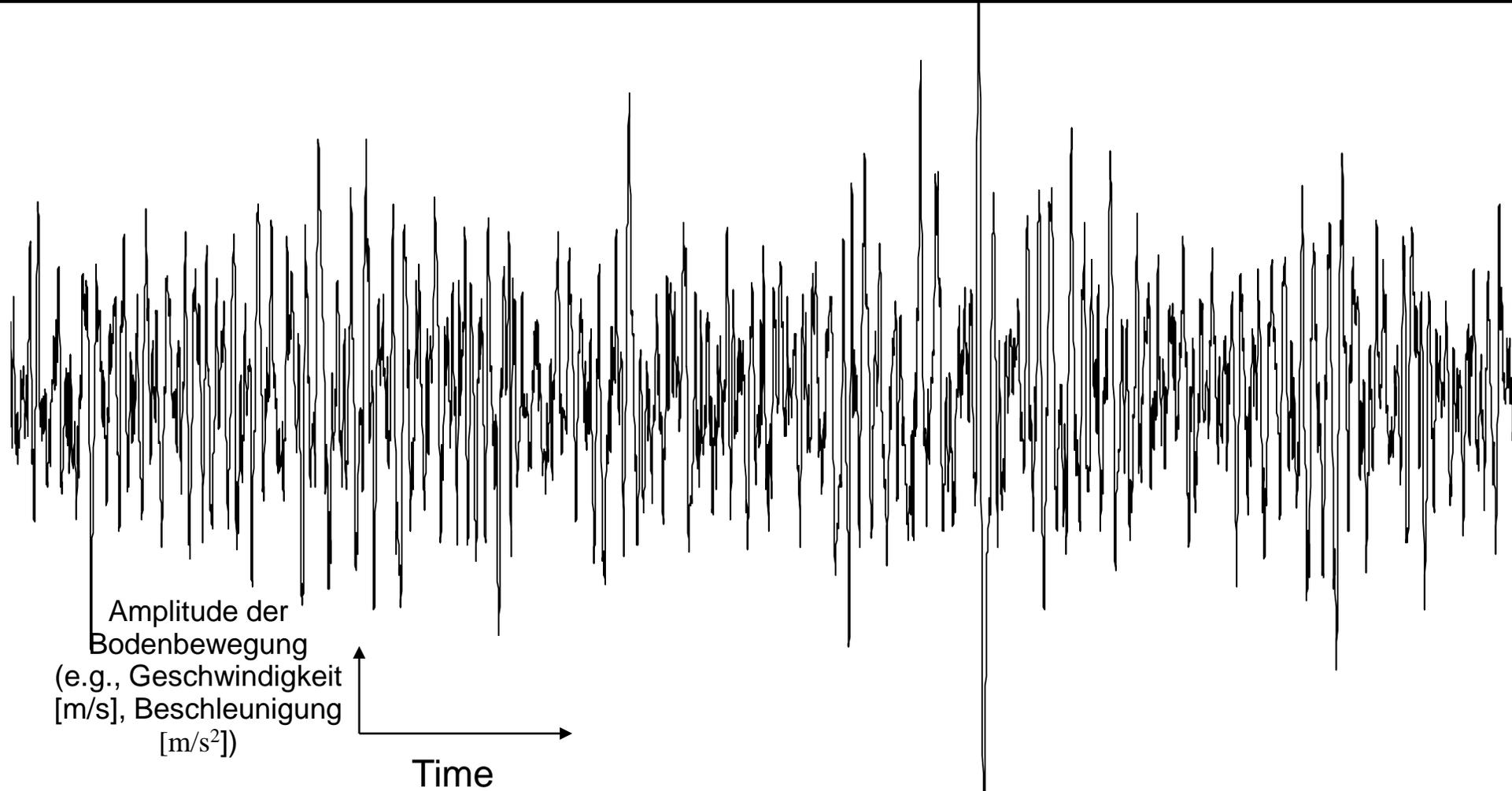


## Digitalisierung, Diskretisierung

- Seismische Zeitreihen -> Seismogramme
- Samplingrate, Taktfrequenz
- Nyquistfrequenz
- zeitliche, räumliche Frequenzen
- Binäre Zahlendarstellung
- Datenvolumen in der Seismik
- Bit-Tiefe

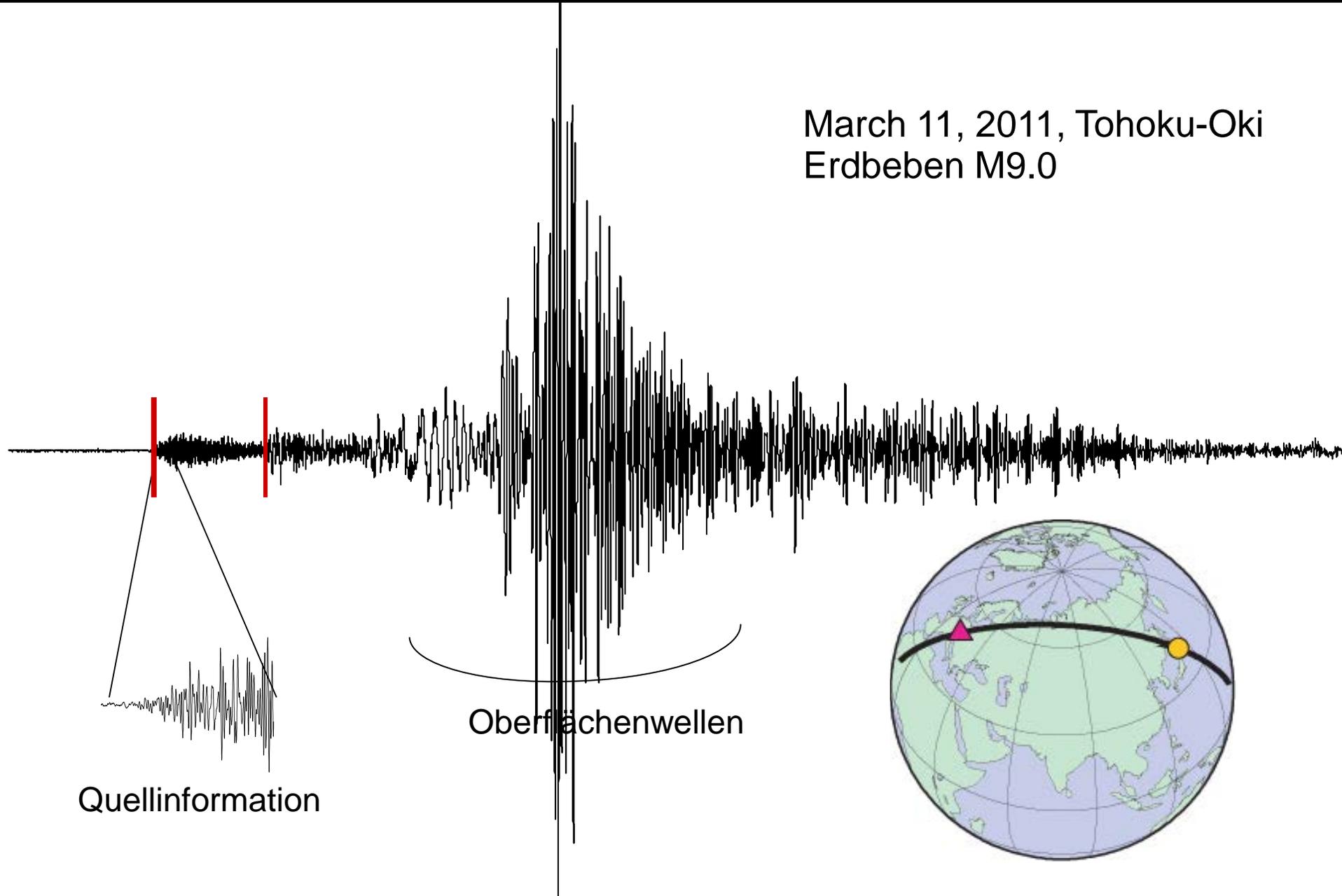
.. ein seismisch ruhiger Tag ...



March 11, 2011, Seismometer in FFB

... der katastrophal weitergeht ...

