

GIZ - Vortragsreihe Wettzell

**Das verheerende Sumatra-Beben
am 26. 12. 2004
aus seismologischer Sicht**

Kötzting 17. Februar, 2005

Walter Zürn
Geophysiker i. R.

*Geophysikalisches Gemeinschaftsobservatorium
der Universitäten Karlsruhe und Stuttgart*

BFO

Sehr wichtige Vorbemerkung:

**Seismologen sind Menschen mit Gefühlen wie Trauer und
Betroffenheit über die ungeheuerlichen Zahlen von Opfern und
Leidtragenden**

Übersicht

Einführung in seismologische Grundlagen

Verschiedene Demonstrationen

Was bringt dieses Ereignis der Seismologie?

Bitte stellen Sie Fragen

Die schlimmsten Erdbeben

Jahr	Ort	Tote
1290	Chihli, China	100 000
1556	Shen-shu, China	830 000
1731	Beijing, China	100 000
1737	Calcutta, Indien	300 000
1908	Messina, Italien	160 000
1920	Kansu, China	180 000
1976	Tang-shan, China	700 000
2004	N-Sumatra, Indonesien	200 000

Globale Häufigkeit von stärkeren Erdbeben

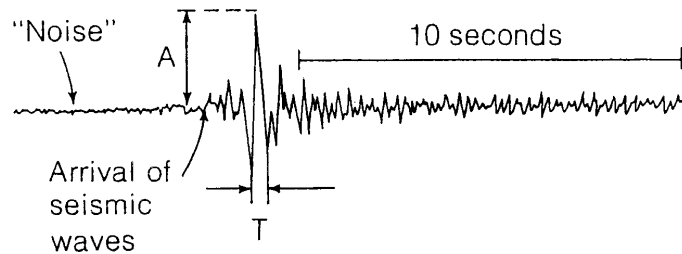
Magnitude M_w Richter Skala	Anzahl / Jahr
≥ 9.0	≤ 1
8.0 - 8.9	1
7.0 - 7.9	17
6.0 - 6.9	150
5.0 - 5.9	800
4.0 - 4.9	6200
3.0 - 3.9	49000

Erdbeben mit Magnitude grösser 8.7

Jahr	Magnitude M_w	Ort
1960	9.5	Chile
1964	9.2	Alaska
1957	9.1	Aläuten
1952	9.0	Kamtschatka
2004	9.0	N-Sumatra
1906	8.8	Ecuador
1965	8.7	Aläuten

Was ist die Magnitude eines Erdbebens?

Magnitude - Richter Skala



$$M = \log_{10} \left(\frac{A}{T} \right) \pm B$$

A = Maximalamplitude

T = Periode bei Maximalamplitude

B = Korrektur fuer Entfernung Station - Epizentrum

Seismische Energie

$$\log_{10} E_{seis}[J] = 1.5 \cdot M + 4.4$$

$$E_{seis}[J] = 10^{1.5 \cdot M + 4.4}$$

$$M_2 = M_1 + 1$$

$$E_2 = 31.6 \cdot E_1$$

Seismisches Moment

$$M_0 = \mu \cdot B_f \cdot D$$

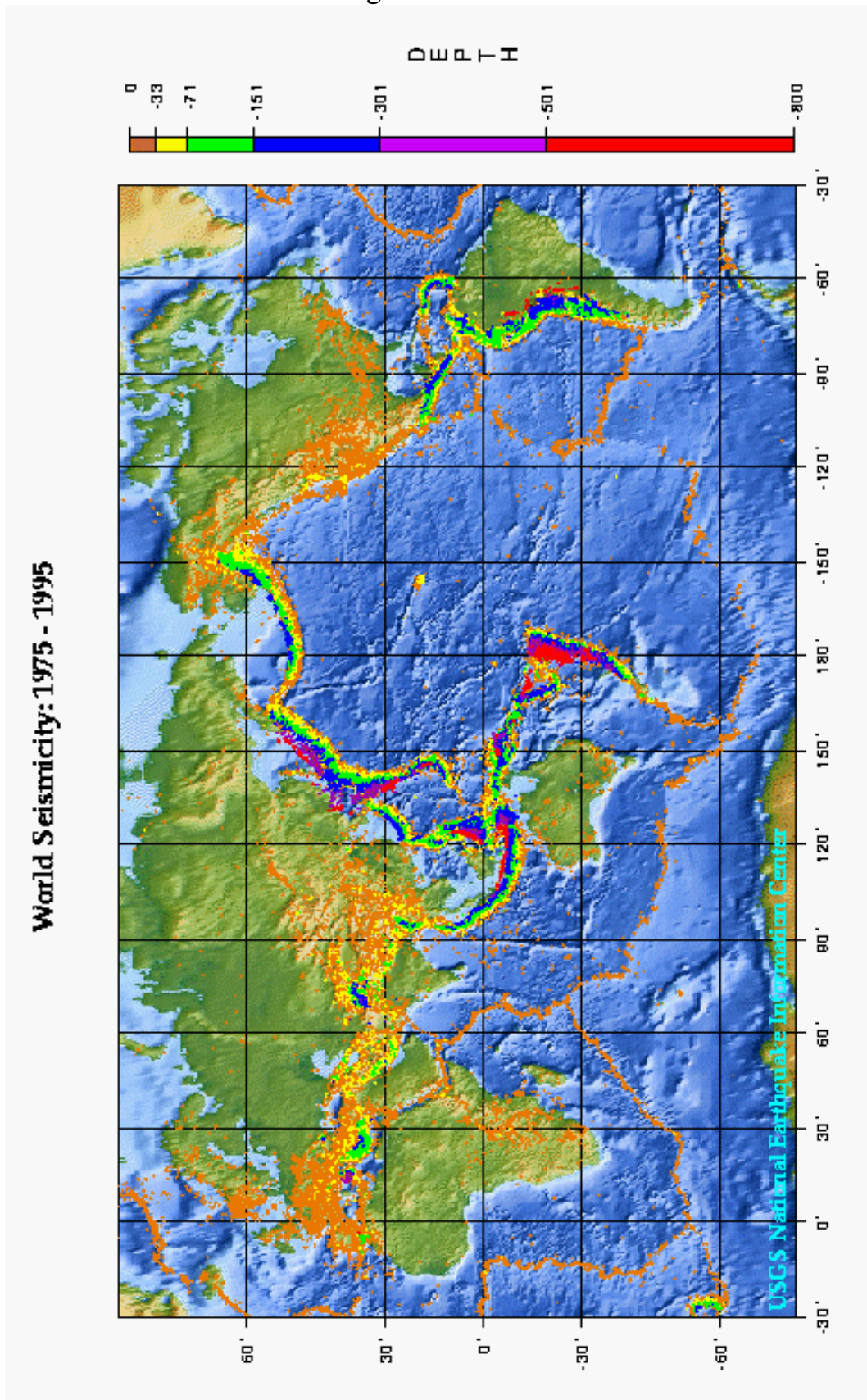
μ = Schermodul bei Bruchfläche

B_f = Bruchfläche

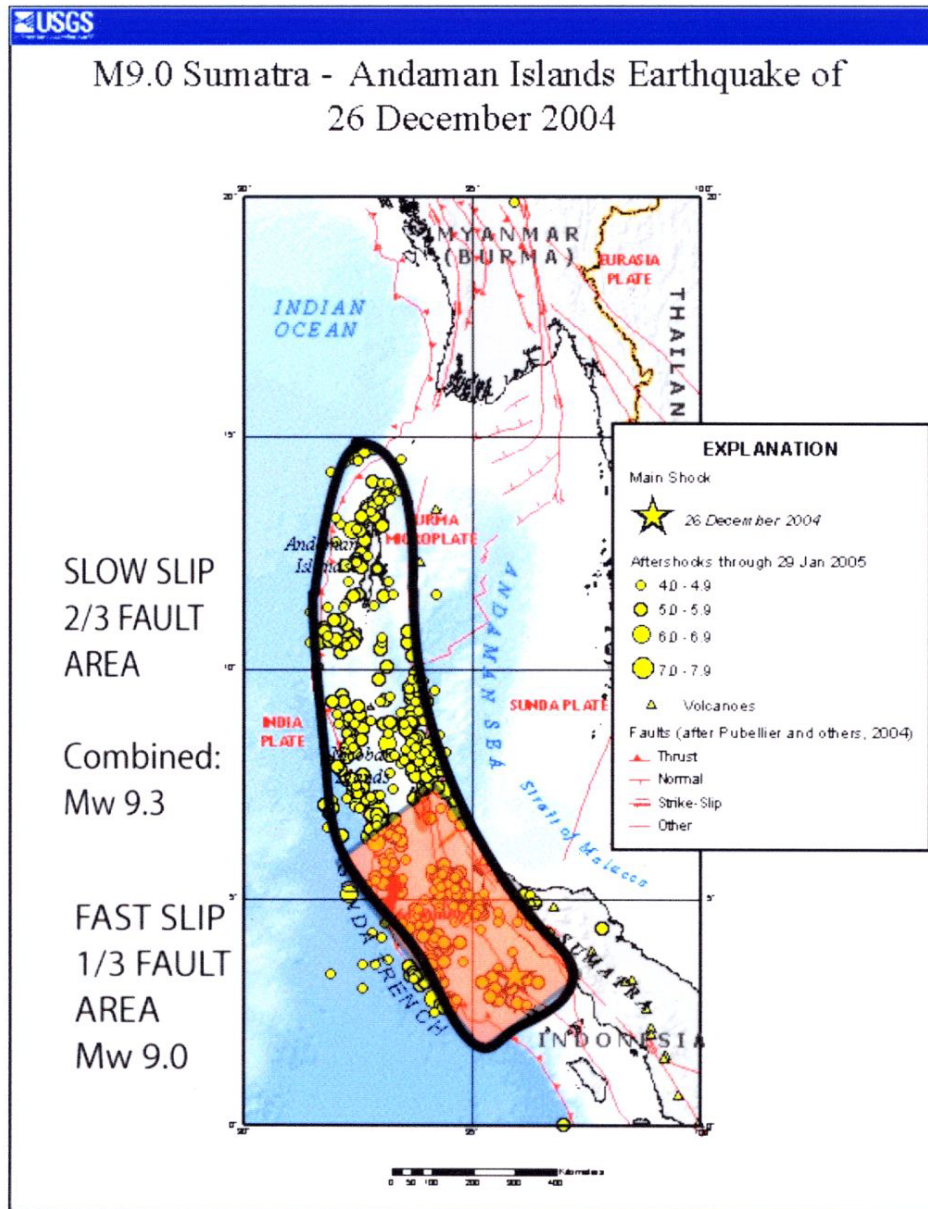
D = Mittelwert der Verschiebung auf der Bruchfläche

Seismizität der Erde zwischen 1975 und 1995

- Erdbeben zeichnen aktive Plattengrenzen nach (Subduktionszonen, mittelozeanische Rücken)
- Tiefbeben entlang von Subduktionszonen



