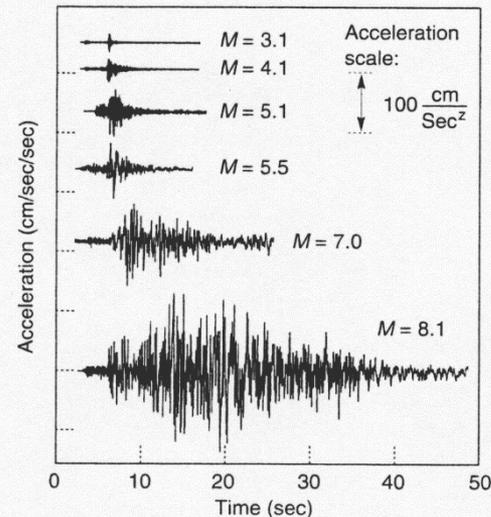
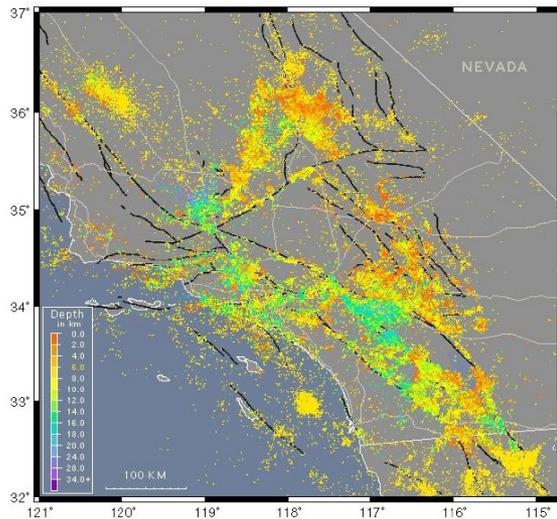


# Einführung in die Geophysik II

## Seismizität, seismische Gefährdung, Magnituden, Intensitäten

Geophysikalisches Institut, Fakultät für Physik



	Vorlesung: Mi., 11:30-13:00, HS B		Übungsblatt online	Übung: Mo., 11:30-13:00, HS B Besprechung der Übungsblätter	
	19.04	keine Vorlesung		17.04	
VL1	26.04	Aufbau der Erde & Plattentektonik		24.04	
VL2	03.05	Radiometrische Altersbestimmung	Ü1	01.05	
VL3	10.05	Seismische Wellen und ihre Wechselwirkungen, elastische Eigenschaften von Gesteinen		08.05	Ü1: Radiometrische Altersbestimmung
VL4	17.05	Erdbeben: Bruchprozesse, Messung & Lokalisierung von Erdbeben	Ü2	15.05	
VL5	24.05	Ausbreitung von Erdbebenwellen, Strukturerkundung		22.05	Ü2: Seismische Wellen, elast. Eigen.
	31.05	keine Vorlesung, Pfingstwoche		29.05	
VL6	07.06	Eigenschwingungen	Ü3	05.06	
VL7	14.06	Seismizität, Gefährdung, Magnituden		12.06	
VL8	21.06	Schwere und Gravimetrie	Ü4	19.06	Ü3: Eigenschwingungen, Seismizität
VL9	28.06	Magnetismus	Ü5	26.06	Ü4: Schwere und Gravimetrie
VL10	05.07	Temperatur	Ü6	03.07	
VL11	12.07	Aufbau und Dynamik des Erdinneren: Mantel		10.07	Ü5: Magnetismus
VL12	19.07	Aufbau und Dynamik des Erdinneren: Erdkern		17.07	Ü6: Temperatur

**Vorlesung:** Die Vorlesung findet mittwochs um 11:30 - 13:00h im Hörsaal B (Geb. 30.22) statt und beginnt am 26.4.2023.

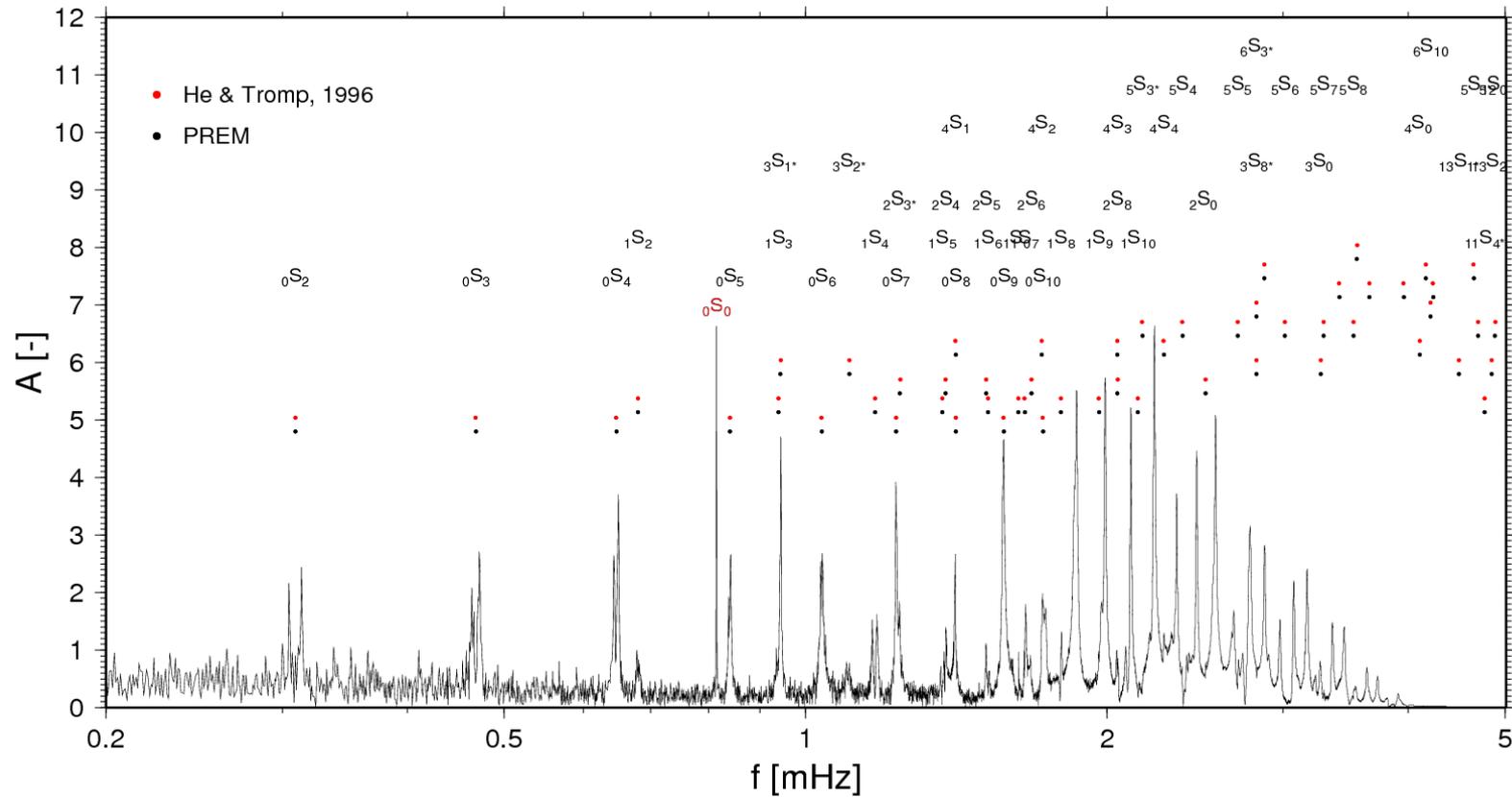
**Übungen:** Die Übungen finden nach obigen Zeitplan montags um 11:30 - 13:00h im Hörsaal B (Geb. 30.22) statt. Die Termine finden sich in der oben stehenden Tabelle. Übungsblätter werden nach den jeweiligen Vorlesungen online gestellt. Durch Vorrechnen von Übungsaufgaben können Punkte (max. 3) erworben werden, die auf die Klausur als Bonuspunkte\* angerechnet werden. Die Punktzahl, die für das Vorrechnen der einzelnen Aufgaben vergeben wird, wird in der jeweiligen Übung bekannt gegeben.

\*d.h. das Bestehen der Prüfung durch diese Punkte ist nicht möglich; bei bestandener Klausur lässt sich dadurch jedoch die Note verbessern.

**Klausur:** Erster Termin am 26.07.2022, 14:00 - 15:30h, zweiter Termin am 20.09.2022, 09:00 - 10:30h. Die der Ort der Klausuren ist der Otto-Lehmann-Hörsaal.

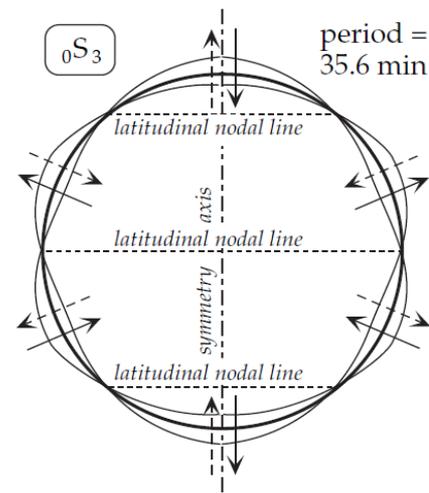
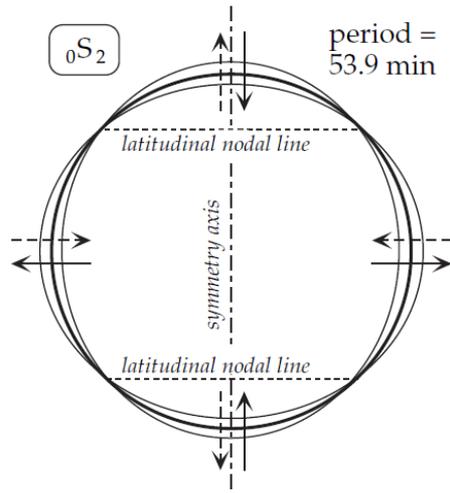
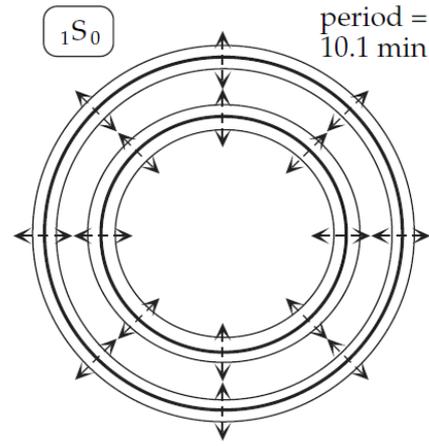
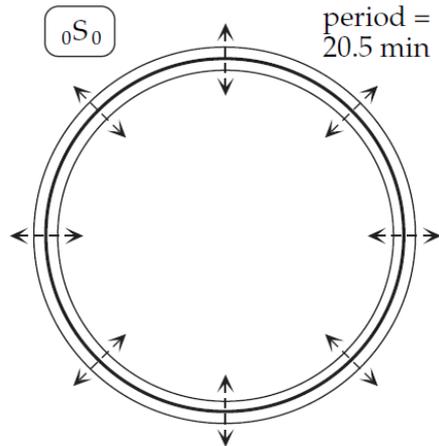
# Eigenschwingungen

## Typisches Eigenschwingungsspektrum



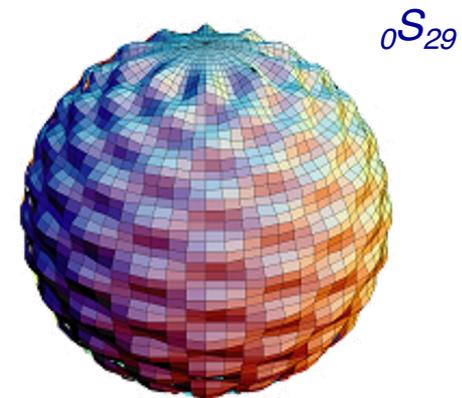
Quelle: IRIS

# Eigenschwingungen

$$nS_l$$


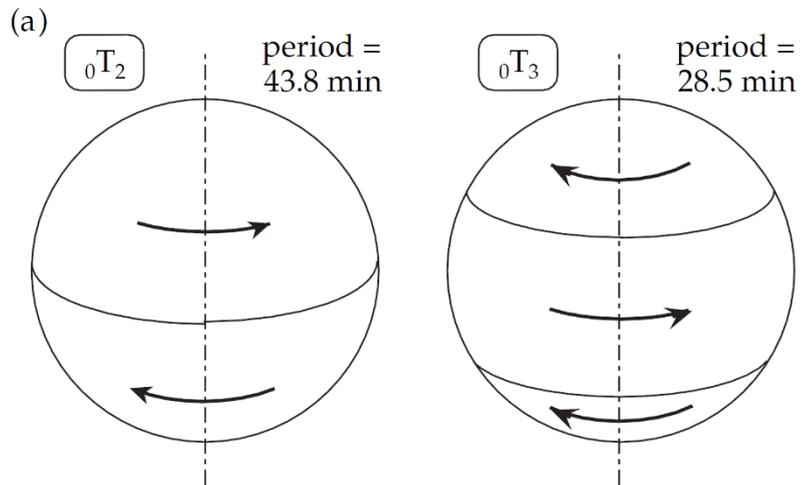
Index  $n$  gibt  
Grad des  
Obertons an

Index  $l$  gibt Zahl der  
äquatorialen  
Knotenebenen an



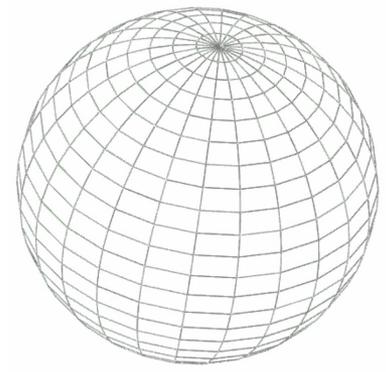
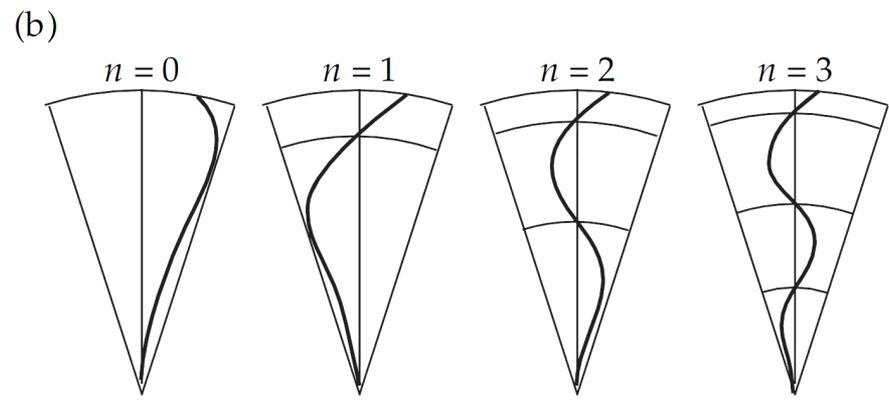
Quelle: Lowrie, 2007

# Eigenschwingungen $nT_l$

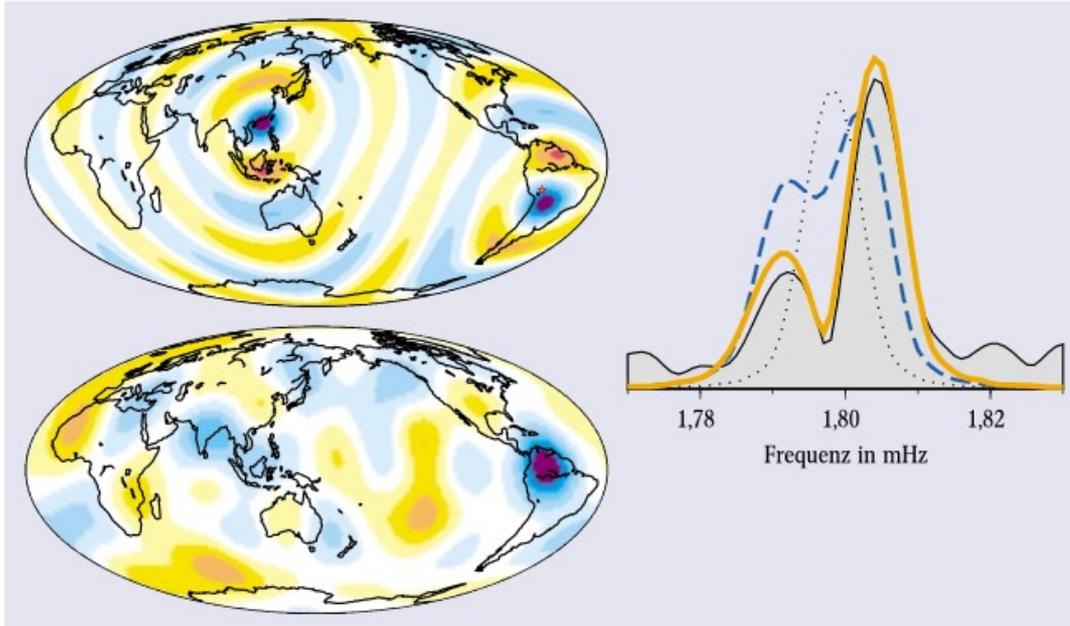


Index  $n$  gibt Grad des Obertons an:  
 Knotenpunkt in Richtung des Radius

Index  $l$  gibt Zahl der verdrehten Abschnitte auf der Oberfläche an



# Eigenschwingungen



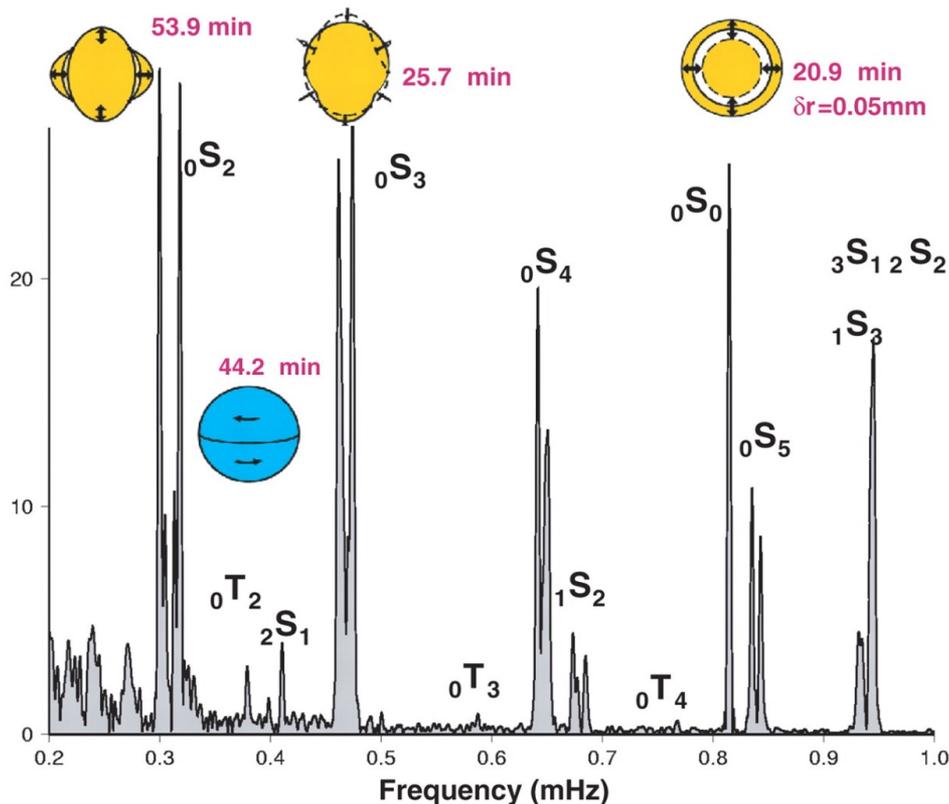
**Abb. 5:** Eigenschaften der Mode  ${}_1S_8$ . Links oben ist das radiale Verschiebungsfeld des gesamten Multipletts (17 Singulets) nach dem Beben von Abb. 1 dargestellt. Warme (kalte) Farbtöne entsprechen Verschiebungen nach außen (innen). Das Bild rechts zeigt das beobachtete Amplitudenspektrum an der Station MAJO (Matsushiro, Japan, schwarze Linie) für diese Mode zusammen mit theoretischen Linienformen: das gepunktete Spektrum

würde man auf einer kugelsymmetrischen, nicht rotierenden Erde erhalten, die blaue gestrichelte Linienform erhält man nach Einführung der Rotation und Elliptizität der Erde, die orange dicke Linie ergibt sich bei Berücksichtigung der lateralen Variationen der Scherwellengeschwindigkeit ( $v_s = \sqrt{\mu/\rho}$ ) des Erdmantels, wie sie z. B. in einer Tiefe von 1165 km links unten dargestellt ist.

Quelle: Zürn und Widmer, 2002

# Eigenschwingungen

Durch Abweichung von Kugelsymmetrie kommt es zum Aufspalten der Frequenzpeaks („Entartung wird aufgehoben“).



Quelle: Park et al.

# Eigenschwingungen

Durch Abweichung von Kugelsymmetrie kommt es zum Aufspalten der Frequenzpeaks („Entartung wird aufgehoben“).



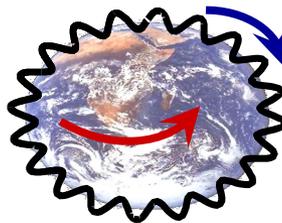
⇒ Rotation



Schnellere Wellenausbreitung in Rotationsrichtung (Coriolis Kraft)



⇒ Elliptizität



Strecke von Pol zu Pol ist kürzer als um Äquator



⇒ 3D



Wellen werden von Heterogenitäten auf ihrem Weg verlangsamt oder beschleunigt

Quelle: Van Camp



## Zusammenfassung – Take-home-message

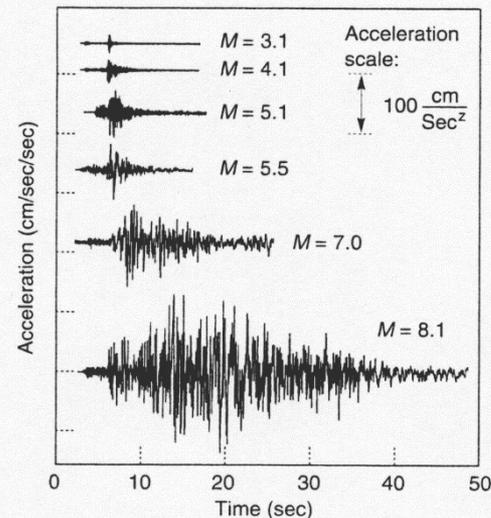
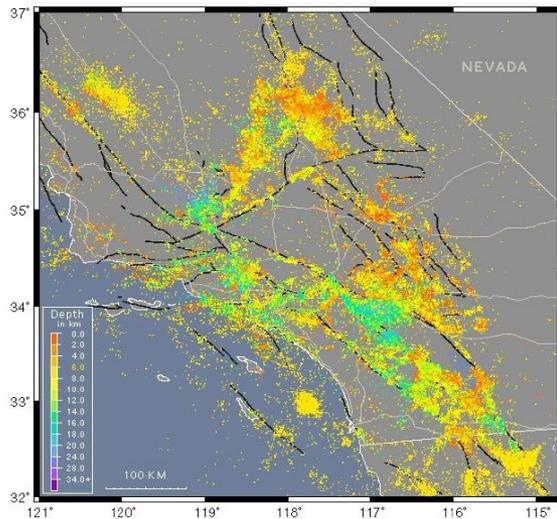
*In Gruppen beantworten*

- Was sind Eigenschwingungen der Erde?
- Wodurch werden sie angeregt?
- Wie lassen sie sich mathematisch beschreiben?
- Was können wir aus ihnen über die Struktur der Erde erfahren?

# Einführung in die Geophysik II

## Seismizität, seismische Gefährdung, Magnituden, Intensitäten

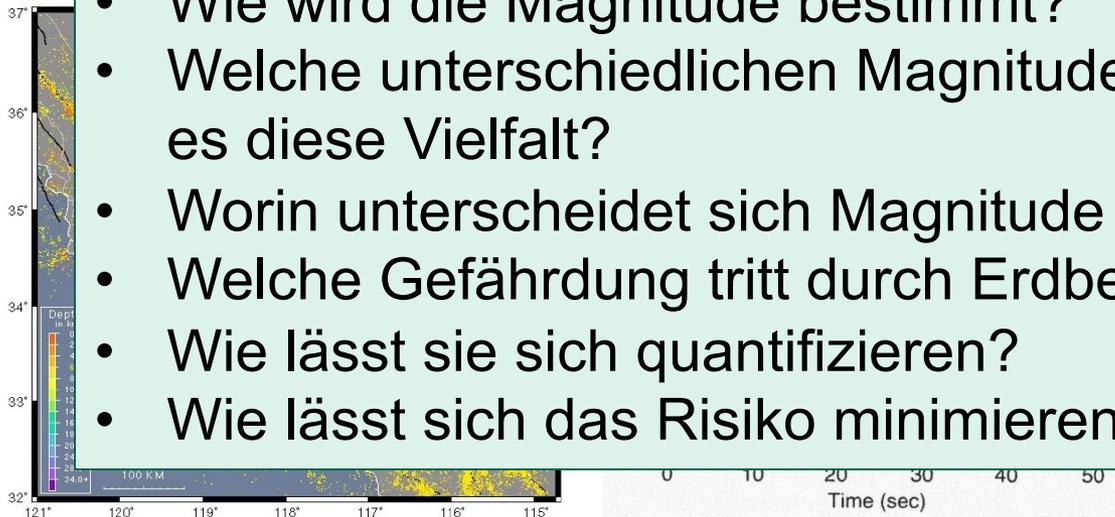
Geophysikalisches Institut, Fakultät für Physik



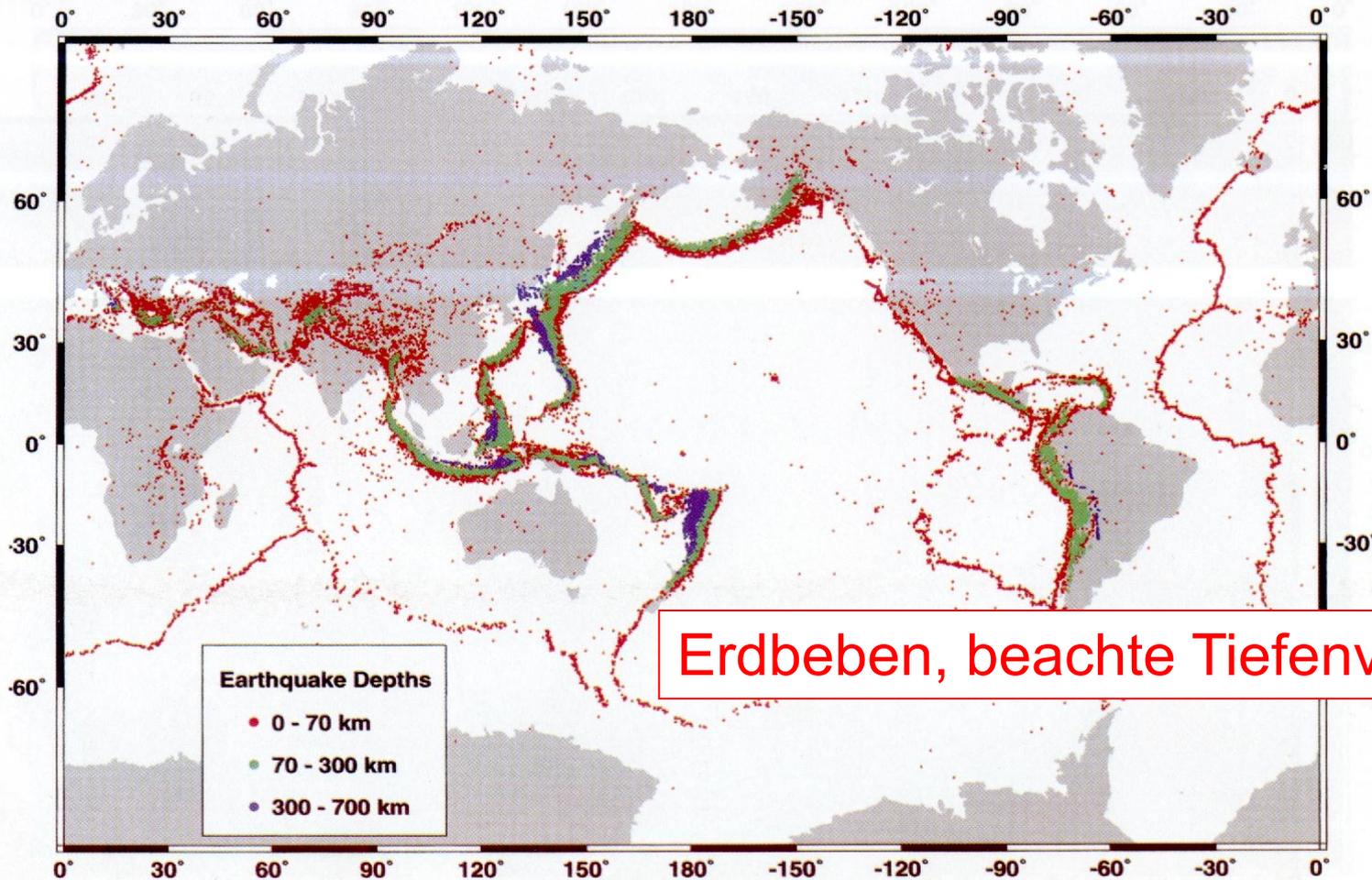
# Einführung in die Geophysik II

## Seismizität, seismische Gefährdung, Magnituden, Intensitäten

- Wie ist die weltweite und regionale Seismizität charakterisiert?
- Gibt es Möglichkeiten, die Verteilung von Erdbeben quantitativ zu erfassen?
- Wie wird die Magnitude bestimmt?
- Welche unterschiedlichen Magnituden gibt es und warum gibt es diese Vielfalt?
- Worin unterscheidet sich Magnitude und Intensität?
- Welche Gefährdung tritt durch Erdbeben auf?
- Wie lässt sie sich quantifizieren?
- Wie lässt sich das Risiko minimieren?