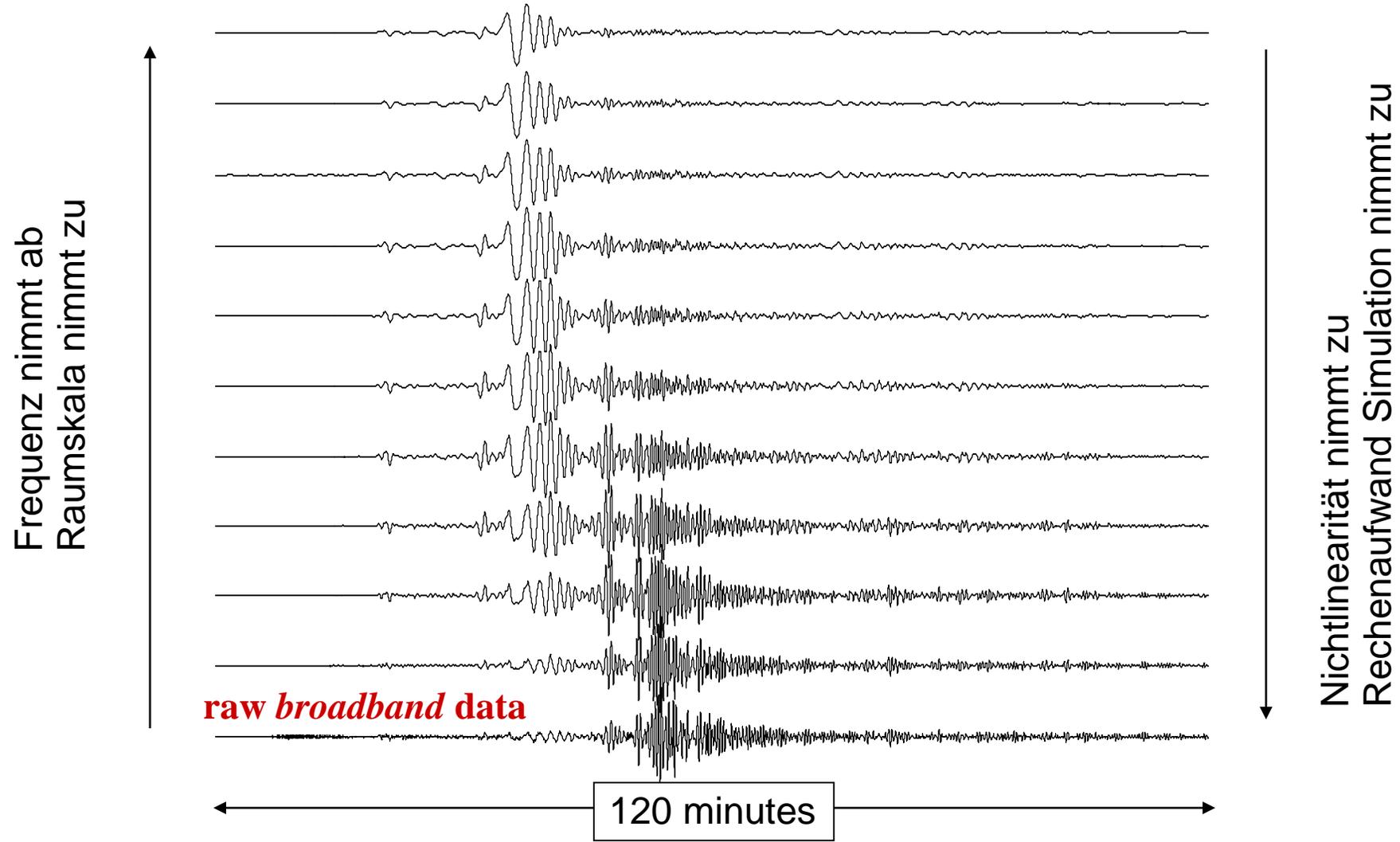
March 11, 2011, Tohoku-Oki  
Erdbeben M9.0



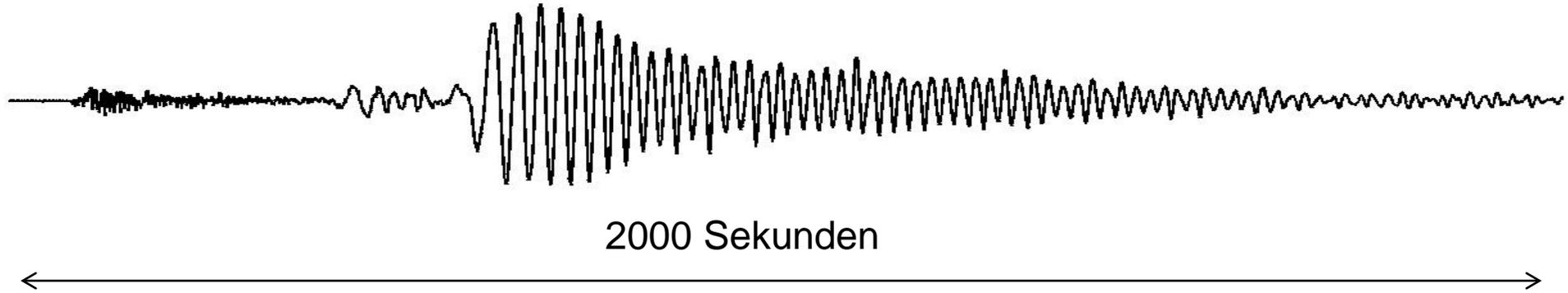
Quellinformation

Oberflächenwellen

# Zeitskalen, Frequenzgehalt



# Aufzeichnung auf einer Insel im Indischen Ozean



Besonderheiten:

Langer, *dispersiver* Wellenzug

z.T. nahezu monochromatischer Frequenzgehalt

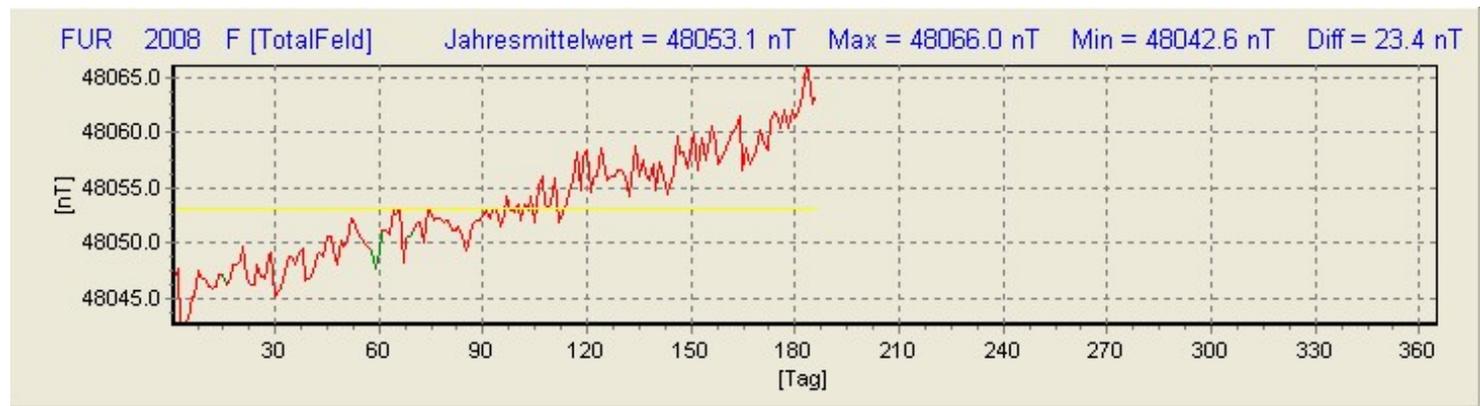
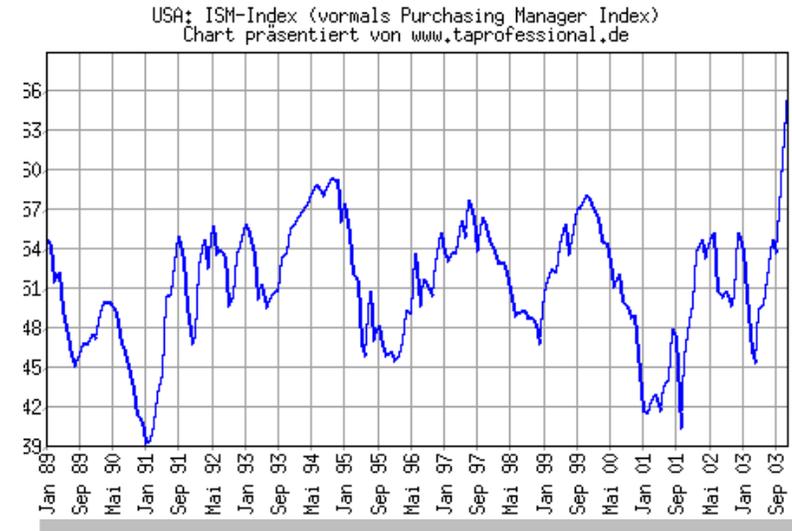
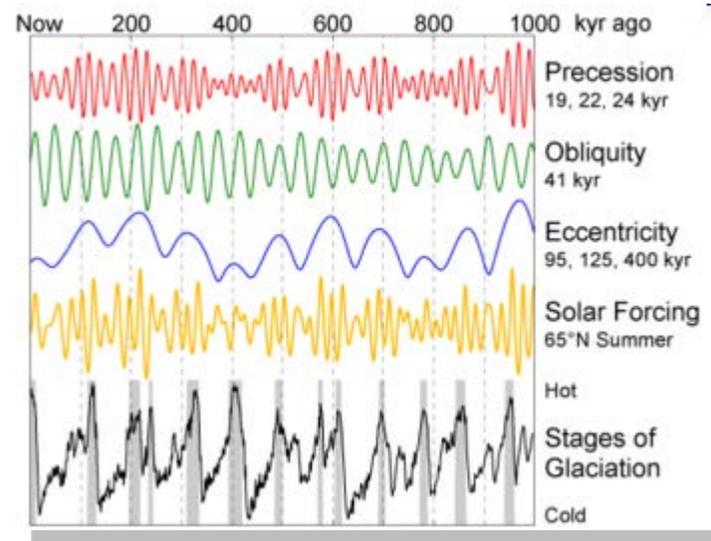
Wellenleiterphänomen (ozeanische Kruste)

Oberflächenwellen (Raleighwellen)

# Digitalisierung - Diskretisierung

- Was passiert, wenn ich ein Signal **digitalisiere** (Bodenbewegung, Temperatur, etc.) in **Raum** und/oder **Zeit**?
- Was sind die Auswirkungen einer bestimmten **Samplingrate/Abtastrate** auf den Informationsgehalt?
- Wie beschreibe ich die Amplitude eines Signals (**analog -> digital - AD**)
- Wie sind die gewonnenen Signale zu behandeln (**zu bearbeiten, zu transformieren**), um relevante Informationen zu erhalten?