Sumatra-Beben: Bruchfläche und Nachbeben



Quelle: US Geological Survey, Boulder, Colorado

N-Sumatra — 26 DEZ 2004 — M_w 9.0

Centroid-Zeit: 01:01:9.0 GMT
Centroid-Zeit - Hypozentralzeit: 139 [s]
Halbdauer: 95.0 [s]

Koordinaten 3.09° N, 94.26° E
Herdtiefe 28.6 [km]
Herdlänge 800 - 1000 [km]
Verschiebungen
 vertikal + 5 und - 2 [m]
 horizontal 10 [m]

1. Herdfläche
 strike 329°
 dip 8°
 slip 110°
2. Herdfläche
 strike 129°
 dip 83°
 slip 87°

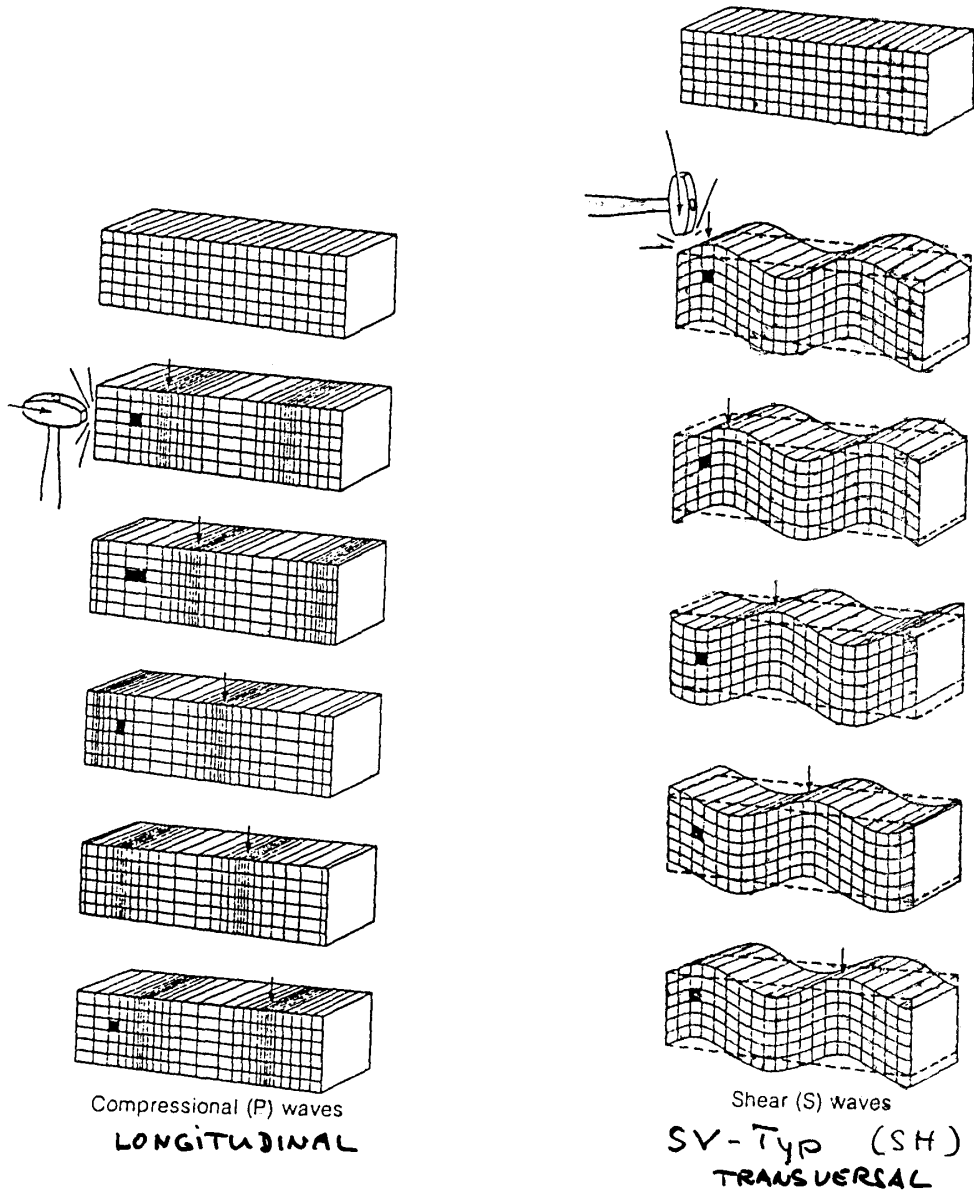
Moment $3.95 \cdot 10^{22}$ [Nm]
Seism. Energie $10^{18} - 10^{19}$ [J]
bzw. 0.25 - 2.5 [Milliarden MWh]
Beispiele z. Vergleich:
 Erdbeben im Mittel: 10^{18} [J/a]
 Erdrotation: $2.16 \cdot 10^{27}$ [J]
 Wärmestrom aus dem Erdinnern 10^{21} [J/a]
 Sonneneinstrahlung $2 \cdot 10^{25}$ [J/a]
 globaler Energiebedarf 10^{20} [J/a]

Erdrotation:
Δ LOD (berechnet) -2.68 μs
Δ Pol (145° E) (berechnet) 2.5 [cm]
Δ Pol (GPS) 8 [cm]

RIESIGE TSUNAMIS !!!!!

STARKE EIGENSCHWINGUNGEN DER ERDE

Verschiedene Arten von seismischen Wellen

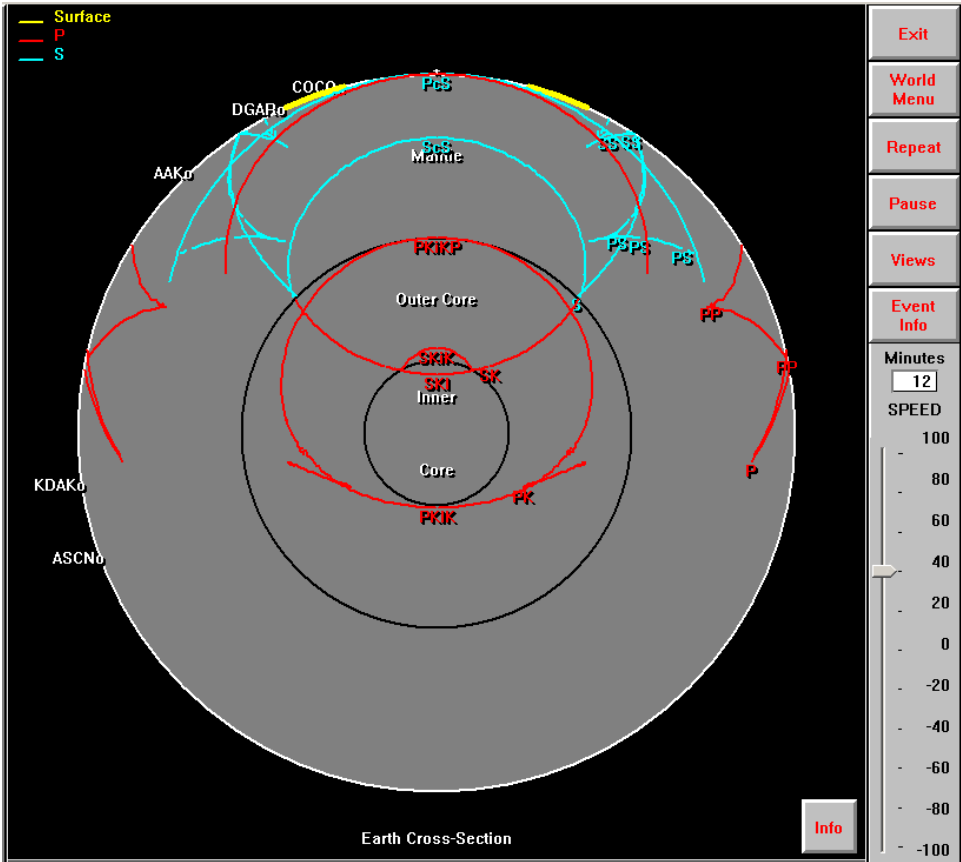
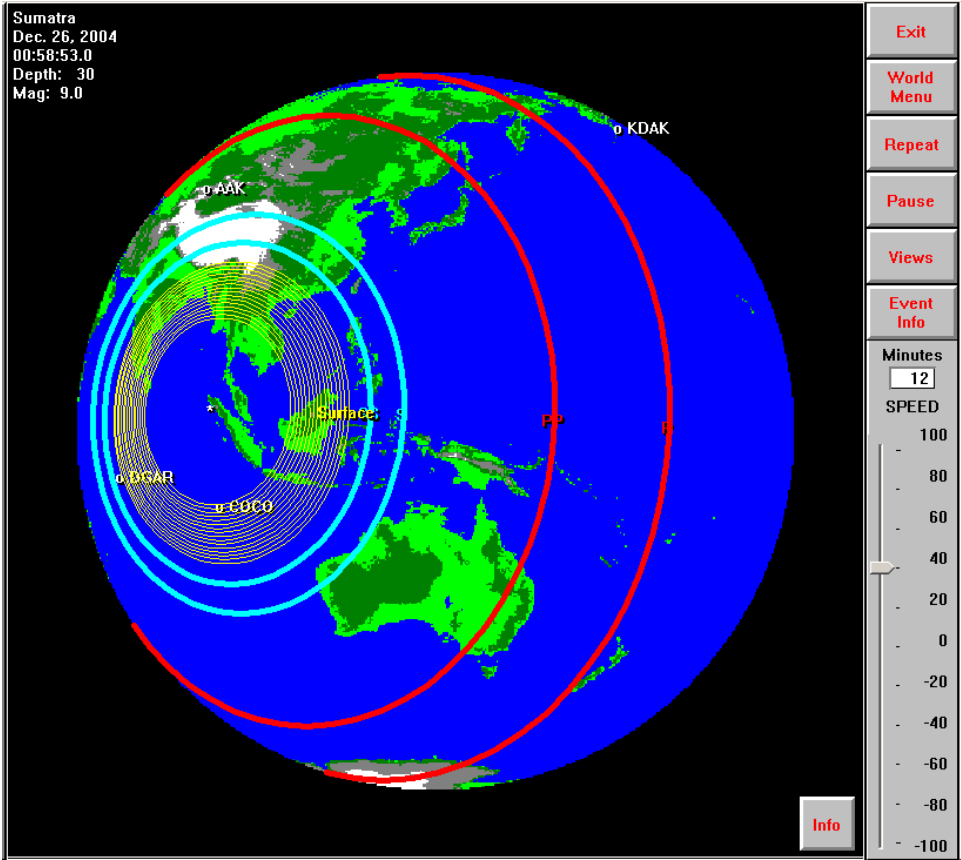


