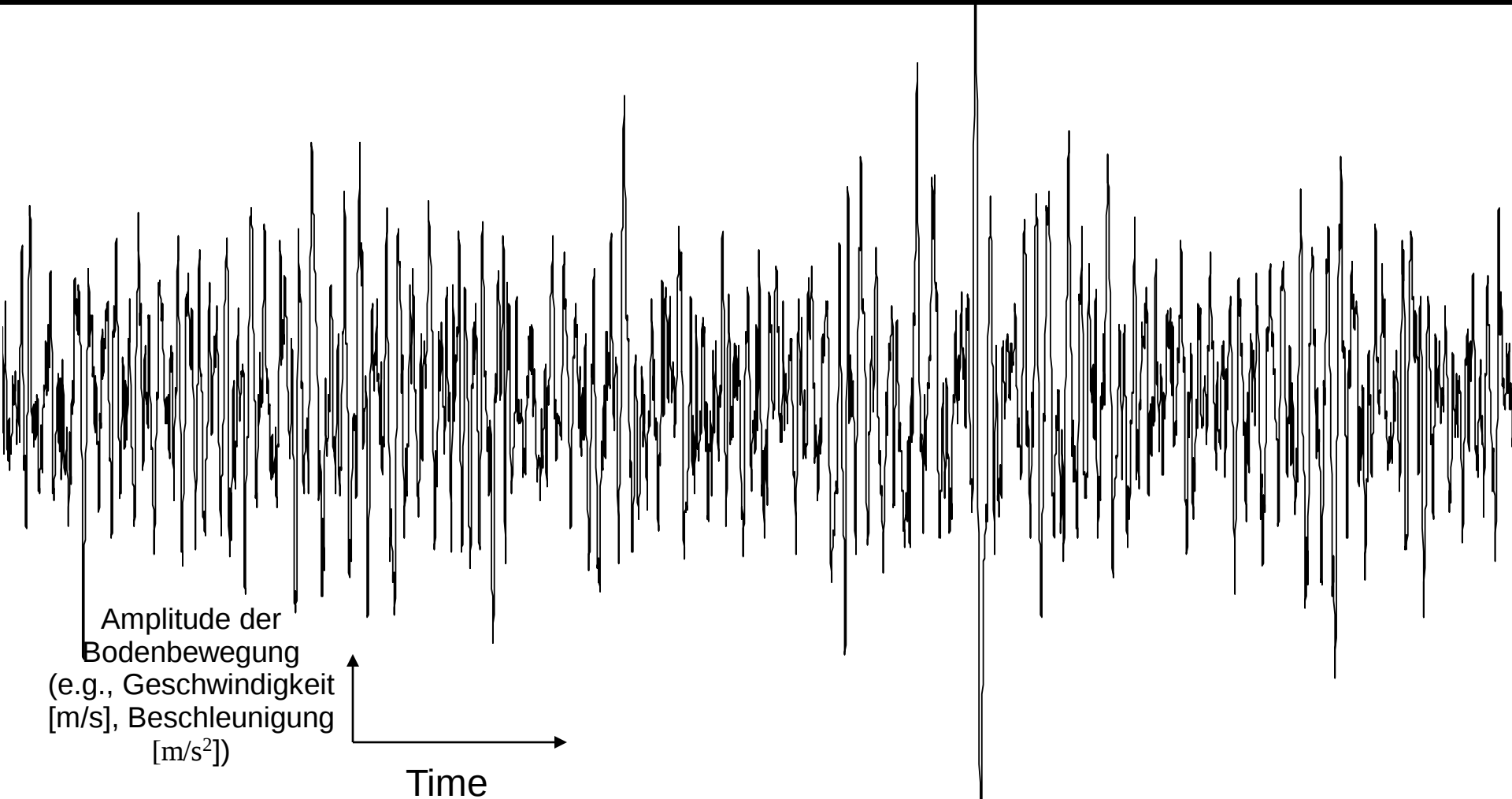


Digitalisierung, Diskretisierung

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

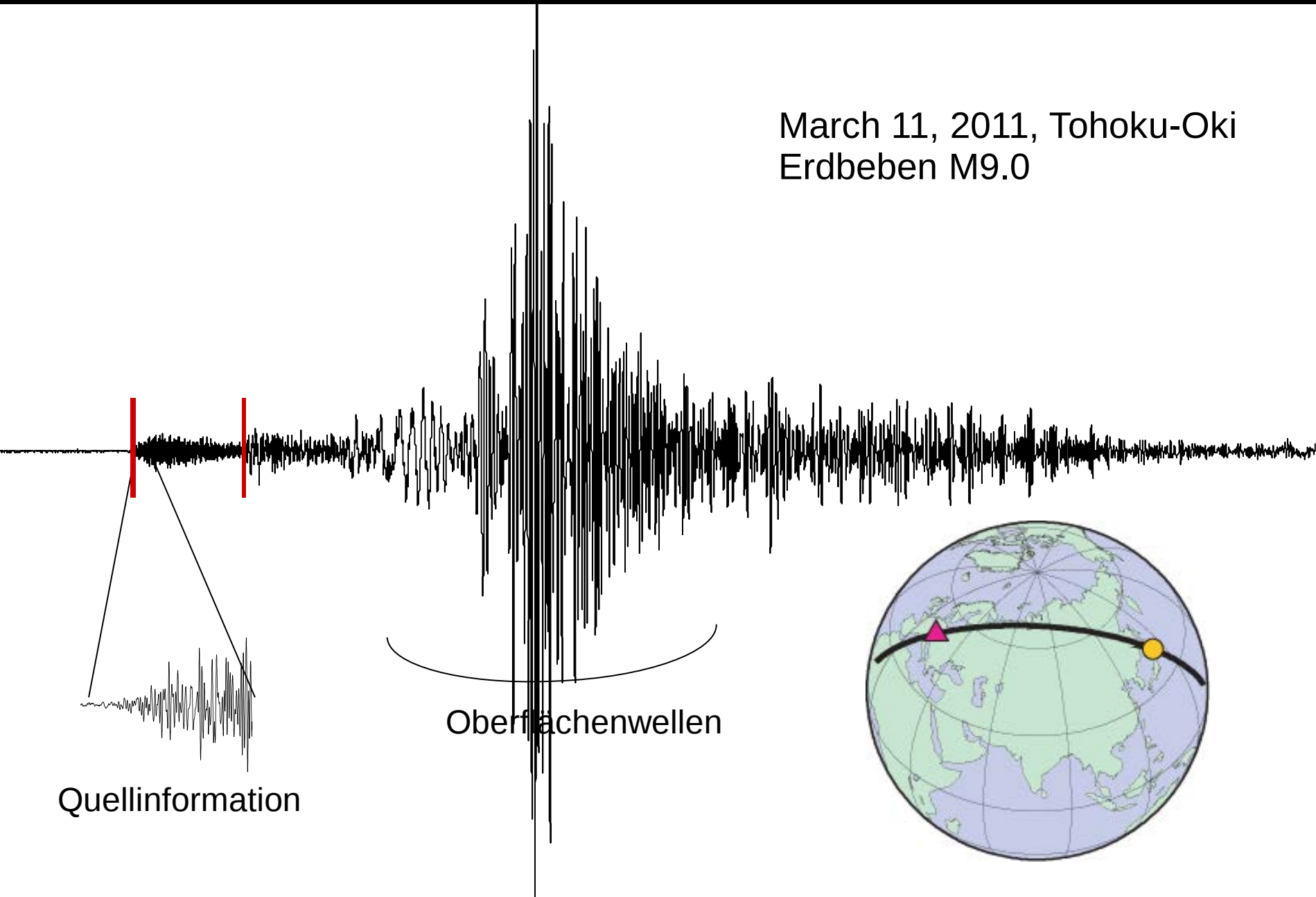
.. ein seismisch ruhiger Tag ...