# Zeitreihen, Beispiele



# Räumliche Phänomene, Beispiele

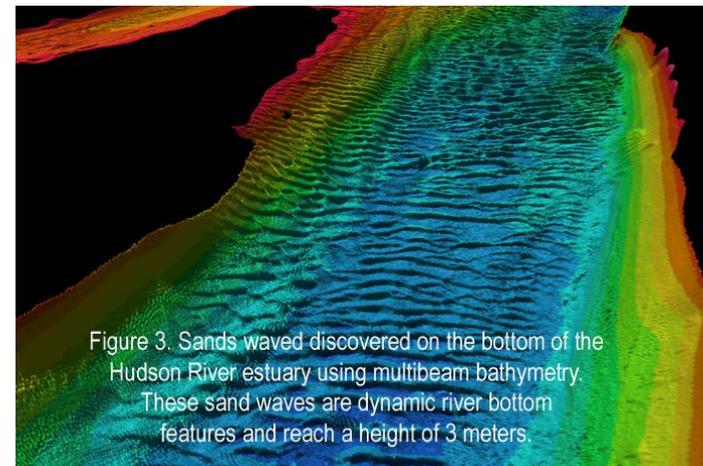
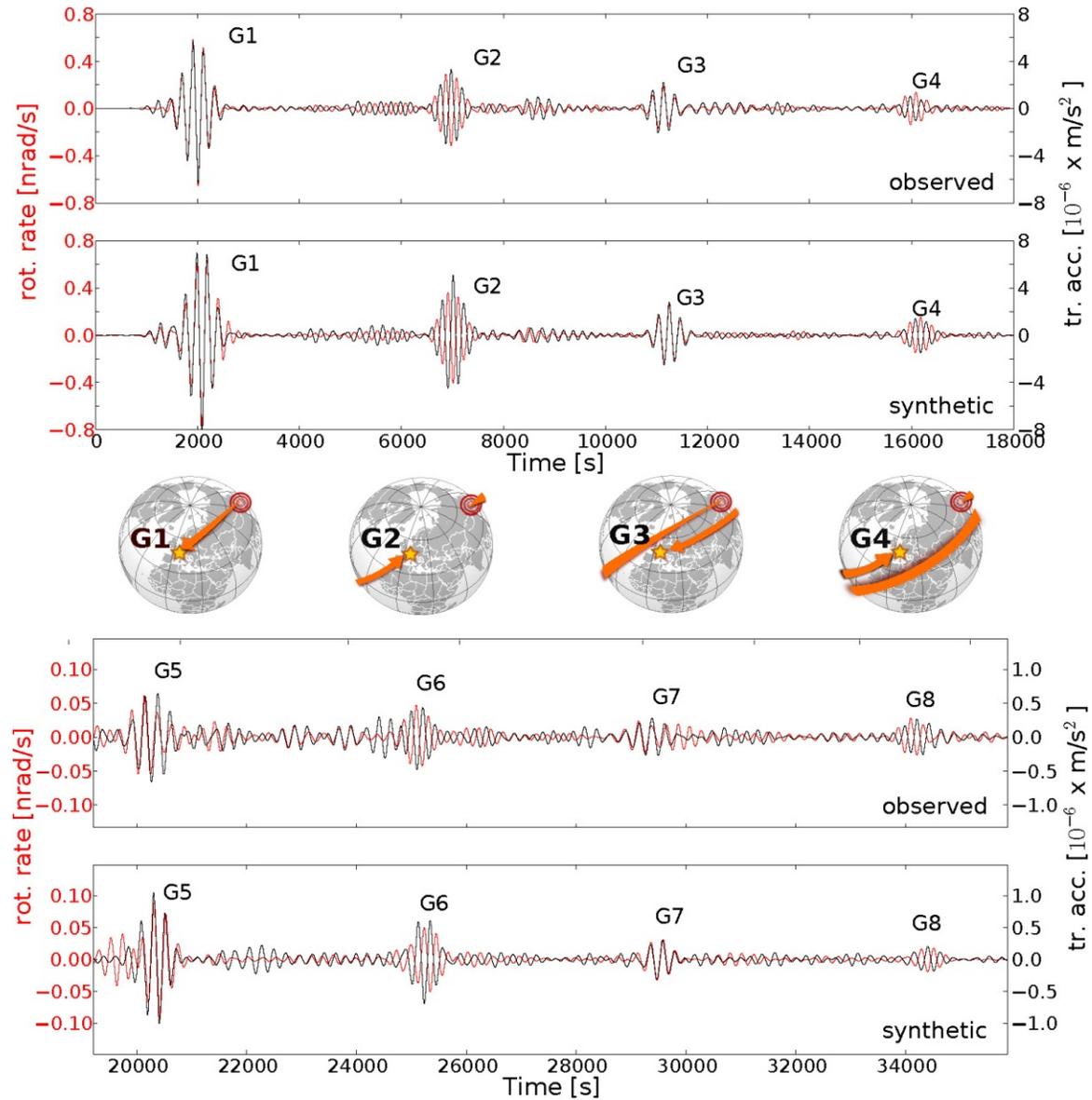


Figure 3. Sands waved discovered on the bottom of the Hudson River estuary using multibeam bathymetry. These sand waves are dynamic river bottom features and reach a height of 3 meters.

# Beispiele: Eigenschwingungen der Erde

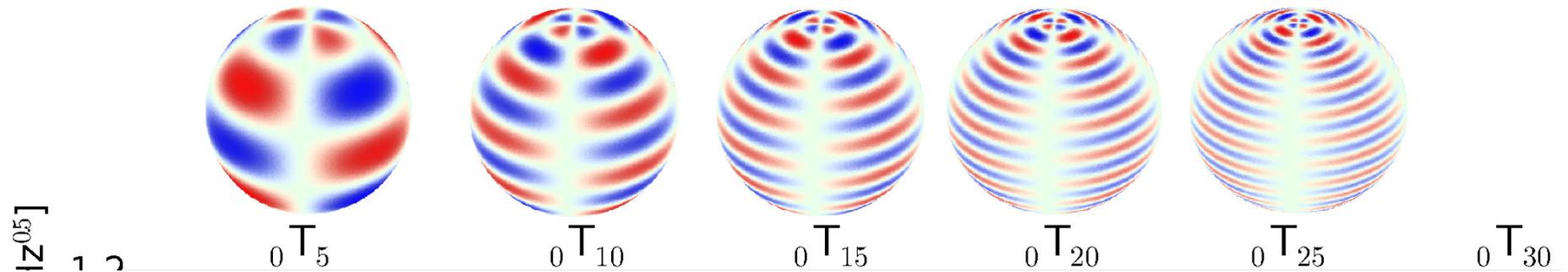
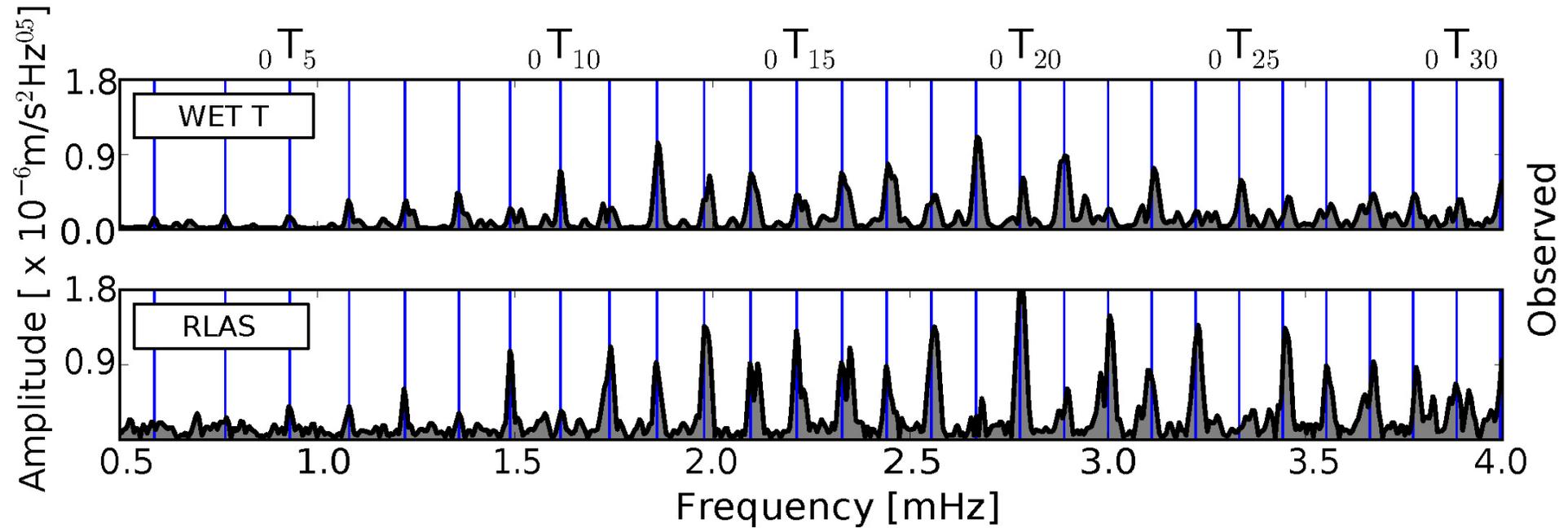
## M9 Tohoku-Oki Erdbeben, März 2011