Elastische Wellengeschwindigkeiten unter Normalbedingungen

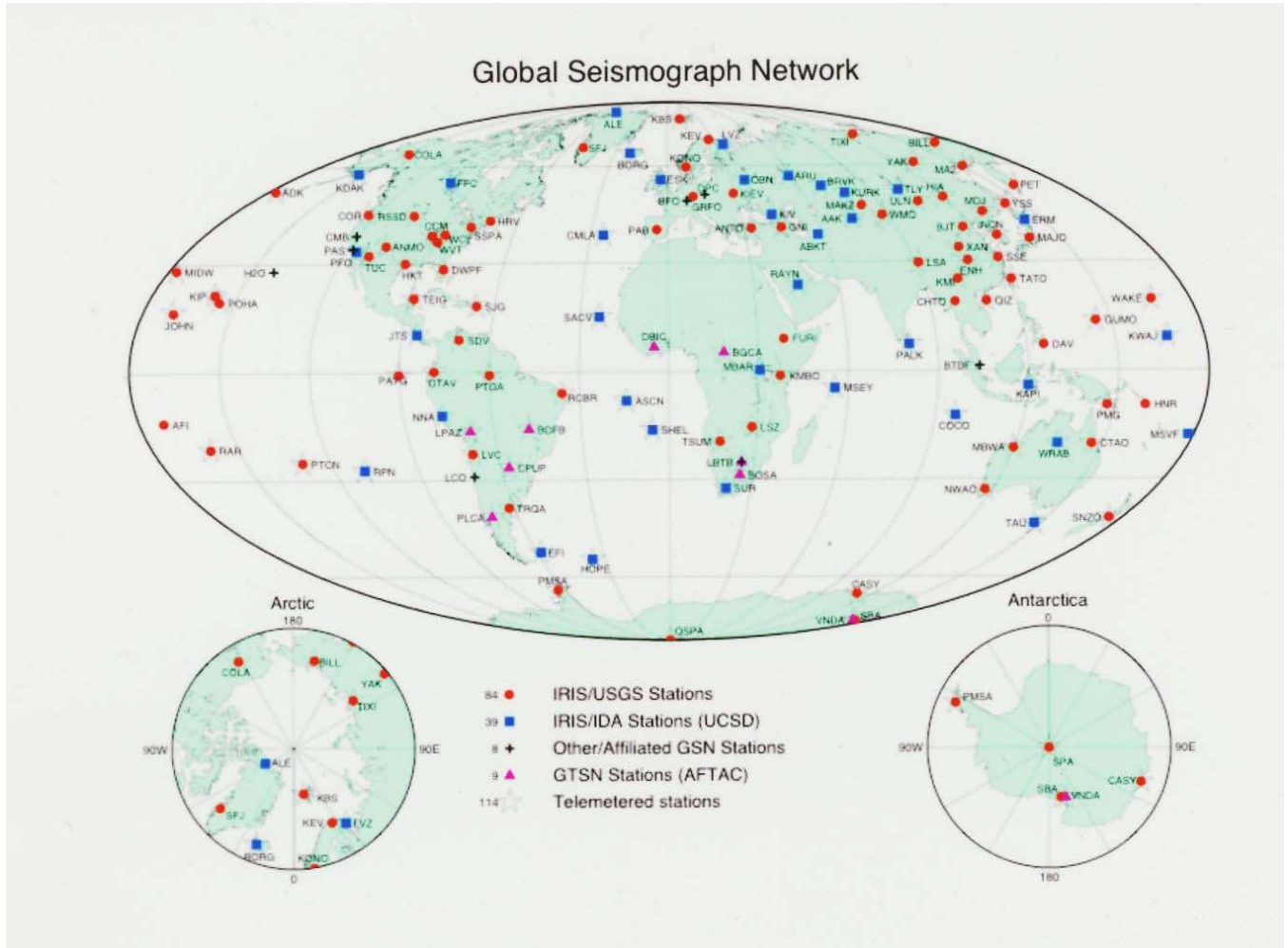
Material	Kompressionswellen v_p (km/s)	Scherwellen v_s (km/s)
Luft	0.33	-
Wasser	1.5	-
Sand	0.6 - 0.9	-
Sandsteine	2.0 - 4.5	keine Angaben
Kalksteine	2.0 - 6.5	" "
Granit	4.8 - 6.0	2.8 - 3.2
Basalt	5.1 - 6.4	2.7 - 3.2
Gabbro	6.4 - 6.7	3.4 - 3.5
Eklogit	8.0	4.3
Dunit	7.4 - 8.6	3.8 - 4.4
Dolomit	3.5 - 6.9	??
Gneis	3.5 - 7.5	??
CMB	~ 14	~ 7.5

CMB = Kern-Mantel Grenze (ca. 2900 km tief)

Animation: Ausbreitung von seismischen Wellen



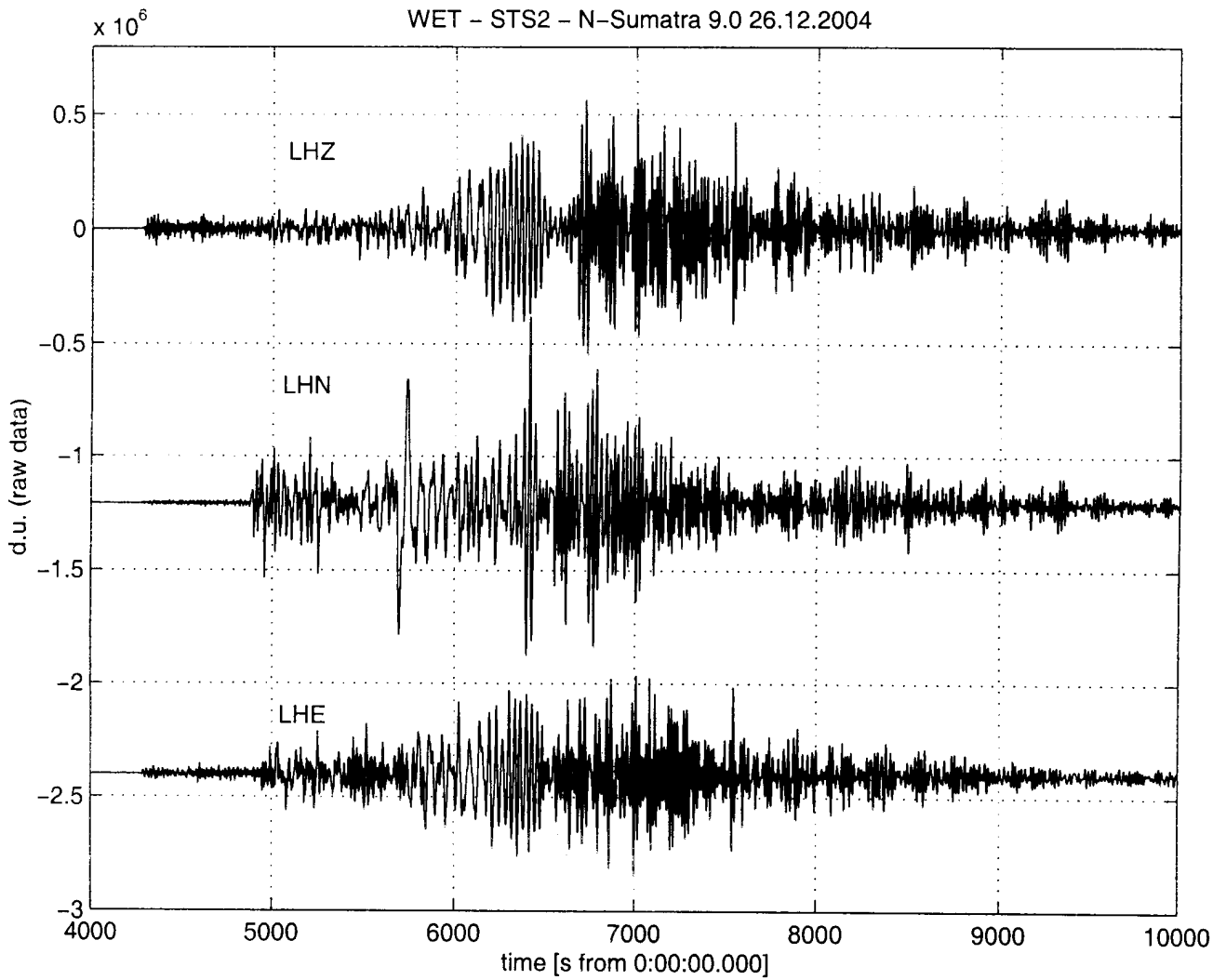
Stationsnetz des Global Seismographic Network



Quelle: Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), Washington DC

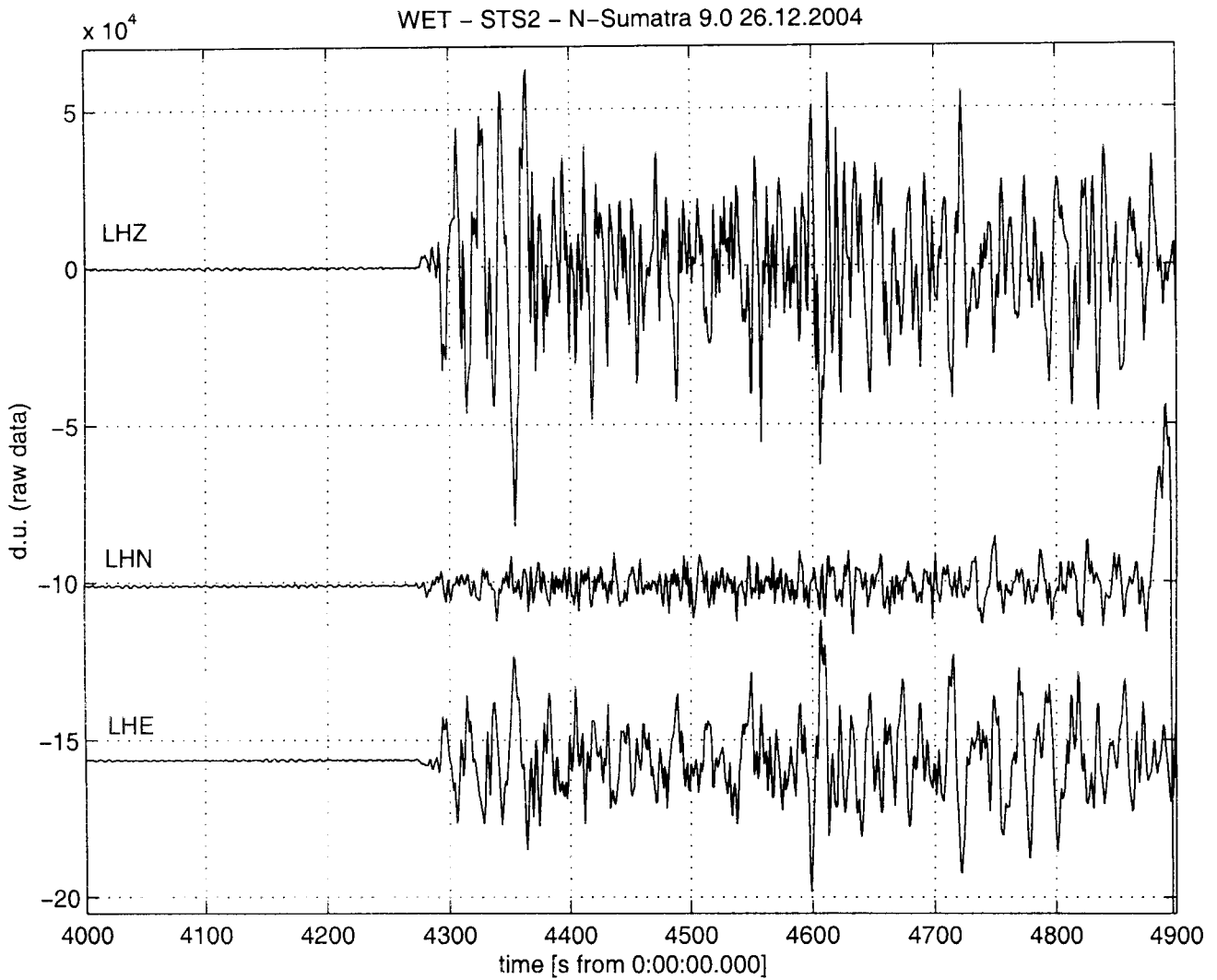
Aufzeichnung des Sumatra-Bebens in Wetzell