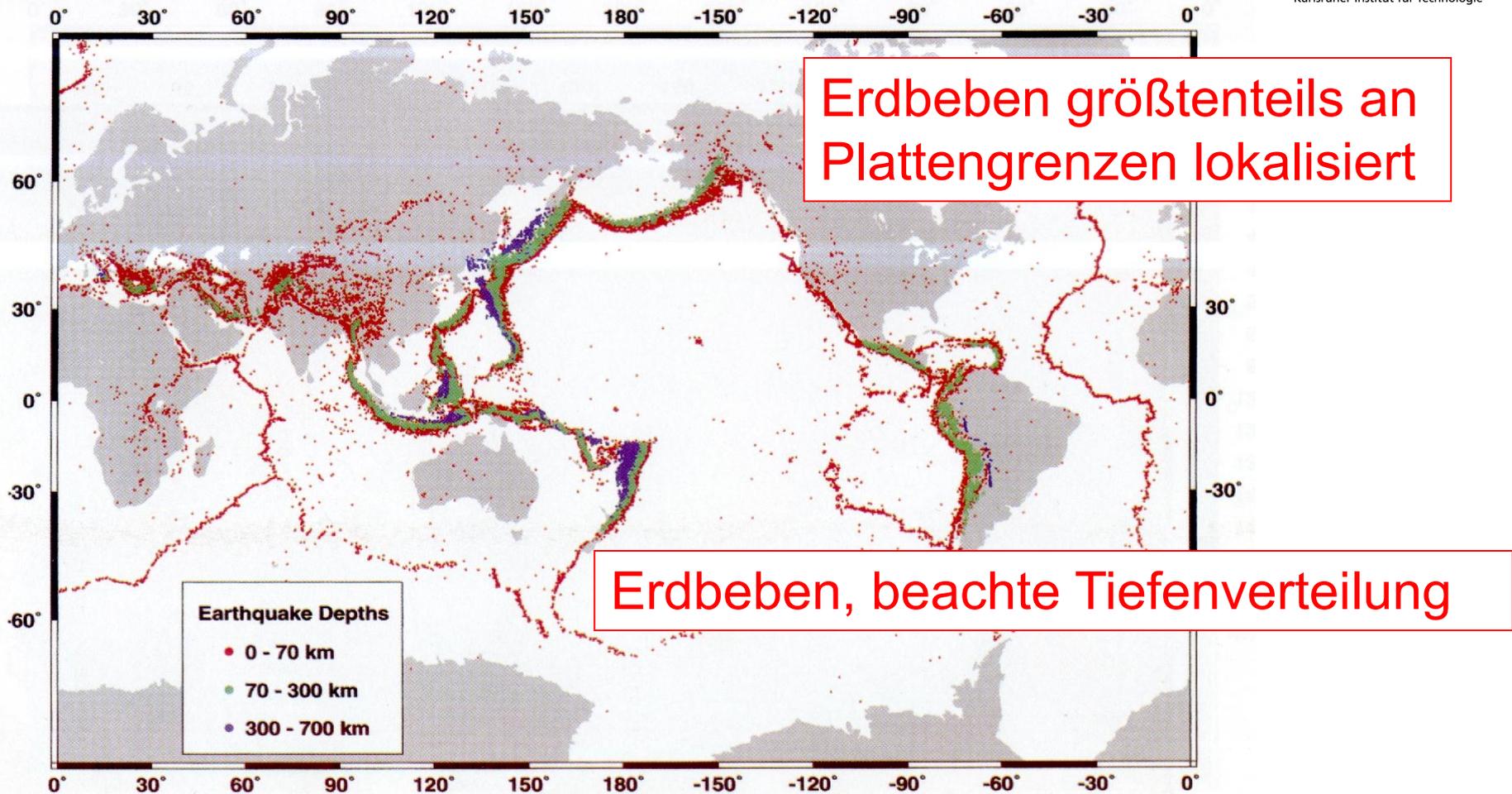


# Seismizität

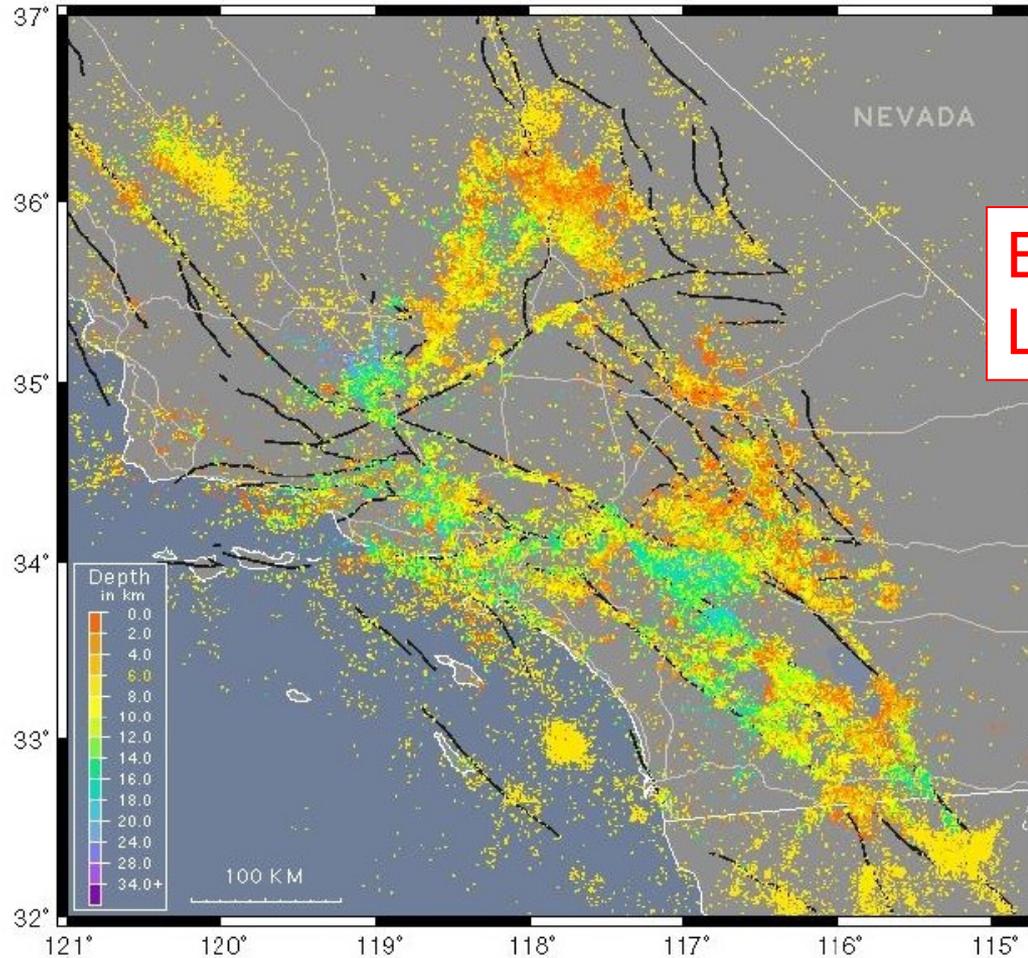


Globale Verteilung der flachen (0 bis 70 km), intermediären (70 bis 300 km) und tiefen (300 bis 700 km) Seismizität für Erdbeben mit Magnituden  $> 5$ , die in den vergangenen 40 Jahren aufgezeichnet wurden.

# Seismizität

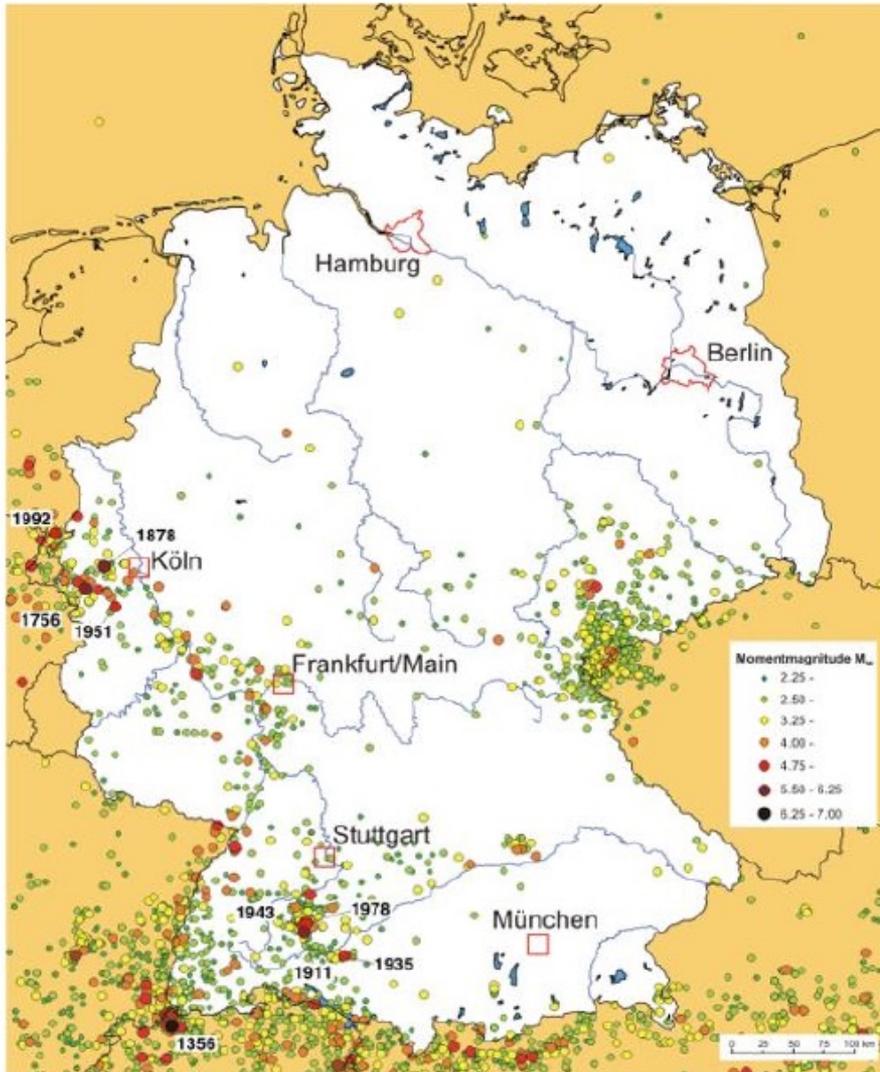


Globale Verteilung der flachen (0 bis 70 km), intermediären (70 bis 300 km) und tiefen (300 bis 700 km) Seismizität für Erdbeben mit Magnituden  $> 5$ , die in den vergangenen 40 Jahren aufgezeichnet wurden.

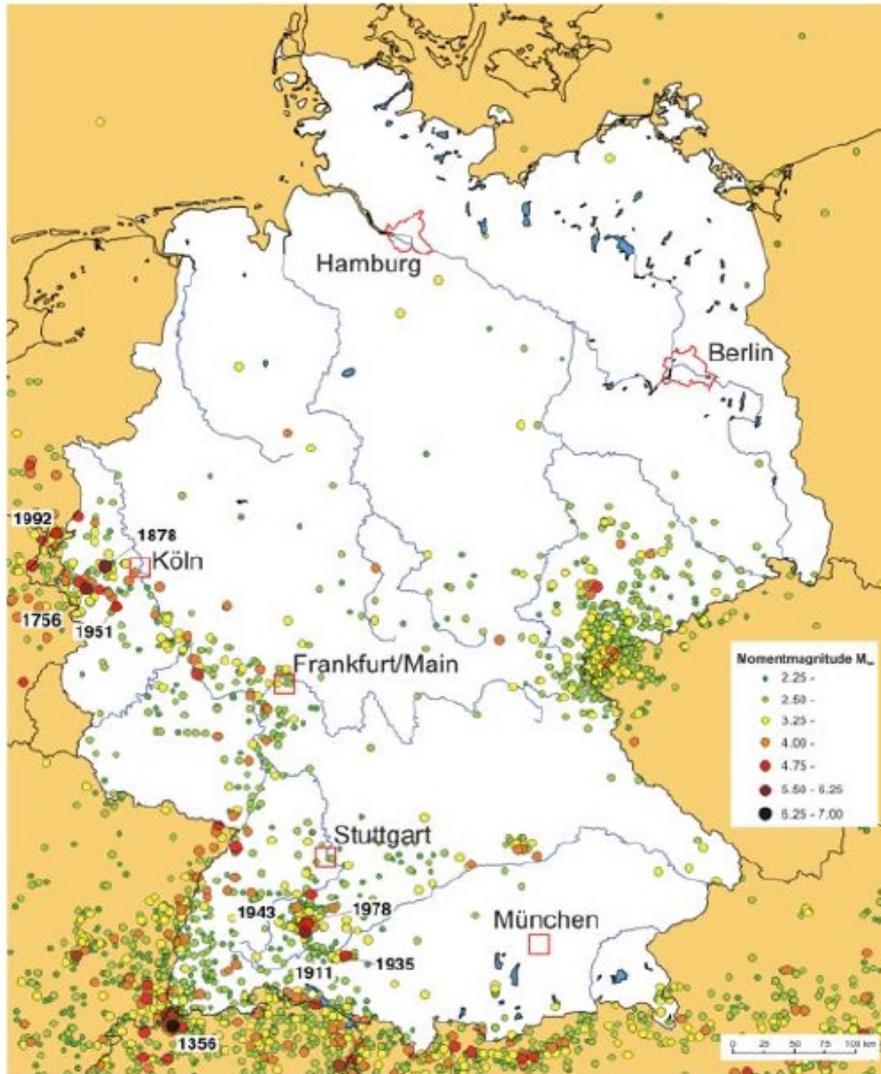


Erdbeben markieren oft  
Lage von Störungszonen

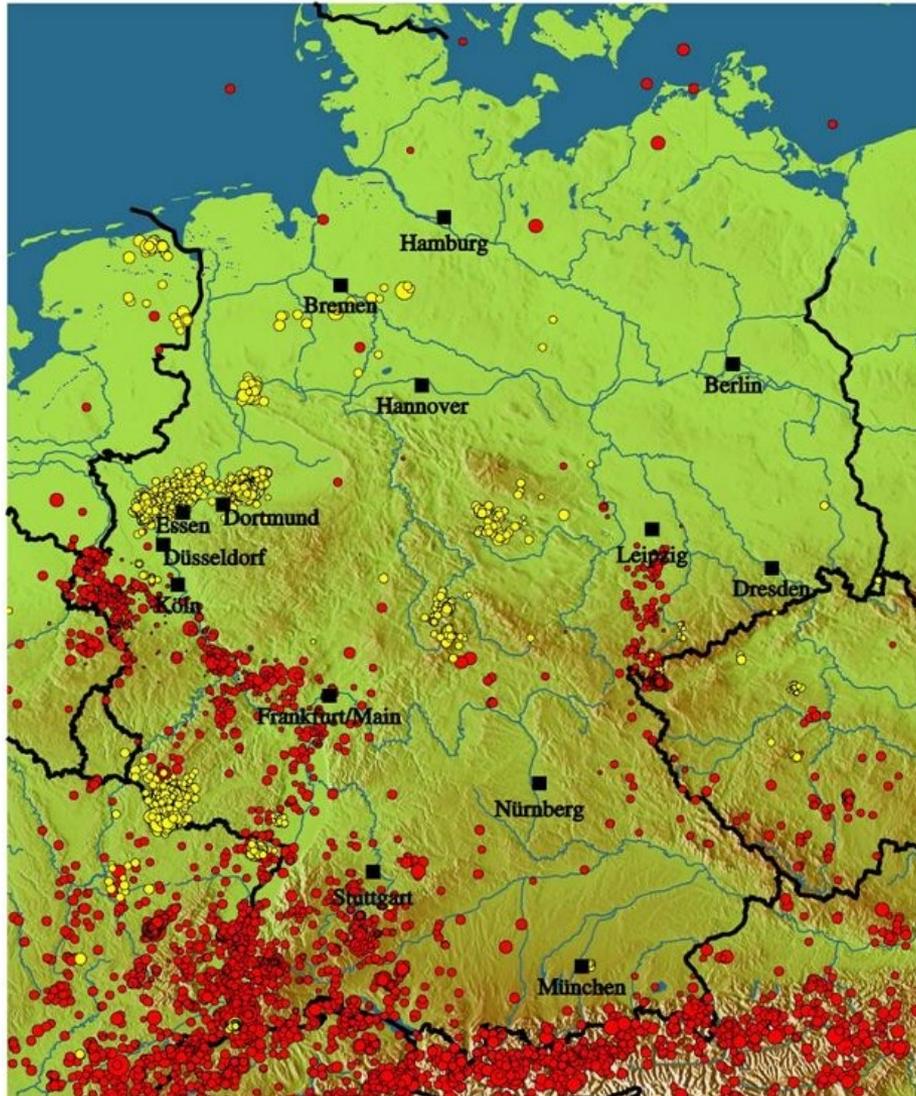
# Seismizität



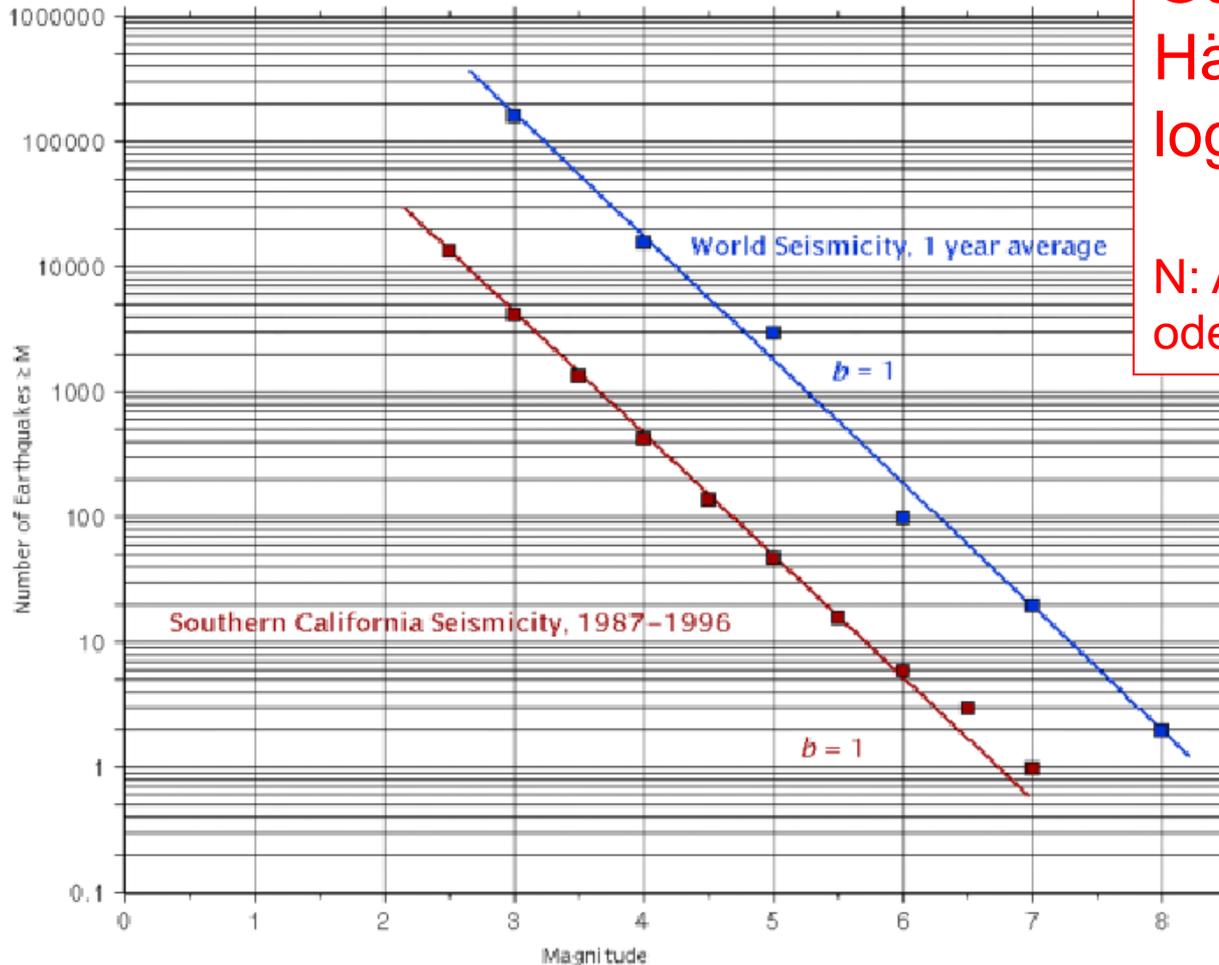
# Seismizität



# Seismizität

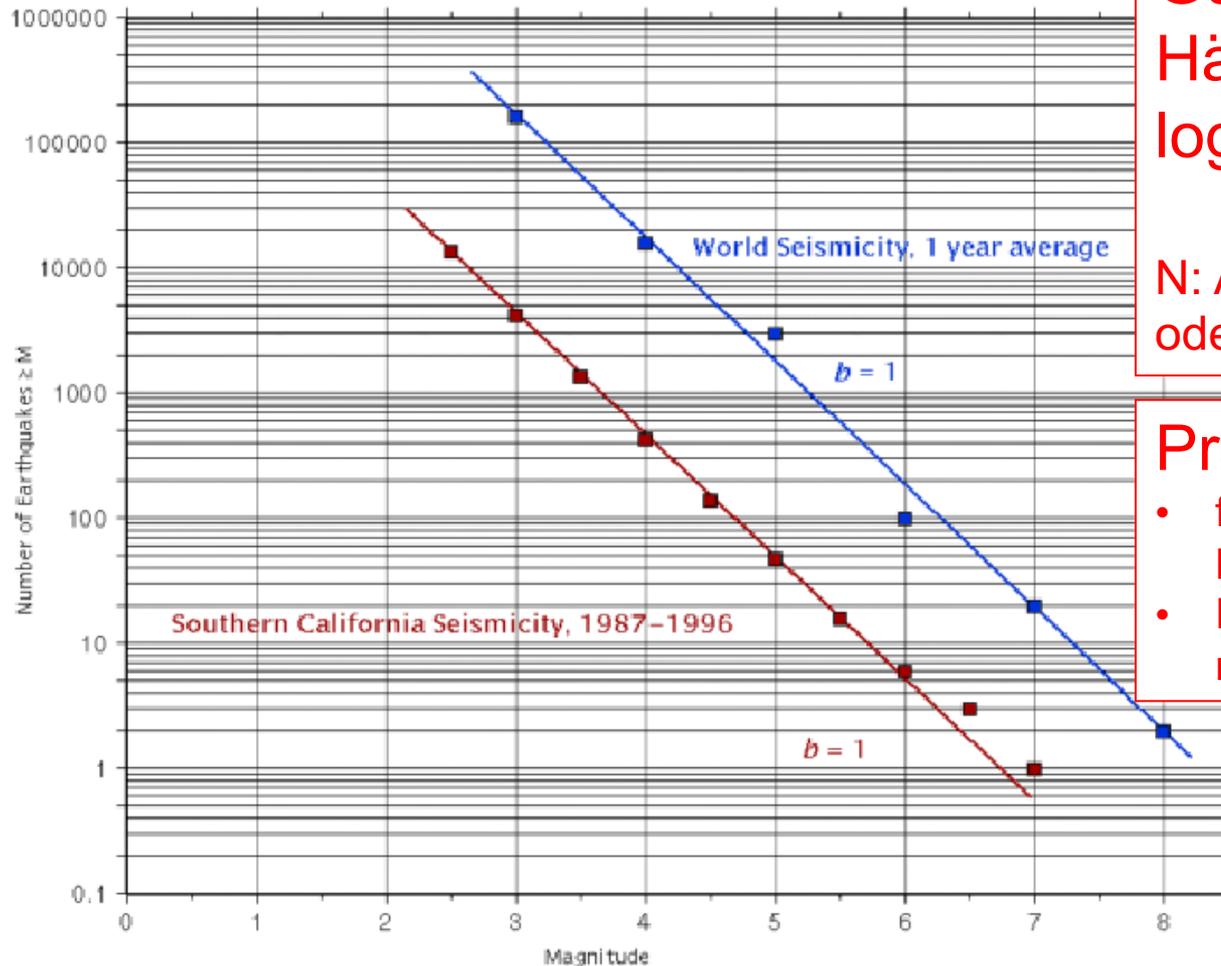


Tektonische Beben  
Induzierte Beben



Gutenberg-Richter-  
Häufigkeitsverteilung:  
 $\log_{10} N = a - b M$

N: Anzahl der Beben mit M  
oder größer



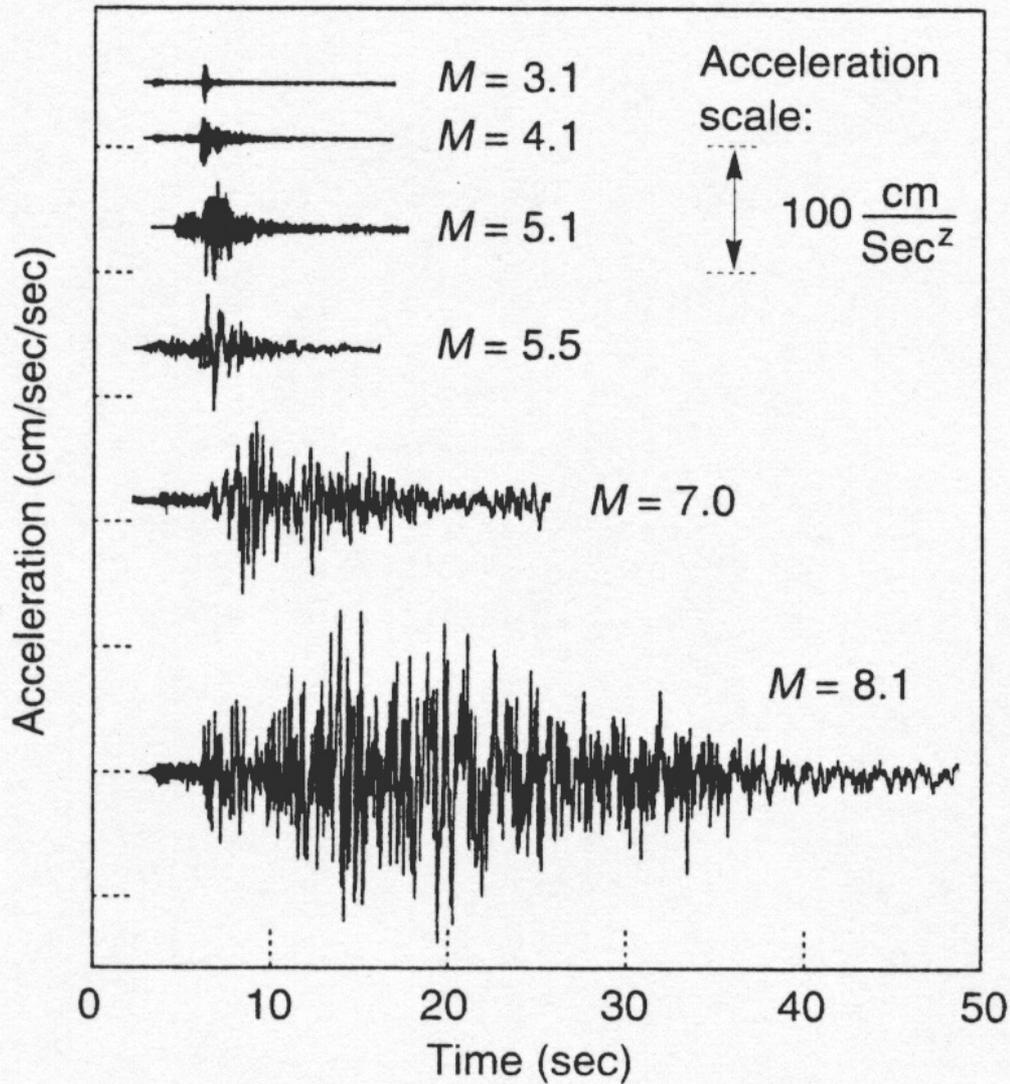
Gutenberg-Richter-Häufigkeitsverteilung:  
 $\log_{10} N = a - b M$

N: Anzahl der Beben mit M oder größer

Probleme:

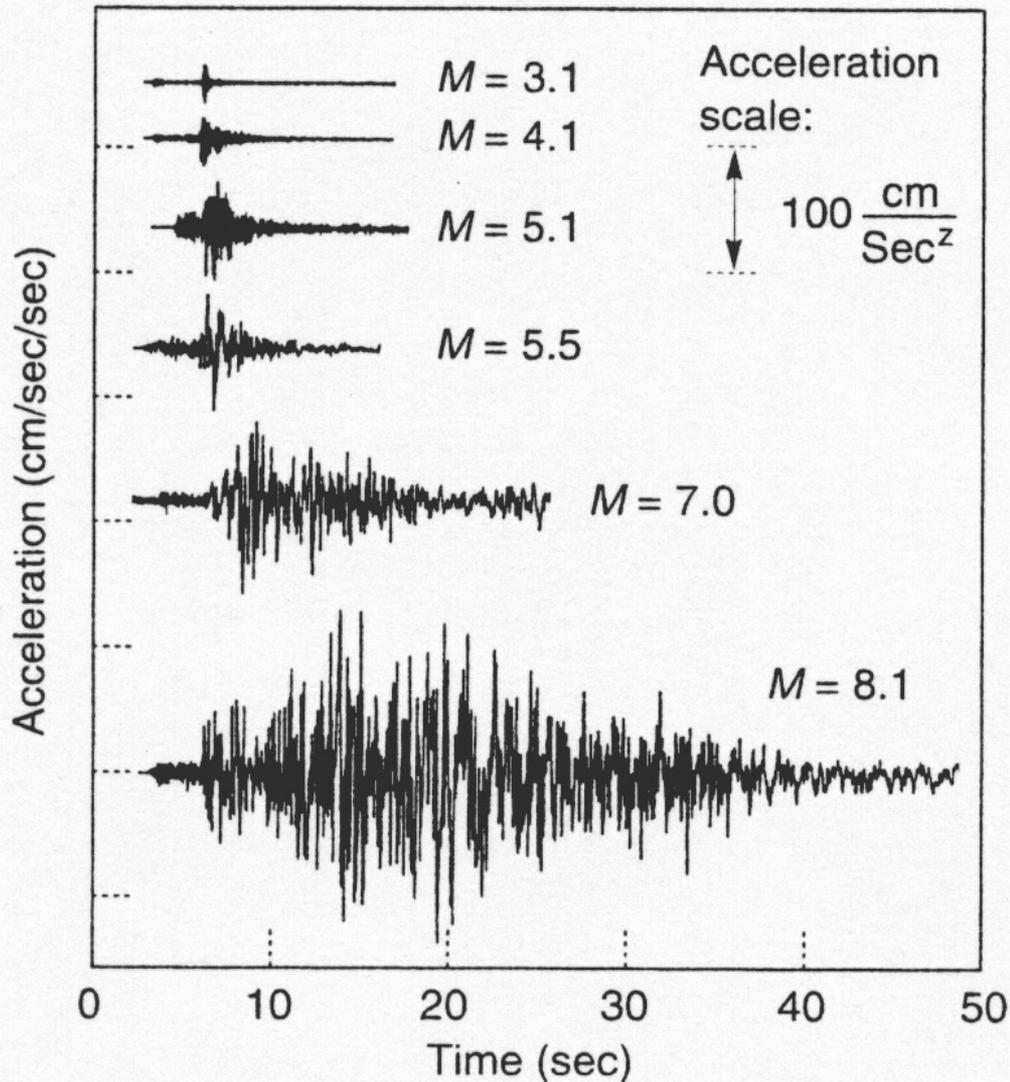
- für kleine Magnituden ist Katalog nicht vollständig
- Für große Magnituden gibt es nicht viele Ereignisse

# Magnitude



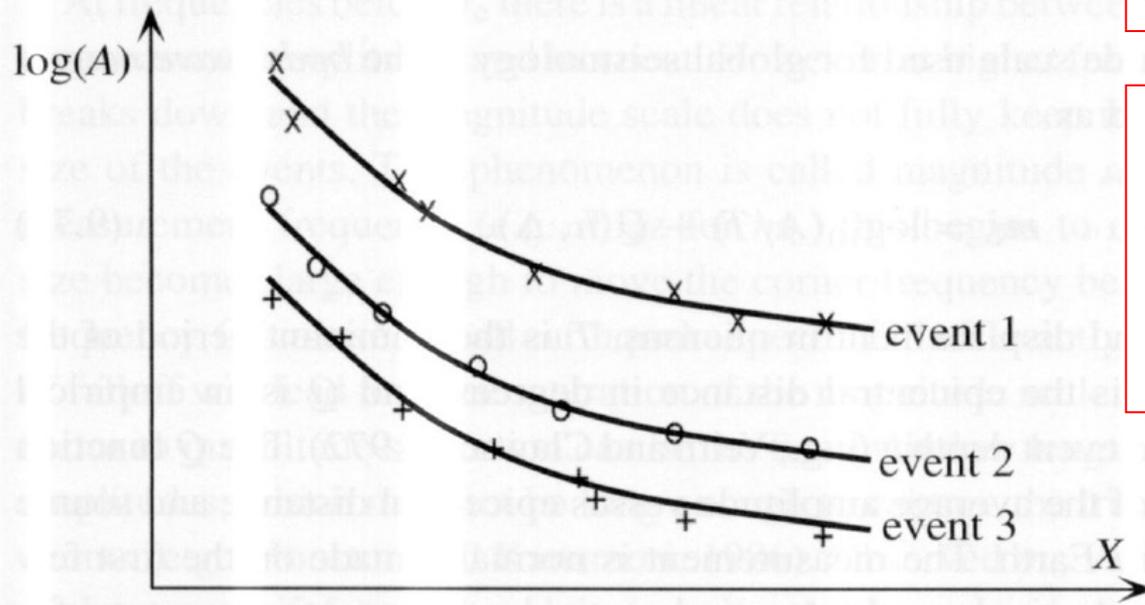
Unterschiedlich große  
Erdbeben haben  
unterschiedlich große  
Amplituden