# Beispiele: Eigenschwingungen der Erde

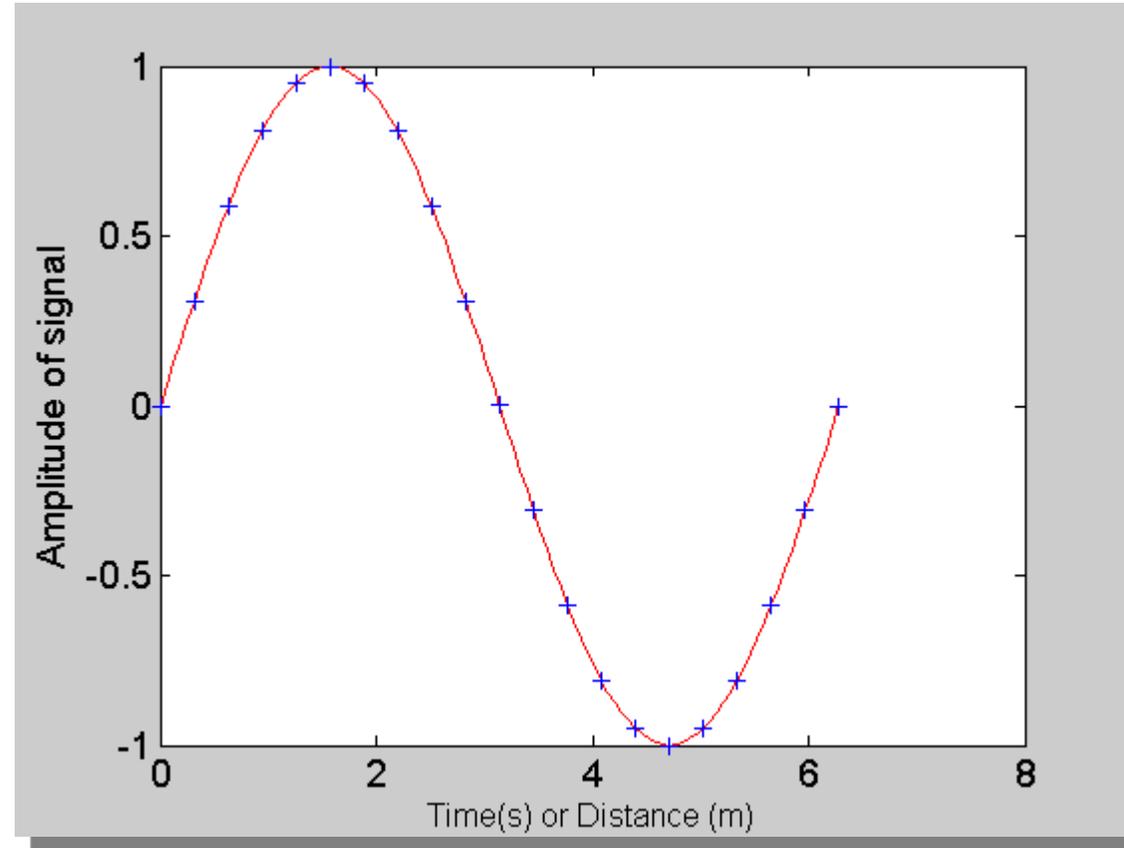
## M9 Tohoku-Oki Erdbeben, März 2011

### Spektrum mit **Obertönen** der Erde (aus 36h Seismogramm)



Schwingungsmuster an der Erdoberfläche für verschiedene Frequenzen

# Diskretisierung



Analoge und digitale (+) Darstellung einer Sinusfunktion

# Wellenlänge, Periode, etc.

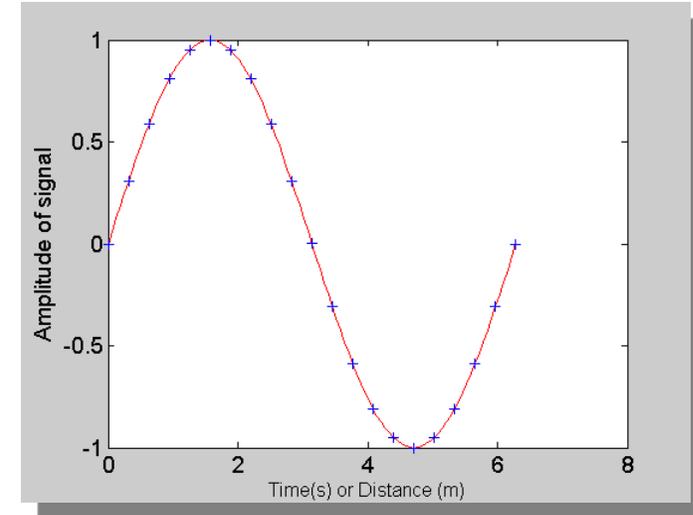
Die wichtigsten Komponenten die man in der Verarbeitung der Daten benötigt sind die **räumlichen und zeitlichen Frequenzen**

T      Periode  
f      Frequenz  
 $\omega$     Kreisfrequenz

$$T=1/f$$
$$\omega=2\pi f$$

**zeitliche Frequenzen**

Harmonische Schwingung (abh. von Zeit):  
 $f(t) = A \sin(\omega t) = A \sin(2\pi f t) = A \sin((2\pi/T) t)$   
A      Bewegungsamplitude



# Wellenlänge, Periode, etc.

... für räumliche Frequenzen  
analog ...