- Zeitfenster: 1,6 Stunden
- Amplitudenskala ohne Exponent entspricht etwa Verschiebung in Zentimeter

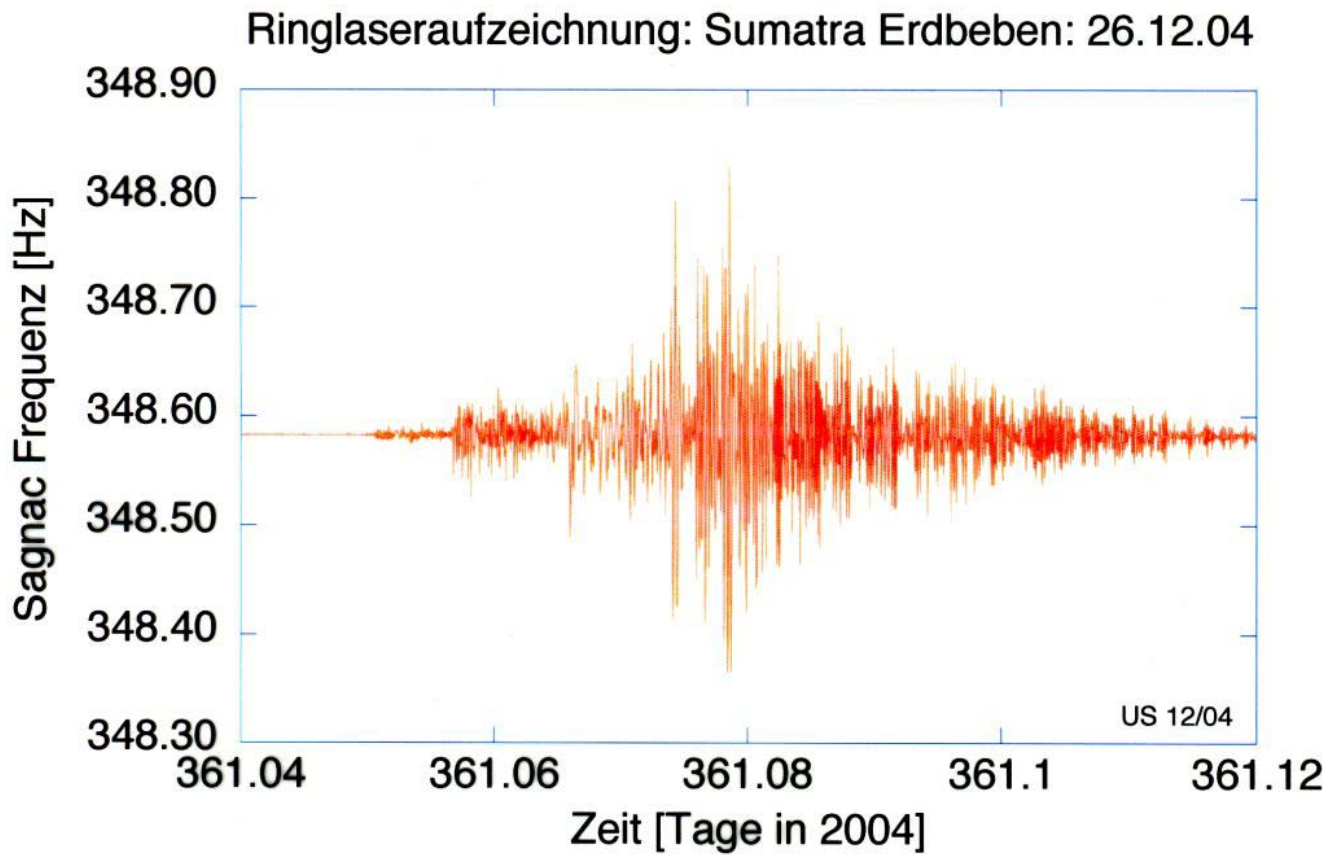


Aufzeichnung des Sumatra-Bebens in Wettzell

- Zeitfenster: 15 Minuten
- Amplitudenskala ohne Exponent entspricht etwa Verschiebung in Zehntel-Millimeter