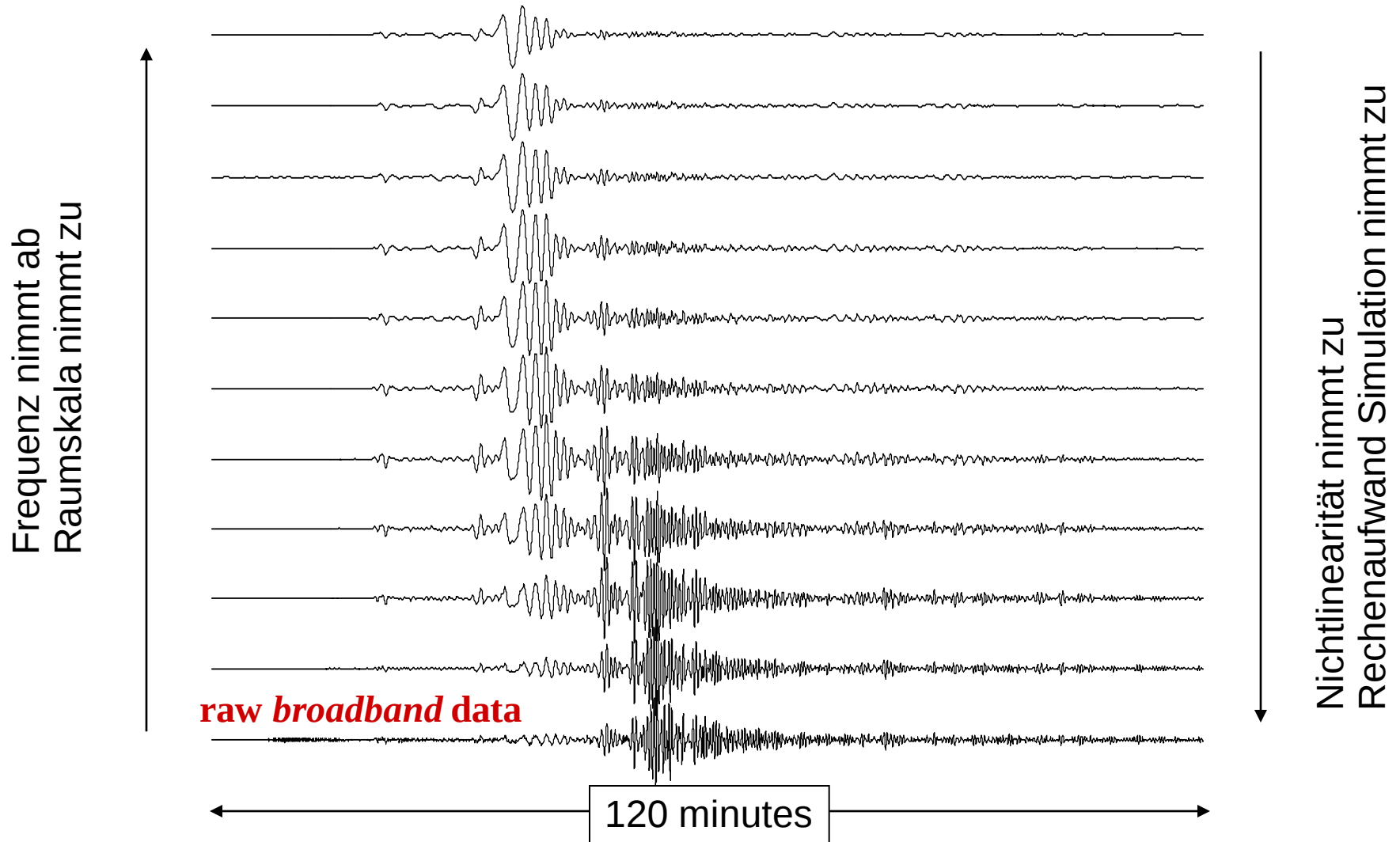
March 11, 2011, Seismometer in FFB

... der katastrophal weitergeht ...

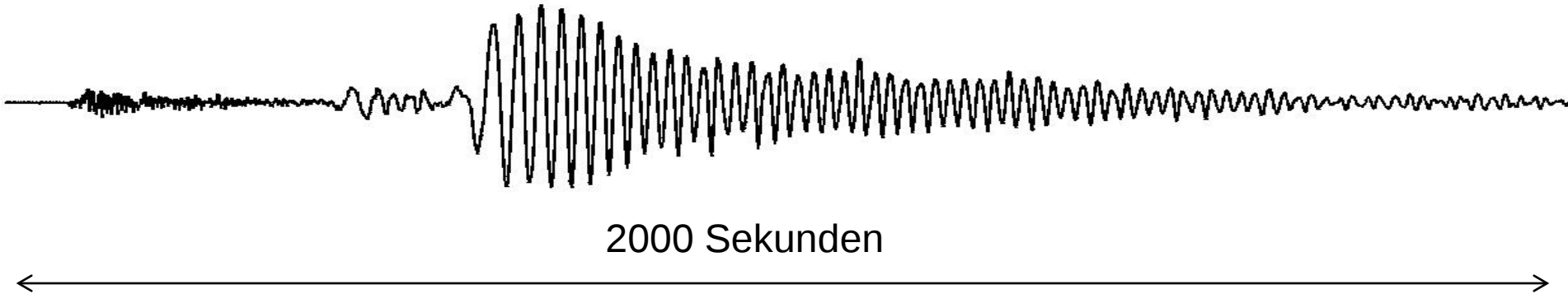
March 11, 2011, Tohoku-Oki
Erdbeben M9.0



Zeitskalen, Frequenzgehalt



Aufzeichnung auf einer Insel im Indischen Ozean



Besonderheiten:

Langer, *dispersiver* Wellenzug

z.T. nahezu monochromatischer Frequenzgehalt

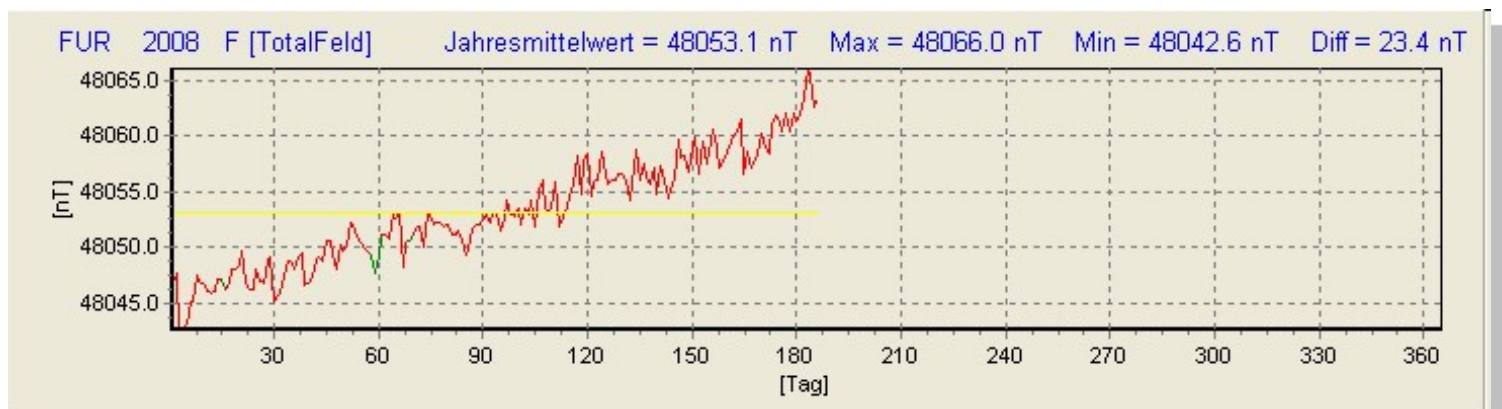
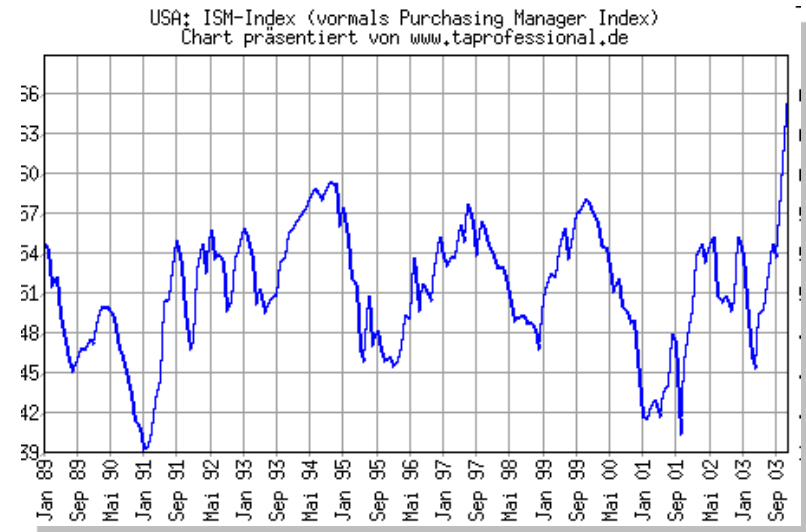
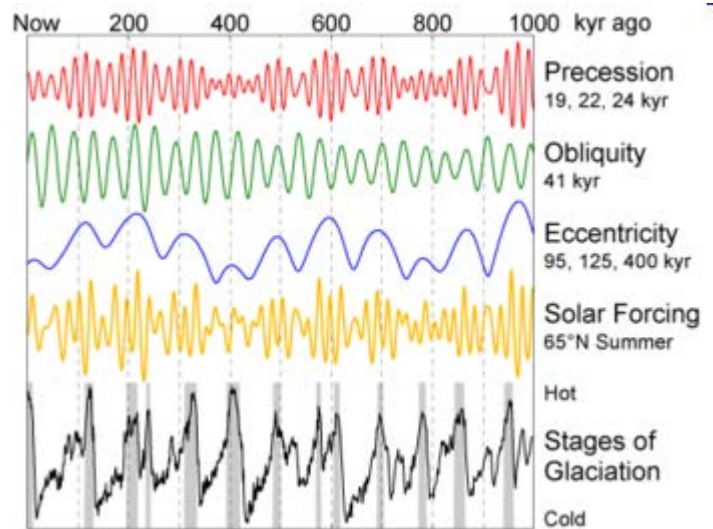
Wellenleiterphänomen (ozeanische Kruste)

Oberflächenwellen (Raleighwellen)

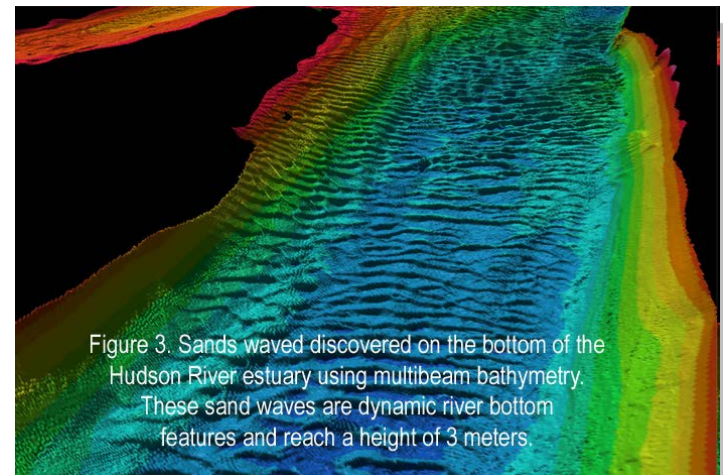
Digitalisierung - Diskretisierung

- 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)
- Wie sind die gewonnenen Signale zu behandeln (**zu bearbeiten, zu transformieren**), um relevante Informationen zu erhalten?