# Magnitude



Unterschiedlich große Erdbeben haben unterschiedlich große Amplituden

Gemessene Amplitude hängt aber auch von Herdentfernung ab



Unterschiedlich große Erdbeben haben unterschiedlich große Amplituden

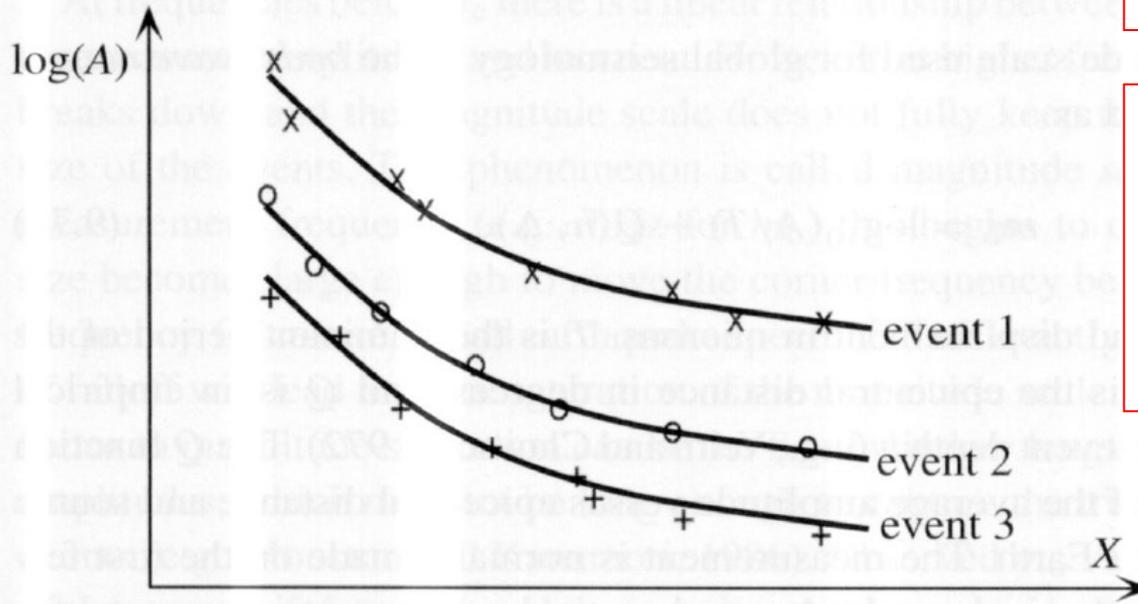
Gemessene Amplitude hängt aber auch von Herdentfernung ab

# Magnitude

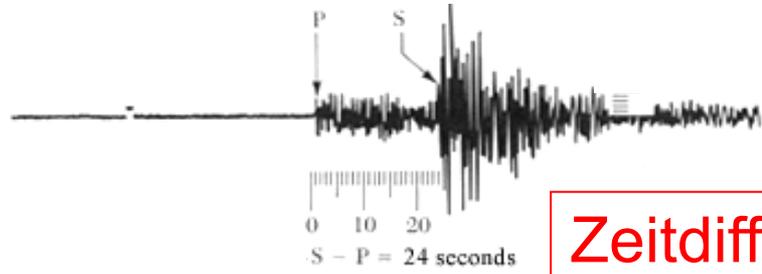
$$\log_{10} A(M, R) = f(M) - g(R)$$

Unterschiedlich große Erdbeben haben unterschiedlich große Amplituden

Gemessene Amplitude hängt aber auch von Herdentfernung ab

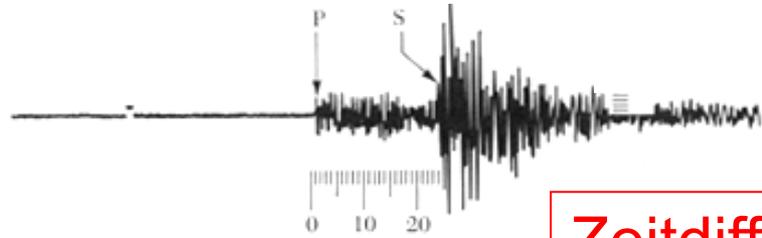


# Magnitude

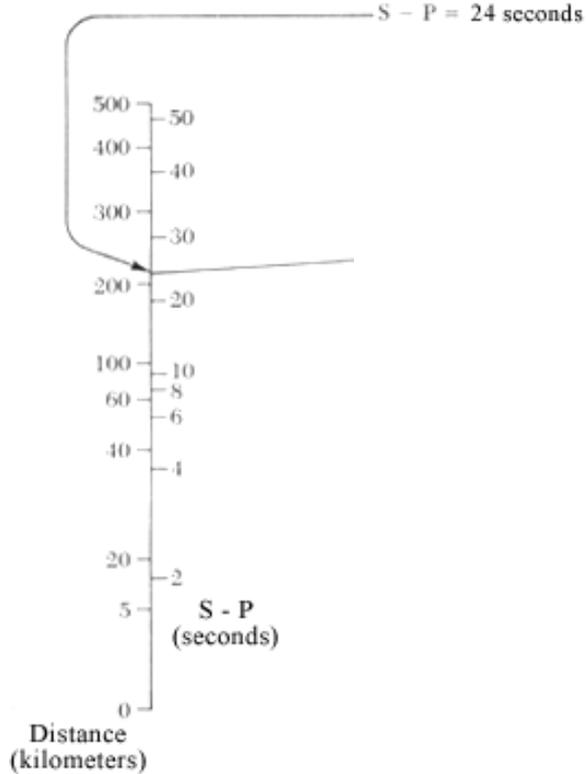


Zeitdifferenz S – P:  
Herdentfernung

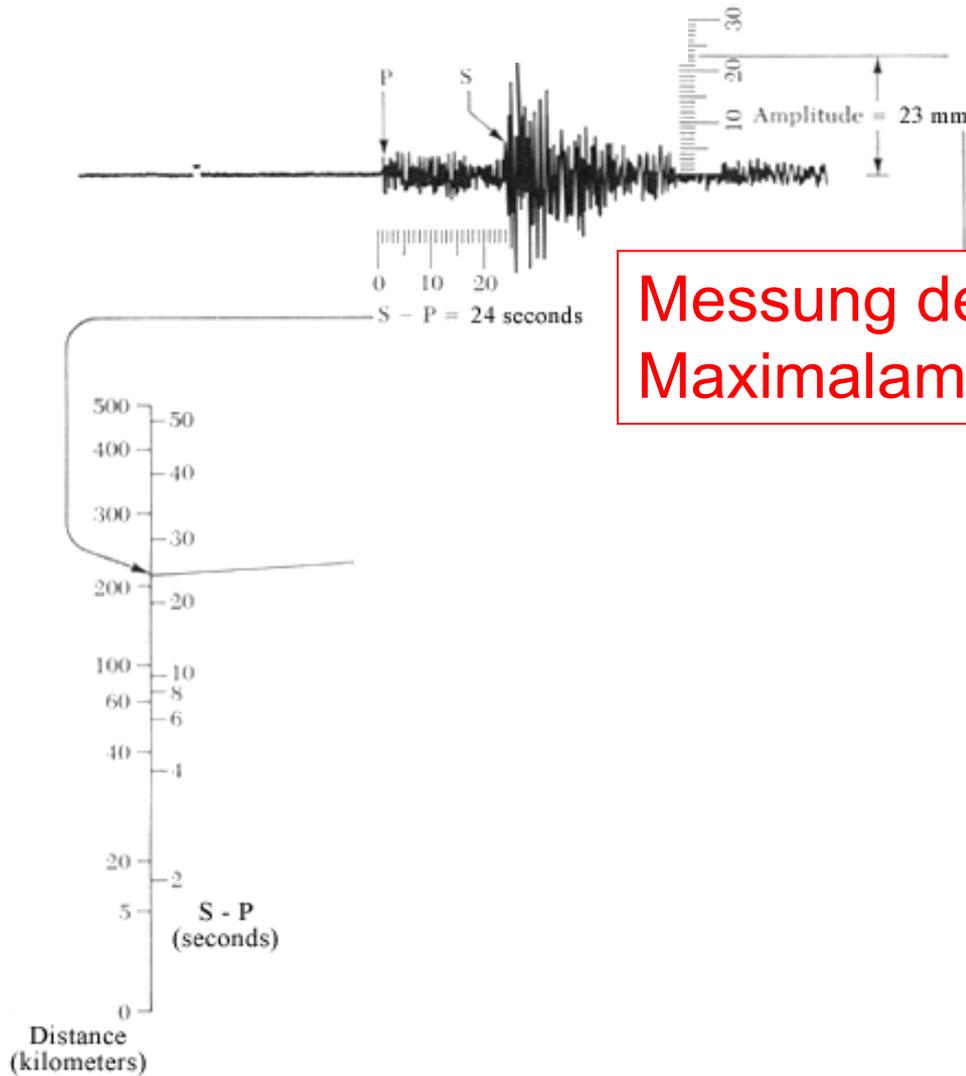
# Magnitude



Zeitdifferenz S – P:  
Herdentfernung

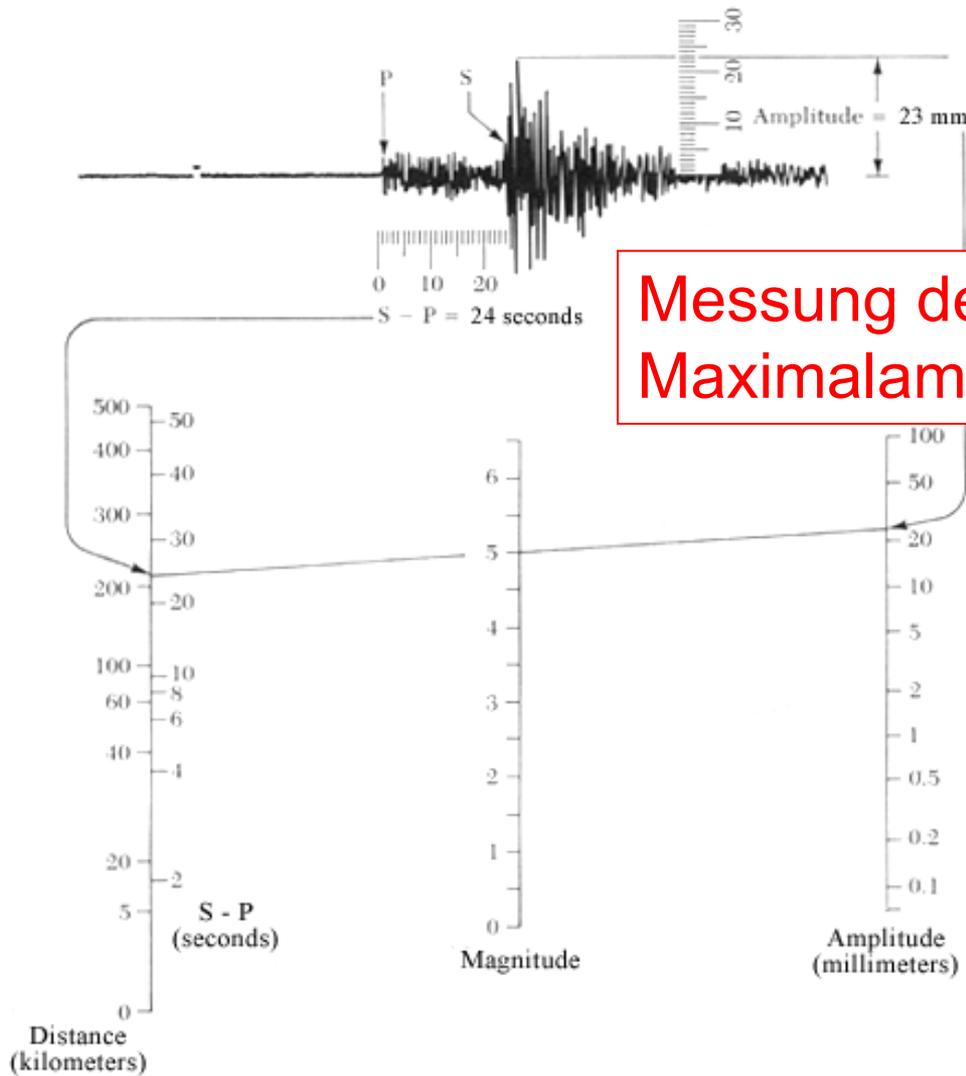


# Magnitude

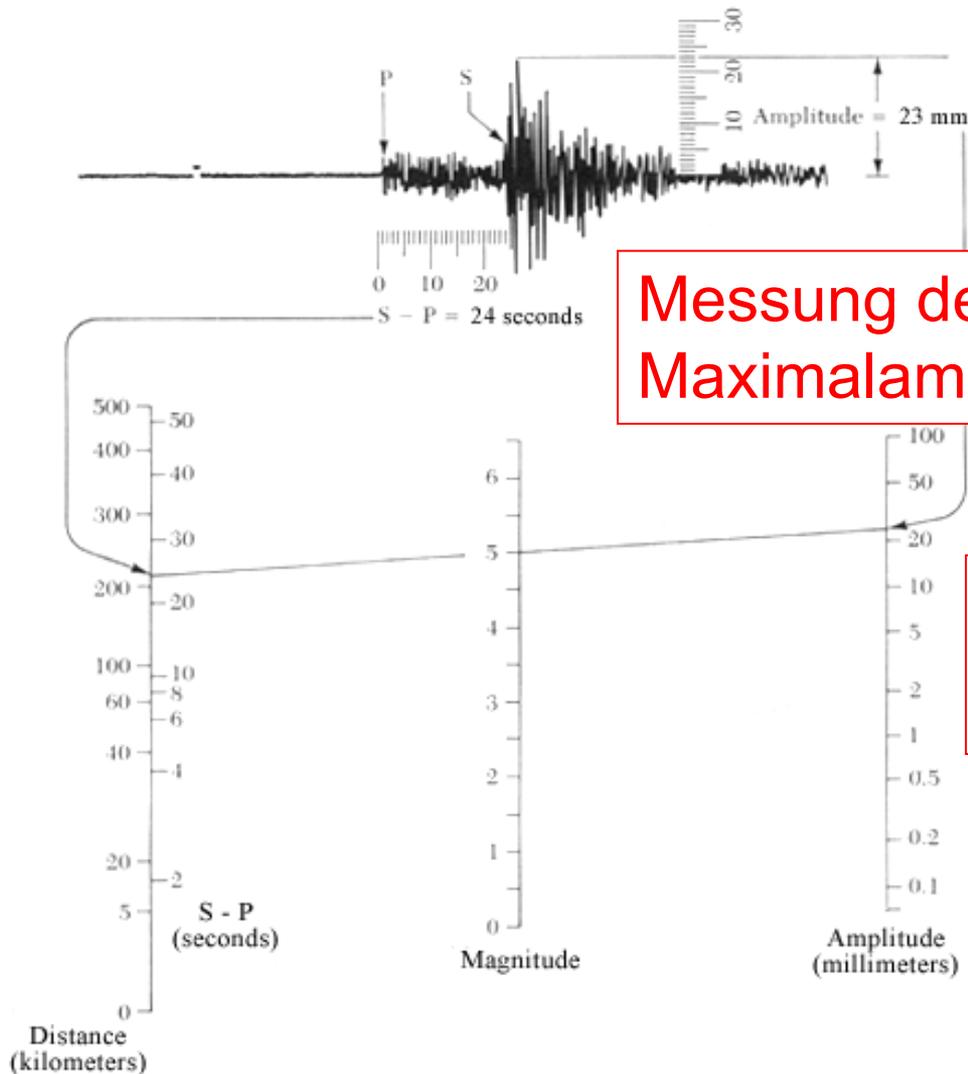


Messung der  
Maximalamplitude

# Magnitude



# Magnitude

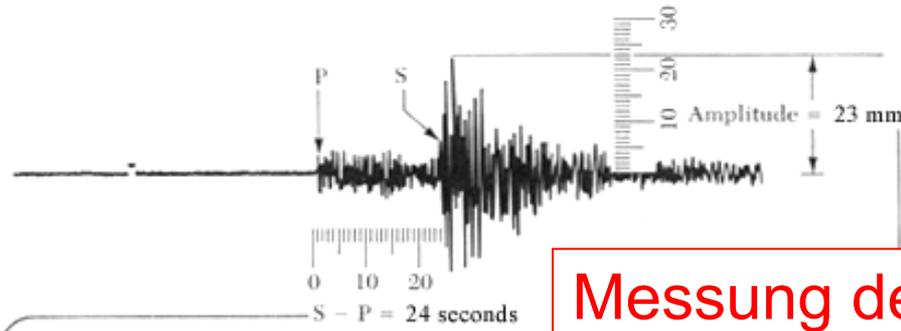


Messung der  
Maximalamplitude

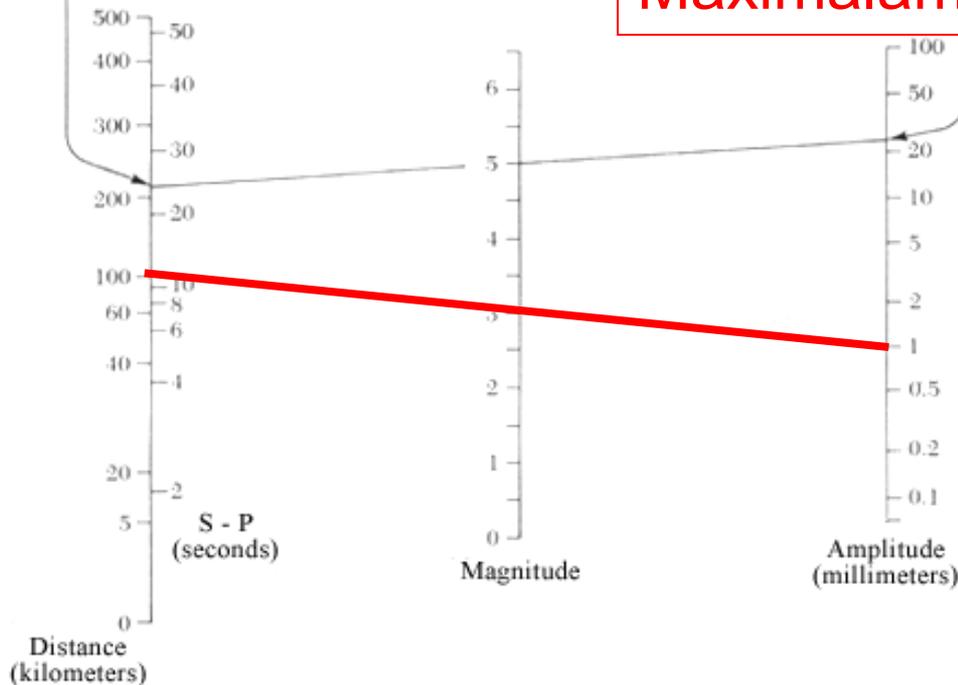
Wahl der Achsen von Richter:

- $M_L = 3$  entspricht  $A = 1 \cdot 10^{-3}$  m  
in Entfernung  $R = 100$  km

# Magnitude



Messung der  
Maximalamplitude



Wahl der Achsen von Richter:

- $M_L = 3$  entspricht  $A = 1 \cdot 10^{-3}$  m in Entfernung  $R = 100$  km

# Magnitude

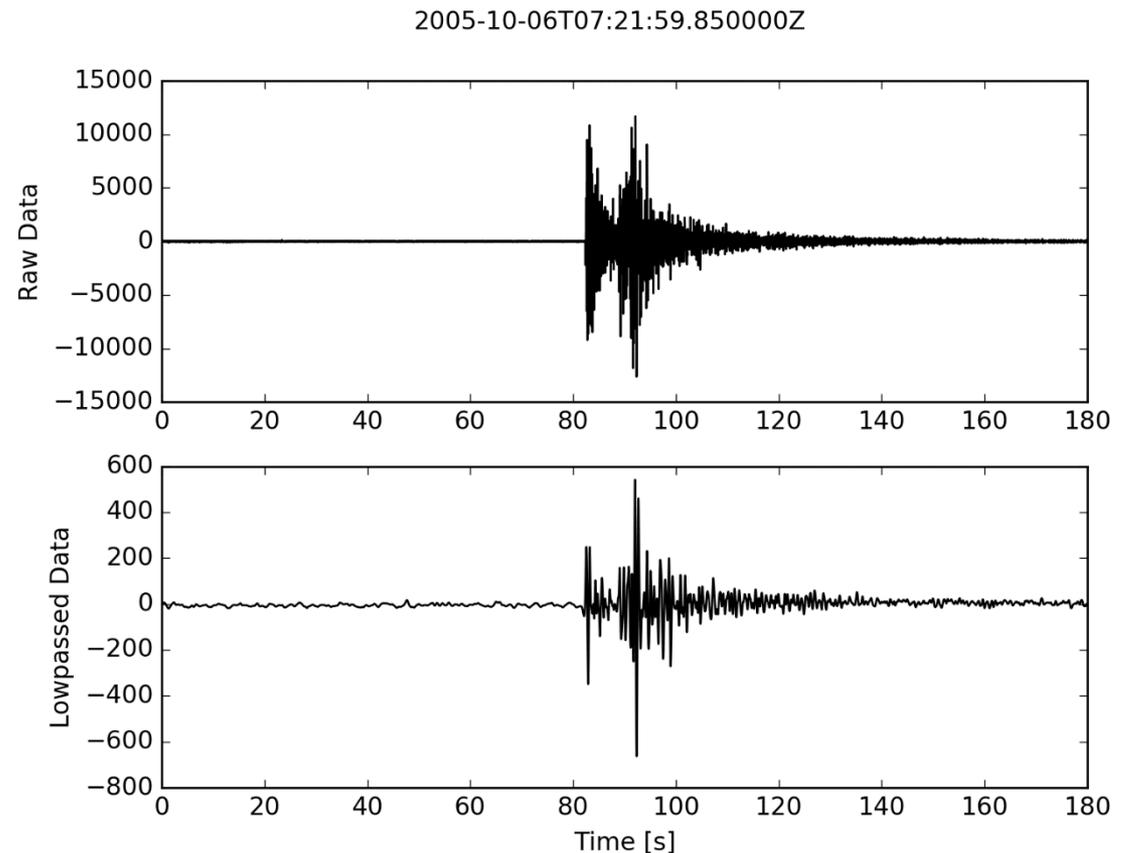
$$\log_{10} A(M, R) = f(M) - g(R)$$

Magnitude ist außerdem noch eine Funktion der Frequenz, da ein Seismogramm nach einer Filterung unterschiedlich große Amplituden hat

# Magnitude

$$\log_{10} A(M, R) = f(M) - g(R)$$

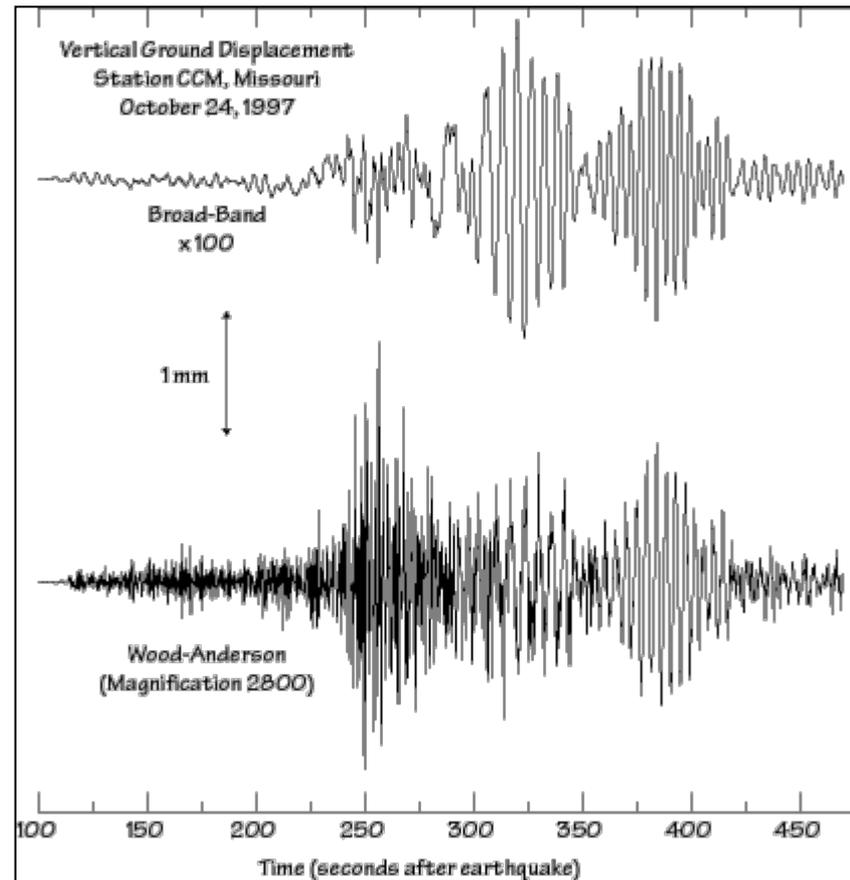
Magnitude ist außerdem noch eine Funktion der Frequenz, da ein Seismogramm nach einer Filterung unterschiedlich große Amplituden hat



# Magnitude

$$\log_{10} A(M, R) = f(M) - g(R)$$

Unterschiedliche Seismometer sind ebenfalls Filter, da sie nur Wellen in einem bestimmten Frequenzbereich aufzeichnen.



# Magnitude

Allgemeine Form der Magnitudengleichung:

$$M = \log(A/T) + f(\Delta, h) + C_s + C_r$$

A: Amplitude

T: Periode

$\Delta$ : Epizentralentfernung

h: Herdtiefe

$C_s$ : Korrektur für Untergrund der Station

$C_r$ : Korrektur für Untergrund der Region um Quelle

# Magnitude

Allgemeine Form der Magnitudengleichung:

$$M = \log(A/T) + f(\Delta, h) + C_s + C_r$$

A: Amplitude

T: Periode

$\Delta$ : Epizentralentfernung

h: Herdtiefe

$C_s$ : Korrektur für Untergrund der Station

$C_r$ : Korrektur für Untergrund der Region um Quelle

Können bei lokalen  
Betrachtungen  
vereinfacht werden

# Magnitude

Lokal-Magnitude („Richter-Magnitude“)  $M_L$ :

$$M_L = \log A + 2.56 \log \Delta - 1.67$$

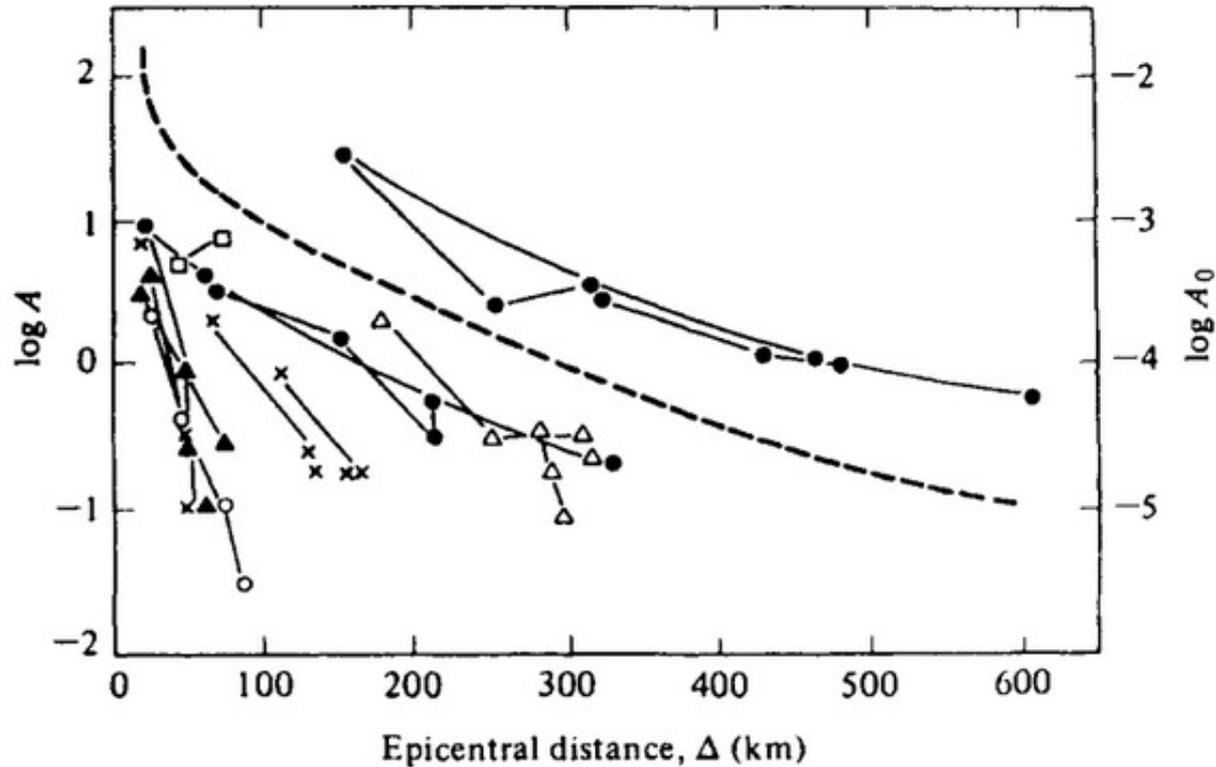
A: Amplitude der Oberflächenwellen

$\Delta$ : Epizentralentfernung (Herdtiefe wird vernachlässigt)

T wird nicht verwendet, da die Magnitude mit Seismometern der gleichen Bauart bestimmt wurde, die das Maximum der Energie bei  $T = 1$  s übertragen.

Bis 600 km Herdentfernung geeignet.

Richter: „Negative Magnituden möglich, aber Wahl so getroffen, dass aufgezeichnete Beben immer  $M > 0$  haben.“



**FIGURE 9.18** Origin of the local magnitude scale, based on the systematic decrease of seismic amplitudes with distance. The data are for Southern California earthquakes in January, 1932. (From Richter, 1958. Copyright © 1958 by W. H. Freeman and Co. Reprinted with permission.)