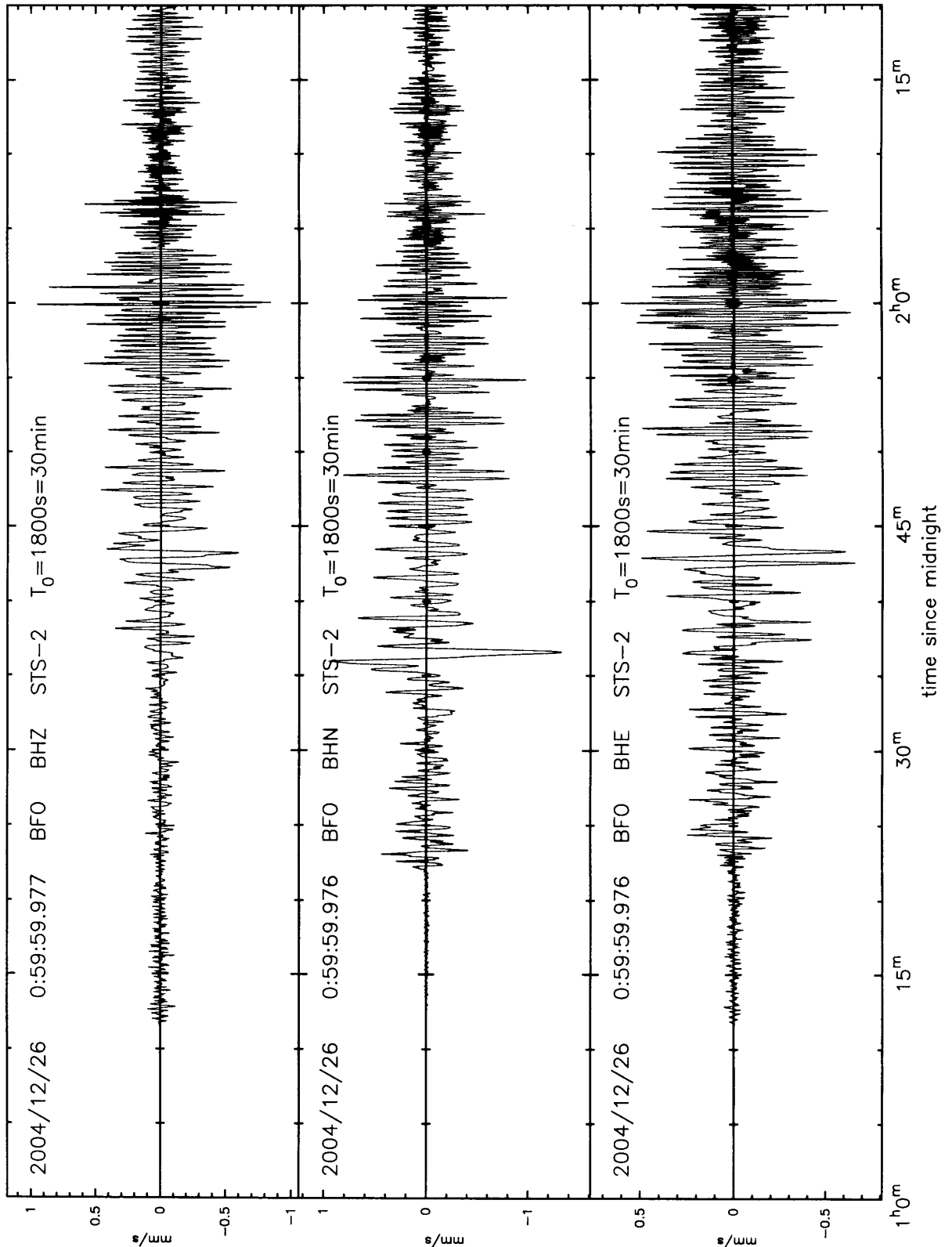


Rotationsseismogramm des Wettzeller Ringlasers



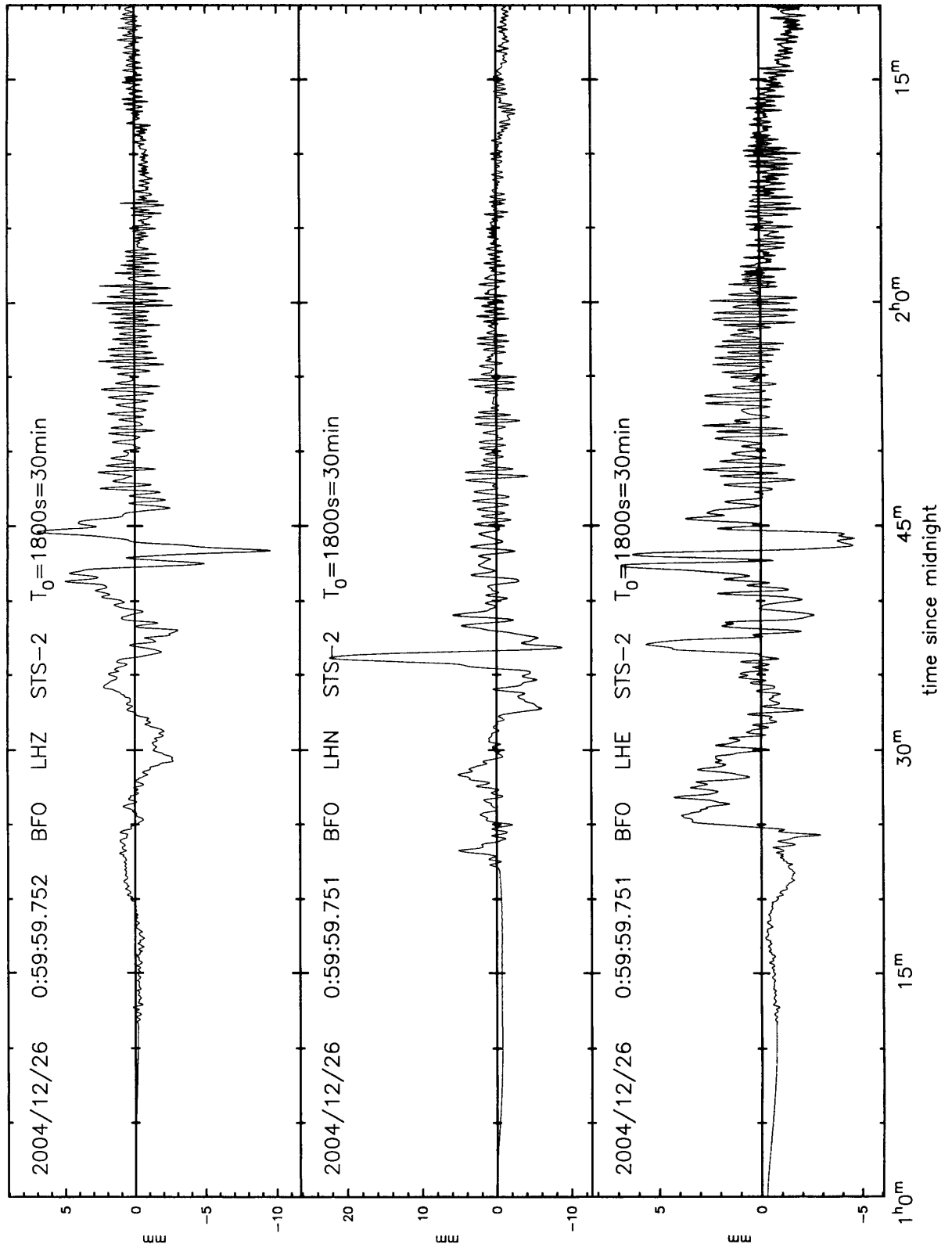
Aufzeichnung des Sumatra-Bebens am BFO/Schiltach

- Bodengeschwindigkeiten (mm/s)
- Zeitfenster: 80 Minuten



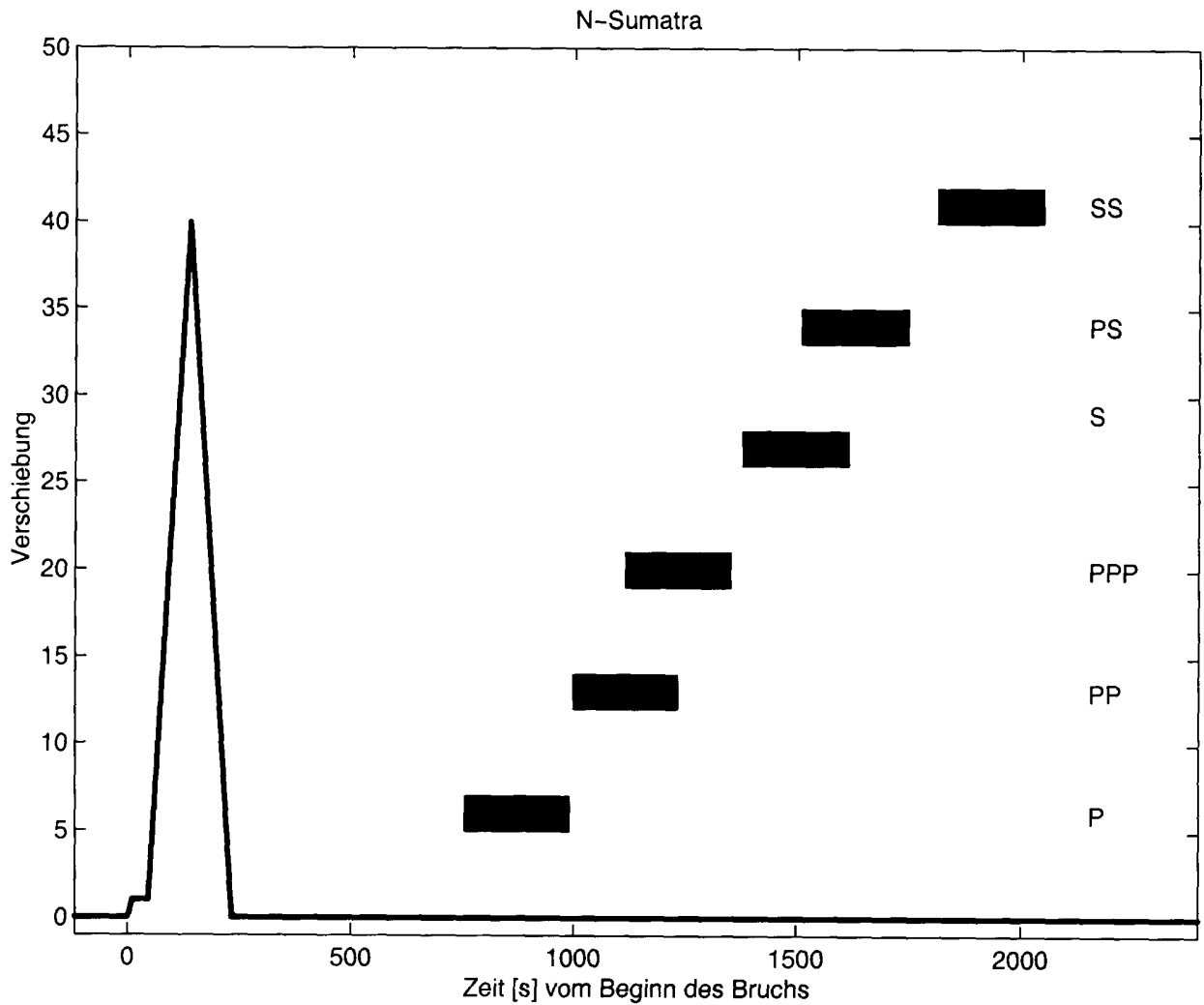
Aufzeichnung des Sumatra-Bebens am BFO/Schiltach

- Bodenverschiebungen (mm)
- Zeitfenster: 80 Minuten



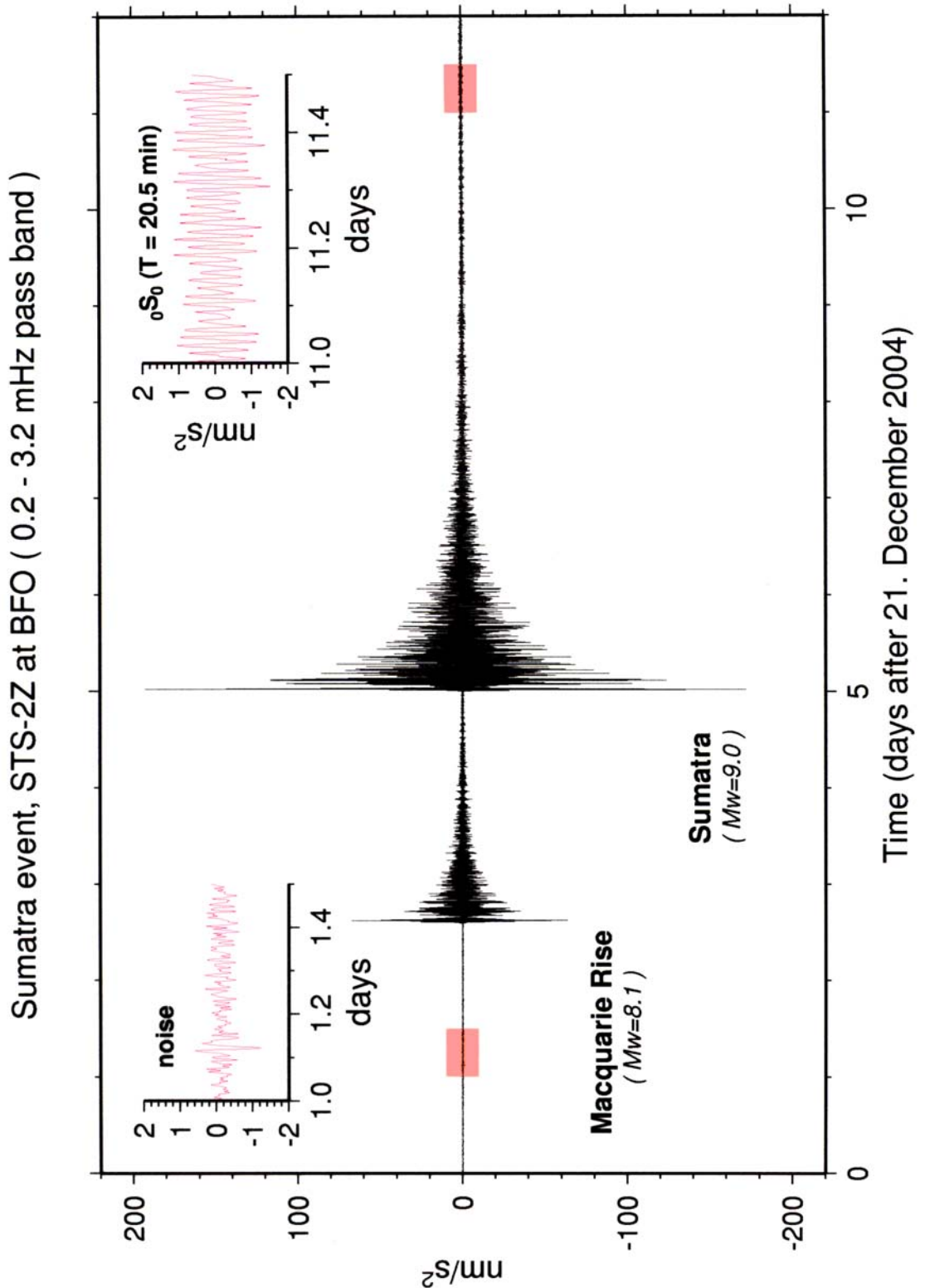
Ankunfts-Zeitbereiche für verschiedene Wellentypen Station BFO

- lang andauernder Bruchvorgang
- ungeeignet zur Ermittlung von Laufzeitvariationen (Dichte)
- geeignet zur Aufdeckung des genauen Bruchvorgangs