Zeitreihen, Beispiele

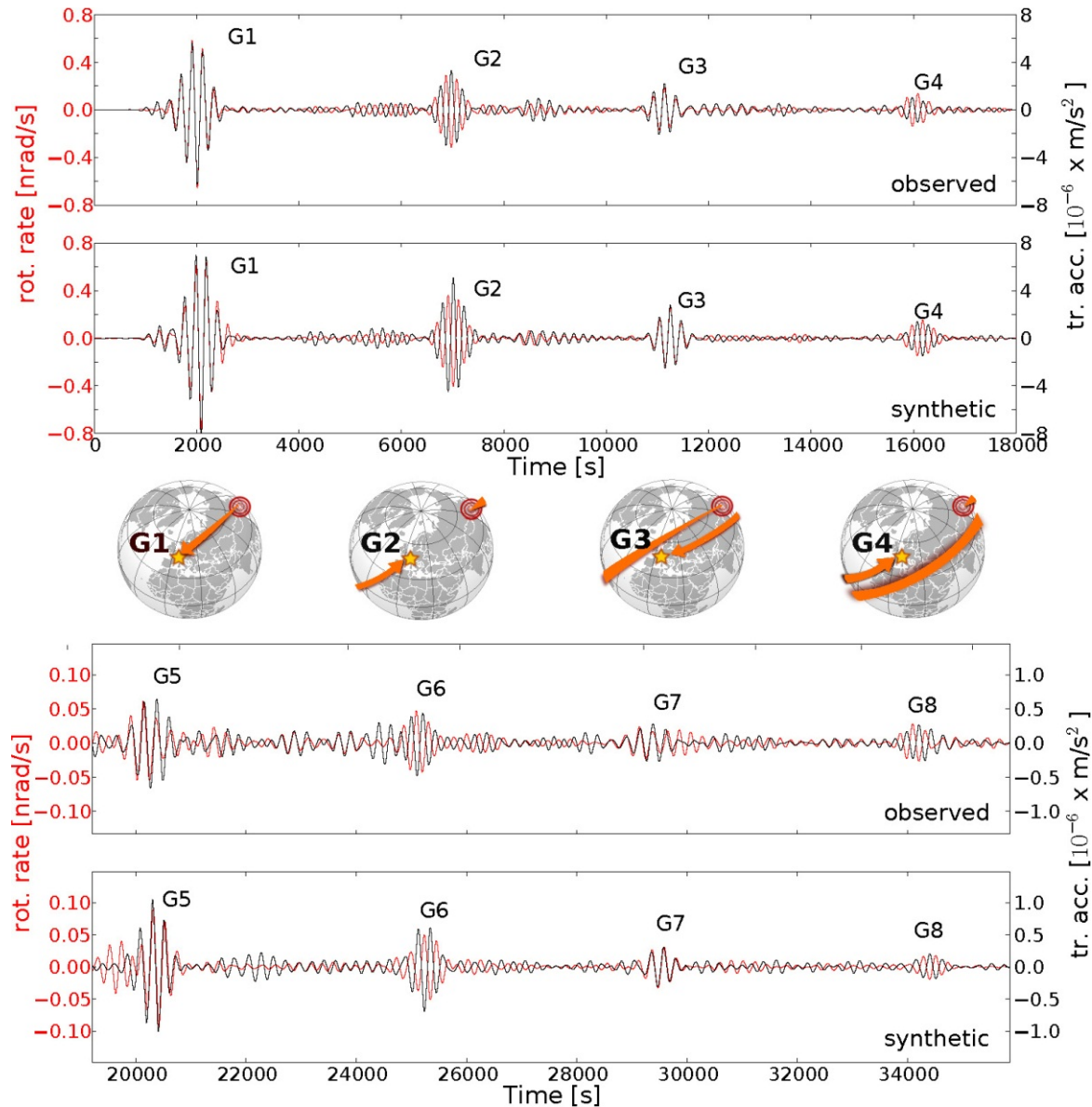


Räumliche Phänomene, Beispiele



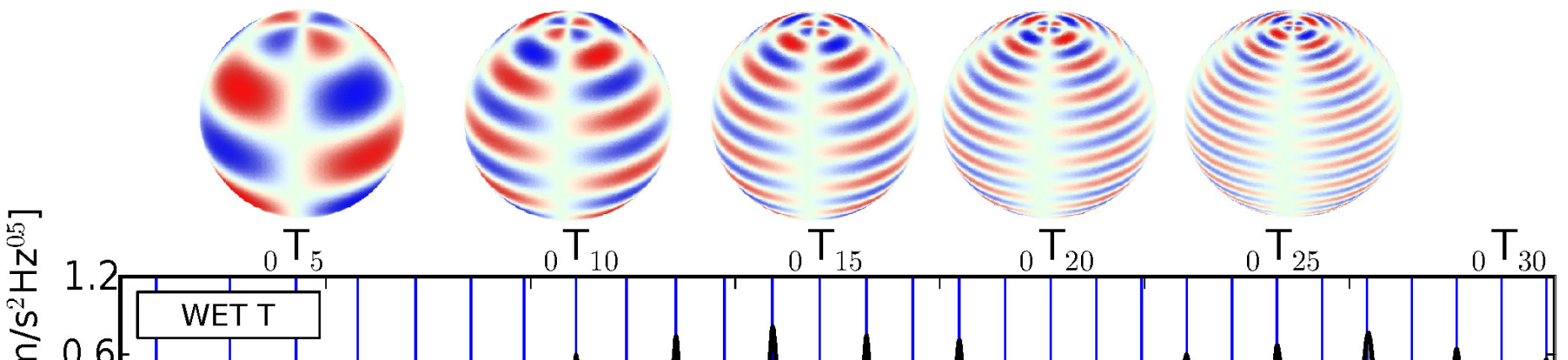
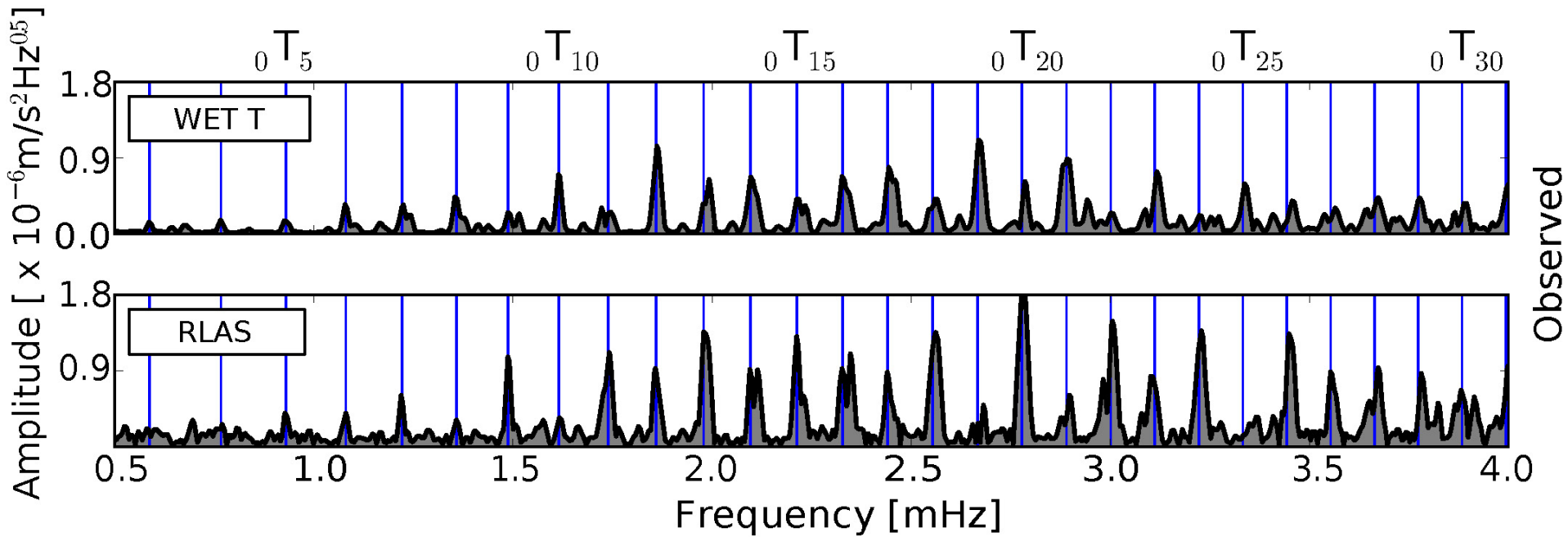
Eigenschwingungen der Erde