# Magnitude

Raumwellen-Magnitude  $m_b$ :

$$m_b = \log(A_P/T_P) + f(\Delta, h)$$

$A_S$ : Amplitude der P-Wellen

$T_P$ : Periode kleiner 3 s

$\Delta$ : Epizentralentfernung

$h$ : Herdtiefe

# Magnitude

Oberflächenwellen-Magnitude  $M_S$ :

$$M_S = \log(A_S/T_S) + 1,66 + \log(\Delta) + 3.3$$

$A_S$ : Amplitude der Oberflächenwellen

$T_S$ : Periode 18 – 22 s

$\Delta$ : Epizentralentfernung (Herdtiefe wird vernachlässigt)

# Magnitude

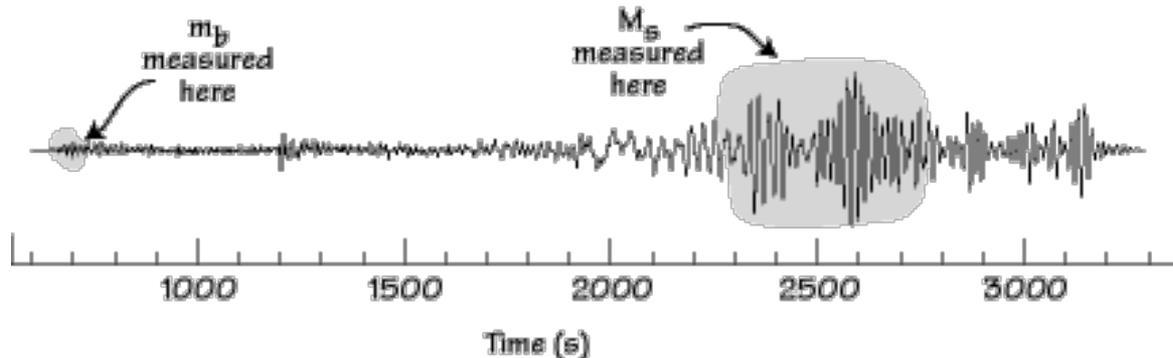
Oberflächenwellen-Magnitude  $M_S$ :

$$M_S = \log(A_S/T_S) + 1,66 + \log(\Delta) + 3.3$$

$A_S$ : Amplitude der Oberflächenwellen

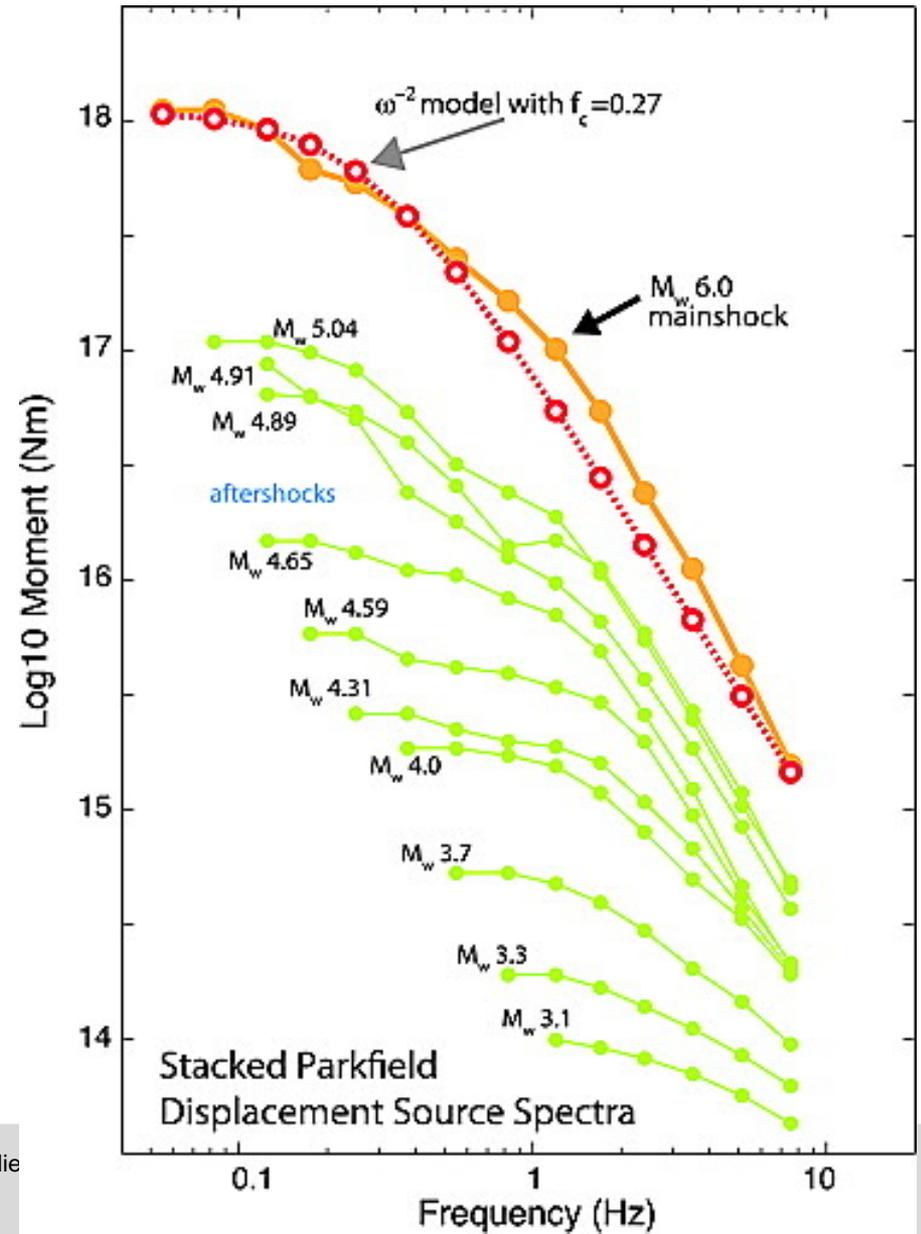
$T_S$ : Periode 18 – 22 s

$\Delta$ : Epizentralentfernung (Herdtiefe wird vernachlässigt)

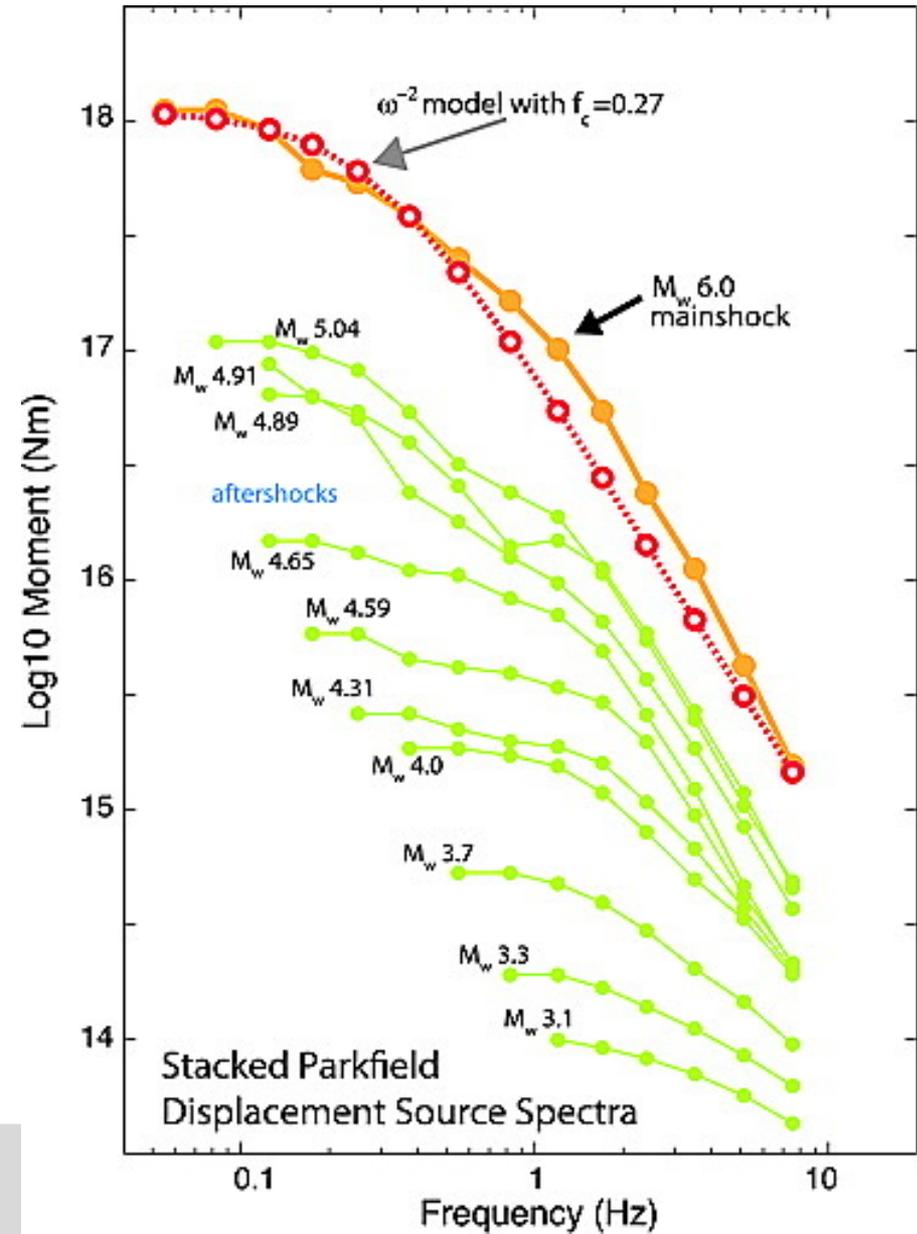
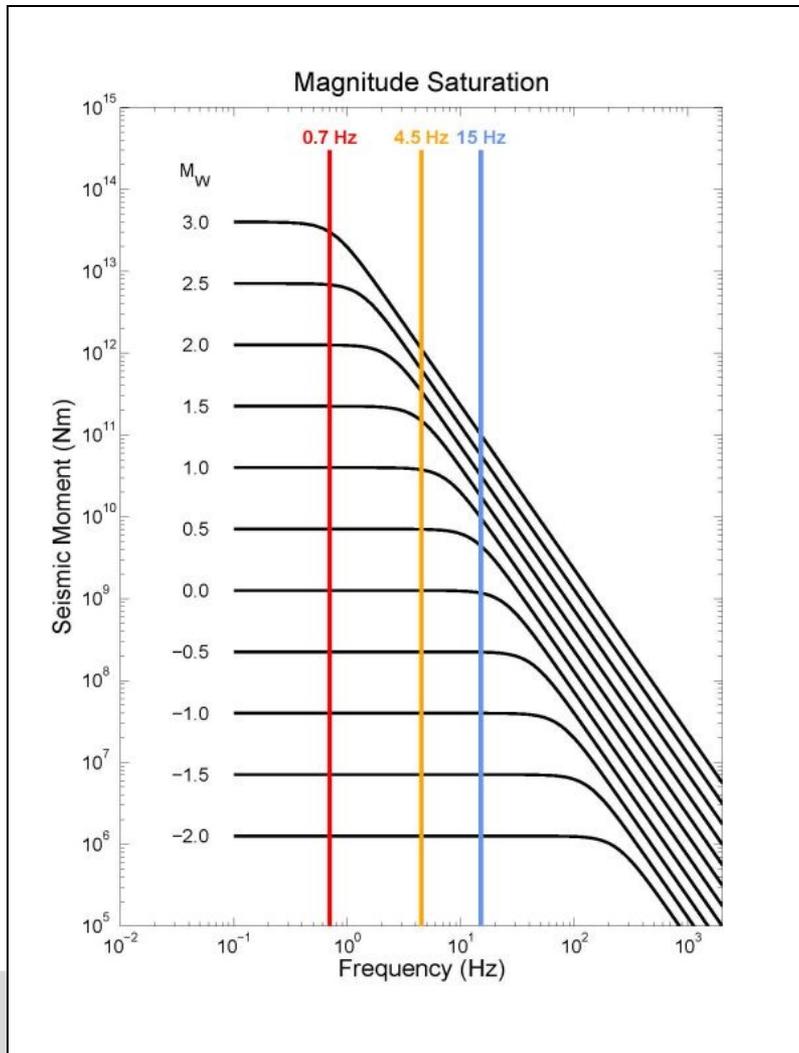


# Magnitude

## Sättigung von Magnituden Quellspektrum

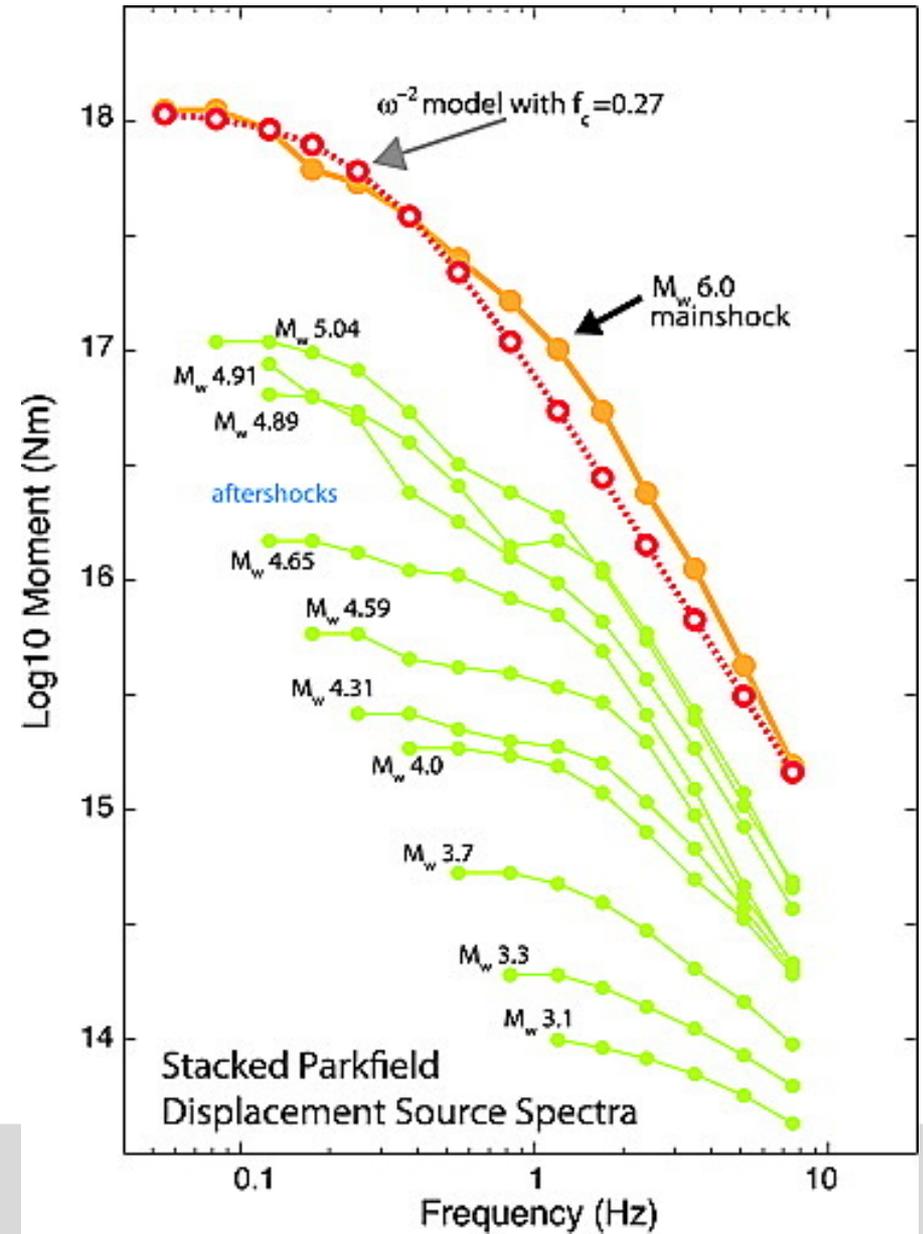
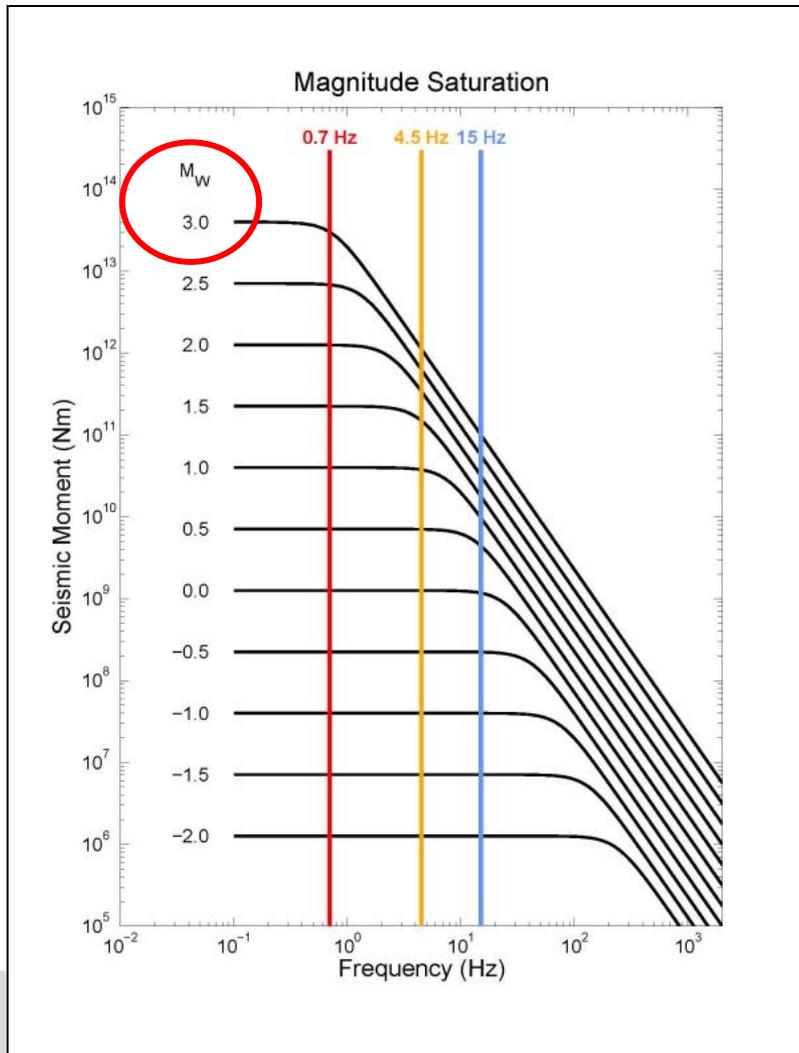


## Sättigung von Magnituden

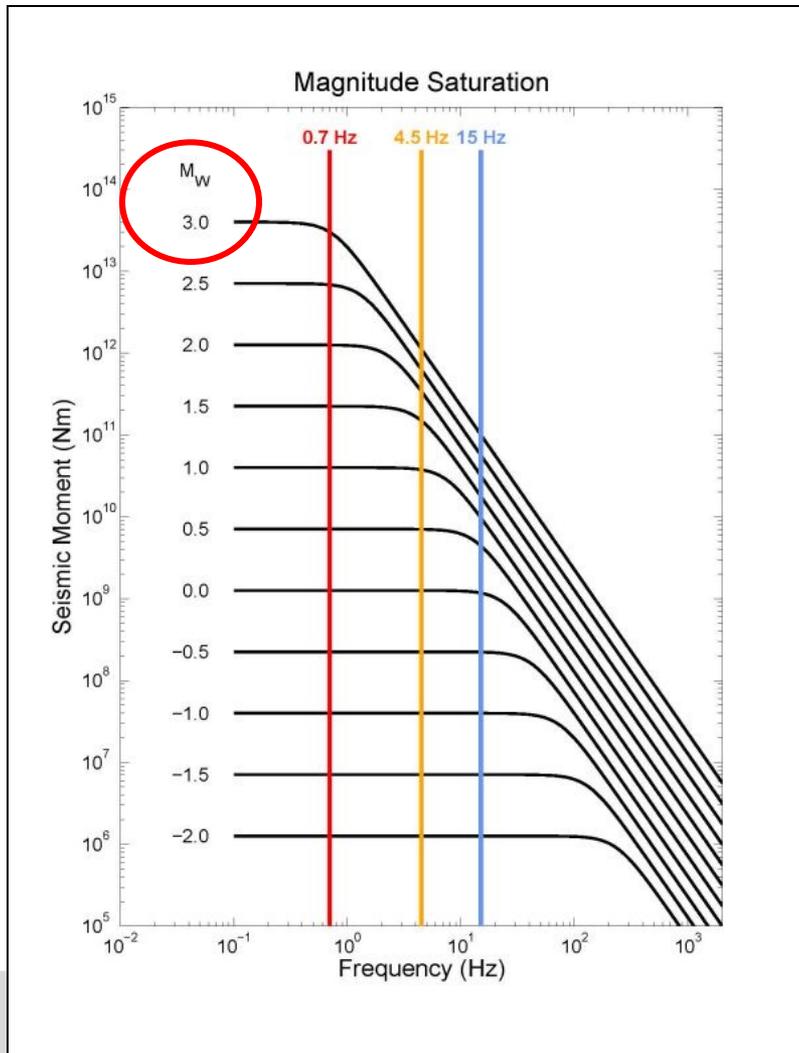


# Magnitude

## Sättigung von Magnituden



## Sättigung von Magnituden



→ Momenten-Magnitude  $M_W$ :

$$M_W = 2/3 ( \log(M_0) - 9.1 )$$

$M_0$ : seismisches Moment in Nm

# Magnitude

Seismisches Moment  $M_0$  hängt nur von physikalischen Parametern des Bruchs ab:

$$M_0 = \mu A D$$

$\mu$  = Schermodul

$A$  = Größe der Bruchfläche

$D$  = Größe der Verschiebung auf der Bruchfläche

# Magnitude

Seismisches Moment  $M_0$  hängt nur von physikalischen Parametern des Bruchs ab:

$$M_0 = \mu A D$$

$\mu$  = Schermodul

$A$  = Größe der Bruchfläche

$D$  = Größe der Verschiebung auf der Bruchfläche

$M_0$  lässt sich aber auch aus der abgestrahlten Energie  $E$  berechnen (die wiederum von  $A^2$  abhängt):

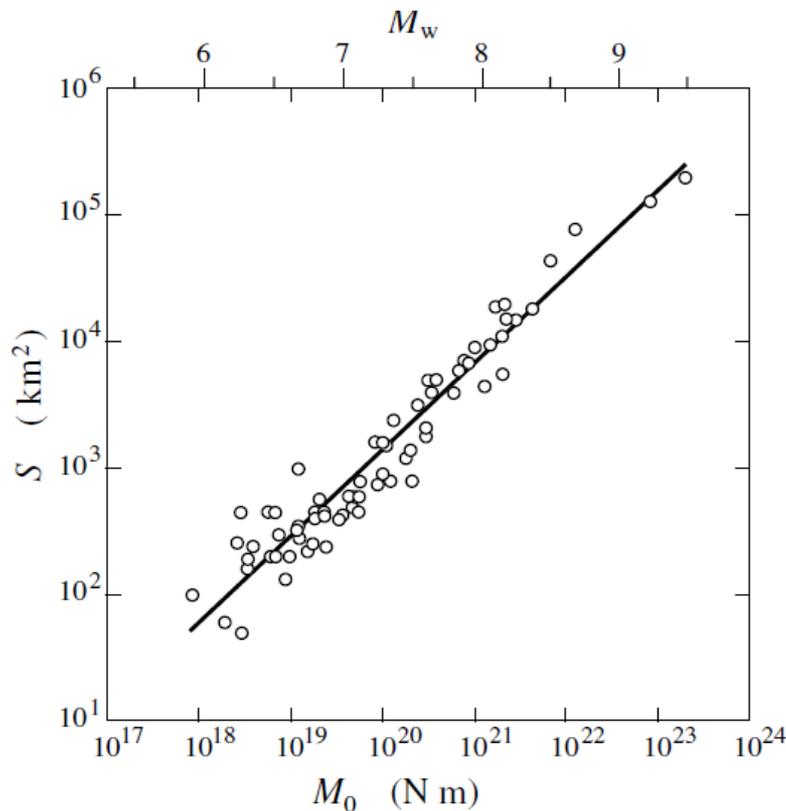
$$M_0 = 2\mu E / \Delta\sigma \quad \text{mit Spannungsabfall } \Delta\sigma$$

# Magnitude



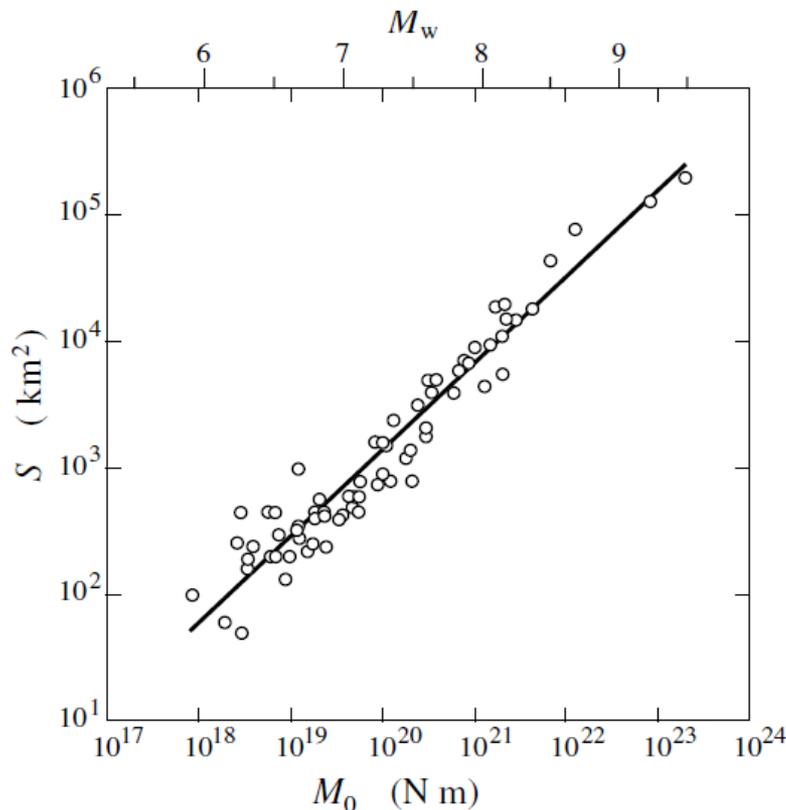
# Skalierungsbeziehungen

Bei Erdbeben-Brüchen hat man experimentell verschiedene Proportionalitäten festgestellt:



# Skalierungsbeziehungen

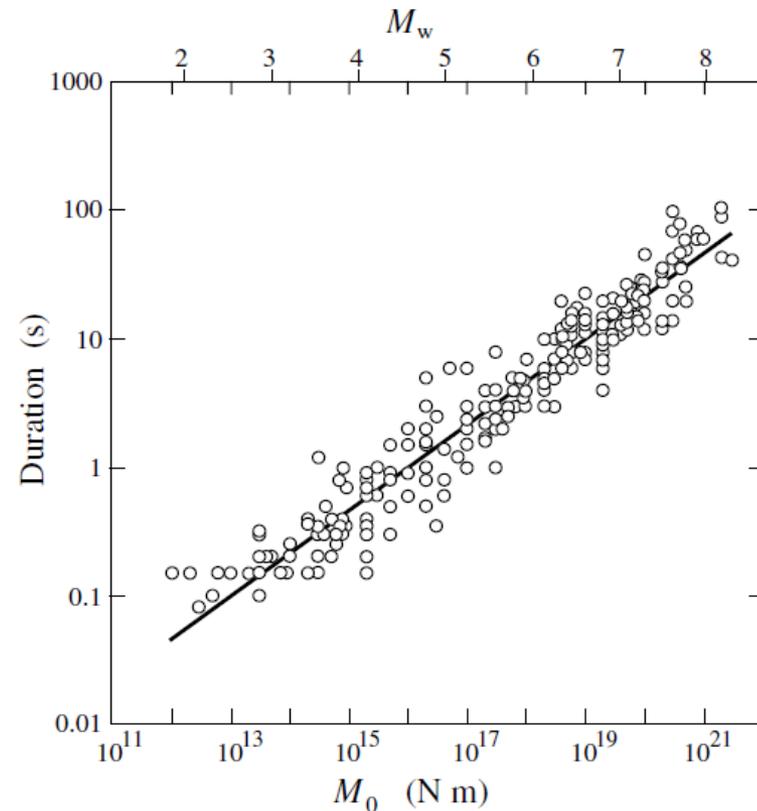
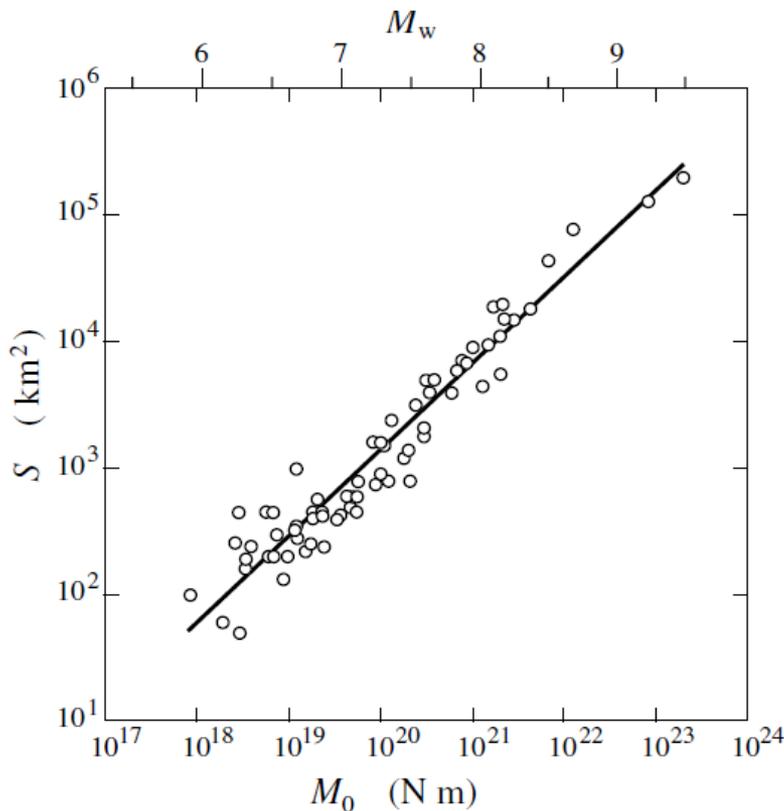
Bei Erdbeben-Brüchen hat man experimentell verschiedene Proportionalitäten festgestellt:



$$M_W = 2/3 ( \log(M_0) - 9.1 )$$

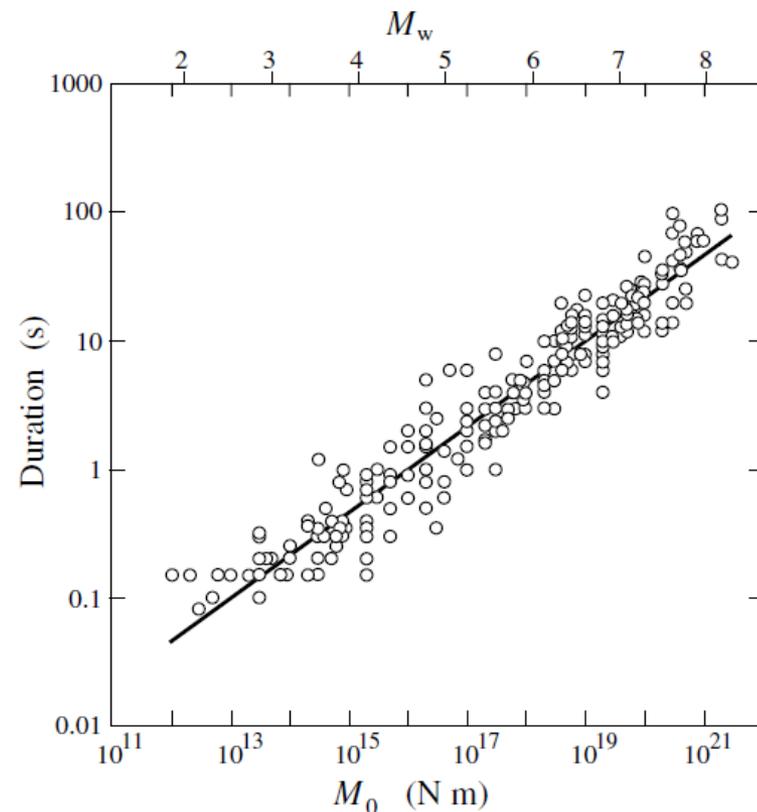
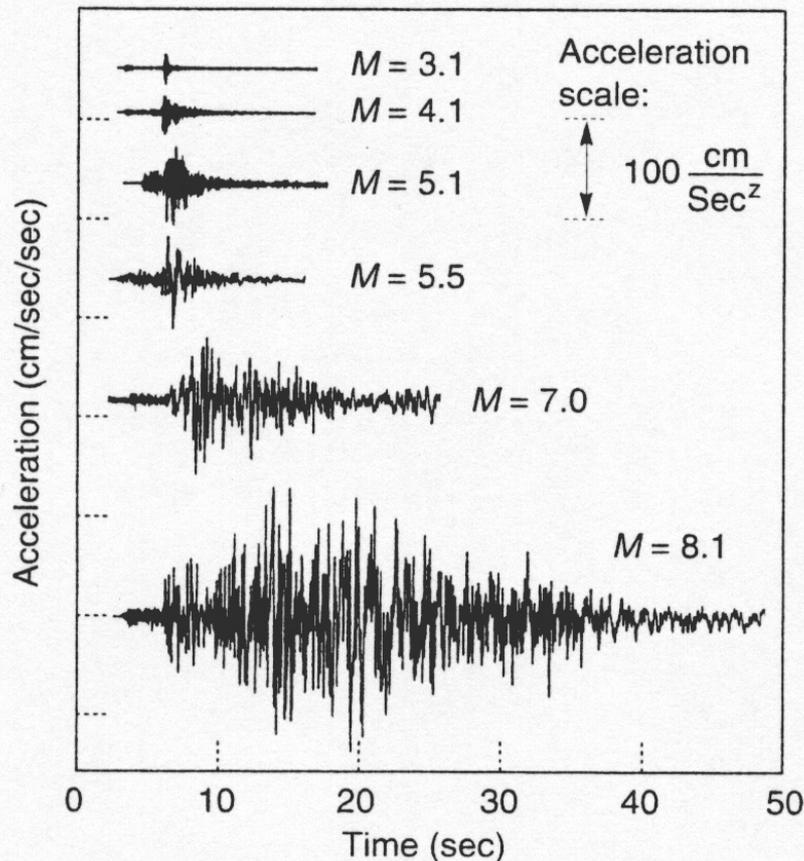
# Skalierungsbeziehungen