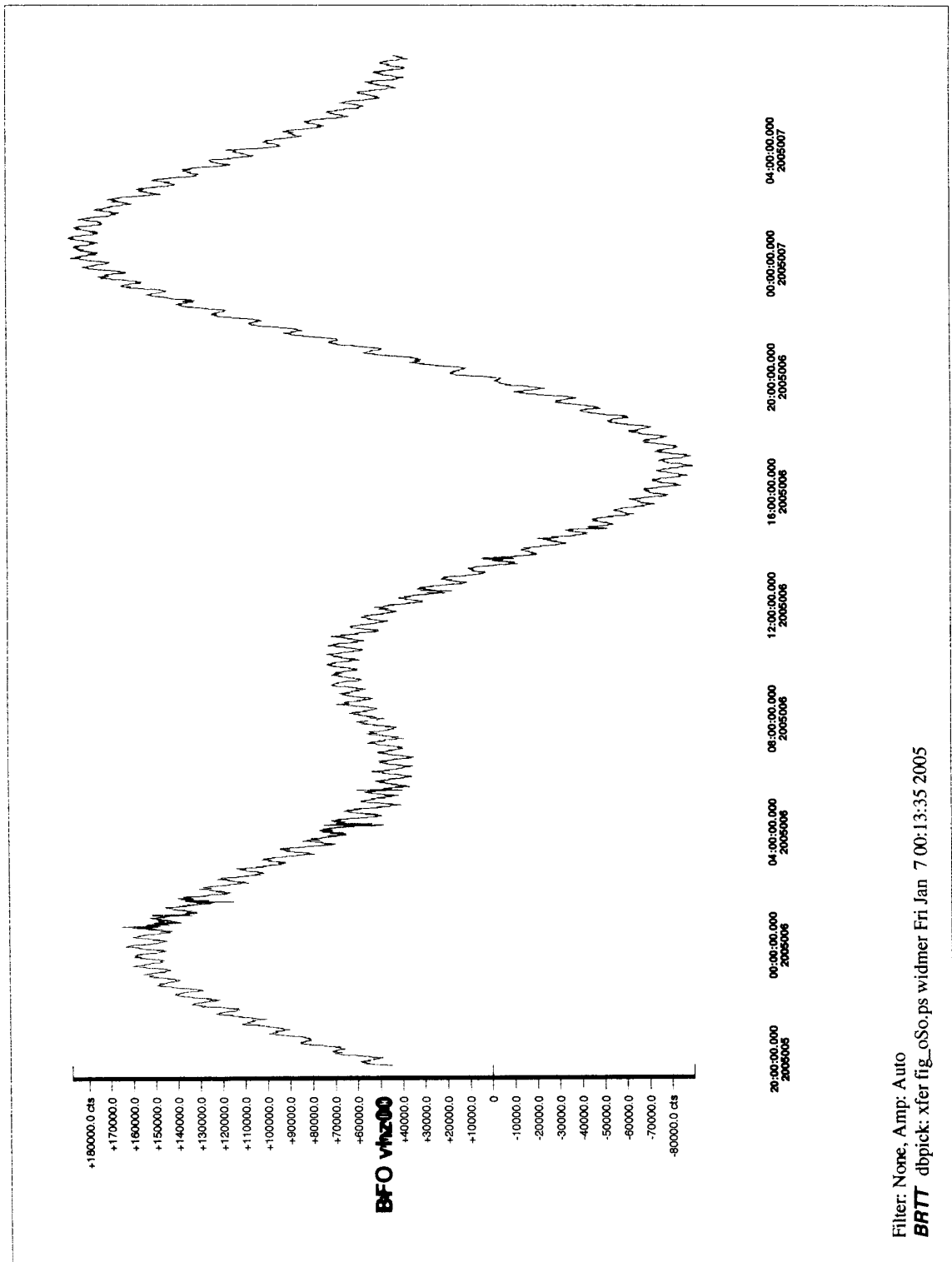
Aufzeichnung über 12 Tage vor und nach dem Beben Station BFO

- vor dem Macquarie-Beben: „Hintergrundrauschen“
- nach dem Sumatra-Beben: periodische Schwingung
= durch das Erdbeben angeregte Eigenschwingung der Erde



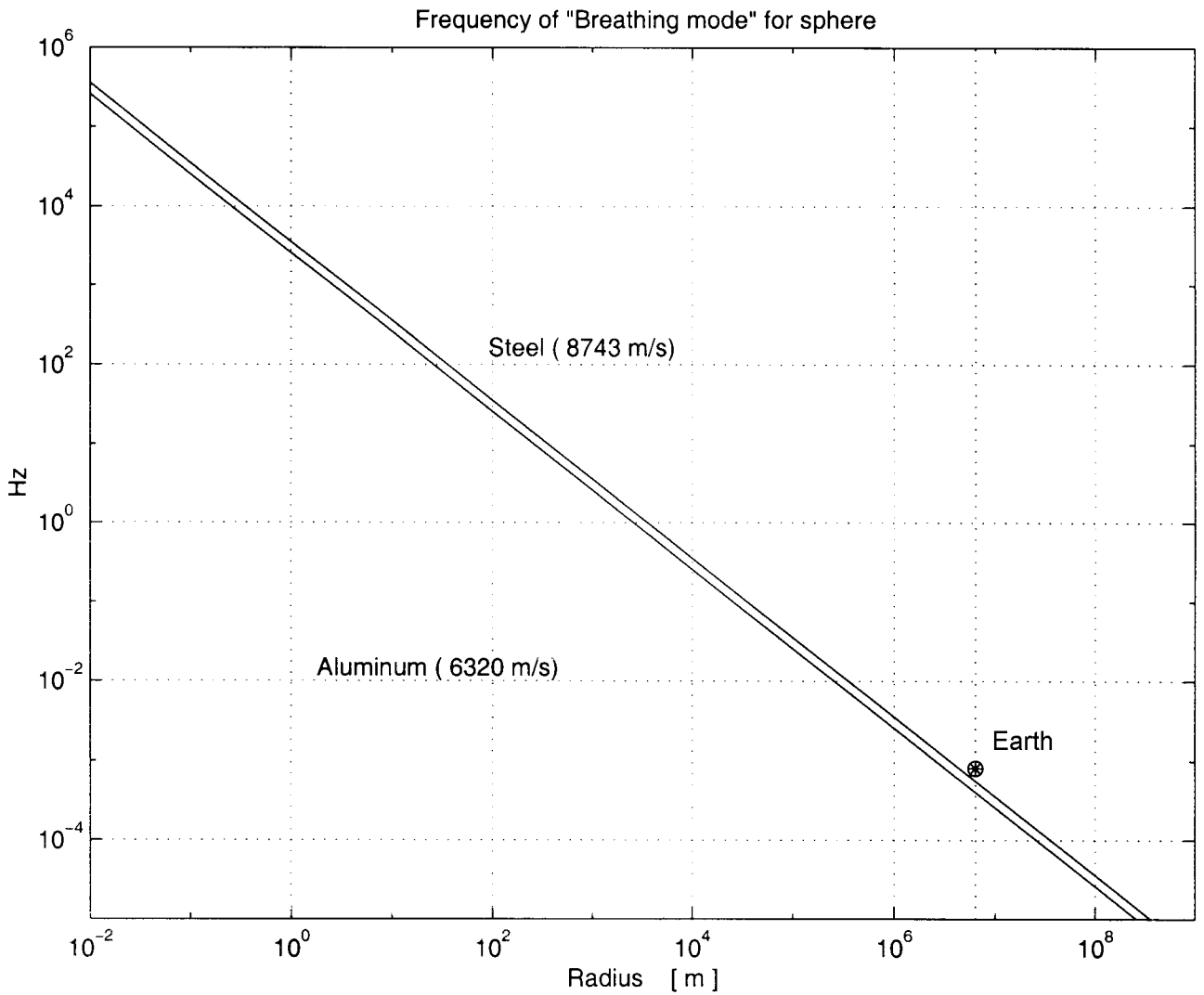
Aufzeichnung über 32 Stunden 11 Tage nach dem Beben Station BFO

- langperiodische Schwingung: Gezeiten der festen Erde
- kurzperiodische Schwingung: Eigenschwingung ${}_0S_0$ („breathing mode“) = Zu- und Abnahme des Erdradius um 0,05 mm
Frequenz 0,813 mHz oder 20,5 Minuten Periodendauer



Frequenzen der Grundschiwingung $_0S_0$ für verschiedene Materialien

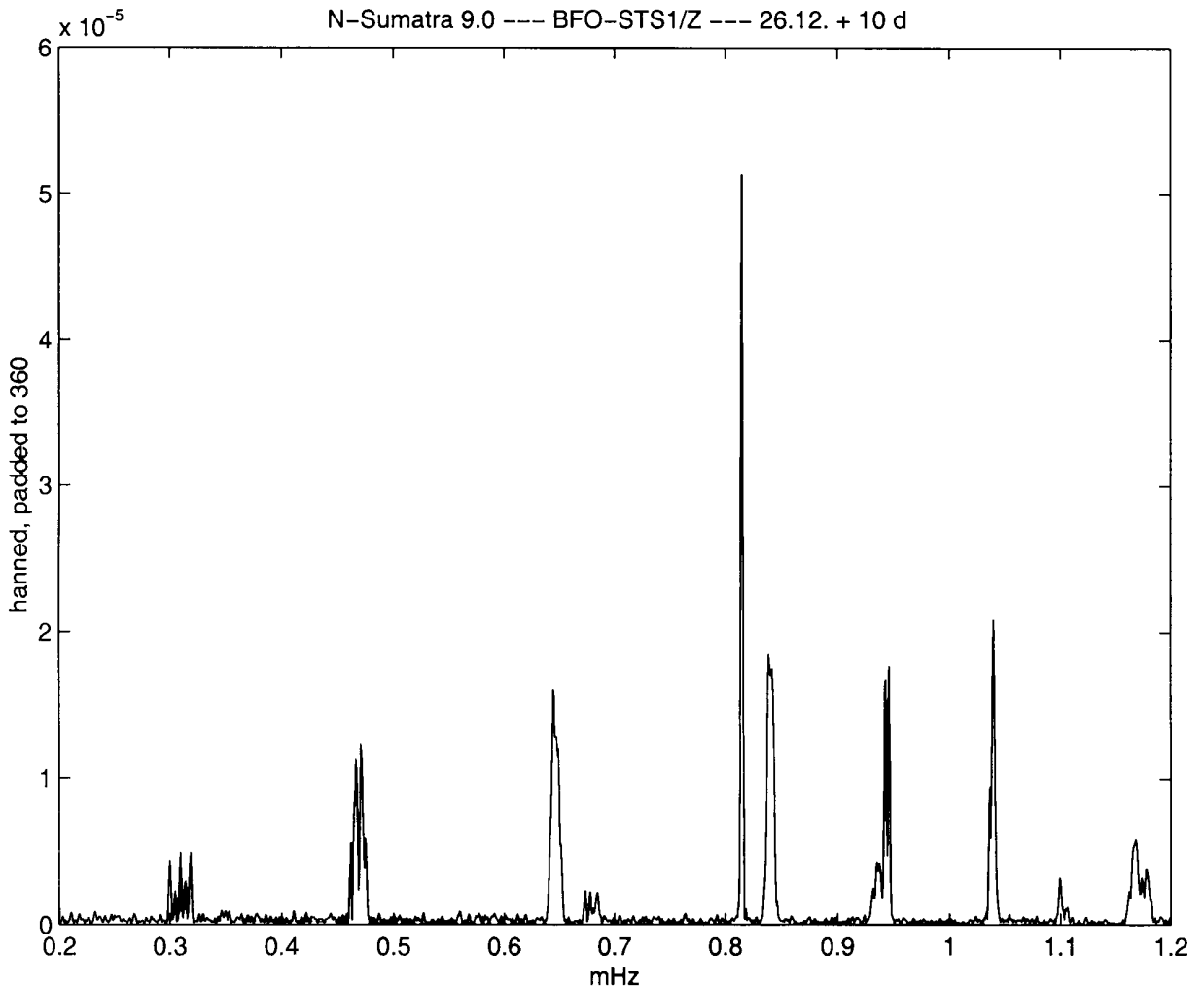
- Die Schwingungsdauer ist materialabhängig (Dichte)
- Eine Stahlkugel von der Größe der Erde hätte nahezu die gleiche Frequenz wie die Erde!