M9 Tohoku-Oki Erdbeben, März 2011

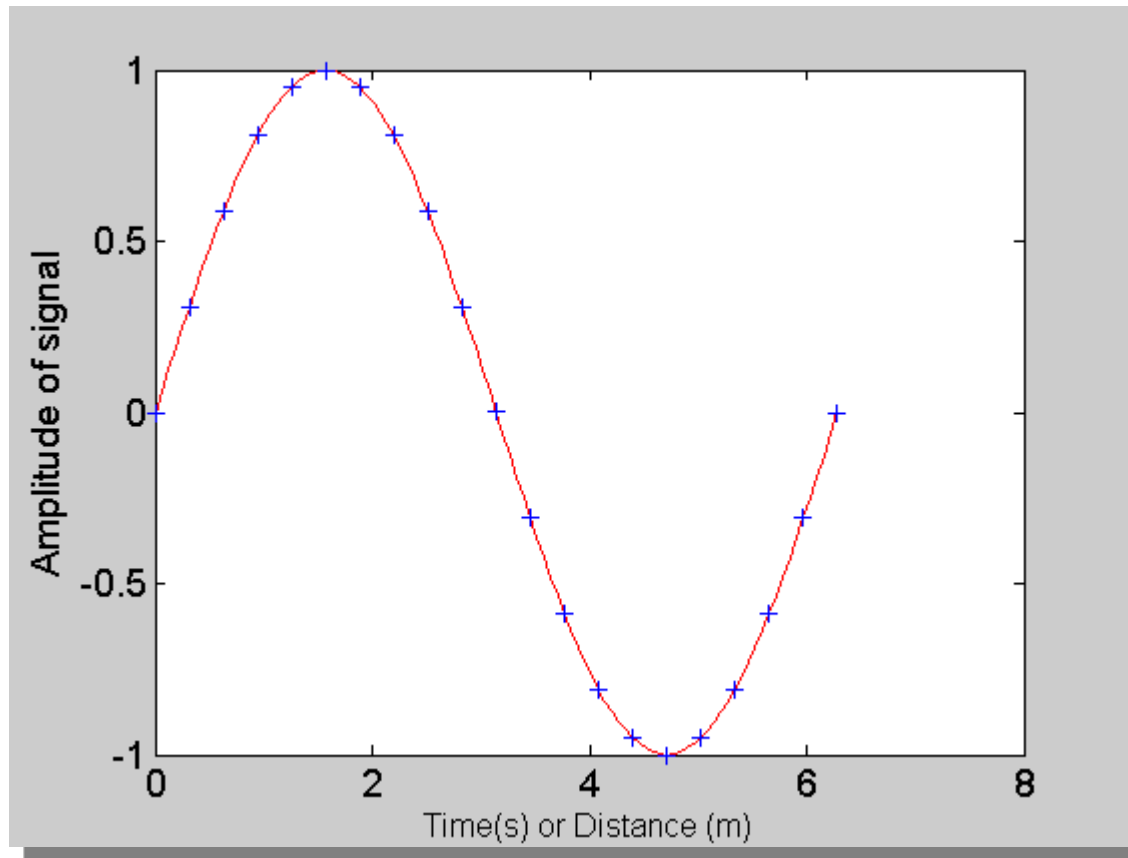


Beispiele: Eigenschwingungen der Erde

M9 Tohoku-Oki Erdbeben, März 2011



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
ω	Kreisfrequenz

$$T = 1/f$$

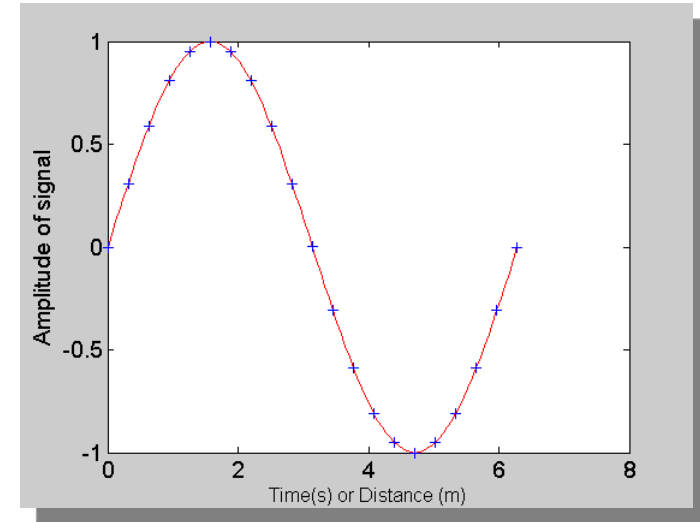
$$\omega = 2\pi f$$

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 ...

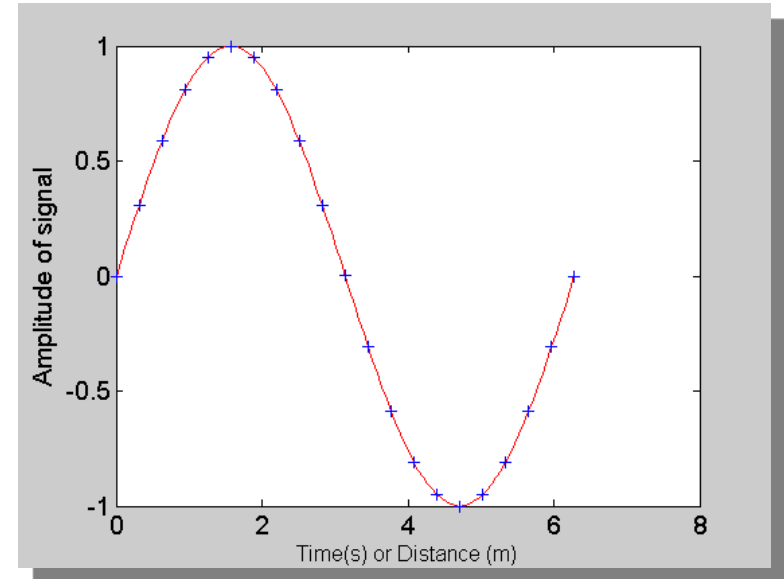
λ Wellenlänge
 k räumliche Wellenzahl

$k=2\pi/\lambda$ **räumliche Frequenzen**

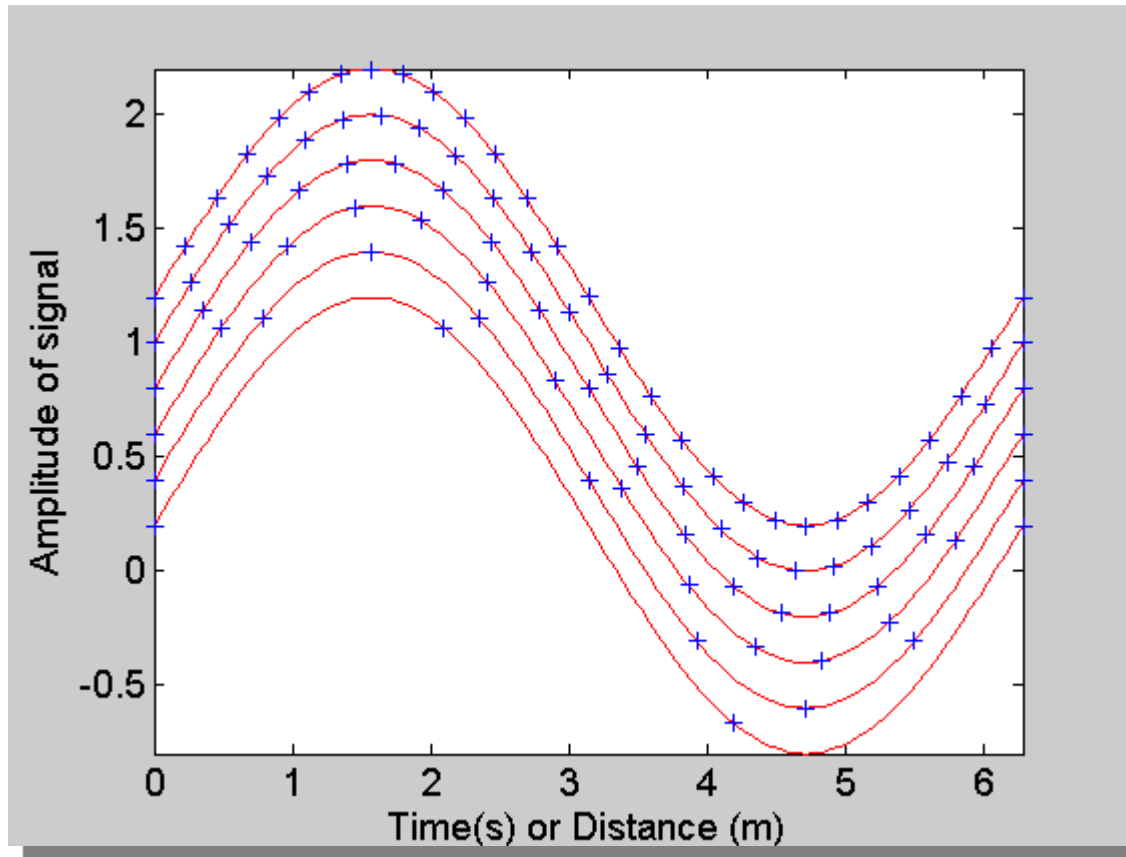
Harmonische Schwingung (abh. vom Raum):