Bei Erdbeben-Brüchen hat man experimentell verschiedene Proportionalitäten festgestellt:



# Skalierungsbeziehungen

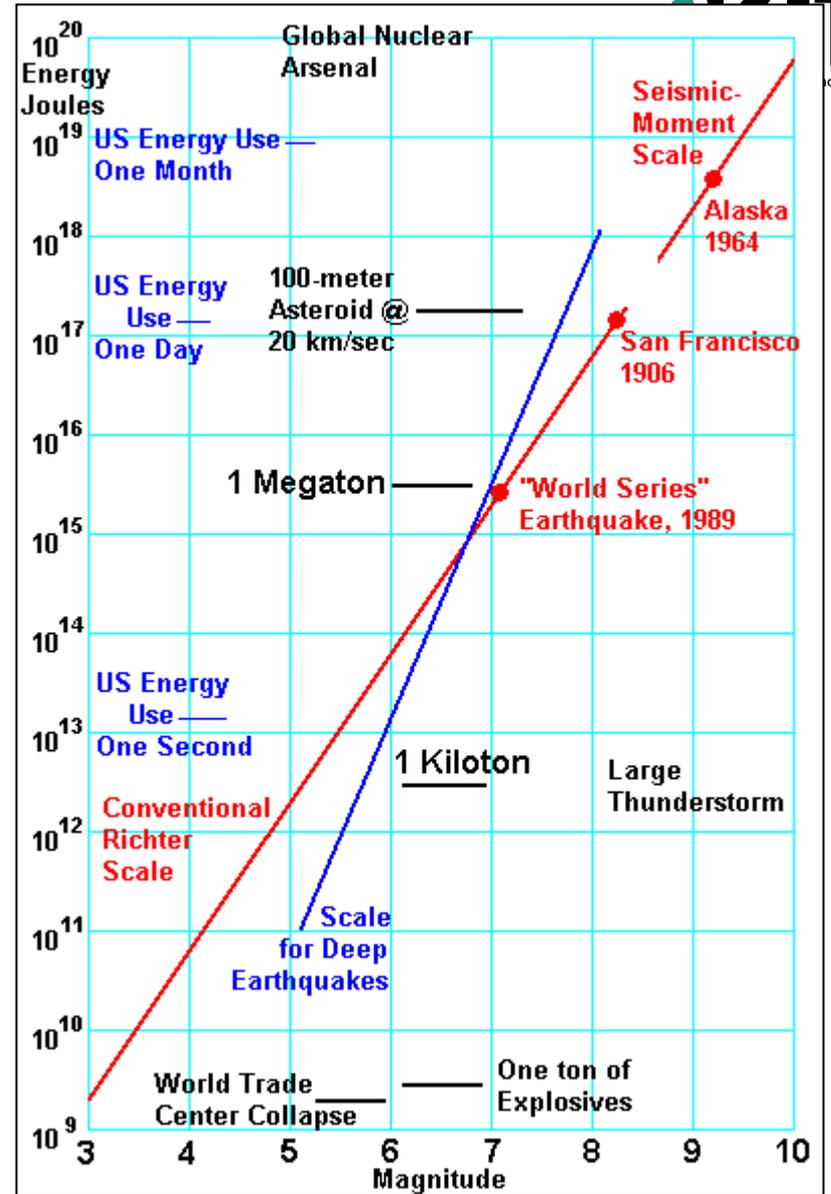
Bei Erdbeben-Brüchen hat man experimentell verschiedene Proportionalitäten festgestellt:



# Skalierungsbeziehungen

Energie E und Magnitude:

$$\log_{10}(E) = 4.8 + 1.5 M_S$$



# Skalierungsbeziehungen

Energie E und Magnitude:

$$\log_{10}(E) = 4.8 + 1.5 M_S$$

## Energieumsatz bei Erdbeben

Energieformen

Deformationsenergie

Gravitationsenergie

} potentielle Energie W

Abgestrahlte Energie

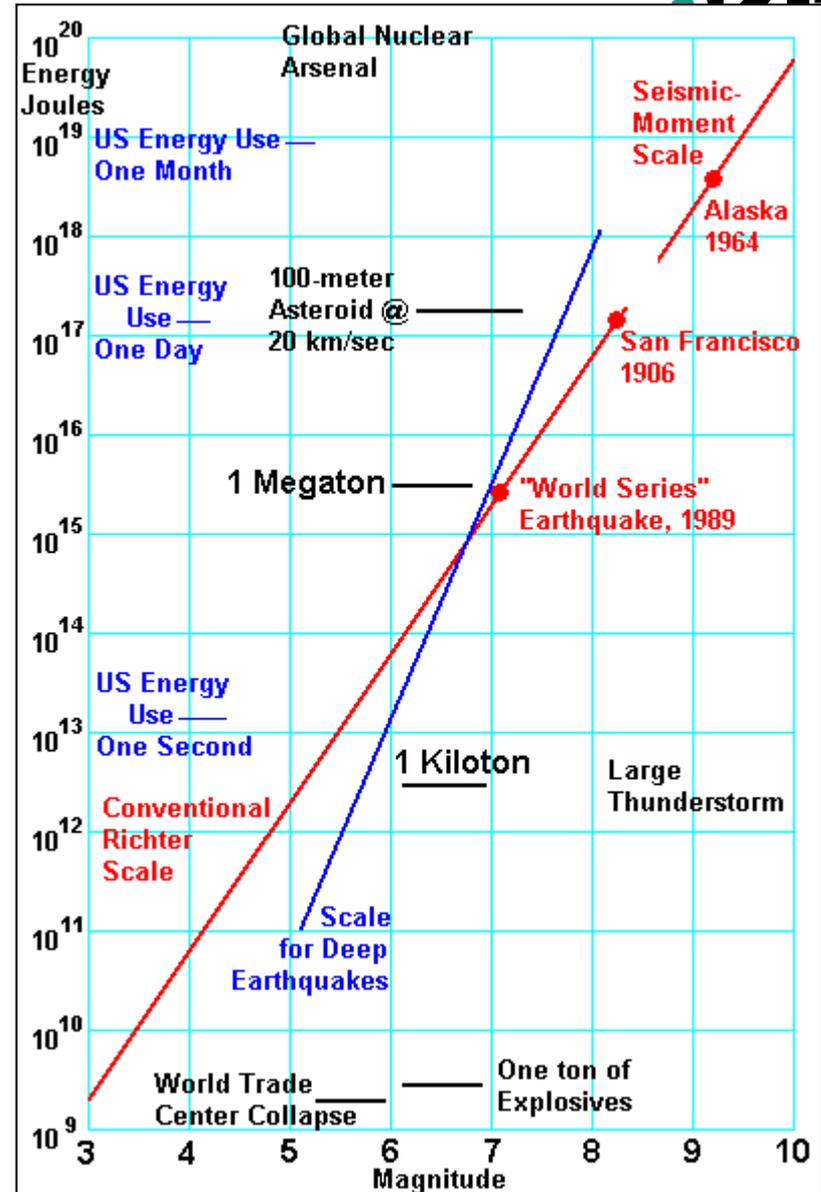
$E_S$

Wärme (Reibungsverluste)

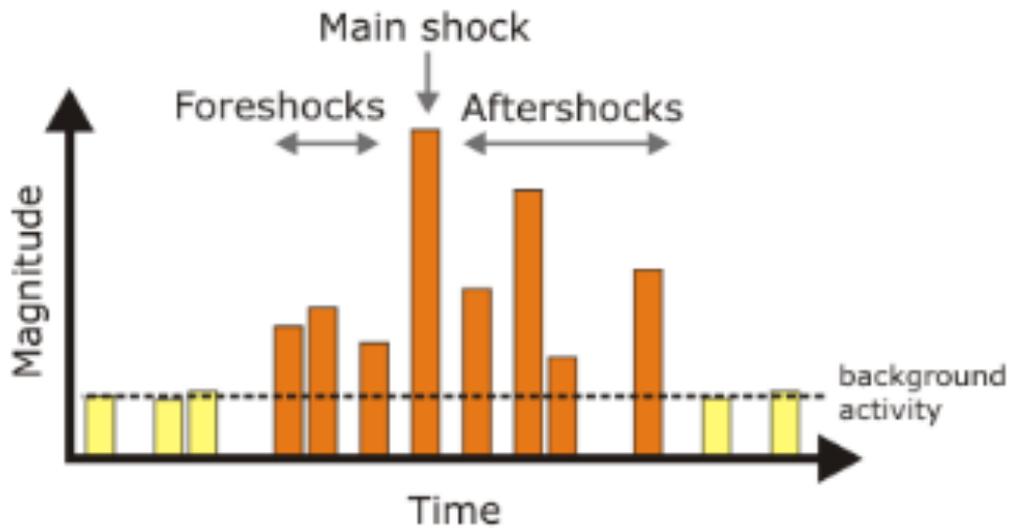
$E_F$

Oberflächenenergie (Bruch)

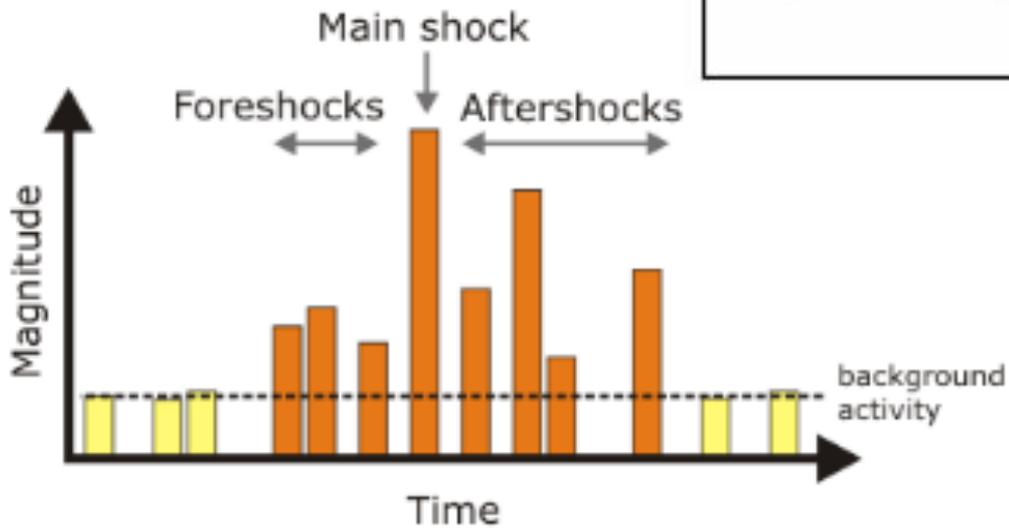
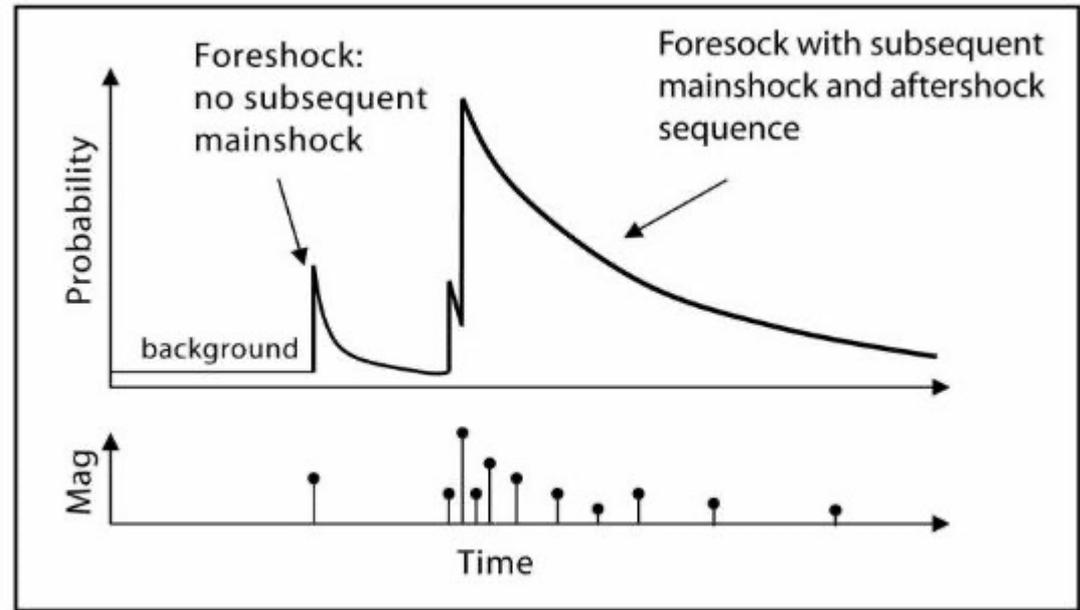
$E_G$



# Verteilung von Erdbeben

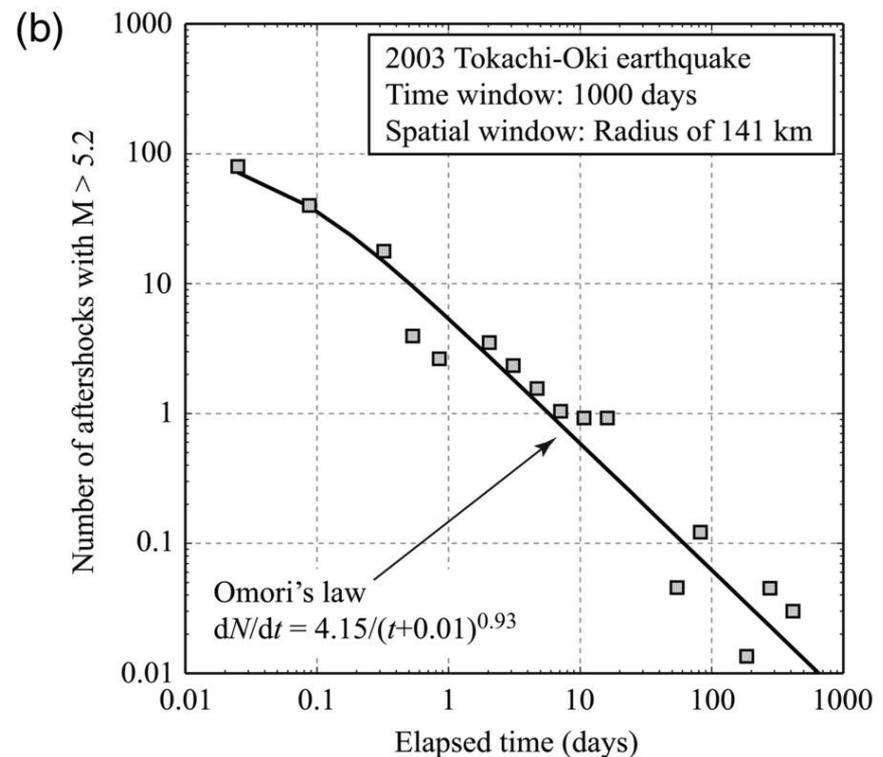
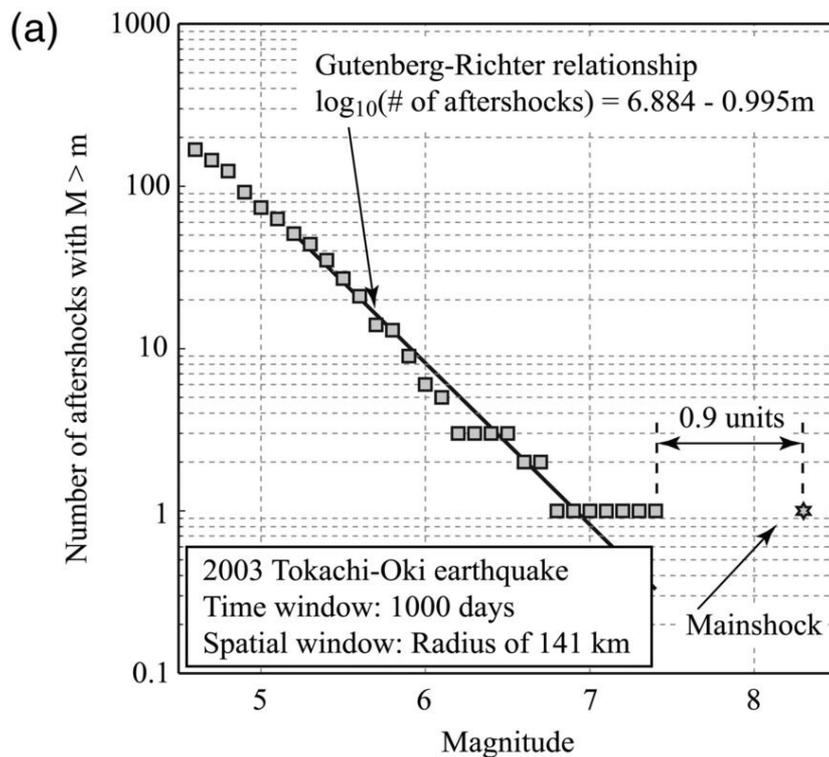


# Verteilung von Erdbeben

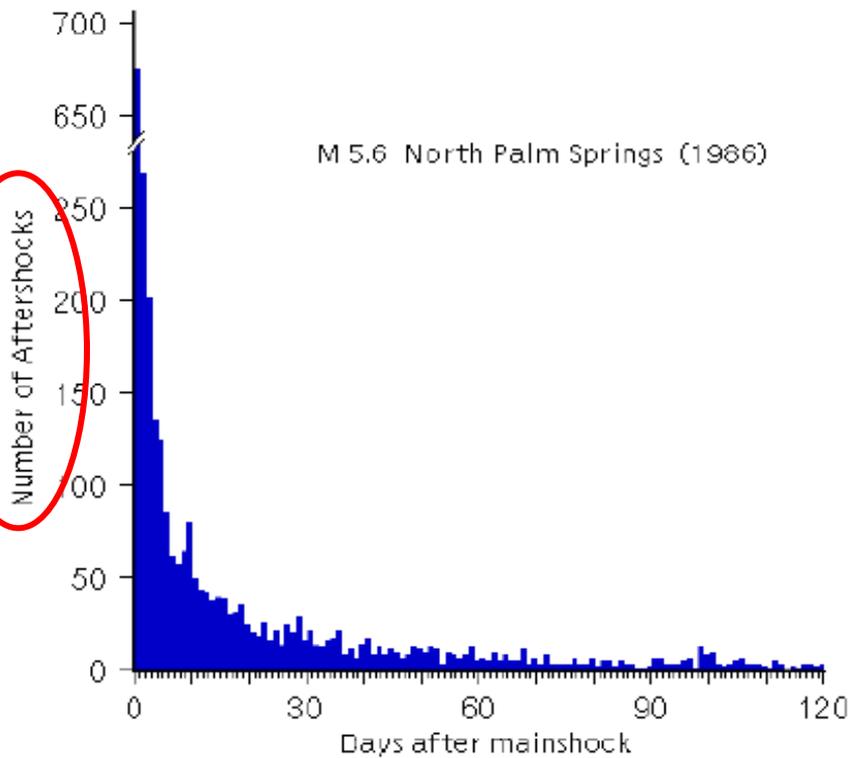


# Verteilung von Erdbeben

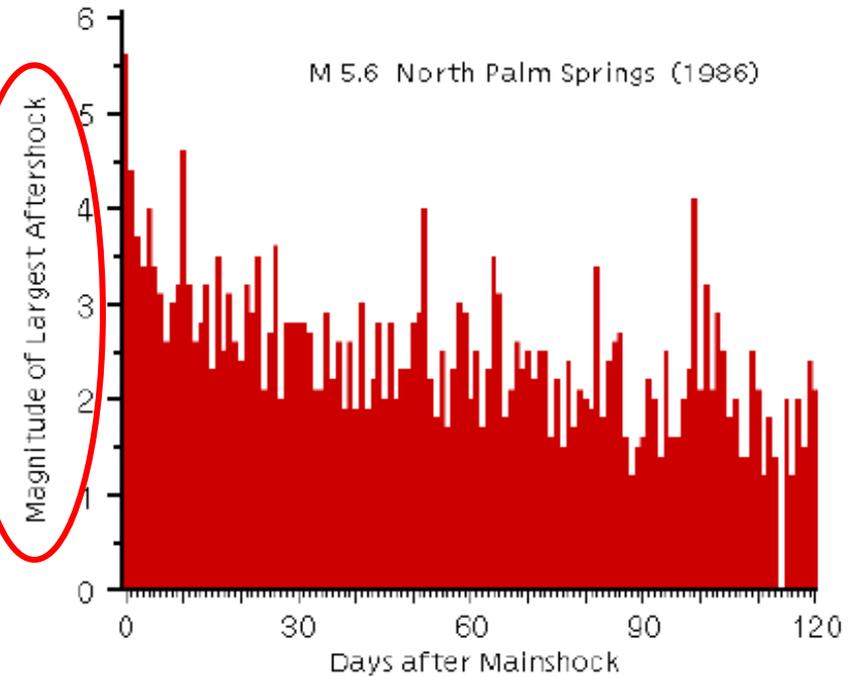
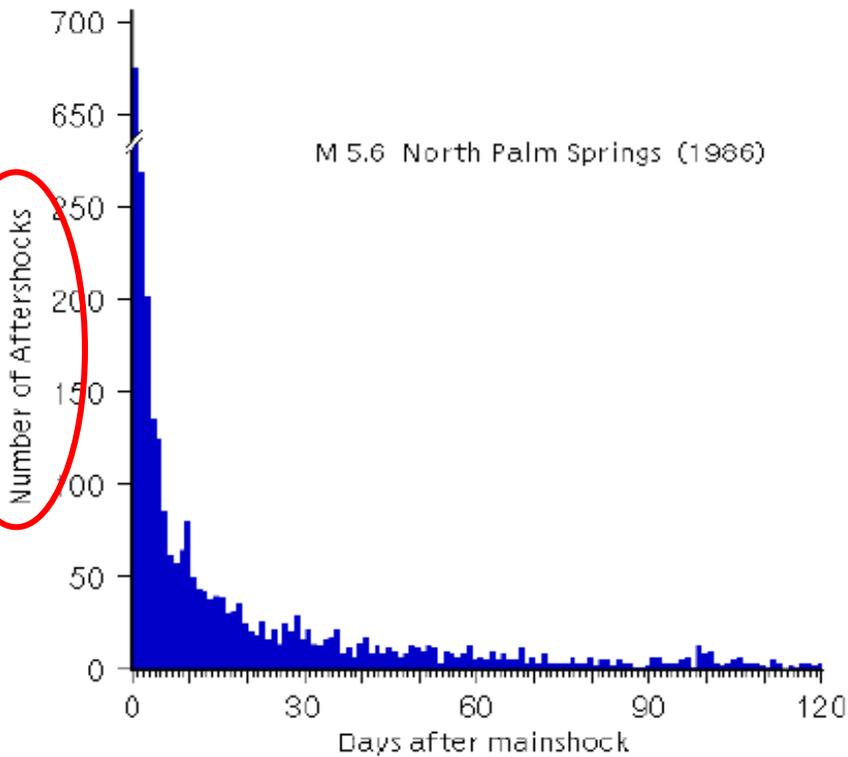
Gesetz von Omori: Anzahl der Nachbeben  $N_{NB}$  über Zeit  $t$   
 $N_{NB}(t) \sim 1/(t - t_{Herd})^p$  mit  $p = \text{exp. best. Konstante}$



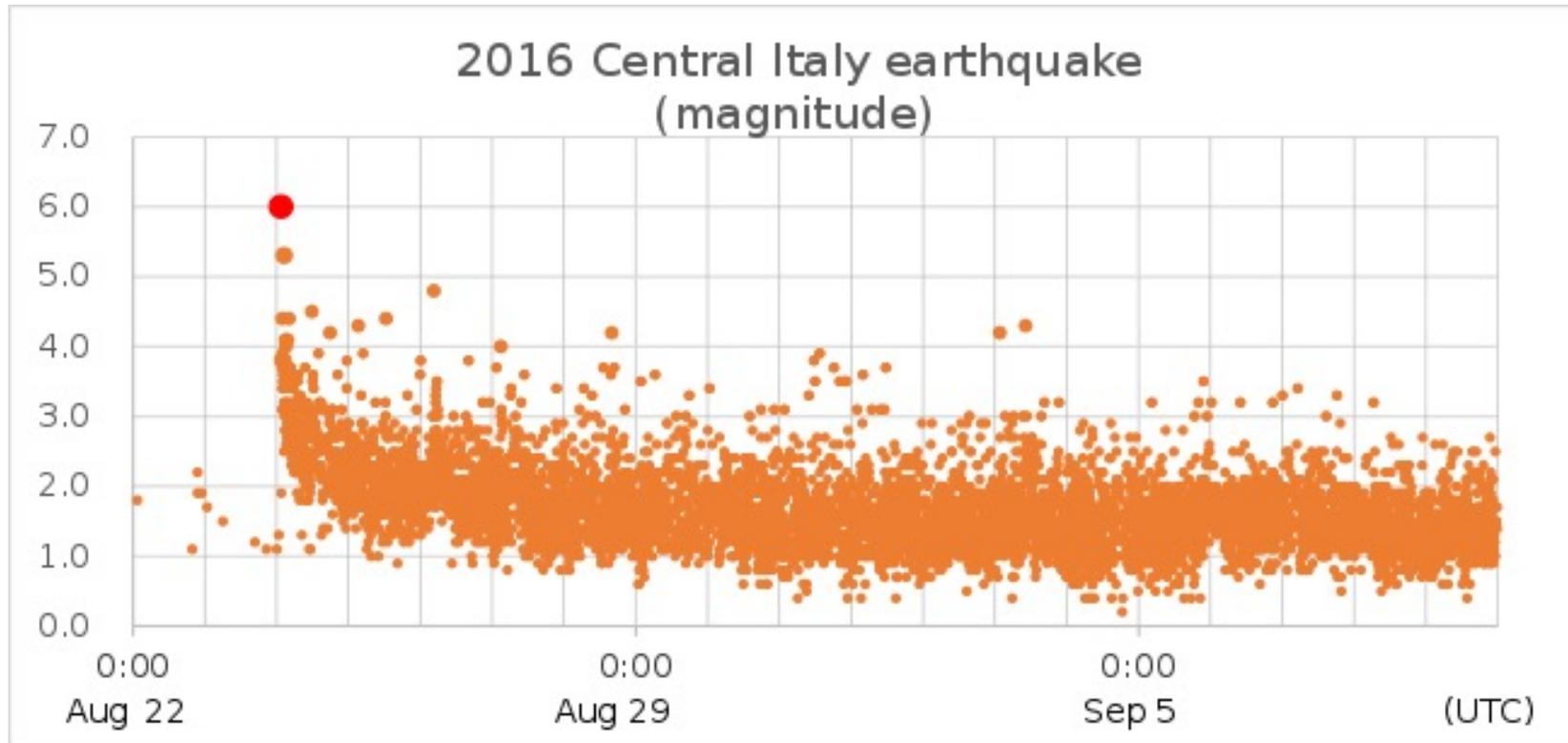
# Verteilung von Erdbeben



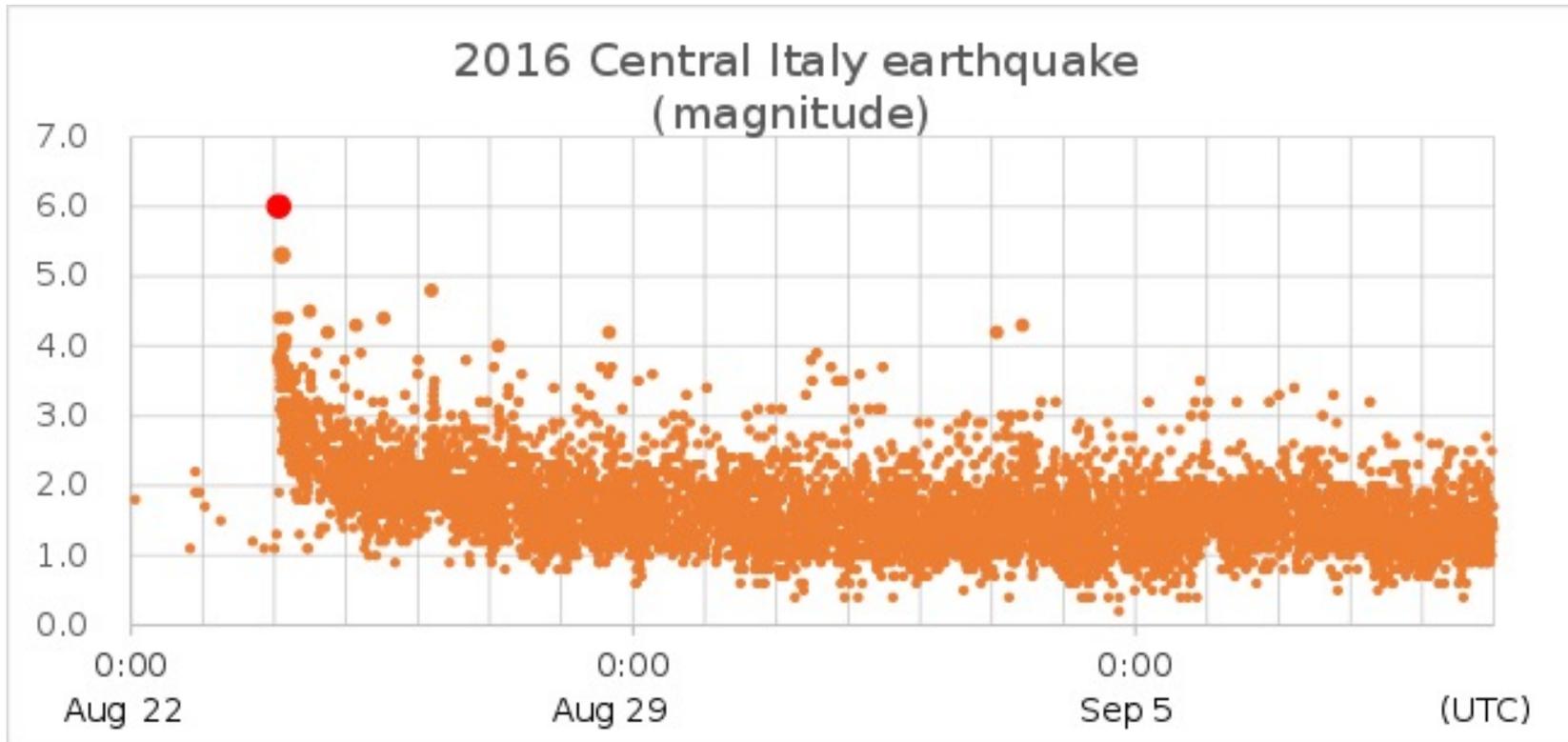
# Verteilung von Erdbeben



# Verteilung von Erdbeben



# Verteilung von Erdbeben



- (Starke) Nachbeben können vorgeschädigte Gebäude zerstören
- Psychologische Faktoren: Angst in Bevölkerung

