakt zur Boje

Dies hatte aber auf die Tsunami-Warnung keinen Einfluss: |P-Welle - S-Welle| = 5 min (vom Tsunami-Warzentrum in Jakarta).

**Lauterjung** widerspricht der Darstellung indonesischer Behördenvertreter.

Die Inselkette vor Sumatra liegt so nah am Epizentrum des Bebens, so dass praktisch keine Vorwarnzeit bestand. In weniger als **zehn Minuten** sei die Flutwelle auf die Inseln getroffen – nicht ausreichend Zeit also, damit der Katastrophenschutz auf Sumatra die Bewohner zum Verlassen der Häuser und zur Flucht ins Inselinnere bewegen konnte.

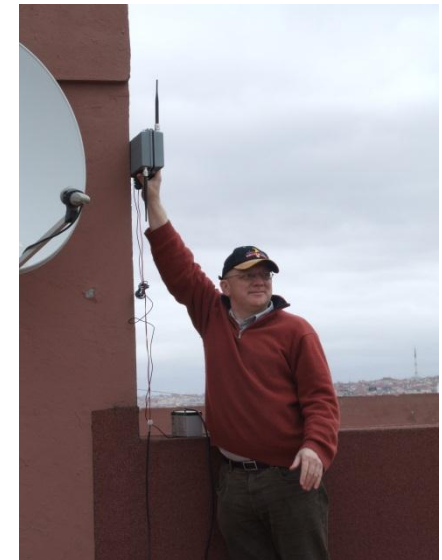
**"Perfekt funktioniert"**

"Das Tsunami-Frühwarnsystem hat perfekt funktioniert. Für die Bewohner der Mentawai-Inseln könne es keinen kompletten Schutz geben - die Inseln lägen nur 25 Kilometer von der tektonisch aktivsten Stelle des Pazifischen Feuerrings entfernt, dort wo häufig Erdbeben entstehen.

Wichtiger sei es da, dass die indonesischen Behörden mit den Inselbewohnern übten, die Warnsignale eines Erdbebens selbstständig richtig zu deuten.