$$f(x) = A \sin(kx) = A \sin((2\pi/\lambda) x)$$

A Bewegungsamplitude



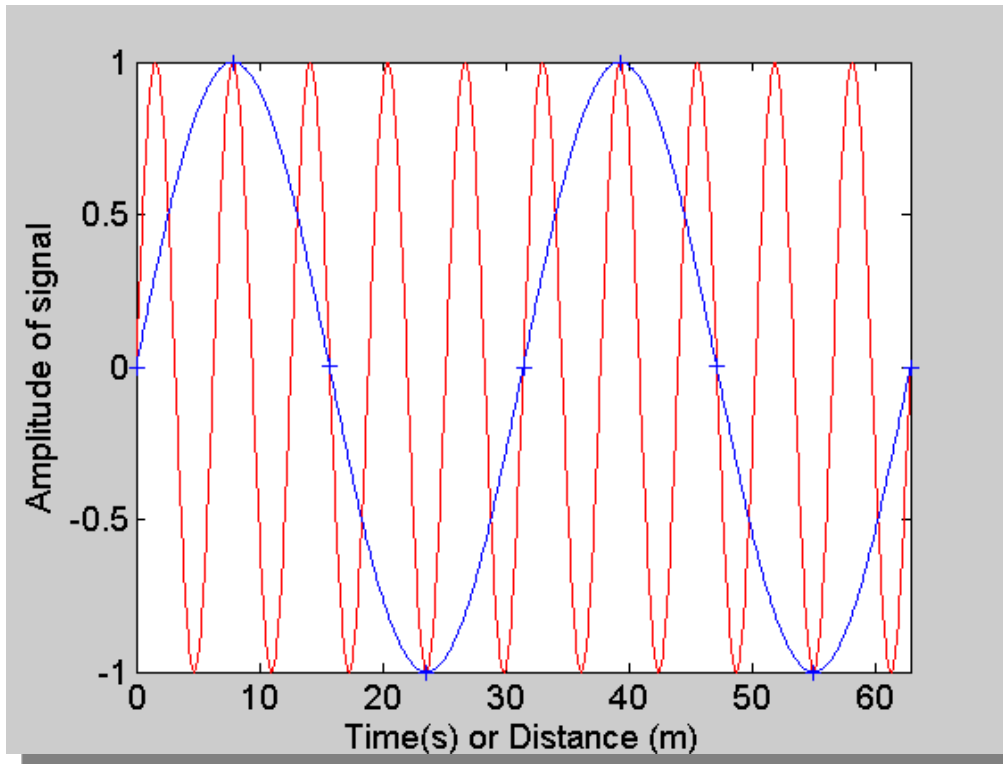
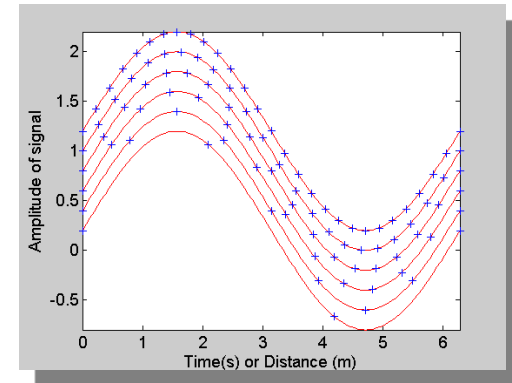
Sampling Rate - Abtastrate



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

Nyquist Frequenz (-Wellenzahl, -Intervall)

Die **Nyquist Frequenz** ist die **Hälfte der Abtastfrequenz** (**Samplingrate Δt**): $f_N = 1/(2\Delta t)$. 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)



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?

Parameter:

- Sampling Rate 1000 Hz, 3 Komponenten
- Seismogrammlänge 5 Sekunden
- 200 Seismometer, Empfänger, 50 Profile
- 50 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 ($A_{\min}=1$, $A_{\max}=1024$)

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

#bits	Dynamic Range ($2^{\#bits-1}$) counts	DR _{dB} ($(\#bits-1) \times 6$)	Orders of Magnitude ($DR_{dB}/20$)
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
(96 dB Dynamikumfang)

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



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)