# Magnitude und Intensität

## Magnitude:

- Wird aus der Amplitude oder dem seism. Moment bestimmt
- Log. Skala: Erhöhung der Magnitude um 1: 10fache Bodenbewegung, 32-fache Energiefreisetzung
- korreliert nicht immer mit Schäden

## Intensität:

- Basiert auf menschlichen Beobachtungen und Schäden
- Nachteil: keine physikalische Beschreibung des Bruchvorgangs möglich

# Intensitätsskala

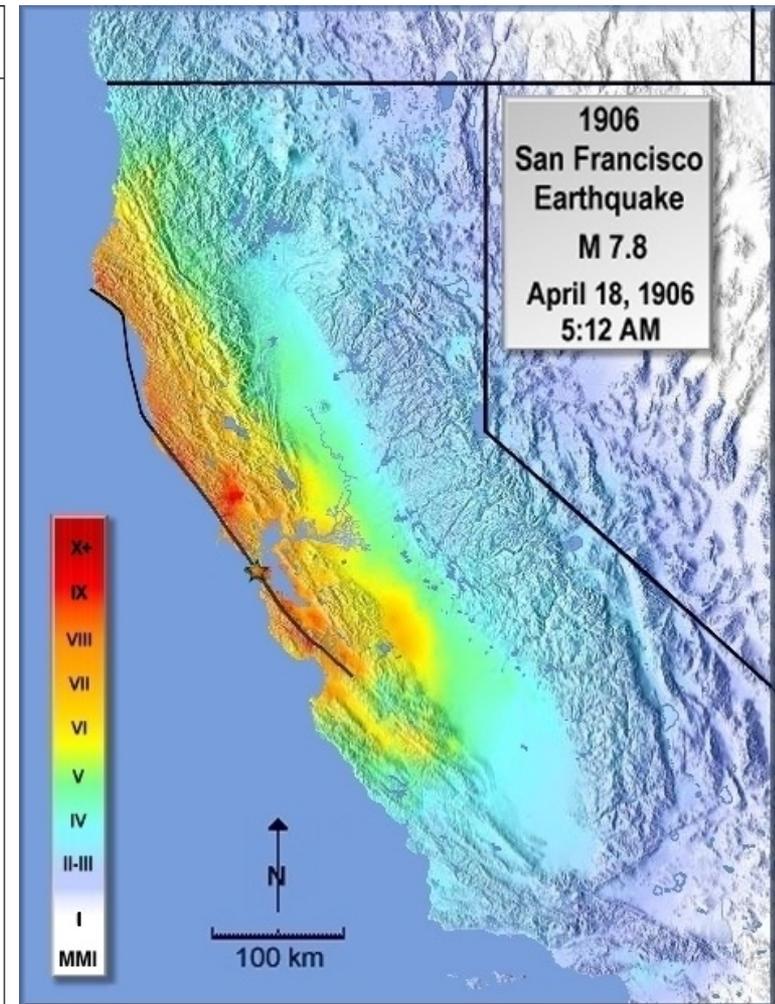
EMS-98 Intensität	Geführt	Auswirkungen	Magnitude (Näherungs- werte)	Gebäudeschäden (Mauerwerk)
I	Nicht fühlbar	Nicht fühlbar	2	
II-III	Schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Schütteln.		
IV	Leicht	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.	3	
V	Moderat	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen, wenige reagieren verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.		
VI	Stark	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Risse im Mauerwerk oder Verputz.	4	
VII	Sehr stark	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen aus Regalen. An solide gebauten Häusern treten häufig mässige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Schäden am Verputz, Herabfallen von Ziegeln). Vor allem Gebäude in schlechterem Zustand erleiden grössere Mauerrisse und Zwischenwände stürzen ein.		
VIII	Heftig	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An den meisten Gebäuden mit einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf, beispielsweise stürzen Giebelteile und Dachsimse ein.	5	
IX	Sehr heftig	Allgemeine Panik. Sogar gut gebaute Bauten zeigen sehr schwere Schäden und tragende Bauteile stürzen teils ein. Viel schwächere Bauten stürzen ein.		
X+	Extrem	Die meisten Bauwerke, selbst sehr solide gebaute, erleiden schwere Beschädigungen oder stürzen ein.	6	
			7	

© Schweizerischer Erdbebendienst

# Intensitätsskala

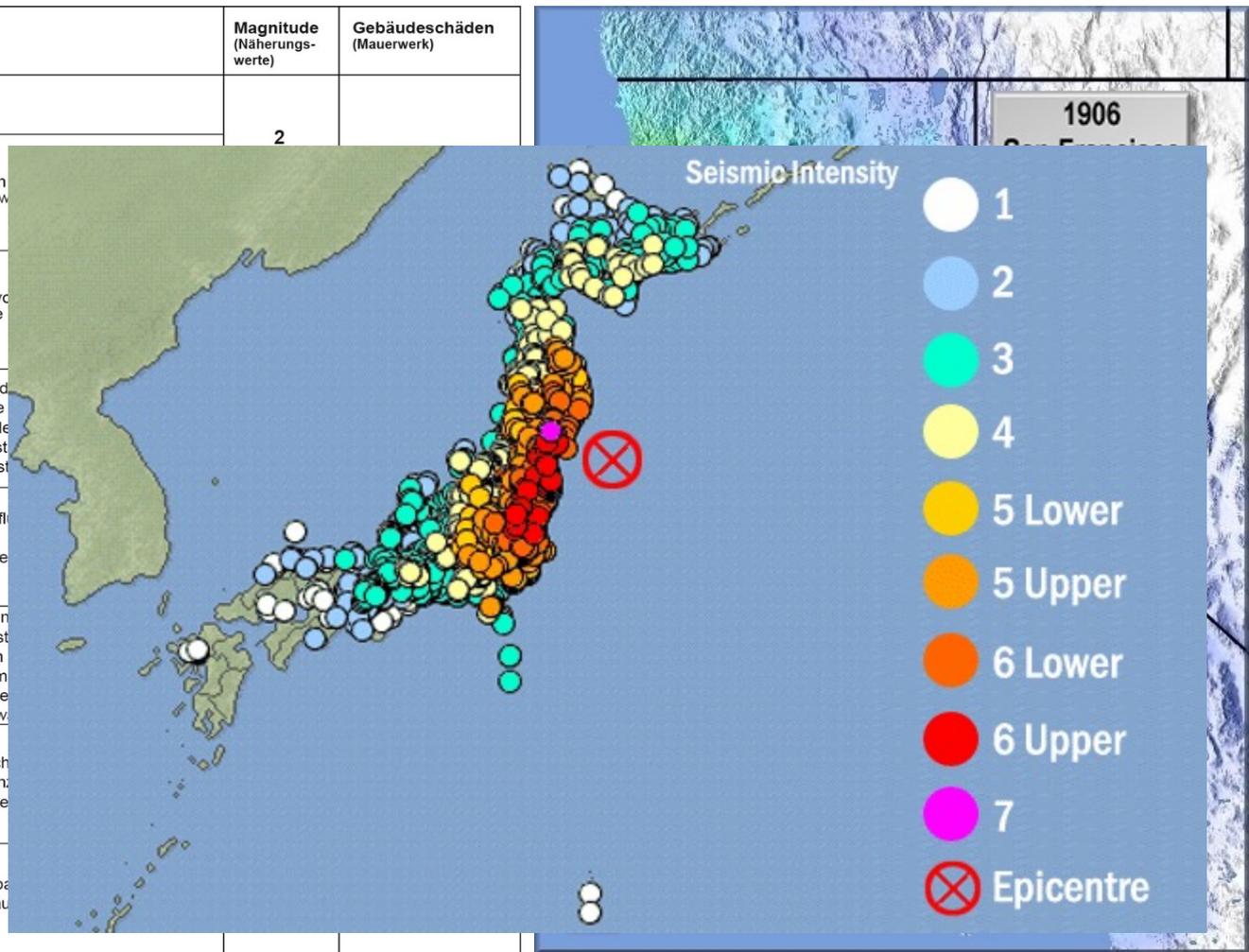
EMS-98 Intensität	Geführt	Auswirkungen	Magnitude (Näherungswerte)	Gebäudeschäden (Mauerwerk)
I	Nicht fühlbar	Nicht fühlbar	2	
II-III	Schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Schütteln.	3	
IV	Leicht	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.	4	
V	Moderat	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen, wenige reagieren verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.	5	
VI	Stark	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Risse im Mauerwerk oder Verputz.	6	
VII	Sehr stark	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen aus Regalen. An solide gebauten Häusern treten häufig mässige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Schäden am Verputz, Herabfallen von Ziegeln). Vor allem Gebäude in schlechterem Zustand erleiden grössere Mauerrisse und Zwischenwände stürzen ein.	7	
VIII	Heftig	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An den meisten Gebäuden mit einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf, beispielsweise stürzen Giebelteile und Dachsimse ein.		
IX	Sehr heftig	Allgemeine Panik. Sogar gut gebaute Bauten zeigen sehr schwere Schäden und tragende Bauteile stürzen teils ein. Viel schwächere Bauten stürzen ein.		
X+	Extrem	Die meisten Bauwerke, selbst sehr solide gebaute, erleiden schwere Beschädigungen oder stürzen ein.		

© Schweizerischer Erdbebendienst



# Intensitätsskala

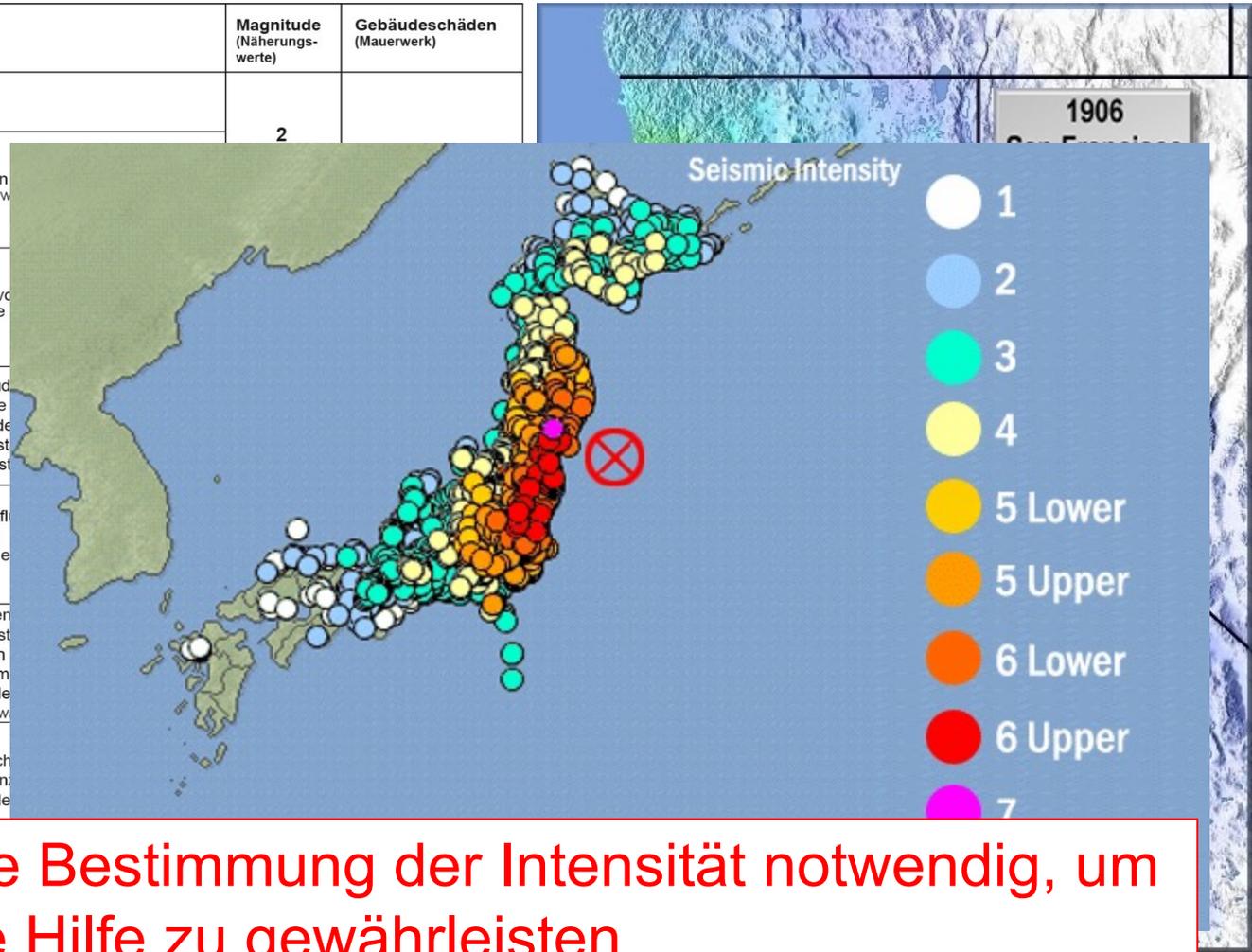
EMS-98 Intensität	Gefühlt	Auswirkungen	Magnitudo (Näherungswerte)	Gebäudeschäden (Mauerwerk)
I	Nicht fühlbar	Nicht fühlbar	2	
II-III	Schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden, die Personen fühlen ein leichtes Schw...		
IV	Leicht	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden wahrgenommen. Einige Schlafende Fenster klirren, Türen klappern.		
V	Moderat	Im Freien von wenigen, in Gebäuden wahrgenommen. Viele Schlafende agieren verängstigt. Gebäude werden Hängende Gegenstände pendeln sind werden verschoben. Türen und Fenster...		
VI	Stark	Viele Personen erschrecken und flüchten. Gegenstände fallen um. An vielen schlechterem Zustand, entstehen kleine Risse im Mauerwerk oder Verputz.		
VII	Sehr stark	Die meisten Personen erschrecken und flüchten. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen um. An solide gebauten Häusern treten auf (kleine Mauerrisse, Schäden am Ziegeln). Vor allem Gebäude in schlechterem Zustand grössere Mauerrisse und Zwischenw...		
VIII	Heftig	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. In Gebäuden mit einfacher Bausubstanz, auf, beispielsweise stürzen Giebelteile...		
IX	Sehr heftig	Allgemeine Panik. Sogar gut gebaute Gebäude erleiden schwere Schäden und tragende Bauteile von schwächeren Bauten stürzen ein.		
X+	Extrem	Die meisten Bauwerke, selbst sehr solide gebaute, erleiden schwere Beschädigungen oder stürzen ein.	7	



© Schweizerischer Erdbebendienst

# Intensitätsskala

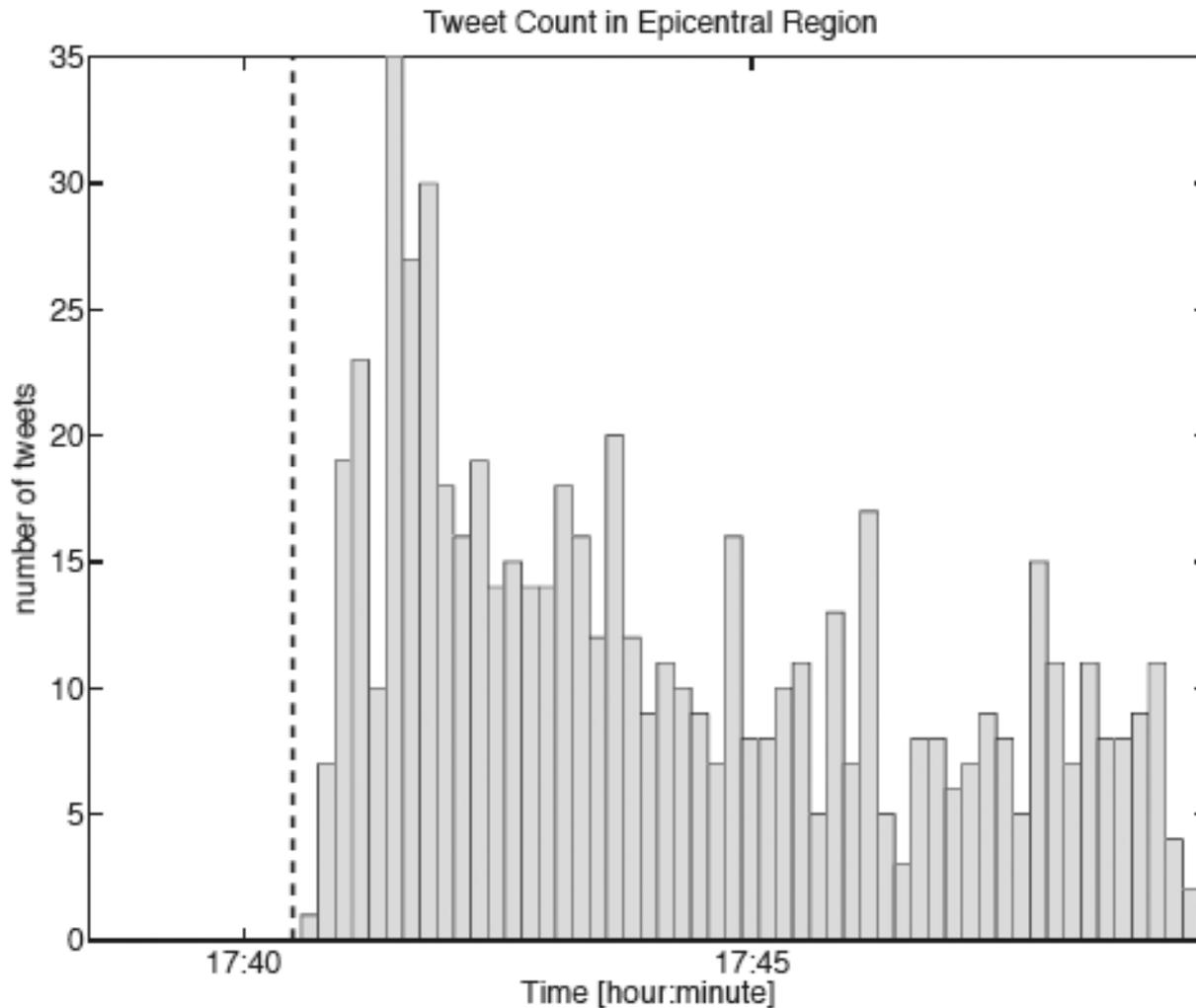
EMS-98 Intensität	Gefühlt	Auswirkungen	Magnitudo (Näherungswerte)	Gebäudeschäden (Mauerwerk)
I	Nicht fühlbar	Nicht fühlbar	2	
II-III	Schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden, die Personen fühlen ein leichtes Schw...		
IV	Leicht	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden v... wahrgenommen. Einige Schlafende Fenster klirren, Türen klappern.		
V	Moderat	Im Freien von wenigen, in Gebäud... wahrgenommen. Viele Schlafende agieren verängstigt. Gebäude werde Hängende Gegenstände pendeln st... werden verschoben. Türen und Fenst...		
VI	Stark	Viele Personen erschrecken und fl... Gegenstände fallen um. An vielen schlechterem Zustand, entstehen le... Risse im Mauerwerk oder Verputz.		
VII	Sehr stark	Die meisten Personen erschrecken Möbel werden verschoben. Gegenst... An solide gebauten Häusern treten auf (kleine Mauerrisse, Schäden am Ziegeln). Vor allem Gebäude in schle... grössere Mauerrisse und Zwischenw...		
VIII	Heftig	Viele Personen verlieren das Gleich... Gebäuden mit einfacher Bausubstan... auf, beispielsweise stürzen Gibelteile...		
IX	Sehr heftig	Allg... schv... schv...		
X+	Extrem	Die... schwere Beschädigungen oder stürzen ein.	7	



Zeitnahe Bestimmung der Intensität notwendig, um schnelle Hilfe zu gewährleisten

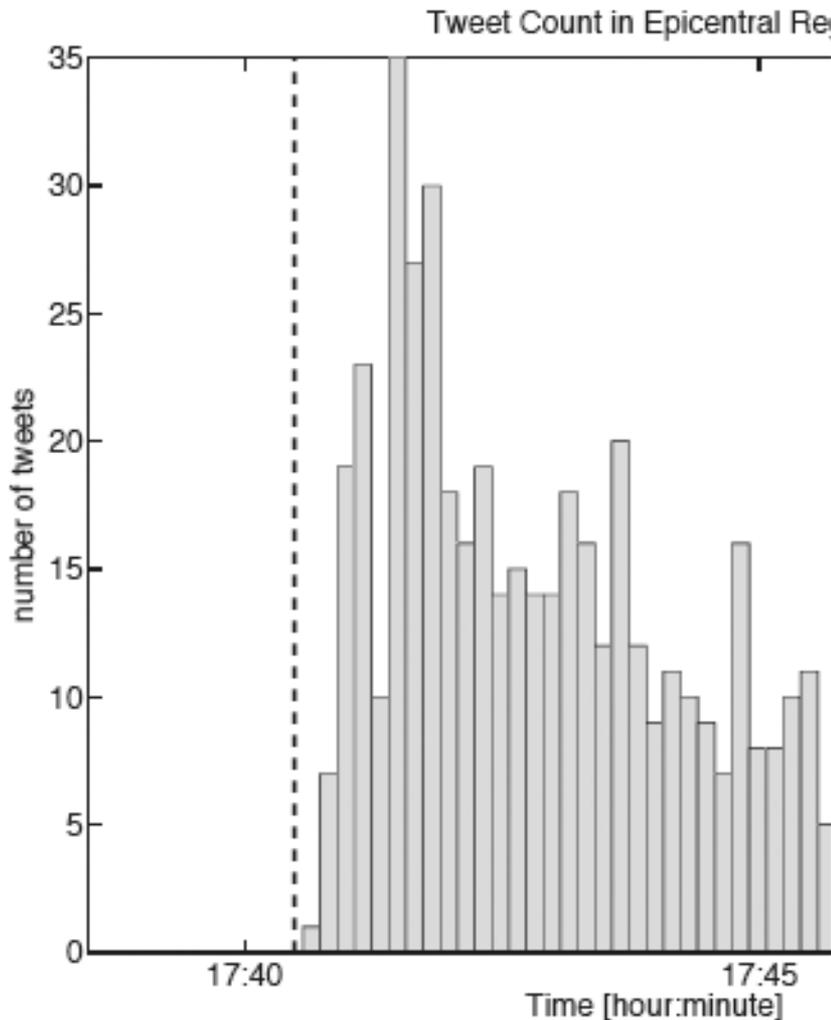
© Schweizerischer Erdbebendienst

# Intensitätsbestimmung via Twitter



Quelle: Earle et al., 2010

# Intensitätsbestimmung via Twitter



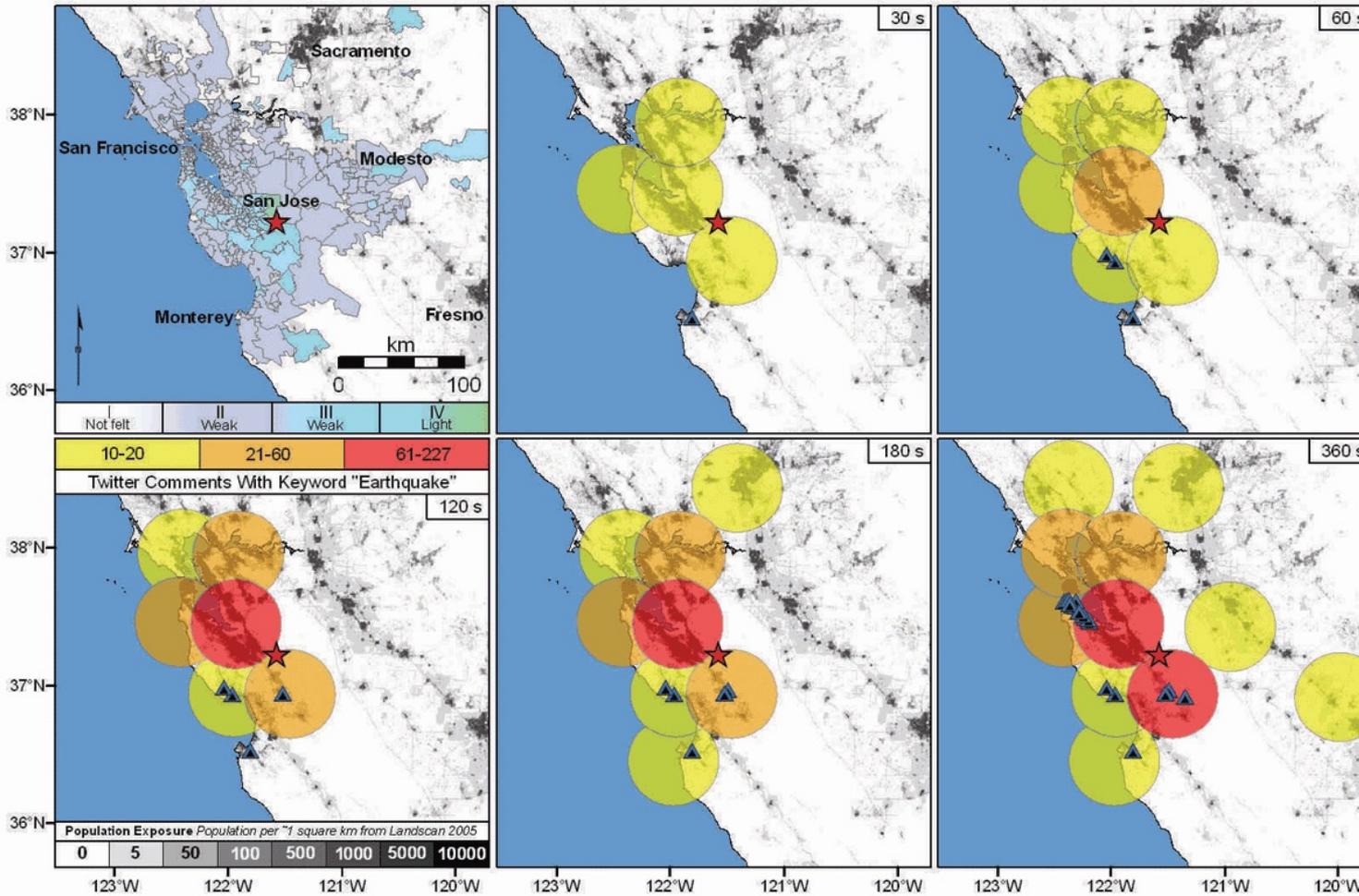
Twitter messages in the first 360 seconds following the March 30, 2009, Morgan Hill, CA, magnitude 4.3 earthquake, obtained via Twitter's geographic search.

```

30 Mar 2009 17:40:29 -- origin time --
-----
30 Mar 2009 17:40:48 omfg, earthquake!
30 Mar 2009 17:40:49 earthquake!
30 Mar 2009 17:40:51 earthquake? morgan hill, ca
30 Mar 2009 17:40:53 Whoa. Earthquake????
30 Mar 2009 17:40:53 earthquake!
30 Mar 2009 17:40:54 EARTHQUAKE
30 Mar 2009 17:40:57 Earthquake!
30 Mar 2009 17:40:58 Earthquake?
30 Mar 2009 17:40:59 in an earthquake
30 Mar 2009 17:41:00 earthquake
30 Mar 2009 17:41:00 Oooh. Earthquake.
30 Mar 2009 17:41:00 I think that was an earthquake
30 Mar 2009 17:41:00 thinks we're having an earthquake. http://plurk.com/p/luod5
30 Mar 2009 17:41:01 Earthquake in Silicon Valley! Love 'em!
30 Mar 2009 17:41:01 yay earthquake!
30 Mar 2009 17:41:01 just felt a mild earthquake
30 Mar 2009 17:41:03 anyone feel the earthquake?
30 Mar 2009 17:41:03 earthquake just happened!
30 Mar 2009 17:41:04 Earthquake
30 Mar 2009 17:41:06 earthquake
30 Mar 2009 17:41:07 EARTHQUAKE!!!!
30 Mar 2009 17:41:07 earthquake!
30 Mar 2009 17:41:08 earthquake now people?
30 Mar 2009 17:41:08 EARTHQUAKE!!!
30 Mar 2009 17:41:08 Earthquake!!!!
30 Mar 2009 17:41:08 anyone in the Bay Area just feel the earthquake?
30 Mar 2009 17:41:08 Earthquake!
30 Mar 2009 17:41:09 Minor earthquake. Maybe a 4
30 Mar 2009 17:41:09 EARTHQUAKE!!!!
30 Mar 2009 17:41:09 EARTHQUAKE IN SJSU!!!
30 Mar 2009 17:41:10 Earthquake hits South San Jose!?
30 Mar 2009 17:41:10 I feel an earthquake in Sunnyvale, CA right now.
30 Mar 2009 17:41:10 Earthquake in Santa Clara ... building shaking
30 Mar 2009 17:41:11 OMG, EARTHQUAKE!
30 Mar 2009 17:41:11 Earthquake here in SJ, monitors shaking in the office.
30 Mar 2009 17:41:12 Um, pretty sure I just felt a teeny-tiny earthquake
30 Mar 2009 17:41:12 Earthquake?
30 Mar 2009 17:41:14 Okay, earthquake.... Scared the crap outta me just now.
30 Mar 2009 17:41:14 Oh shit, there was just an earthquake! Today is just plain ol crazy
30 Mar 2009 17:41:14 earthquake in process
30 Mar 2009 17:41:15 earthquake
30 Mar 2009 17:41:15 Just has a small earthquake in SF
30 Mar 2009 17:41:15 earthquake!
30 Mar 2009 17:41:16 Earthquake!
30 Mar 2009 17:41:16 oo I think that was an earthquake
30 Mar 2009 17:41:17 just felt earthquake in Cupertino
30 Mar 2009 17:41:18 Earthquake!
30 Mar 2009 17:41:18 Earthquake.. did you feel that?
30 Mar 2009 17:41:19 Um, was that just a minor earthquake?
30 Mar 2009 17:41:19 Earthquake in San Jose. Report from CS rep on the phone.
30 Mar 2009 17:41:20 earthquake
30 Mar 2009 17:41:20 pretty strong earthquake this morning in santa clara
30 Mar 2009 17:41:21 Earthquake?
30 Mar 2009 17:41:23 Whoa. We just had an earthquake :(
    
```

Quelle: Earle et al., 2010

# Intensitätsbestimmung via Twitter



▲ Figure 2. Comparison of the intensity map produced by the USGS DYFI system (upper left) and the geocoded tweet counts for the 30 March 2009 MW 4.3 Morgan Hill earthquake. The extent of the geographic tweet search is indicated by the size of the circles, which are color coded by the number of tweets. The population is shown in the background as gray scale and the tweets with exact latitude and longitude geo-references are shown as black triangles with blue outlines. The different panels show the integrated tweet count at discrete times after the earthquake as indicated in the upper right corner of the maps.