Spektrum der Eigenschwingungen

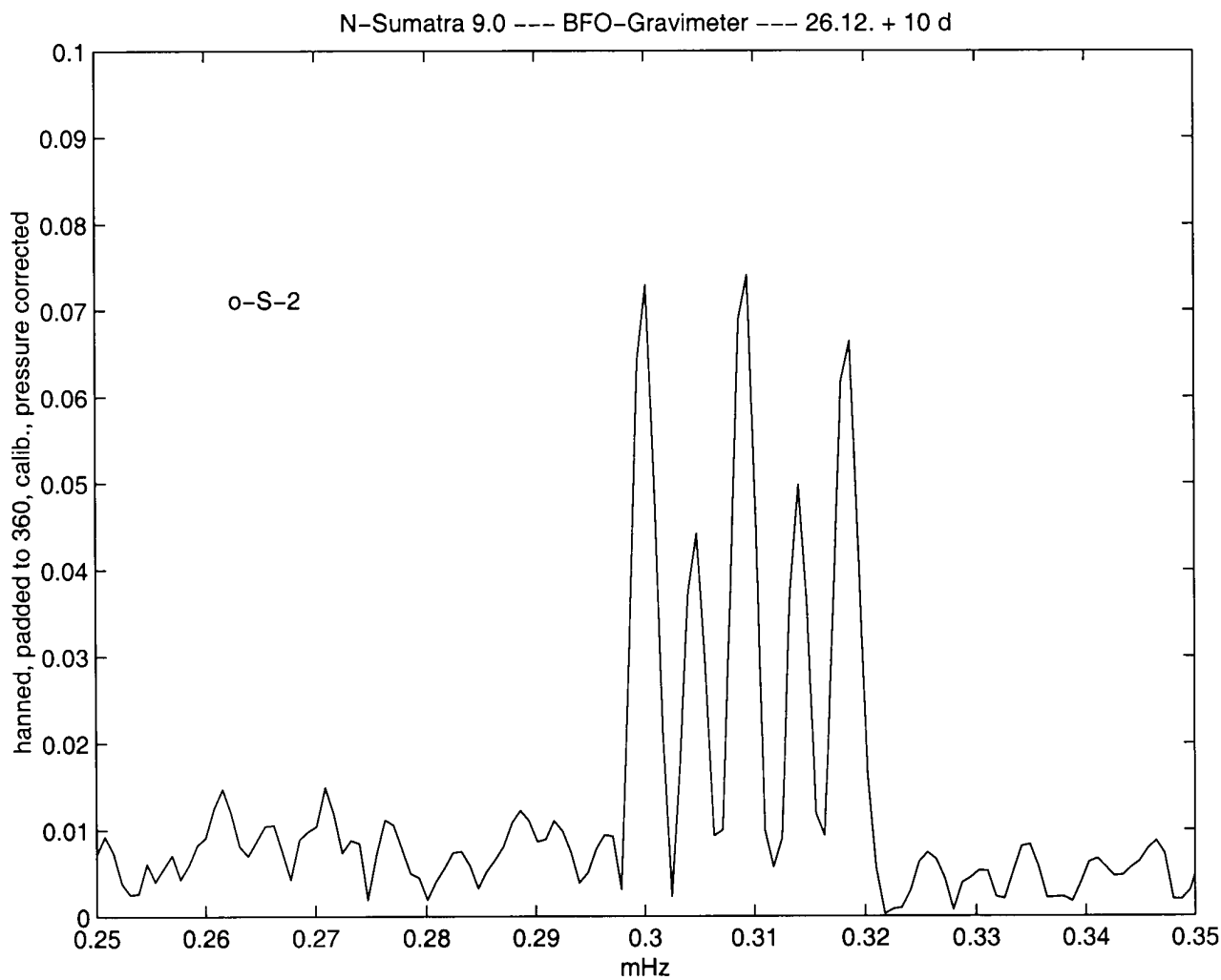
- Seismometer STS-1, Aufzeichnung über 10 Tage nach dem 26.12.
- 0S0 sticht heraus (höchste Güte = geringste Dämpfung)
- weitere Moden:

0S2	0,31 mHz	splitted
0S3	0,47 mHz	splitted
0S4	0,65 mHz	
1S2	0,68 mHz	splitted
0S5	0,84 mHz	
1S3/3S1	0,94 mHz	
2S2	0,95 mHz	
0S6	1,04 mHz	
3S2	1,11 mHz	
1S4	1,17 mHz	splitted
....		

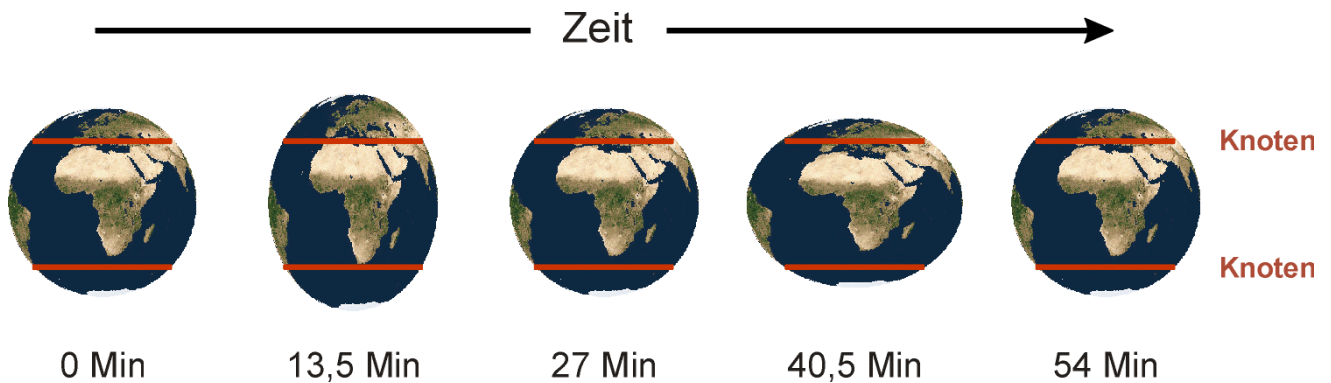


Hoch aufgelöstes Spektrum der Eigenschwingung ${}_0S_2$

- Gravimeter ET-19, Aufzeichnung über 10 Tage nach dem 26.12.
- Aufspaltung in 5 singulets
- Aufspaltung ist auf die Abweichung von der Radialsymmetrie (ellipsoidische Form der Erde und ihre Rotation) zurückzuführen.



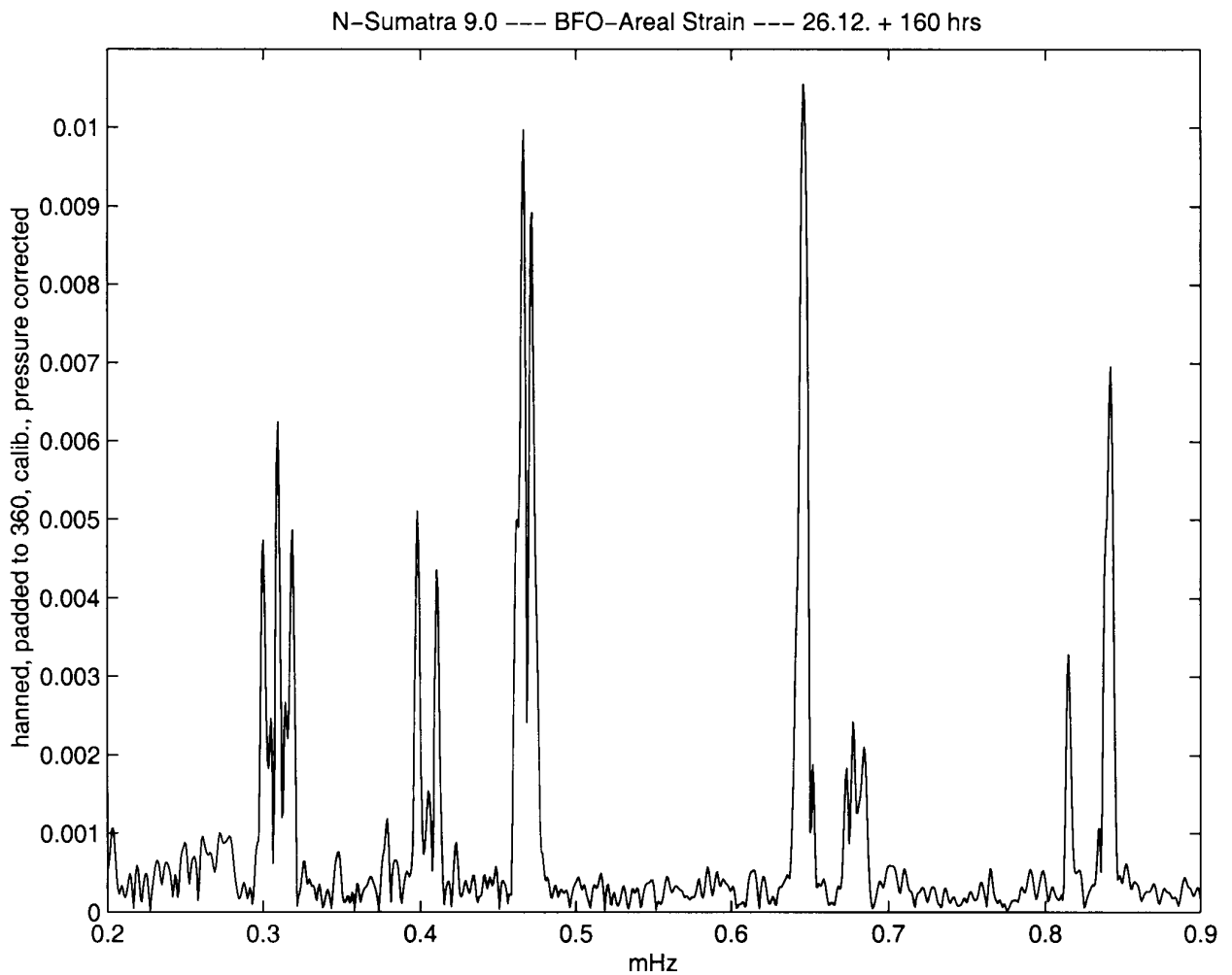
Bildliche Darstellung der Eigenschwingung ${}_0S_2$ („football-mode“)



Verformung der Erde durch die sphäroidale Eigenschwingung ${}_0S_2$ (stark übertrieben dargestellt). Für eine volle Schwingung benötigt die Erde 54 Minuten. Die tatsächliche Verschiebung der Erdoberfläche betrug nach dem Sumatra-Beben maximal weniger als 0,1 mm!