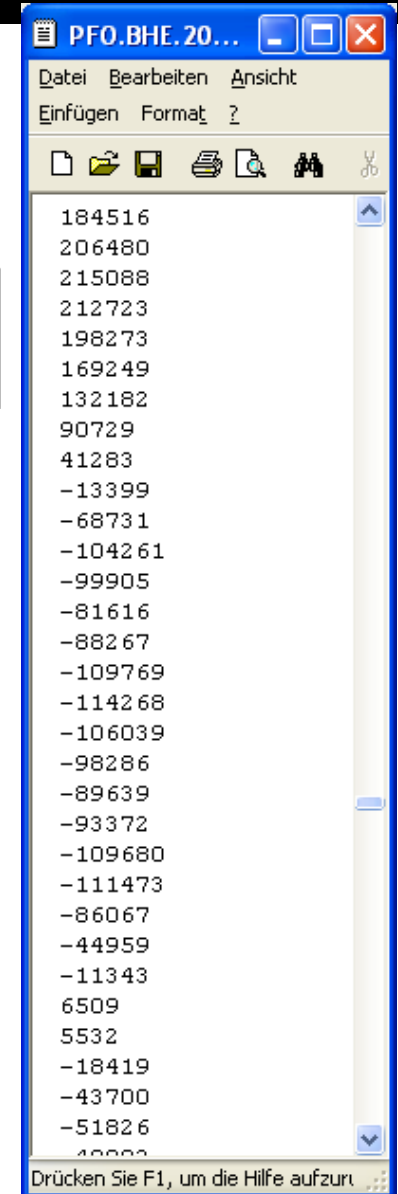
The least significant bit (lsb) is then

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

Generator constant STS-2: 750 Vs/m

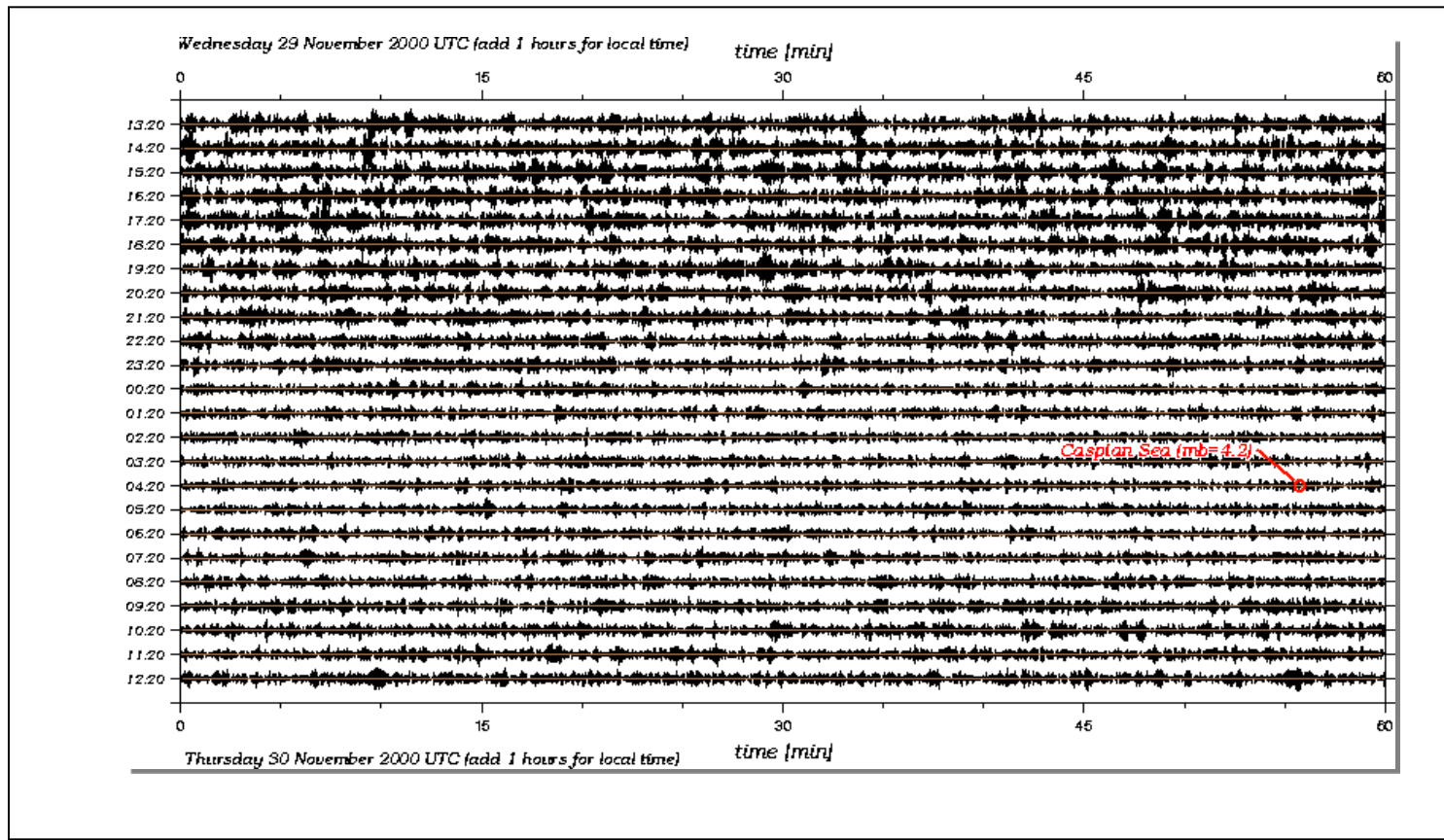
What does this imply for the peak ground velocity at 5V?

Seismogram
data in counts



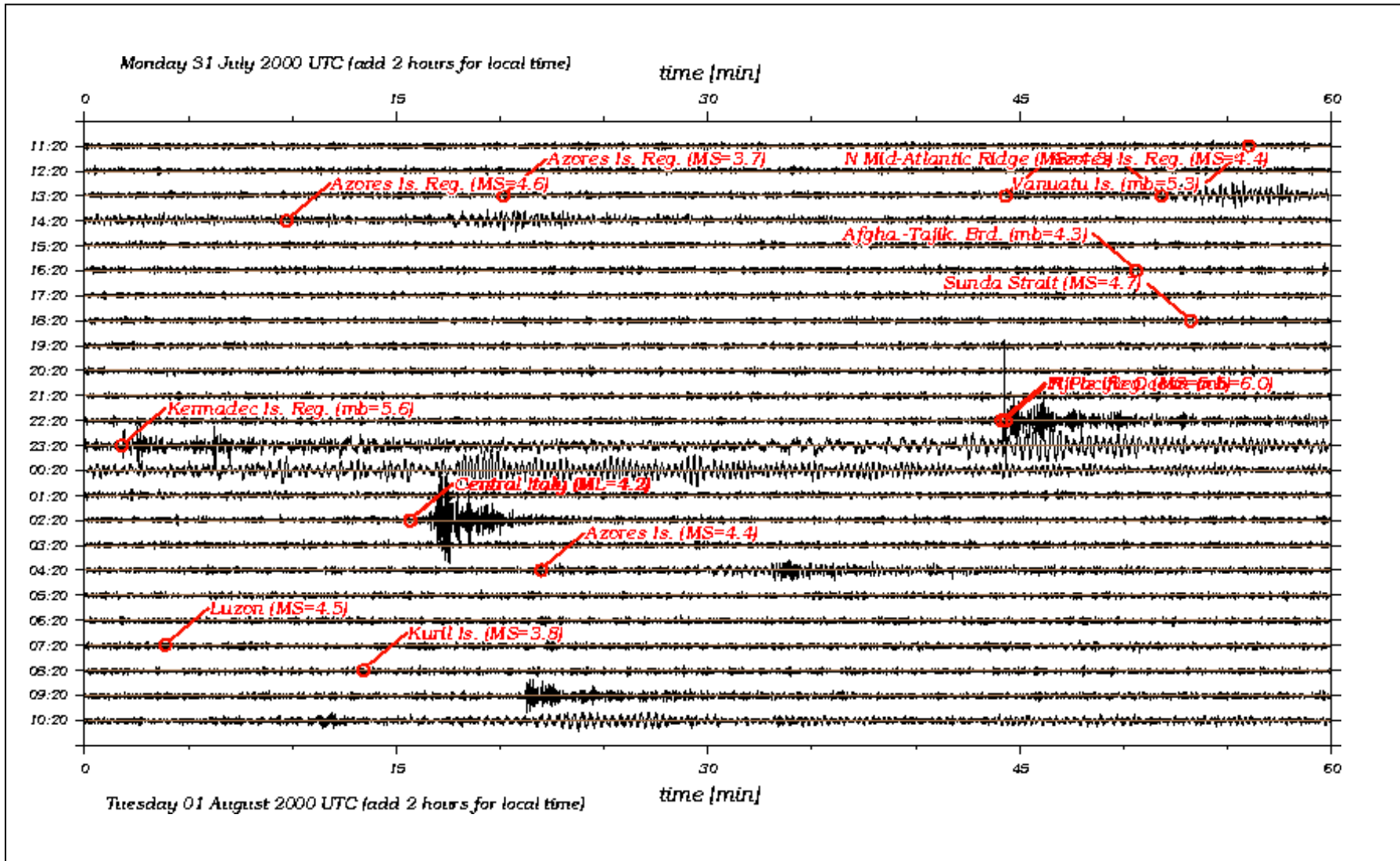
Signal-Stör Verhältnis (signal-noise-ratio SNR)

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?