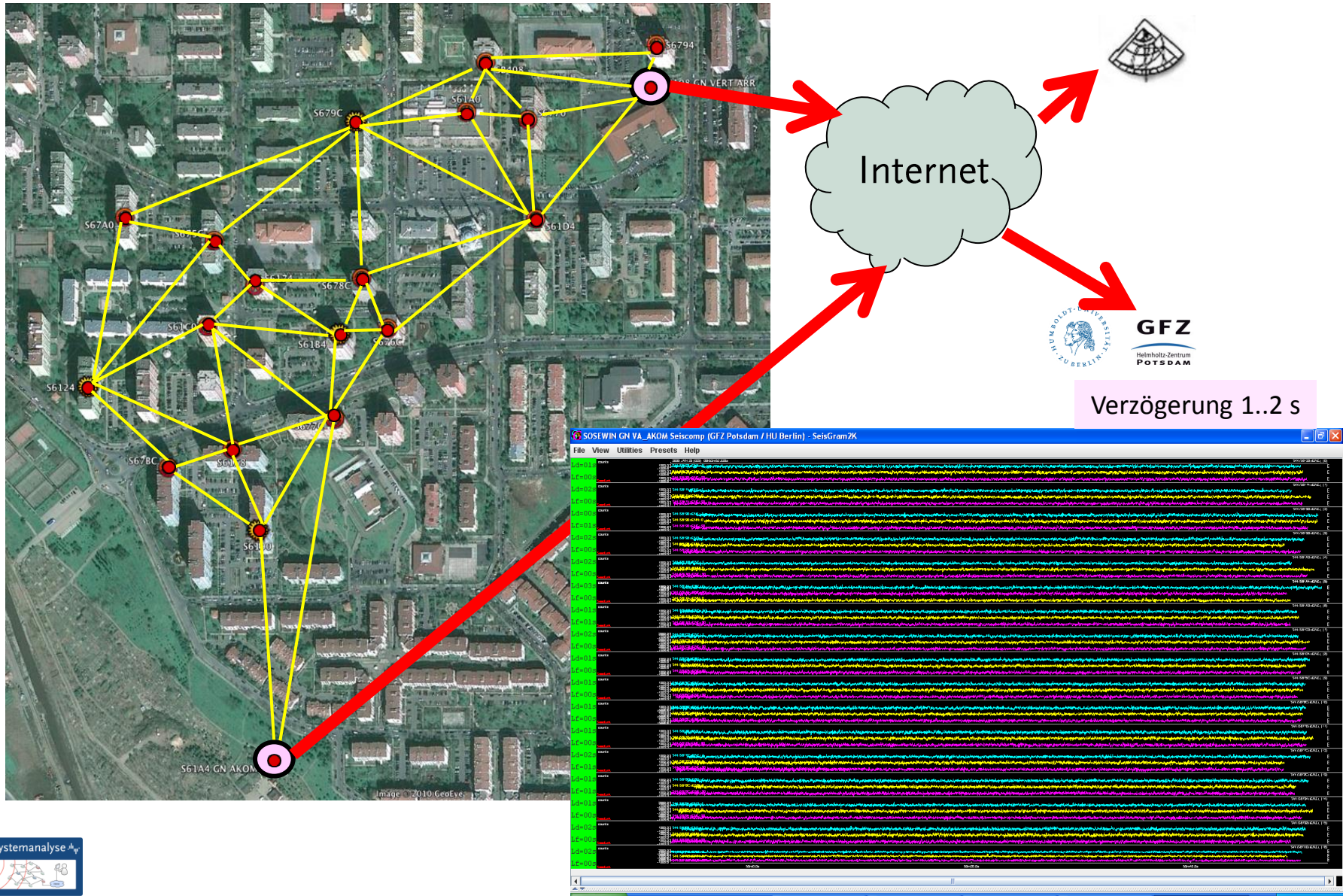


# Ein Frühwarnsystem für Istanbul





# Alle Seismometer arbeiten zusammen



# Marmarameer:

Analyse mikro-seismischer Aktivitäten



Langjährige  
GFZ-Scandili-  
Kooperation

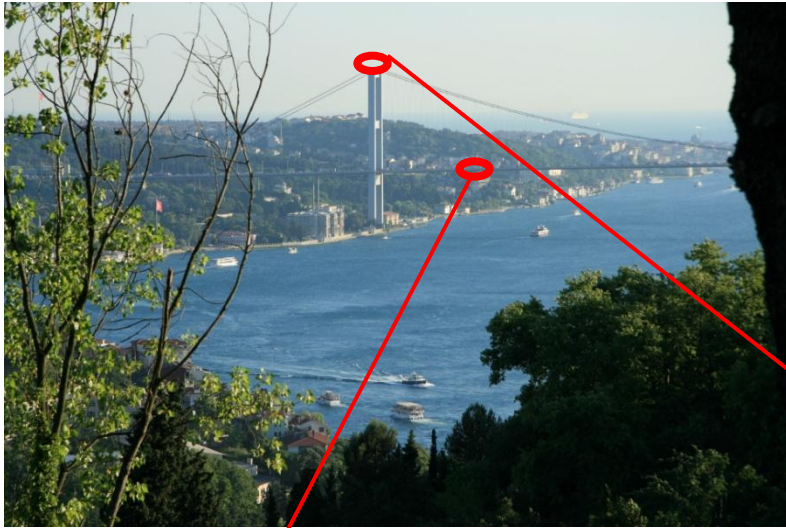
30.000 €/  
Unterwasser-  
Seismometer



# Katastrophen-Management-Zentrale AKOM



# In Istanbul



Länge 1.510 m  
Breite 39,4 m  
Höhe 64 m  
Eröffnung 1988