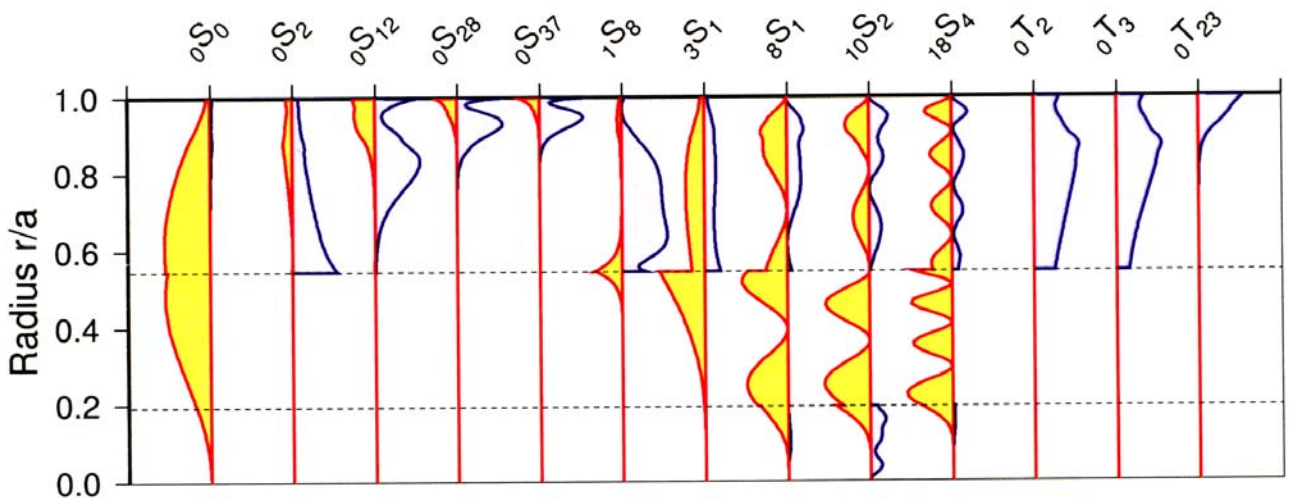
Spektrum der Eigenschwingungen, Flächenstrain

- BFO Strainmeter, Aufzeichnung über 6,6 Tage nach dem 26.12.
- durch die radiale Verformung der Erde wird auch die Erdoberfläche gedehnt, wie bei einem Luftballon
- S_0 -Amplitude: $\Delta L / L_0 = 8 \times 10^{-12}$
 $L_0 = 10 \text{ m} \Rightarrow \Delta L = 0,000\ 000\ 000\ 08 \text{ m}$



Energiedichten der verschiedenen Eigenschwingungen als Funktion der Tiefe

Neben den ${}_0S_L$ -Moden, deren Eindringtiefe mit wachsendem L abnimmt, existieren auch Moden mit deutlichen Energiedichteanteilen im äußeren (z.B. ${}_3S_1$) und inneren Erdkern (z.B. ${}_{10}S_2$). Damit lassen sich Informationen über die Verteilung der Dichte und der elastischen Parameter im Erdkern herleiten.



Gelb (nach links): Scherenergie
Blau (nach rechts): Kompressionsenergie

Neben den (sphäroidalen) ${}_N S_L$ -Moden, die an der Erdoberfläche Verschiebungen in radialer (vertikaler) Richtung verursachen, gibt es noch die (toroidalen) ${}_N T_L$ -Moden ohne Verschiebungsanteil in radialer Richtung

Erdbebenvorhersage???

Beispiel: Haicheng und Tang'shan (China)

Haicheng 4 Februar 1975 7.3

- Vorläufer: Mikrobeben, Neigungen, Eigenpotentiale, Wasserstände in Brunnen, Tierverhalten, Geodätische Nivellements
- Langfristige VHS (Feb 1974): $M \geq 6$ für 1975-1977
Mittelfristige VHS (Jun 1974): für die nächsten 2 Jahre
Kurzfristige VHS (13 Jan 1975): $M \approx 5.5 - 6$ 1. Halbjahr 1975
Akute VHS (4 Feb 1975, 00:30 LT): für diesen Tag
Evakuierung: 14:00 LT Beben: 19:36 LT
- 90 000 Einwohner
- 90 % der Gebäude in der Stadt zerstört
- "nur" ein paar hundert Tote
- Schüttergebiet mit Intensität IX: 1000 km^2 mit 1/2 Million Menschen
Intensität IX: zerstörend - ... Viele schwächere Bauten stürzen ein
- Magnitude schwer unterschätzt

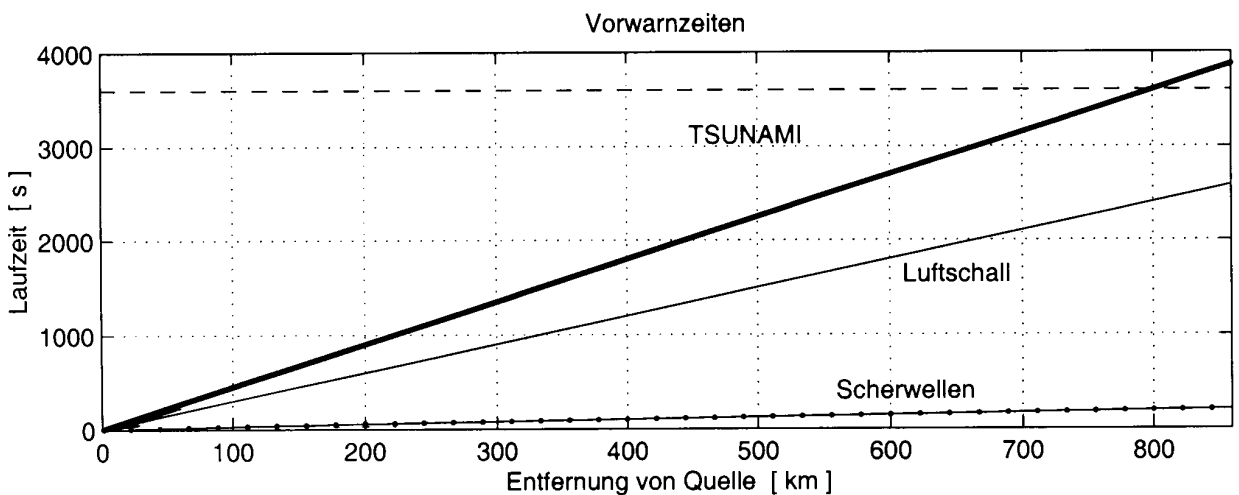
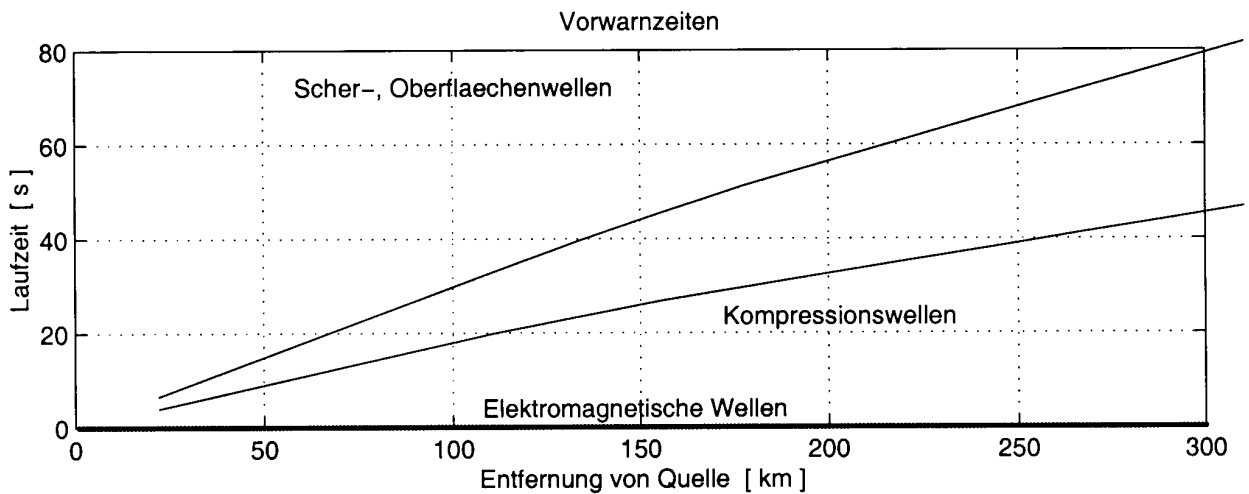
Tang'shan 27 Juli 1976 7.8

- Absolut KEINE lang-, mittel-, kurzfristige oder akute VHS
- KEINE Vorläufer nachträglich gefunden
- 242 000 Tote im Stadtgebiet (Millionenstadt)
- 700 000 Tote insgesamt ???

Vornwarnzeiten: Geschwindigkeiten im Vergleich

Oben: elektromagnetische Wellen: 300 000 km/s
 seismische P-Wellen: 13 km/s
 seismische S-Wellen: 9 km/s

Unten: seismische S-Wellen: 9 km/s
 Schallwellen: 0,33 km/s
 Tsunamis: bis zu 0,22 km/s



Zusammenfassung

- Solch starke Beben werden immer wieder auftreten (auch in bewohnten Gebieten). Momentane Plattengeschwindigkeiten (VLBI, GPS) entsprechen etwa den Mittelwerten ueber 180 Mio Jahre
- Vorhersageforschung wird intensiv betrieben, aber echte Methoden sind nicht in Sicht.
- Fruehwarnsysteme, basierend auf Geschwindigkeitsunterschieden versprechen etwas Hilfe in Spezialfaellen.
- Solche Beben liefern Signale hoher Qualitaet und Forschungsarbeit auf Jahre hinaus. D. h. endgueltige Ergebnisse lassen noch auf sich warten
- Raumwellen durch den Erdkoerper sind schwer zu entziffern und werden vor allem zu Studien des Herdvorgangs verwendet werden
- Eigenschwingungen koennen mit bisher unerreichter Qualitaet analysiert werden und zu Informationsgewinn ueber das Erdinnere (Dichtestruktur) herangezogen werden.