$\lambda$  Wellenlänge  
 $k$  räumliche Wellenzahl

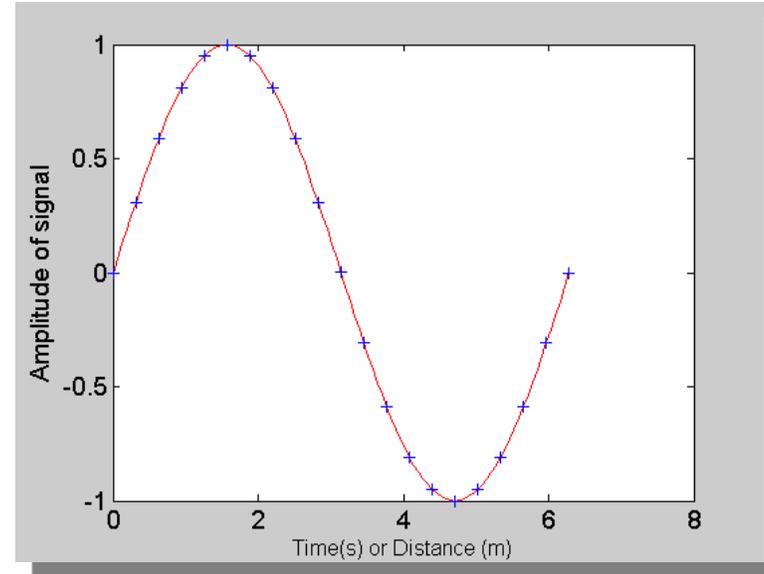
$$k = 2\pi/\lambda$$

räumliche Frequenzen

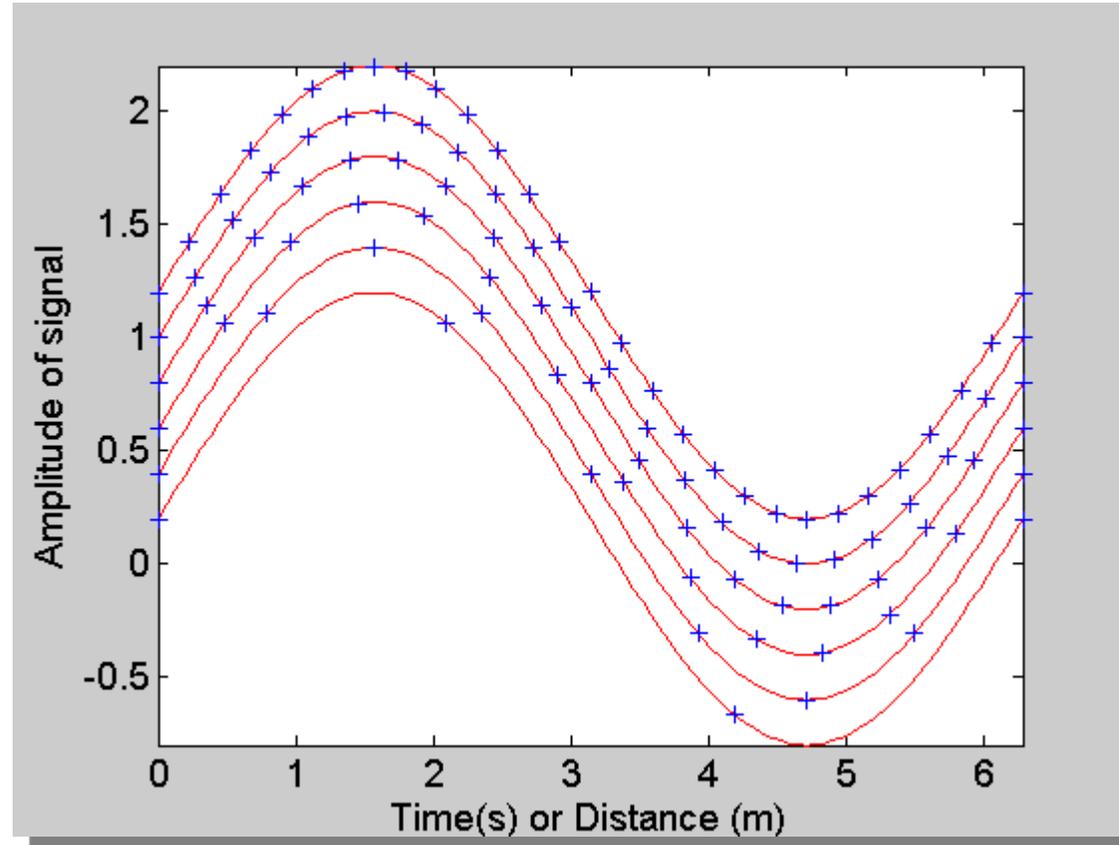
Harmonische Schwingung (abh. vom Raum):

$$f(x) = A \sin(kx) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right)$$

$A$  Bewegungsamplitude



# Sampling Rate - Abtastrate



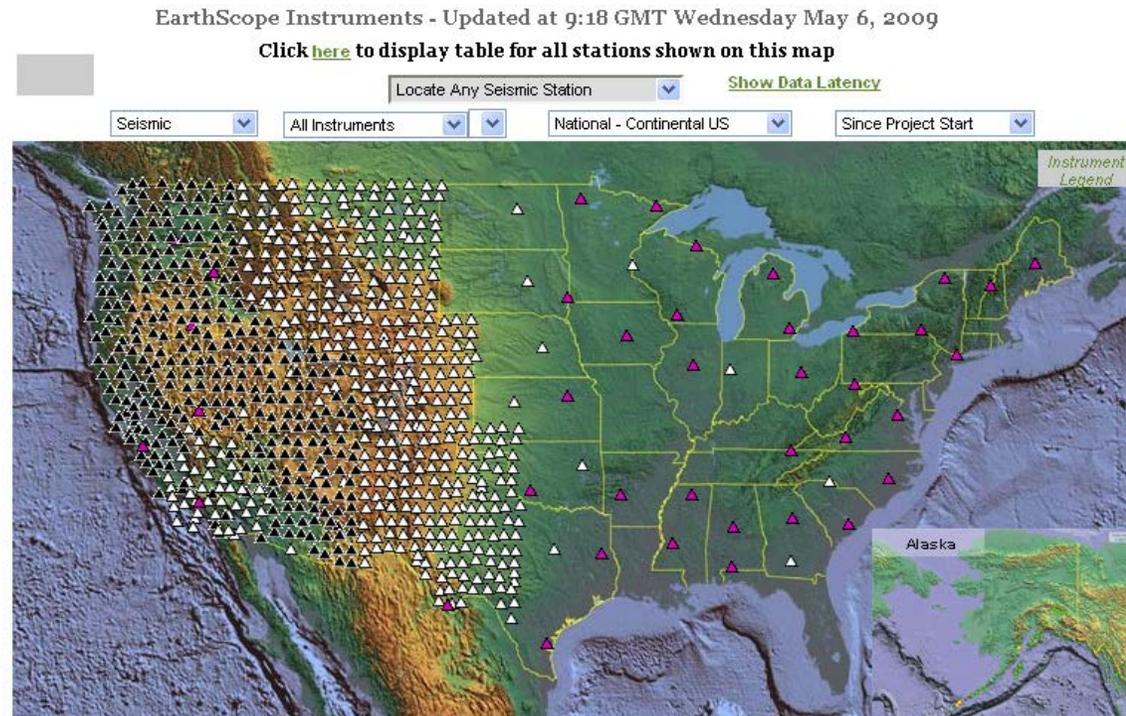
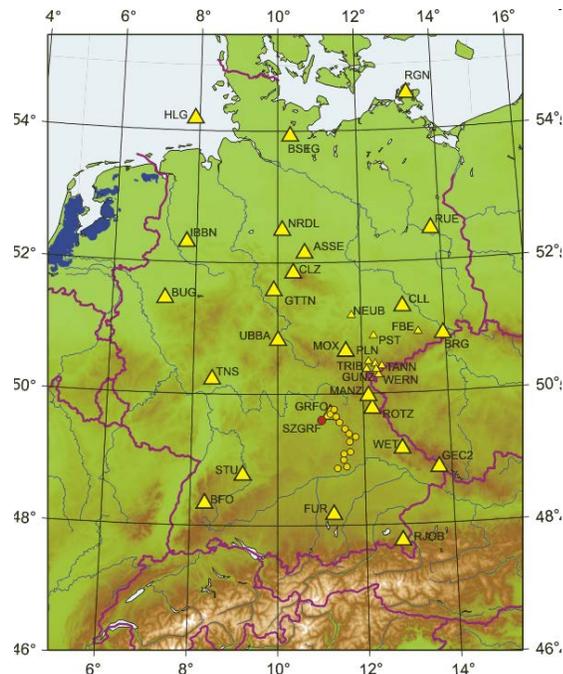
**Sampling Frequenz, Sampling Rate** ist die Anzahl der Samples pro Längeneinheit oder Zeiteinheit. Beispiele?

# Beispiele im Raum

## US Array

German Regional  
Seismic Network

Gräfenberg Array



Die räumliche Abtastrate  
bestimmt, welche **Wellenlängen**  
im Erdinnern rekonstruiert  
werden können

# Beispiele in der Zeit

## **Abtrastraten in der Seismik/Seismologie:**

Lokalbebenbeobachtung (z.B. Subnetz Bad Reichenhall): 200Hz

Fernbebenbeobachtung (z.B. GRSN): 20 – 100Hz

**Ziel ist immer, mit der Aufzeichnung die Frequenzen im physikalischen Signal genügend aufzulösen.**

Zum Vergleich:

GPS Deformationsbeobachtungen:  $< 1$  Hz

Ringlaser (Rotationsbewegungen): 1000Hz

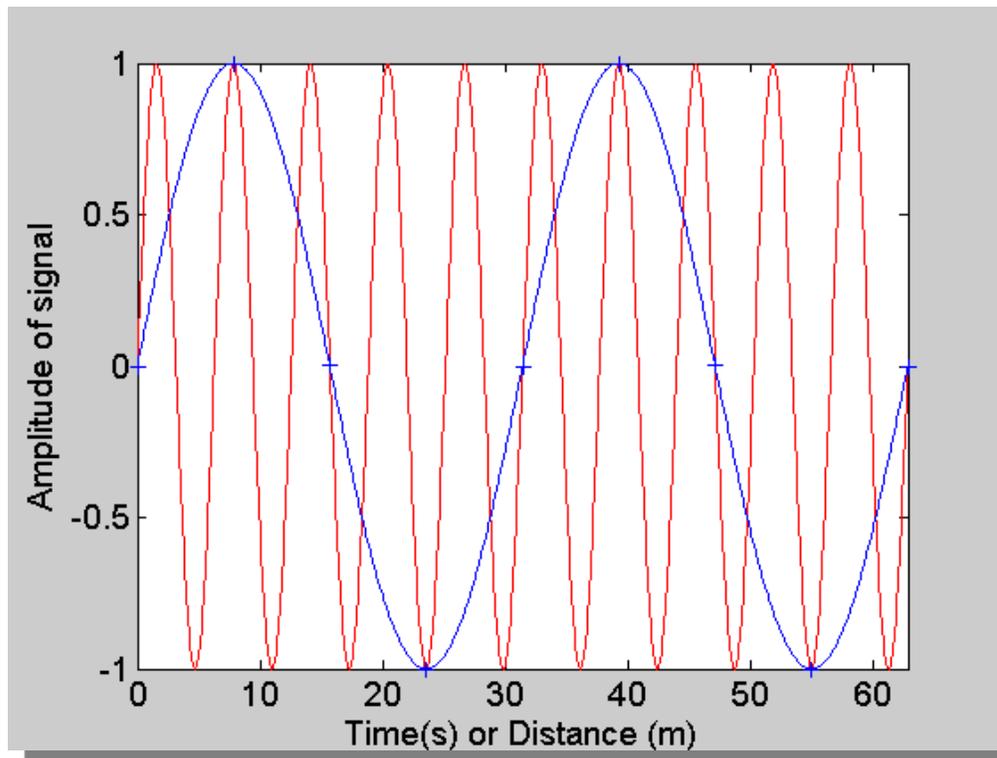
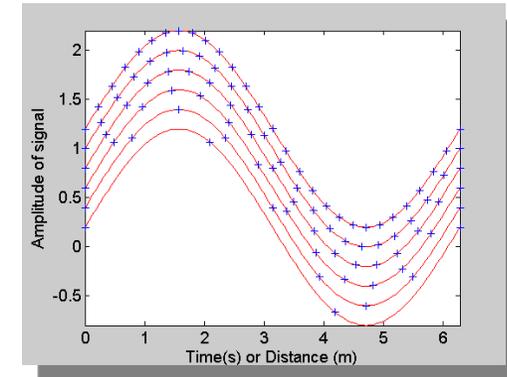
Akustische Laboruntersuchungen: kHz Bereich

Erdmagnetfeld:  $> 1$  s

Musik CD Rom (s.u.): 44kHz

# Nyquist Frequenz (-Wellenzahl, -Intervall)

Die **Nyquist Frequenz** ist die  **Hälfte der Abtastfrequenz** (**Samplingrate**  $dt$ ):  $f_N = 1/(2dt)$  . Ist die Frequenz des Signals größer als die Nyquistfrequenz, entstehen nicht lineare Verzerrungen, die auch als **Alias-Effekt** bezeichnet werden.



Die Frequenz des **Signals** ist  $> f_N$  wird gesampelt mit (+) führt zu einem falschen Signal (**blau**).

Wie kann man den Alias-Effekt verhindern?

# Ein Gitterrost



# Bit, byte – Darstellung von Zahlen (e.g., Amplituden)

Ein Bit (engl. Abk. für: binary digit; dt.: Binärziffer) ist die kleinste Informationseinheit eines Rechners und entspricht den Zuständen "Strom an" (1) und "Strom aus" (0). In der Regel werden acht Bits zu einem Byte zusammengefasst.

1 0 1 1 0 1 1 1 ← 1 Byte

8 Bit = 1 Byte

1024 Bit = 1 Kilobyte (KB)

1024 Kilobyte = 1 Megabyte (MB)

1024 Megabyte = 1 Gigabyte (GB)

1024 Gigabyte = 1 Terabyte (TB)



# Binär Konversion

Wandeln Sie folgende Dezimalzahlen in Binärzahlen, Oktalzahlen und Hexadezimalzahlen um und überprüfen Sie Ihr Ergebnis durch Rückkonvertierung

a)  $73_{10}$

	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
73 : 2 = 36							1
Rest 1							
36 : 2 = 18						0	
Rest 0							
18 : 2 = 9					0		
Rest 0							
9 : 2 = 4				1			
Rest 1							
4 : 2 = 2			0				
Rest 0							
2 : 2 = 1		0					
Rest 0							
1 : 2 = 0	1						
Rest 1							

Binärzahl:  $1001001_2$

$$Z = 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$
$$Z = 64 + 8 + 1 = 73_{10}$$

## Aufgaben:

Wandle folgende Zahlen vom Binärsystem ins Dezimalsystem um:  
 $1111b$ ,  $10001b$ ,  $101010b$ ,  $101b$ ,  
 $1000000b$ ,  $111111b$

Wandle folgende Zahlen vom Dezimalsystem ins Binärsystem um:  
 $13$ ,  $127$ ,  $128$ ,  $1024$ ,  $2016$

# Datenmengen

Reelle Zahlen stellen wir normalerweise mit 4 Byte (single precision) oder mit 8 Byte (double precision) dar. **Ein Byte besteht aus 8 Bit (1/0)**. Das bedeutet, wir können eine Zahl mit 32 (64) Bit darstellen. Wobei wir eine Stelle (Bit) für das Vorzeichen (+/-) benötigen.

-> 32 Bits ->  $2^{31} = 2.147483648000000e+009$  (Matlab Output)

-> 64 Bits ->  $2^{63} = 9.223372036854776e+018$  (Matlab Output)

(Anzahl der Zahlen, die dargestellt werden können)

Wie groß sind die Datenmengen, die wir typischerweise bei einem Seismischen Experiment sammeln (zB Valhall Oilfield)?

Parameter:

- Sampling Rate 1000 Hz, 3 Komponenten
- Seismogrammlänge 5 Sekunden
- 2000 Seismometer, Empfänger, 50 Profile
- 50000 verschiedene Quellen
- Genauigkeit von Single precision

Wieviel (T/G/M/k-)Bytes erhalten wir? Datenkompression?

# (Relative) Dynamic range – Bittiefe - Digitalisierung

Wie präzise ist die Amplitude unseres physikalischen Signals?

**Dynamic range:** Das Verhältnis zwischen der größt-messbaren Amplitude  $A_{\max}$  und der kleinst-messbaren Amplitude  $A_{\min}$ .

Die Einheit ist Decibel (dB) und ist definiert als das Verhältnis zweier Energien (Energie ist proportional zum Quadrat der Amplitude).

Für die Amplituden gilt: **Dynamic range** =  $20 \log_{10}(A_{\max}/A_{\min})$  dB

Beispiel: mit 1024 Amplituden-Einheiten ( $A_{\min}=1, A_{\max}=1024$ )

$$20 \log_{10}(1024/1) \text{ dB approx. } 60 \text{ dB}$$

<b>#bits</b>	<b>Dynamic Range</b> <i><math>(2^{\#bits-1})</math> counts</i>	<b>DR<sub>dB</sub></b> <i><math>((\#bits-1) \times 6)</math></i>	<b>Orders of Magnitude</b> <i><math>(DR_{dB}/20)</math></i>
8	256/2	42	~2
12	4,096/2	66	~3
16	65,536 /2	90	~4.5
20	1,048,576/2	114	~6
24	16,777,216/2	138	~7

# Beispiel CD – MP3

**CD Rom:** 44kHz Samplingrate, 16 bit Werte (90 dB Dynamikumfang)

Neil Young's Pono Player: 384kHz, 32 bit (186 dB)

Wie lange kann eine Aufnahme auf einer 700MB CD Rom sein?

Wie lange mit Neil Young's LosLess Lösung?

**2 hrs**

**10 mins**



# Dynamic range (Bittiefe) eines Seismometers

ADC (analog-digital-converter)

A n-bit digitizer will have  $2^{n-1}$  intervals to describe an analog signal.

Example:

A 24-bit digitizer has 5V maximum output signal (full-scale-voltage)