CLOSE X

# Typische Erdbebenschäden



# Typische Erdbebenschäden

Schwächezone erstes Stockwerk  
17. Januar 1995, Kobe (Japan),  $M = 6.9$



# Typische Erdbebenschäden

Zerstörung eines Stahlbetongebäudes  
17. Januar 1995, Kobe (Japan),  $M = 6.9$



# Typische Erdbebenschäden

Zerstörung einer Hochstraße  
17. Januar 1995, Kobe (Japan),  $M = 6.9$



# Sekundäreffekte

**Feuer**



**Hangrutschungen**



**Tsunamis**

**Bodenverflüssigung**



# Social Media at its Best

## App Store Preview



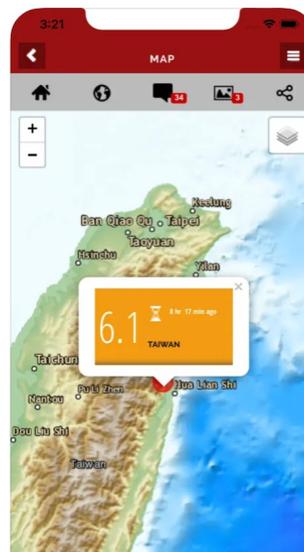
LastQuake 4+

EMSC

★★★★★ 4.8 • 1.8K Ratings

Free

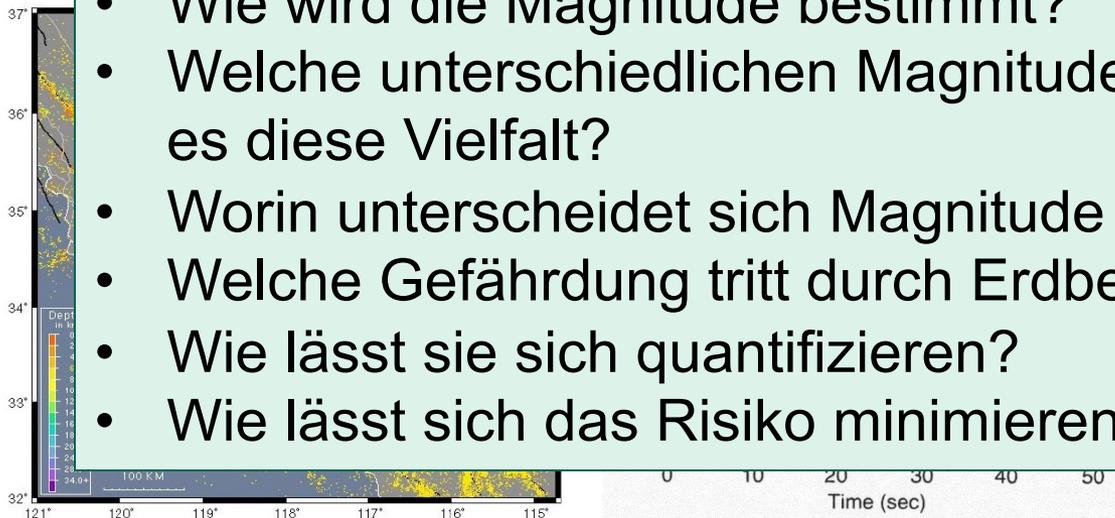
## Screenshots [iPhone](#) [iPad](#)



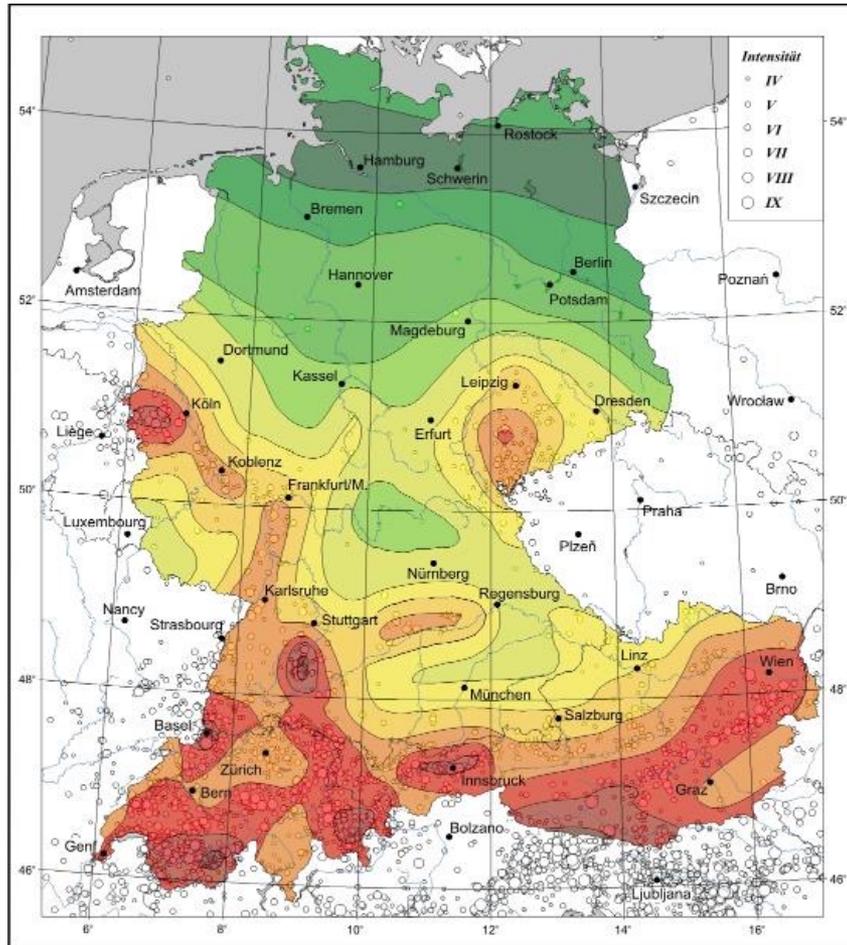
# Einführung in die Geophysik II

## Seismizität, seismische Gefährdung, Magnituden, Intensitäten

- Wie ist die weltweite und regionale Seismizität charakterisiert?
- Gibt es Möglichkeiten, die Verteilung von Erdbeben quantitativ zu erfassen?
- Wie wird die Magnitude bestimmt?
- Welche unterschiedlichen Magnituden gibt es und warum gibt es diese Vielfalt?
- Worin unterscheidet sich Magnitude und Intensität?
- Welche Gefährdung tritt durch Erdbeben auf?
- Wie lässt sie sich quantifizieren?
- Wie lässt sich das Risiko minimieren?

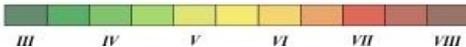


# Seismische Gefährdung

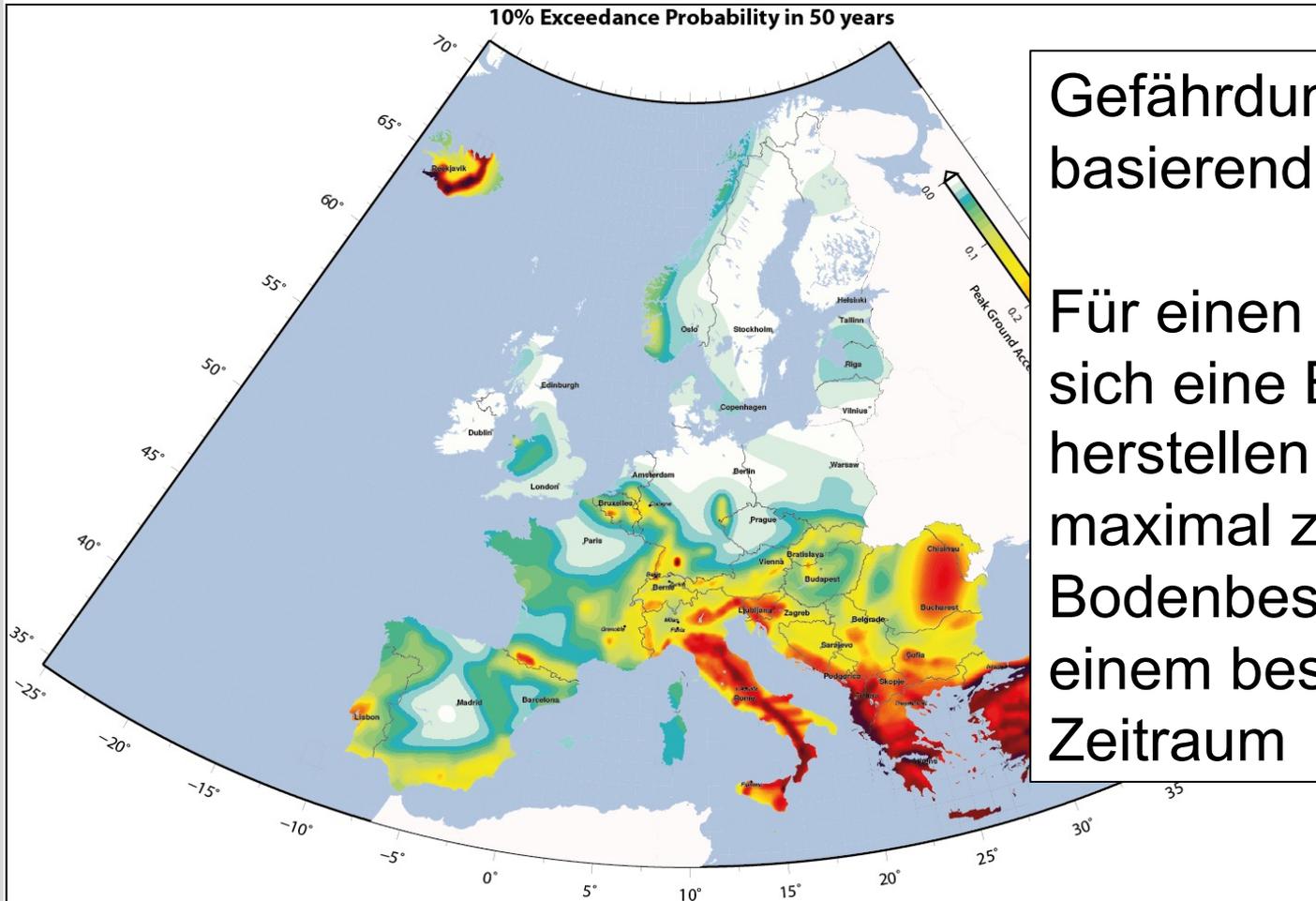


Gefährdungskarte basierend auf maximaler Intensität

makroseismische Intensitäten EMS

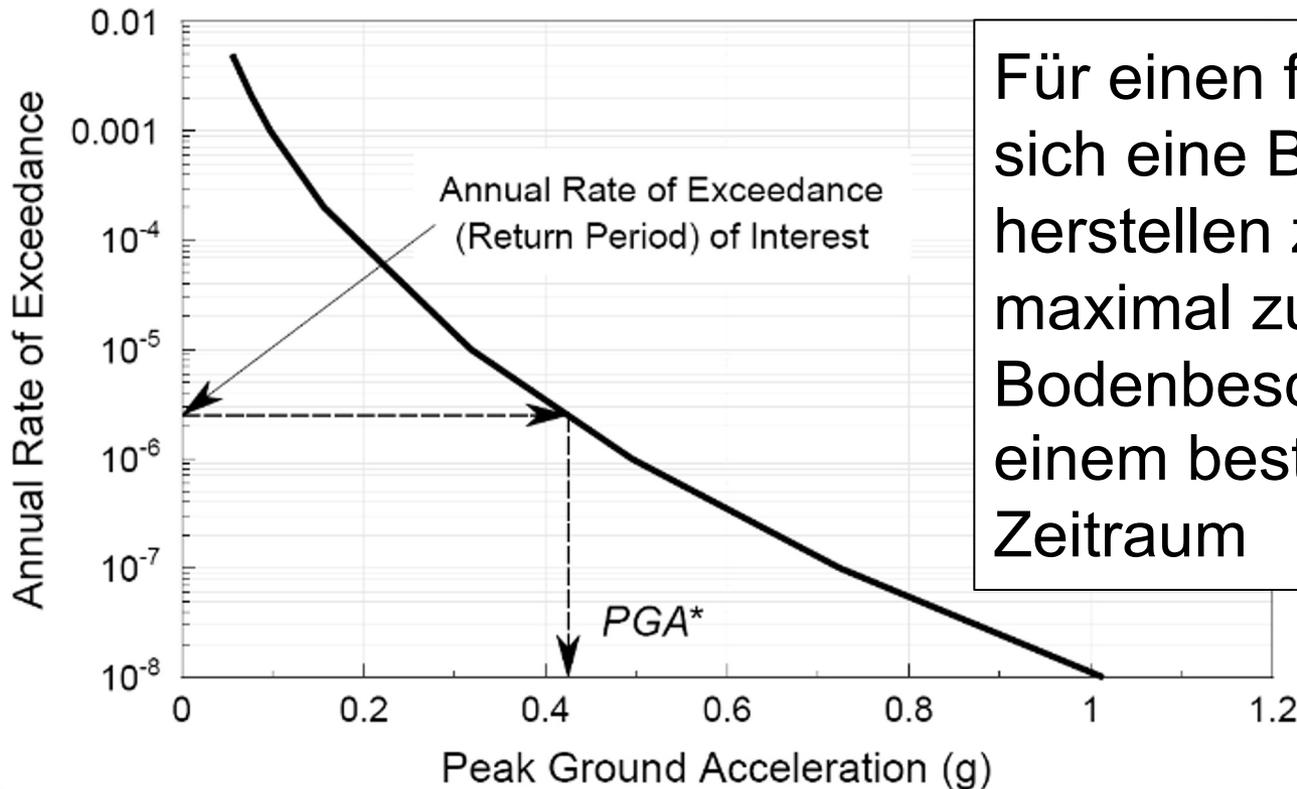






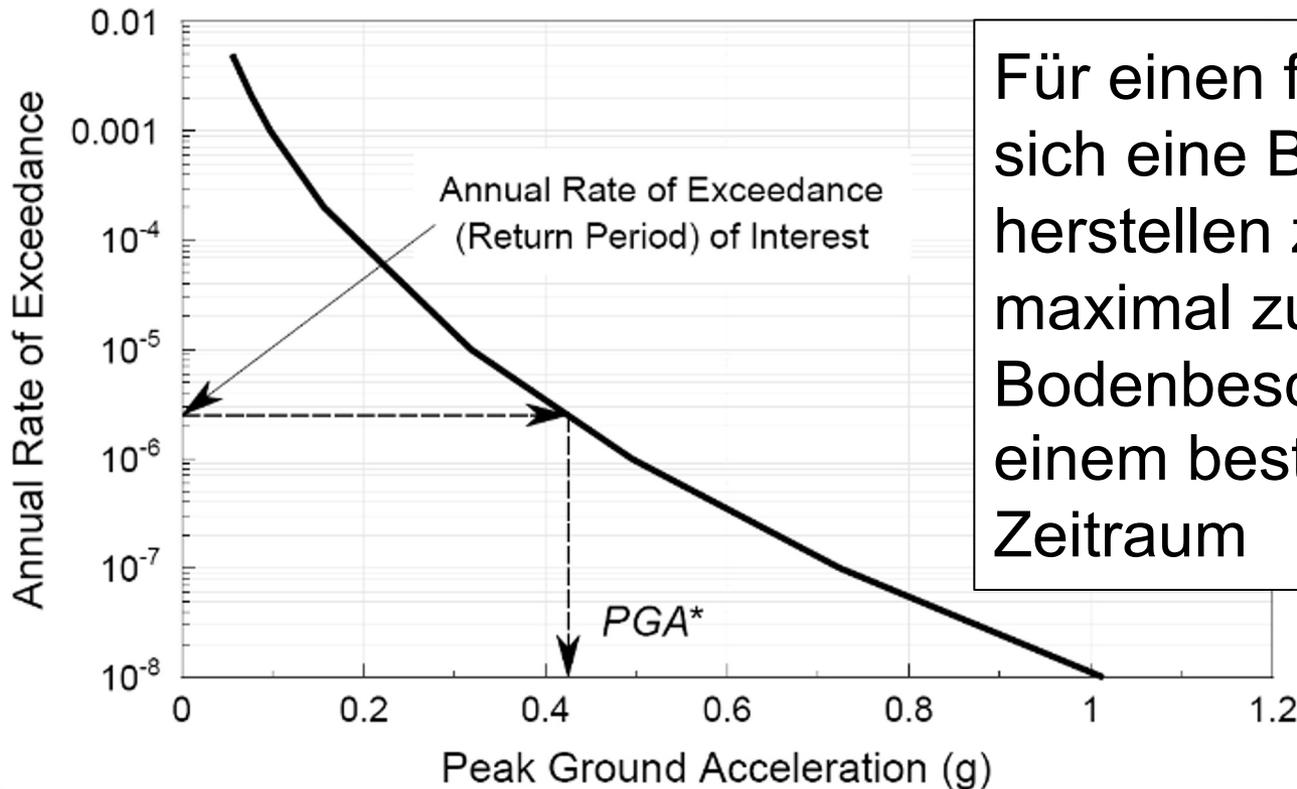
Gefährdungskarte  
basierend auf PGA

Für einen festen Ort lässt  
sich eine Beziehung  
herstellen zwischen der  
maximal zu erwartenden  
Bodenbeschleunigung in  
einem bestimmten  
Zeitraum



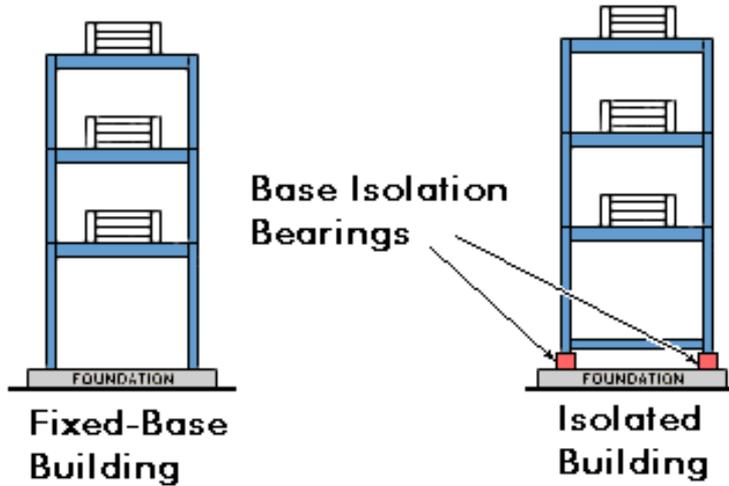
Für einen festen Ort lässt sich eine Beziehung herstellen zwischen der maximal zu erwartenden Bodenbeschleunigung in einem bestimmten Zeitraum

Gefährdungsanalyse erlaubt Aussage,  
welche Gefährdung zu erwarten ist:  
Bauvorschriften

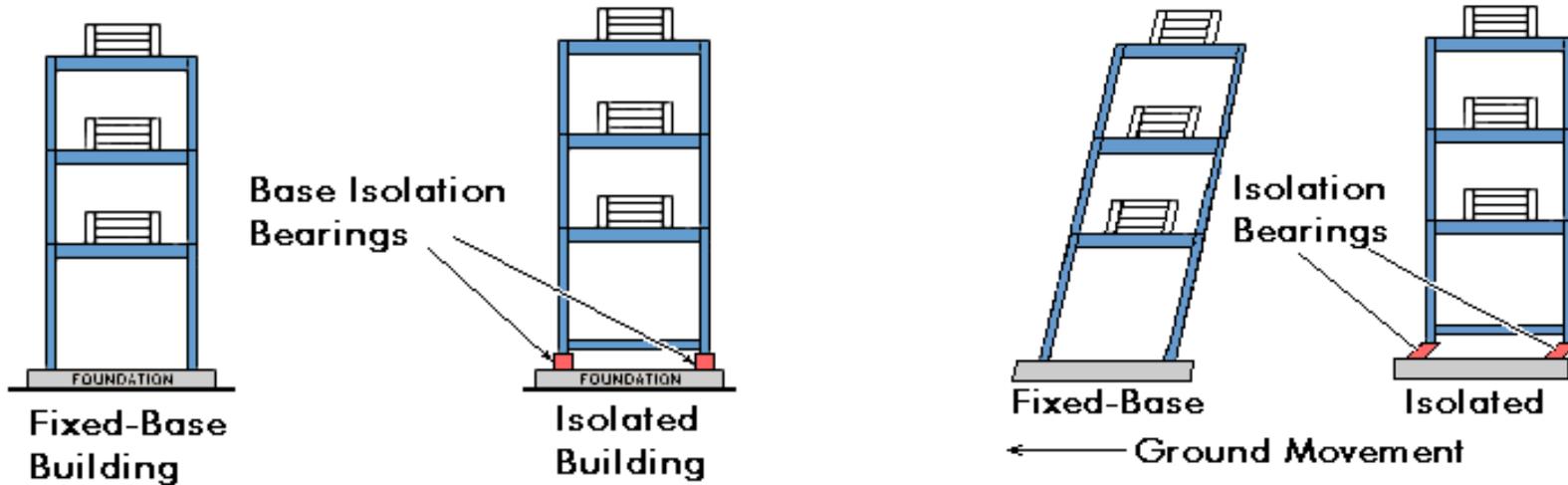


Für einen festen Ort lässt sich eine Beziehung herstellen zwischen der maximal zu erwartenden Bodenbeschleunigung in einem bestimmten Zeitraum

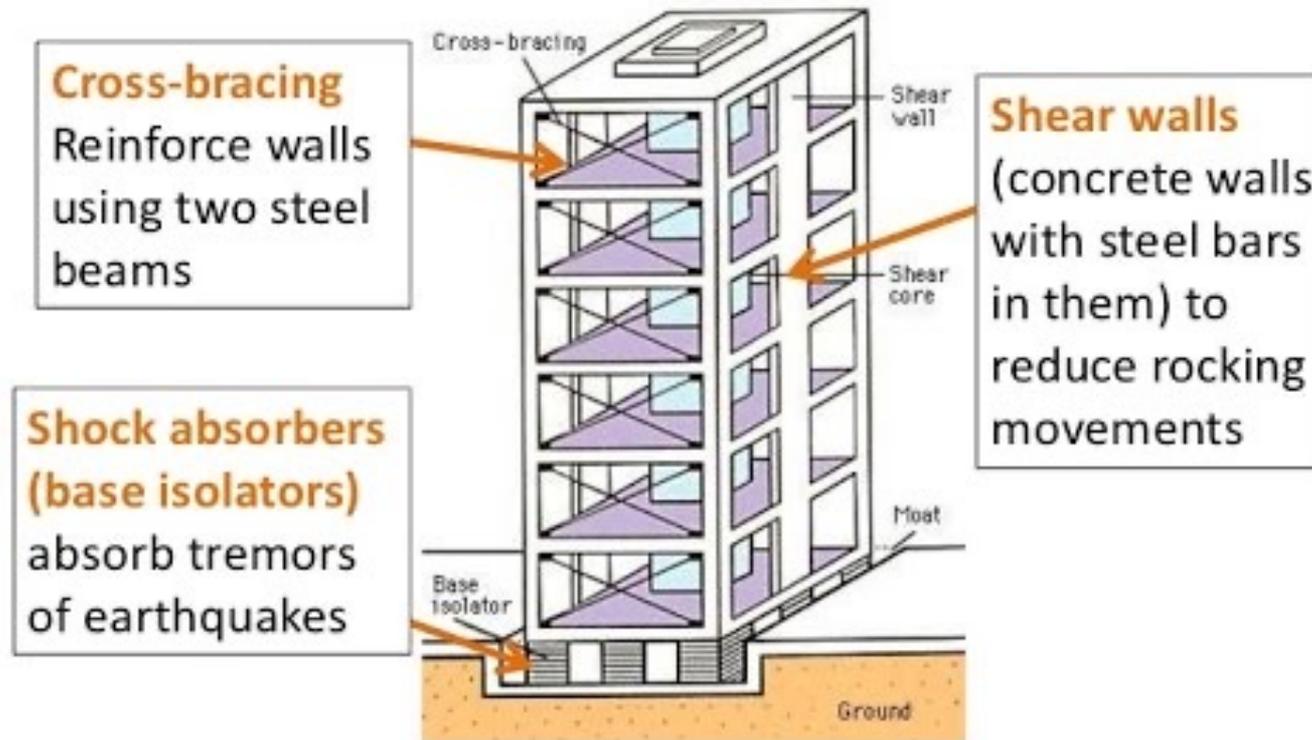
# Maßnahmen an Gebäuden



# Maßnahmen an Gebäuden

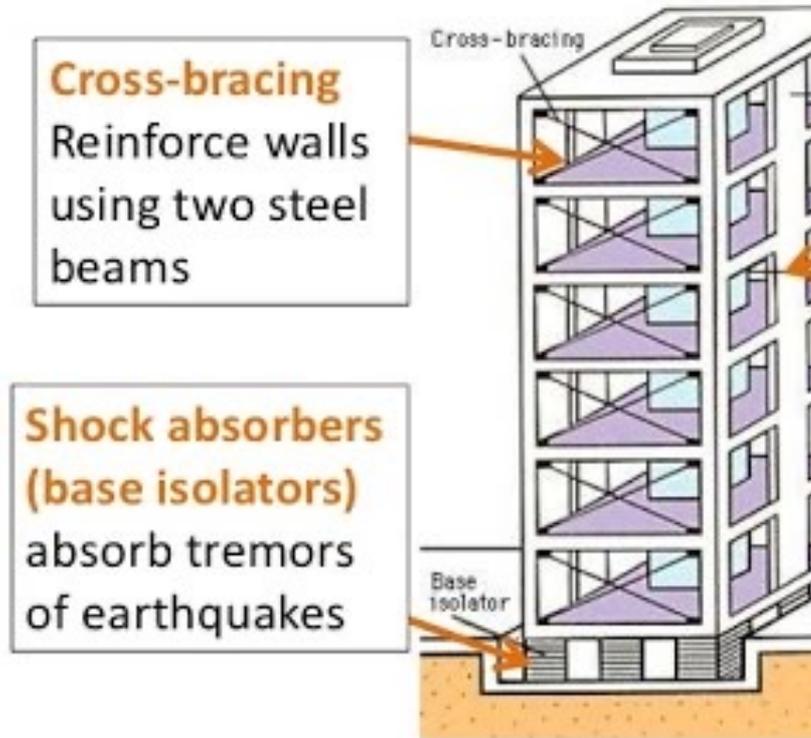


## Earthquake Resistant Building

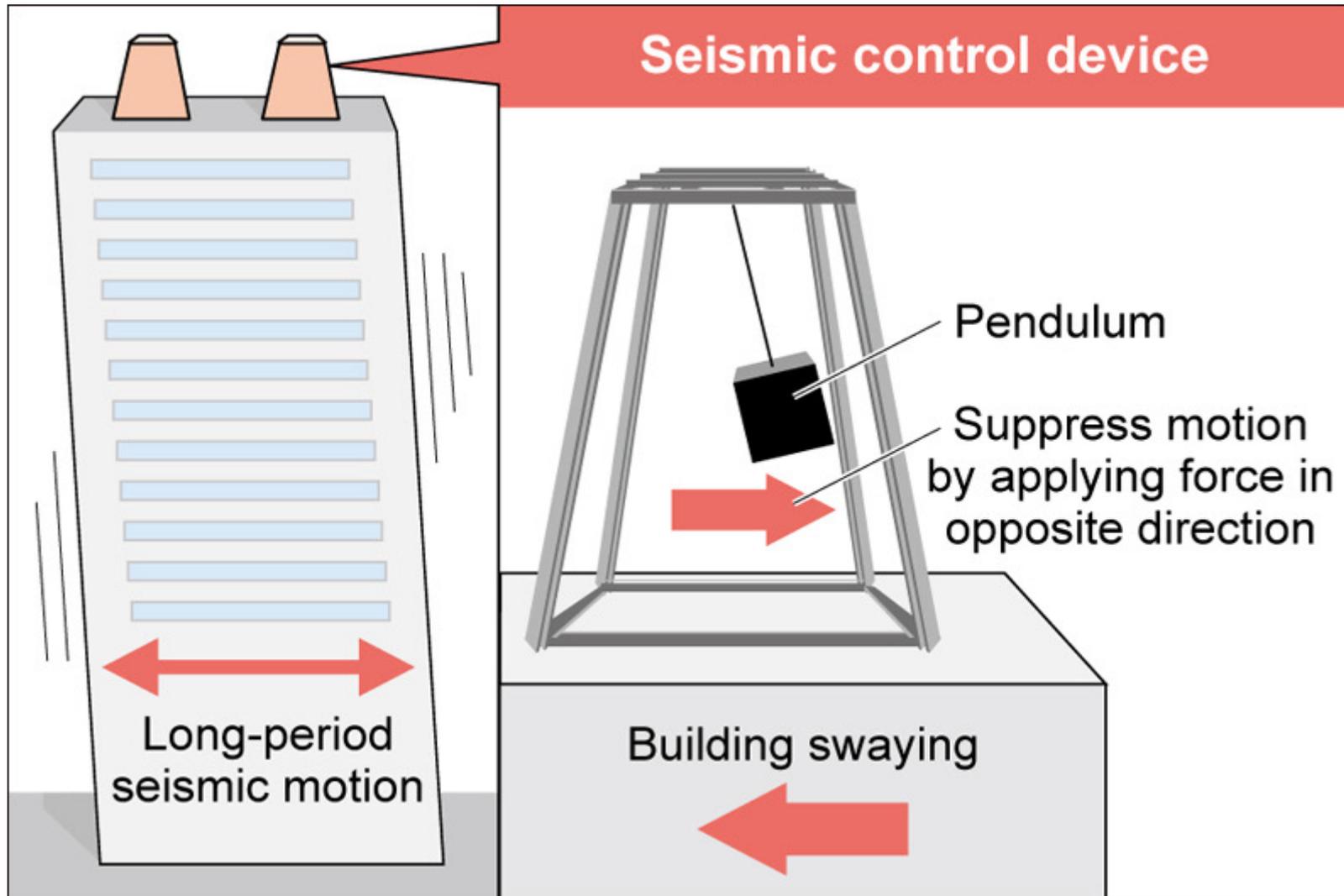


# Maßnahmen an Gebäuden

## Earthquake Resistant Buildings



# Maßnahmen an Gebäuden



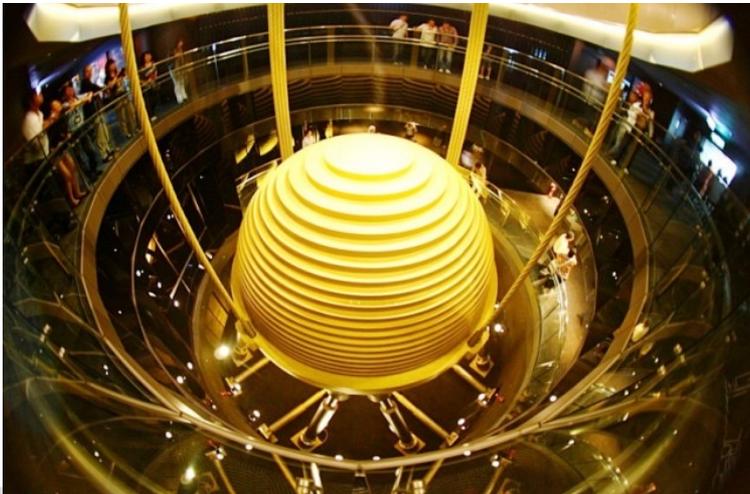
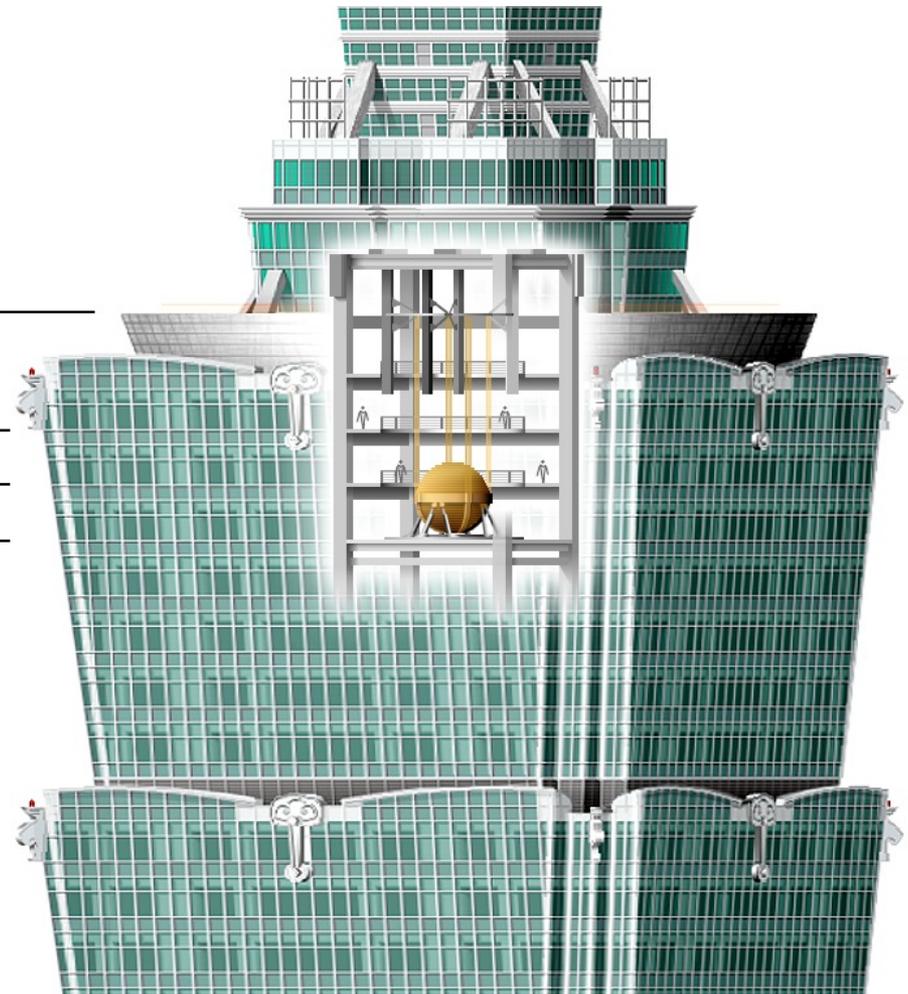
# Maßnahmen an Gebäuden