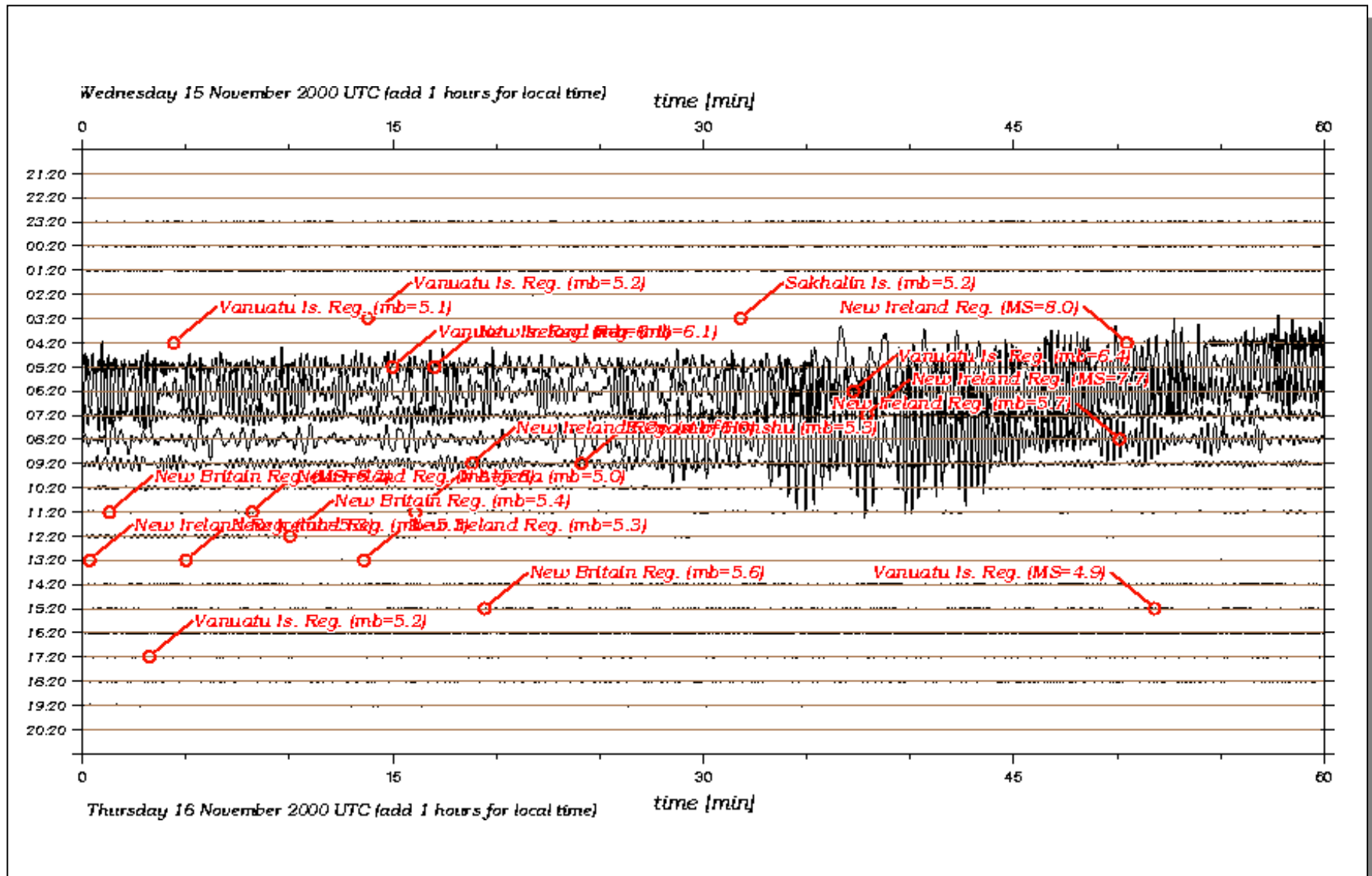


Signal-Stör Verhältnis (signal-noise-ratio SNR)

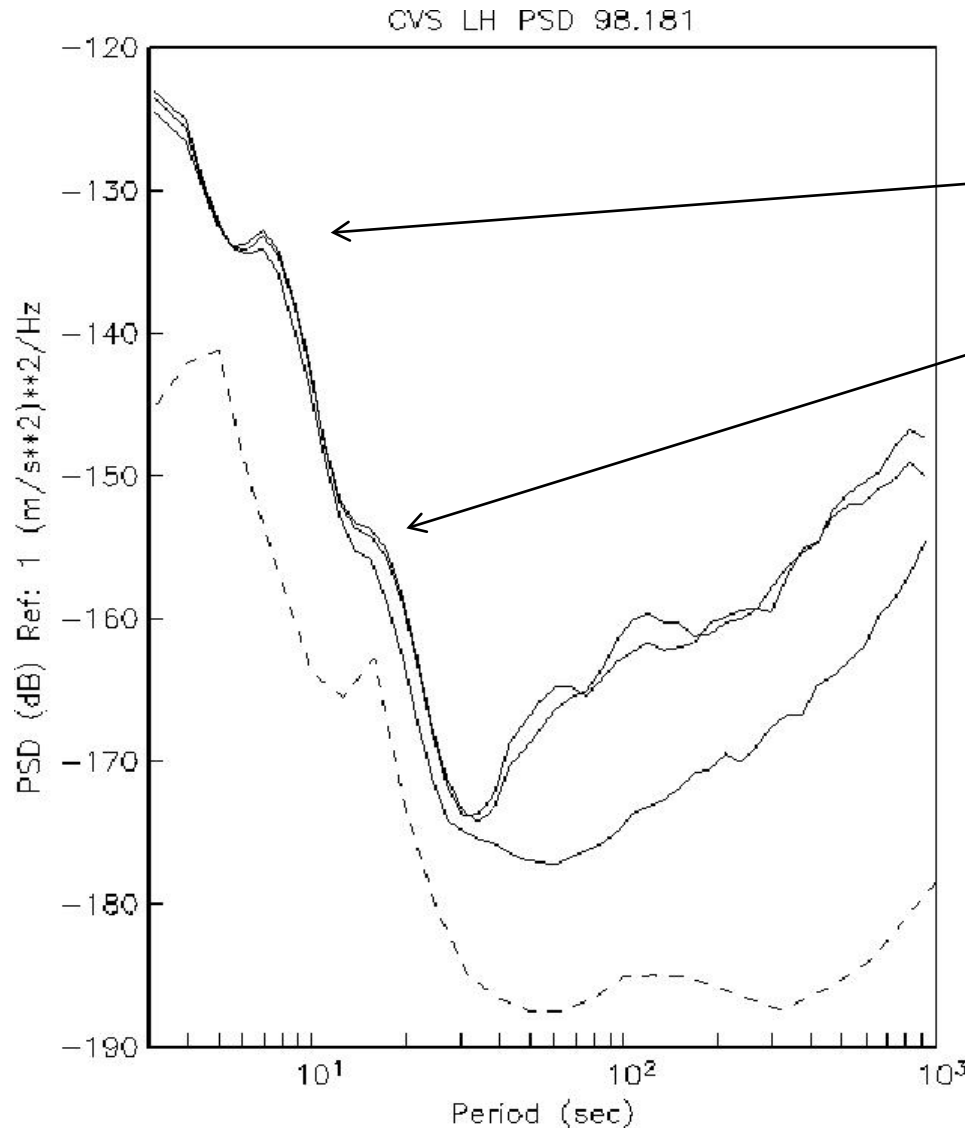
24h Plot der vertikalen Bodenbewegung in FFB



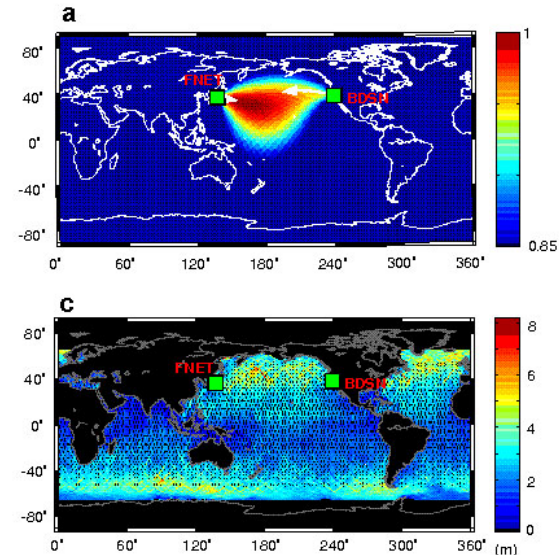
Signal-Stör Verhältnis (signal-noise-ratio SNR)



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.