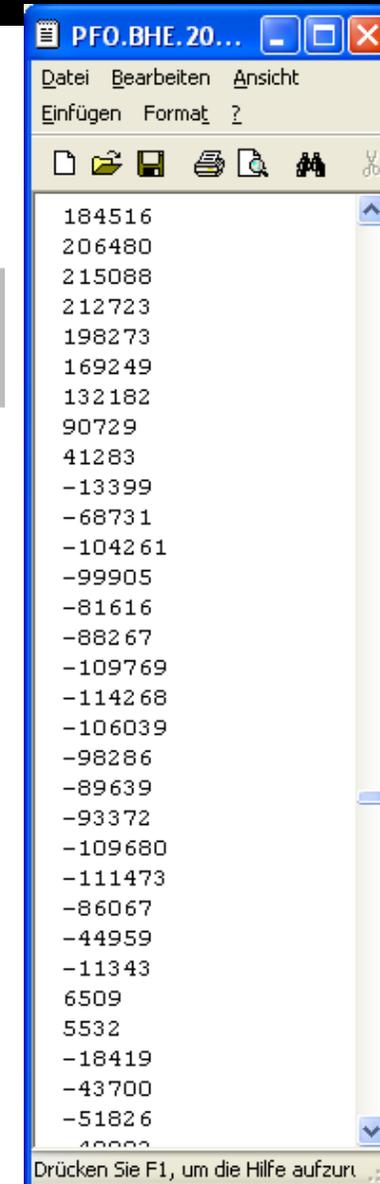
The least significant bit (lsb) is then

$$\text{lsb} = 5V / 2^{n-1} = 0.6 \text{ microV}$$

Generator constant STS-2: 750 Vs/m

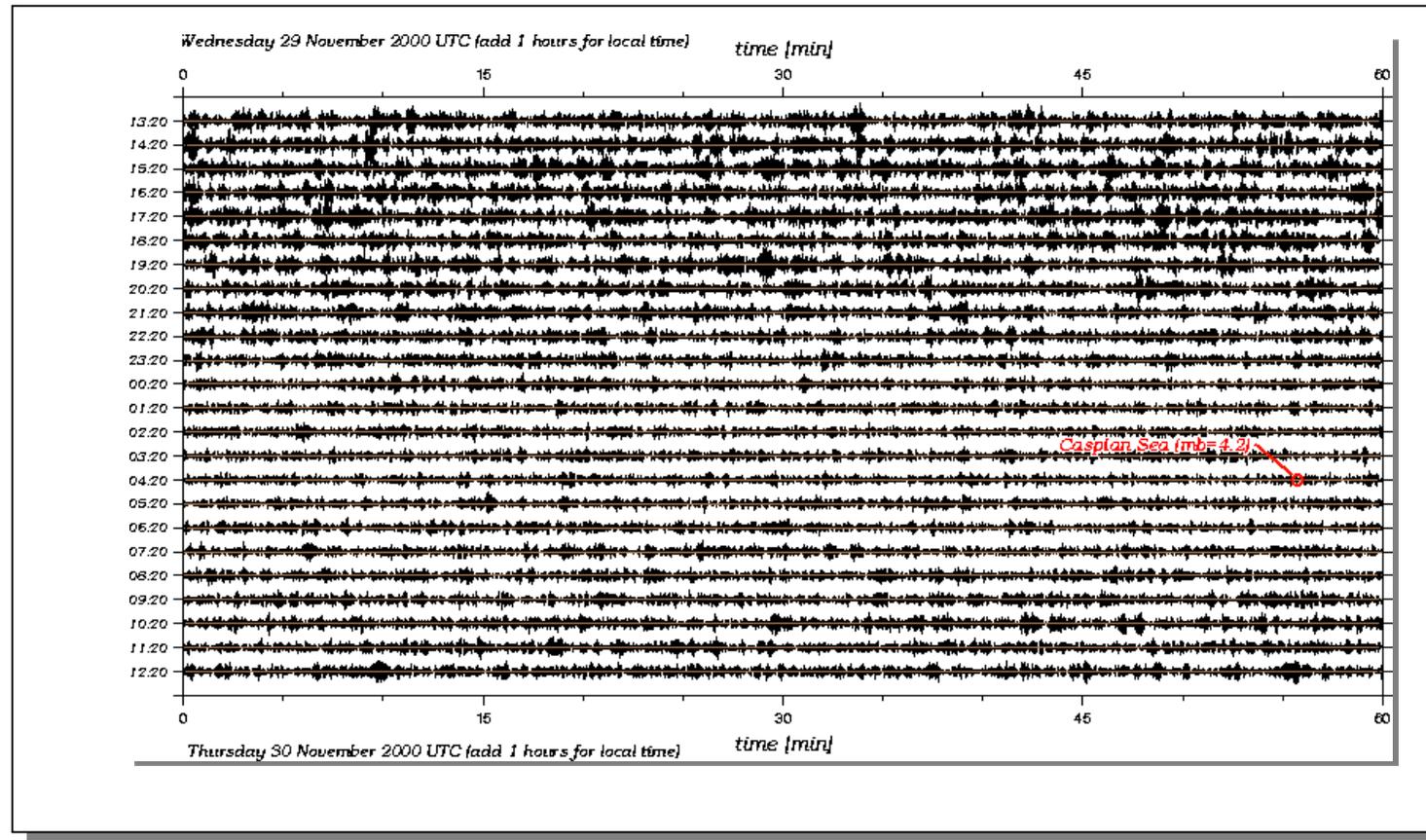
What does this imply for the peak ground velocity at 5V?

Seismogram  
data in counts



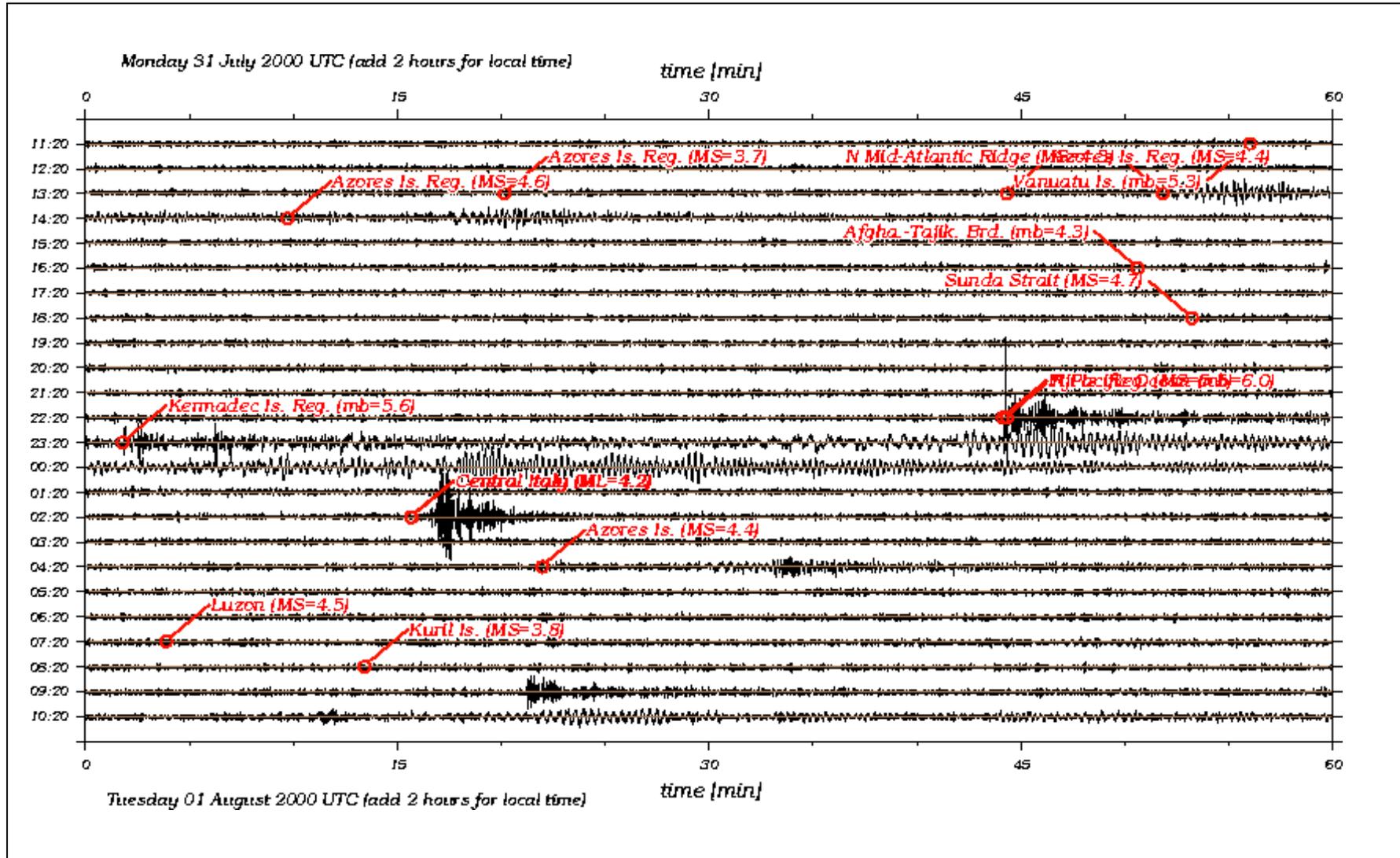
# Signal-Stör Verhältnis (signal-noise-ratio SNR)

Fast alle Signale enthalten **Rauschen**. Das **Signal-Stör Verhältnis** ist ein wichtiger Aspekt in allen geophysikalischen Experimenten. Kennen Sie Beispiele für Rauschen bei verschiedenen Messverfahren?