**91st Floor** [390.60 m]  
(Outdoor Observation Deck)

**89th Floor** [382.20 m]  
(Indoor Observation Deck)

**88th Floor**

**87th Floor**



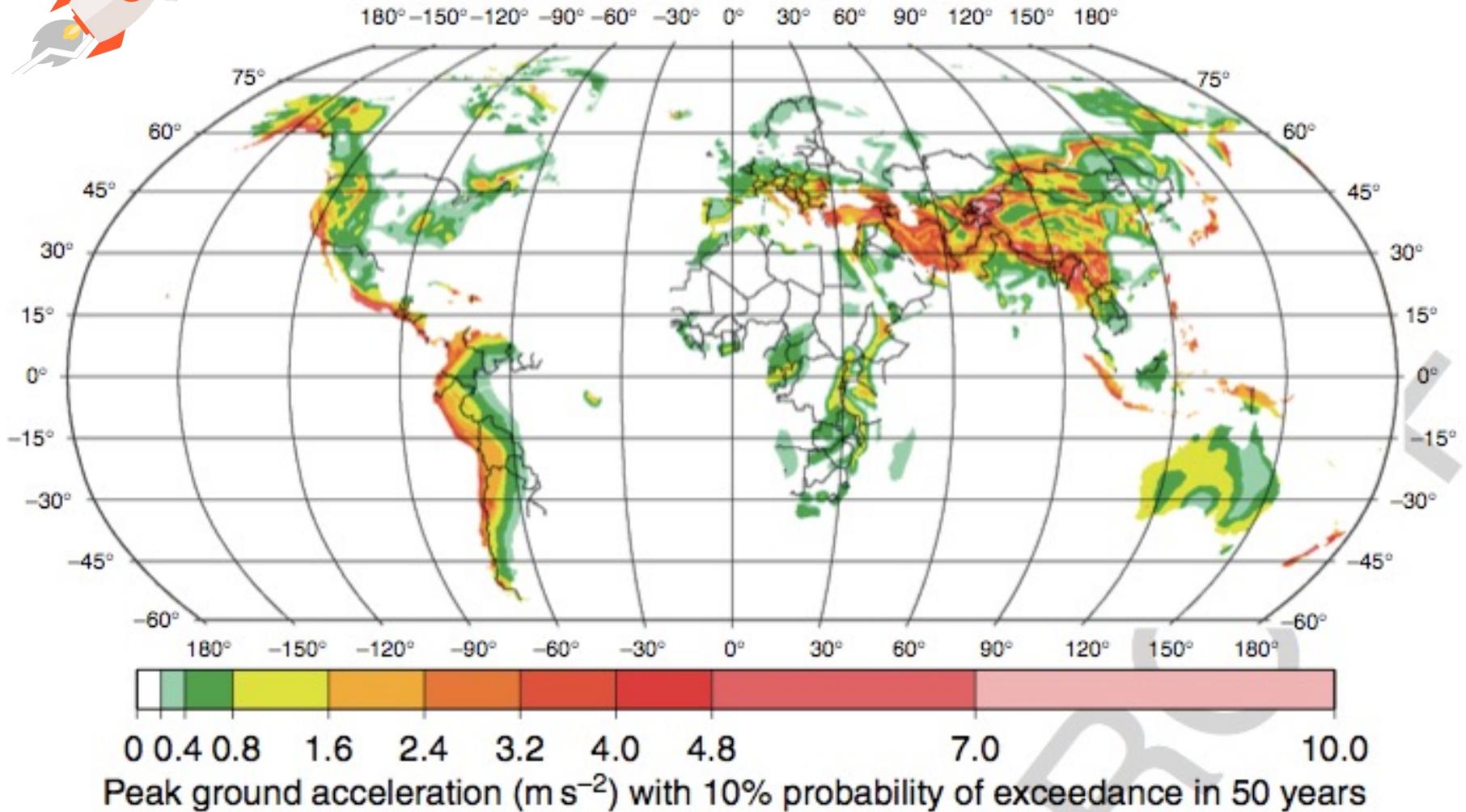
**Taipei 101**



## Zusammenfassung – Take-home-message

- Wie ist die weltweite und regionale Seismizität charakterisiert?
- Gibt es Möglichkeiten, die Verteilung von Erdbeben quantitativ zu erfassen?
- Wie wird die Magnitude bestimmt?
- Welche unterschiedlichen Magnituden gibt es und warum gibt es diese Vielfalt?
- Worin unterscheidet sich Magnitude und Intensität?
- Welche Gefährdung tritt durch Erdbeben auf?
- Wie lässt sie sich quantifizieren?
- Wie lässt sich das Risiko minimieren?

# Global seismic hazard



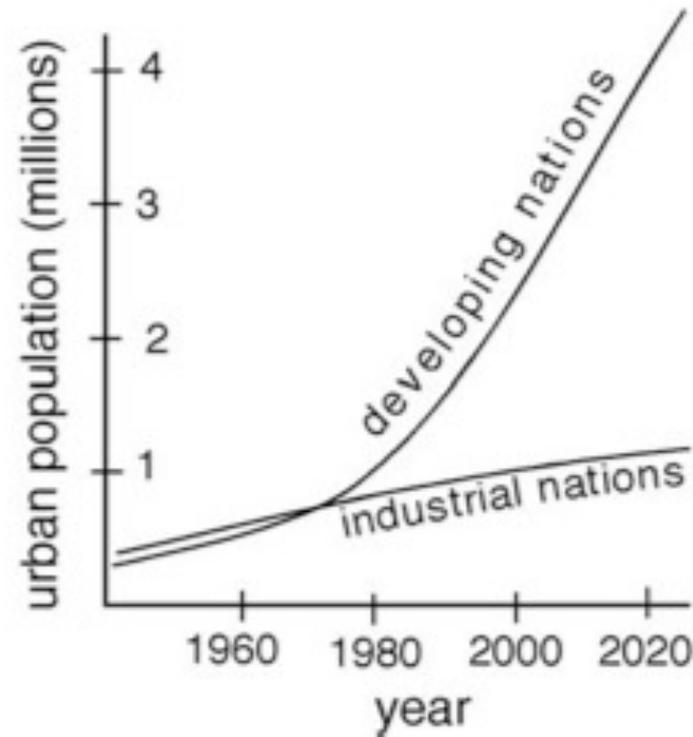
(Figure from Allen, 2007)

Map prepared by the Global Seismic Hazard Assessment Program (Giardini, 1999).

# Consequences of urbanization



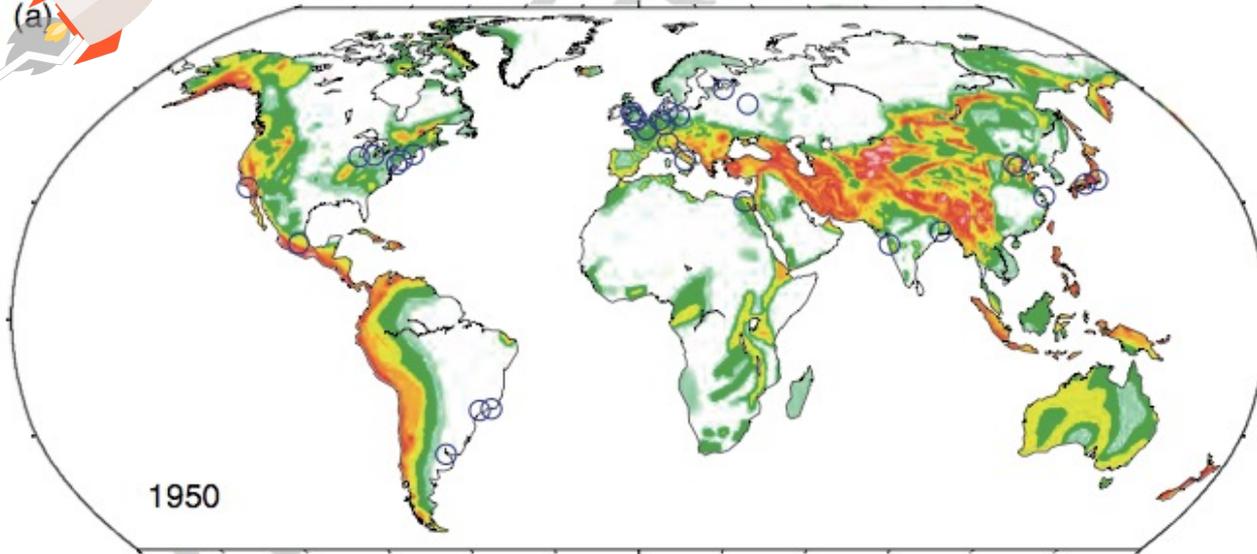
Urbanization in developing nations is rapid, but is flat in industrial nations.



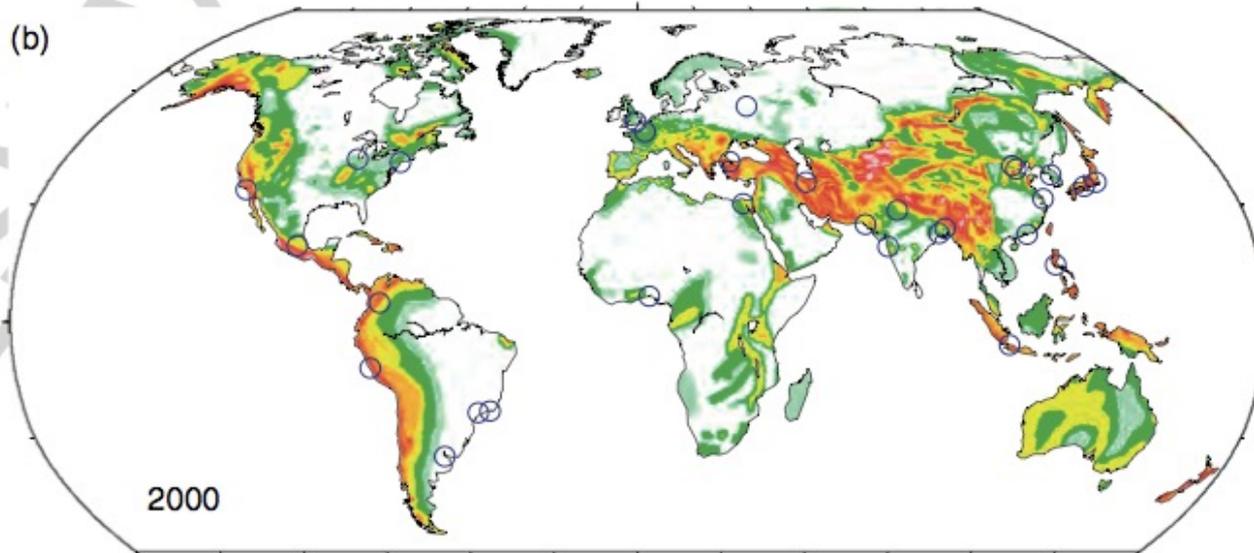
(Figure from Bilham, 2004)

"By the year 2025 more than 5500 million people will live in cities - more than our entire 1990 combined rural and urban population."  
(from Roger Bilham's web-page)

# Consequences of urbanization



Note the slower growth of cities in N. America and W. Euro. with respect to cities throughout Asia and S. America.



Thus, the poor are at greater risk than the rich.

The location of the largest cities in 1950 and 2000 superimposed on the hazard map.



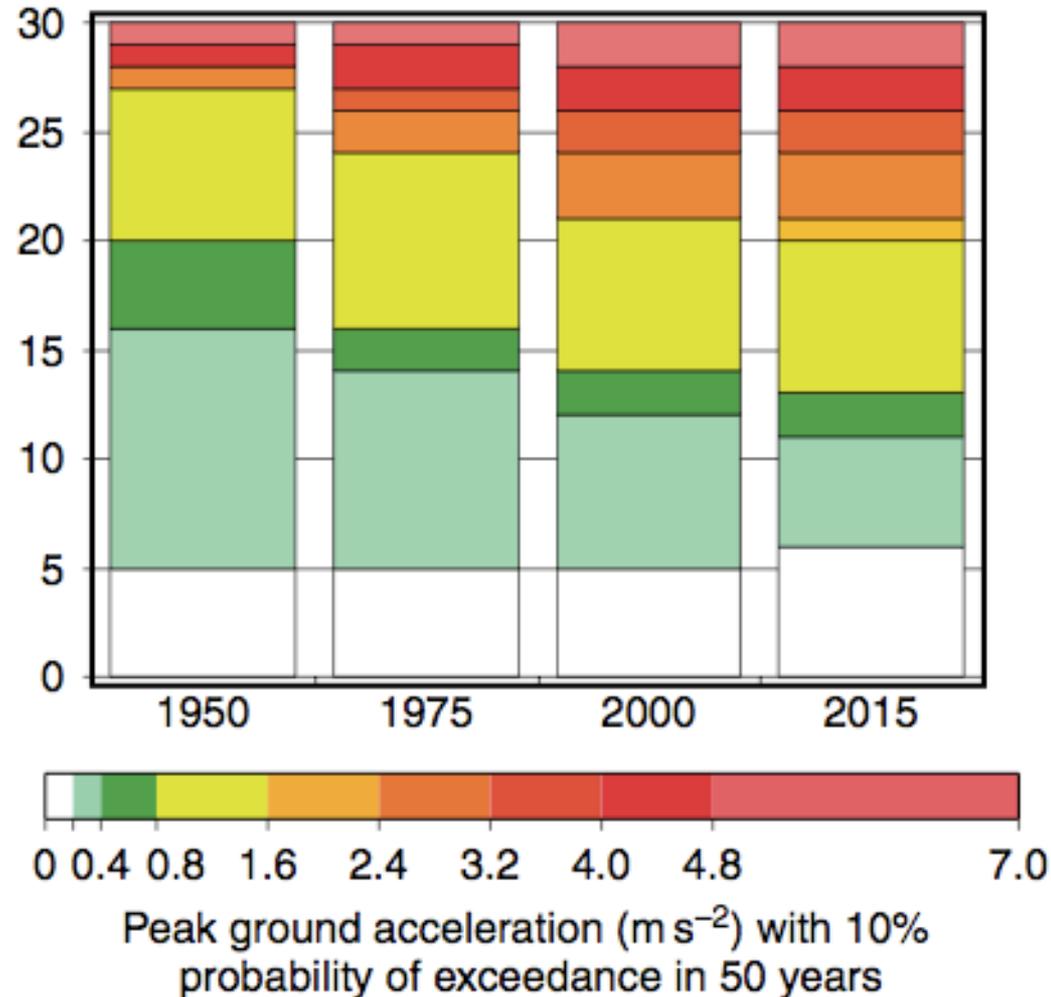
# Consequences of urbanization

While cities in seismically safe regions are removed from the top 30 list, cities in hazardous regions grow more rapidly.

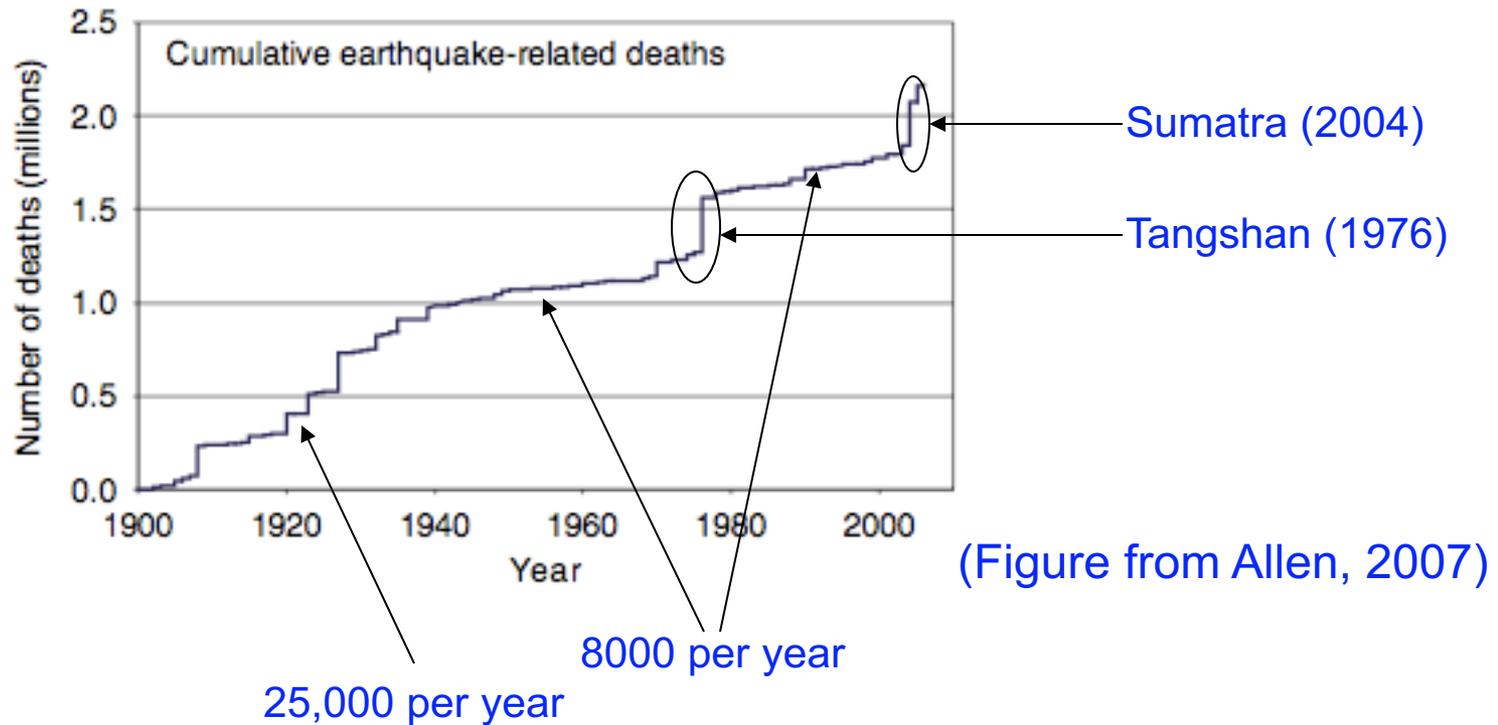
Question: why are big cities built in areas of high seismic risk?

(Figure from Allen, 2007)

Seismic hazard for the 30 largest cities



# Consequences of urbanization



Note that:

1. The change in character pre- and post- 1940.
2. The two largest quakes did not cause many fatalities.
3. The new millennium started really bad...

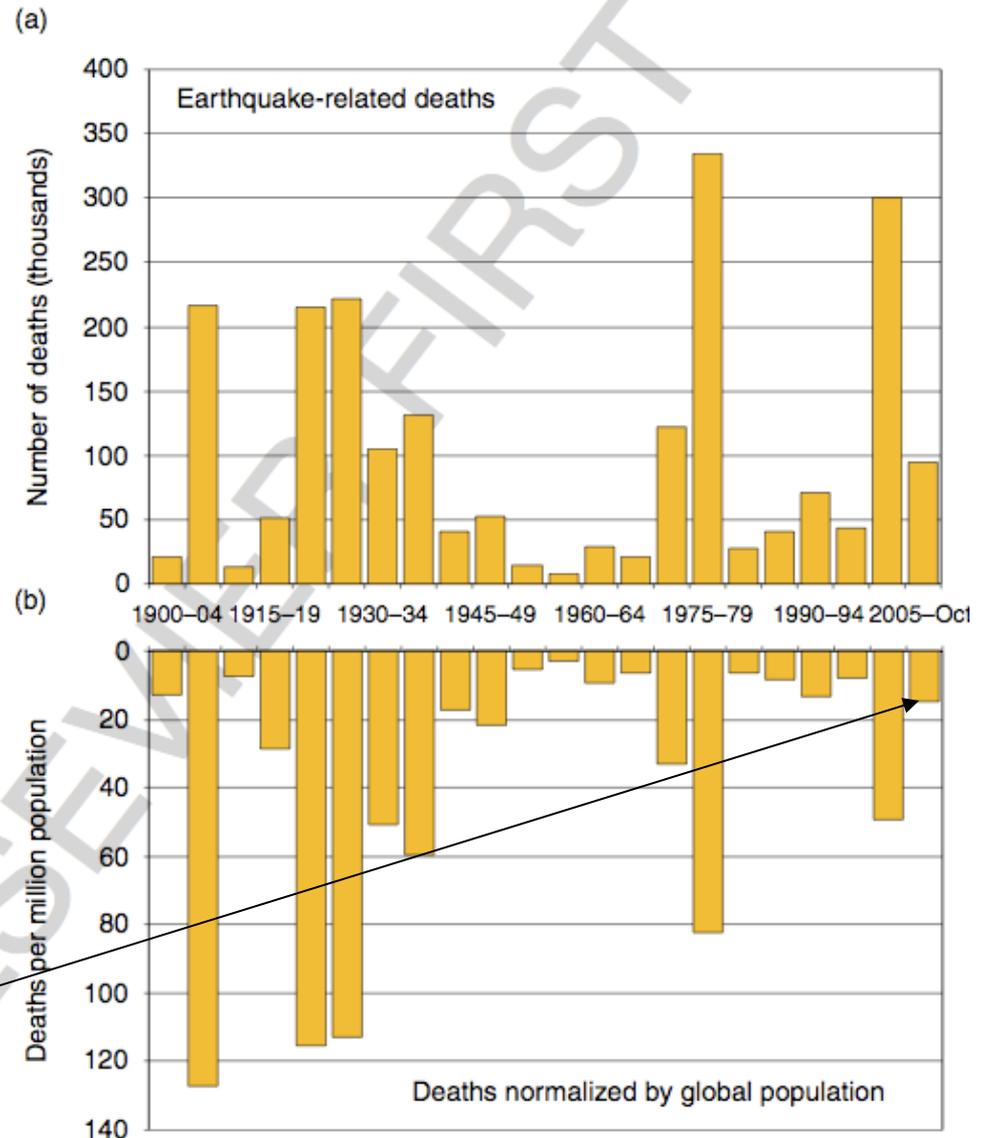




# Consequences of urbanization

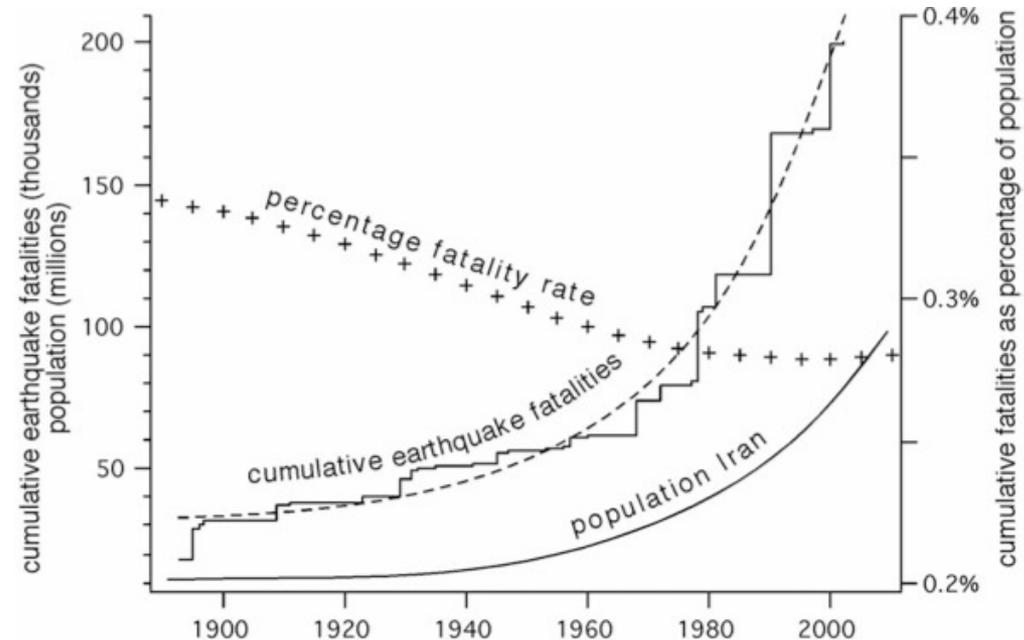
- While the number of fatalities is increasing, it is not increasing as global population.
- Thus, an individual risk of dying has decreased by a factor of 2 since 1950.

The chances of dying of an earthquake are very small. Only 1 out of 200,000 people per year!



# Fatalities rate vs. growth rate

The conclusion that fatalities rate increase slower than population growth is **not true for Iran** (and some other developing nations).



(Figure from Bilham, 2004)

- Earthquake fatalities rate in Iran is in pace with the population growth.
- Fatalities rate in Iran is rising at an increasing rate.





# Does fatalities rate rises at an increasing rate?

500 years of historical and modern record suggest that the fatalities rate rises at an increasing rate (Bilham, 2004).

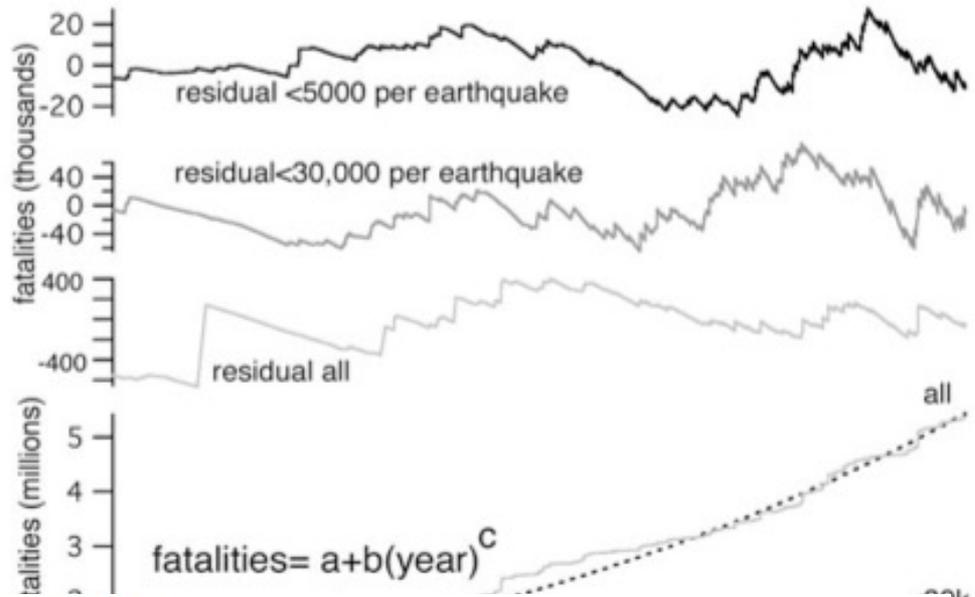


Table 2

Decade-interval forecasts (1900-2030) of annual fatality rate (deaths/year) based on power law fits to 5 centuries of data. Numbers on parenthesis in the first row represent the observed fatality rate 1900-2004, all lower than predicted. The constants a, b and c correspond to the power law variables in figure 3.

	1900-1999	2000-09	2010-19	2020-29	a	b	c
all	16703(10991)	17094	17492	17897	$-(6.4 \pm 0.7)e+05$	$(1.63 \pm 1.3)e-12$	$5.62 \pm 0.1$
<30k	8609(5991)	9015	9439	9881	$-(8.4 \pm 1.6)e+03$	$(2.9 \pm 1.7)e-28$	$10.23 \pm 0.1$
<5k	2702(788)	2849	3004	3166	$-(10.5 \pm 2)e+03$	$(2.2 \pm 1.6)e-33$	$11.6 \pm 0.1$

# What to do?

Much of the risk may be mitigated by:

- Education
- Improvement and implementation of building codes.
- Implementation of Early Warning Systems.
- Fault mapping.



Zu Hause: Folien noch einmal durchgehen und ein Foto/ eine Formel/ eine Grafik heraussuchen, die ich mir merken will



## Zusammenfassung – Take-home-message

- Wie ist die weltweite und regionale Seismizität charakterisiert?
- Gibt es Möglichkeiten, die Verteilung von Erdbeben quantitativ zu erfassen?
- Wie wird die Magnitude bestimmt?
- Welche unterschiedlichen Magnituden gibt es und warum gibt es diese Vielfalt?
- Worin unterscheidet sich Magnitude und Intensität?
- Welche Gefährdung tritt durch Erdbeben auf?
- Wie lässt sie sich quantifizieren?
- Wie lässt sich das Risiko minimieren?



[https://onlineumfrage.kit.edu/evasys/public/online/index/index?online\\_php=&p=X9T91&ONLINEID=1804527843547922151601195080951341409274](https://onlineumfrage.kit.edu/evasys/public/online/index/index?online_php=&p=X9T91&ONLINEID=1804527843547922151601195080951341409274)