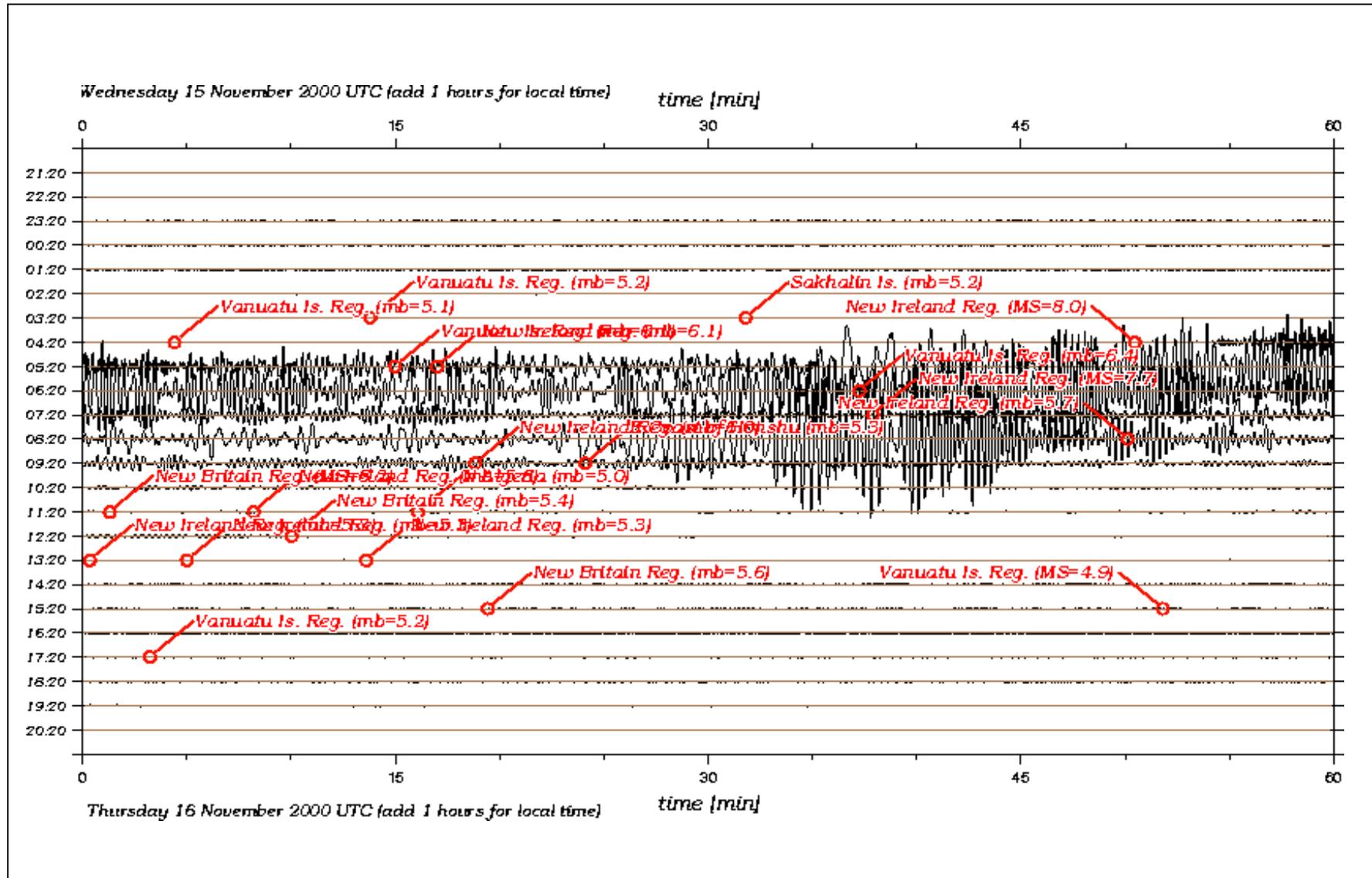


# Signal-Stör Verhältnis (signal-noise-ratio SNR)

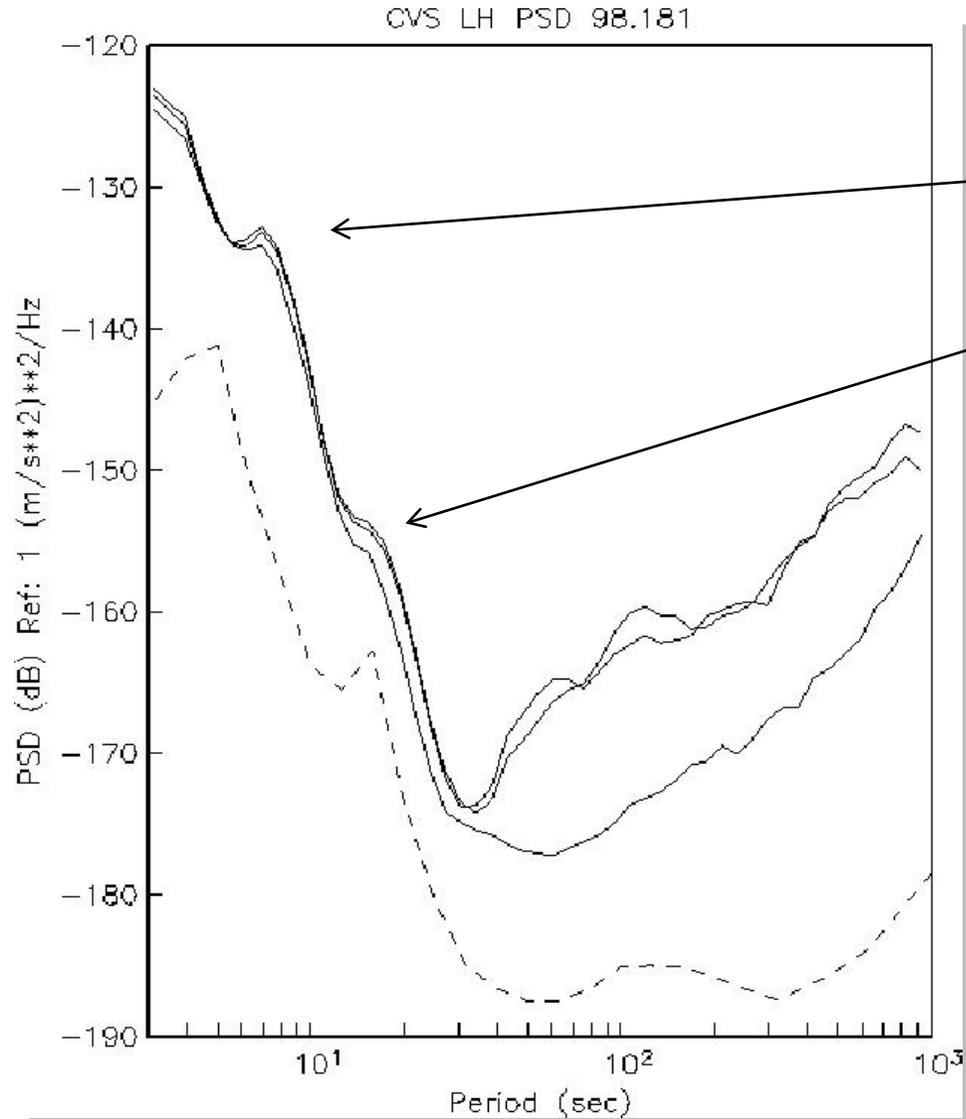
## 24h Plot der vertikalen Bodenbewegung in FFB



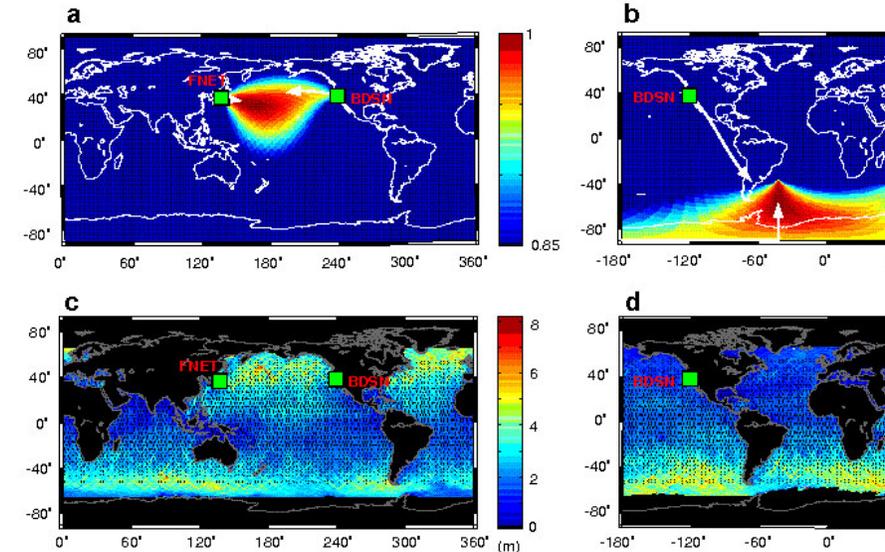
# Signal-Stör Verhältnis (signal-noise-ratio SNR)



# Low-Noise Model - Seismologie



## Meeresbodenmikroseismik



Spektrum der  
Bodenunruhe unseres  
Planeten

Was für Amplituden wir,  
beobachten, wenn kein  
Erdbeben stattfindet

# Zusammenfassung

- In der Seismologie bestehen die Daten aus Zeitreihen
- Die Verarbeitung mit Rechnern erfordert die **Diskretisierung** und **Digitalisierung** dieser Zeitreihen
- Das **Nyquist Samplingtheorem** bestimmt die Frequenzen die bei einer Samplingrate korrekt beschrieben werden können
- Die **Bittiefe (dynamic range)** bestimmt, mit welcher Genauigkeit eine Amplitude (z.B. Bodenbewegung) unterschieden werden kann.