

# Messung & Darstellung von Schallwellen

Jochen Trommer

jtrommer@uni-leipzig.de

Universität Leipzig  
Institut für Linguistik

Phonologie/Morphologie – SS 2007

# Überblick

## Messung von Schallwellen

### Digitalisierung

Sampling

Quantisierung

### Darstellung von Schallwellen

Oszillogramme

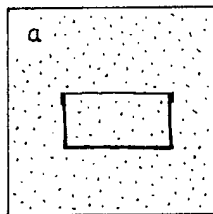
Fourier-Analyse

Spektren

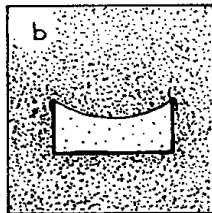
Spektrogramme

## Aufbau eines Mikrofons (Reetz, 2003:11)

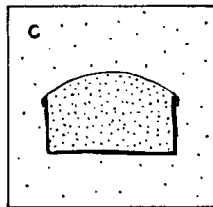
Über einem luftdicht abgeschlossenen Raum ist eine flexible Membran gespannt:



## Funktionsweise eines Mikrofons (Reetz, 2003:11)



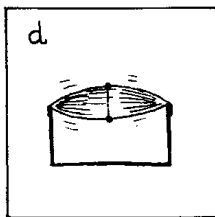
Ist der Luftdruck aussen höher,  
biegt sich die Membran nach innen



Ist der Luftdruck innen höher,  
biegt sich die Membran nach aussen

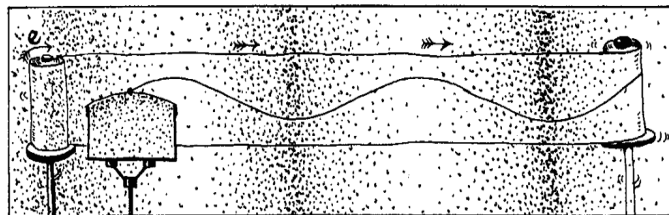
## Funktionsweise eines Mikrofons (Reetz, 2003:11)

In der Mitte der Membran wird ein Bleistift angebracht,  
der ihre Ausschläge auf Papier festhält:



## Funktionsweise eines Mikrofons (Reetz, 2003:11)

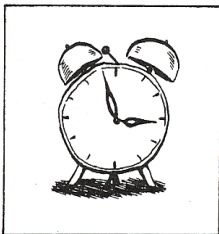
Das Papier wird mit einer festen Geschwindigkeit vorbeigezogen, um die Ausschläge festen Zeiten zuordnen zu können:



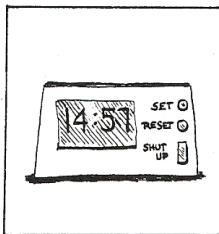
# Funktionsweise eines richtigen Mikrofons

- ▶ Ausschläge der Membran rufen entsprechende elektronische Impulse hervor
- ▶ Impulse werden verstärkt und
- ▶ mit Kassettenrekorder, Computer, etc. aufgenommen

# Analog vs. Digital (Reetz, 2003:40)



Analog



Digital



# Analog vs. Digital

Sprachsignale sind analog:

- ▶ Sie können in beliebig kleinen Zeitintervallen gemessen werden
  - ▶ Amplituden können beliebig genau gemessen werden
- 

Computerdaten sind digital:

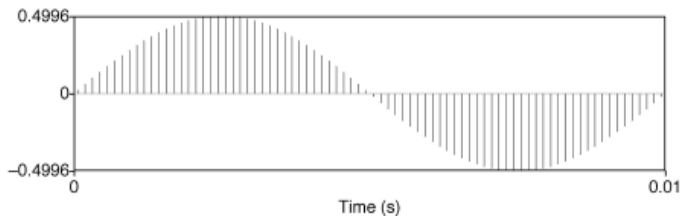
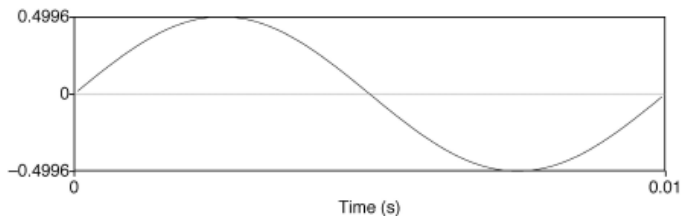
- ▶ endlich viele Messungen
- ▶ Amplituden können beliebig genau gemessen werden

# Digitalisierung (AD-Wandlung)

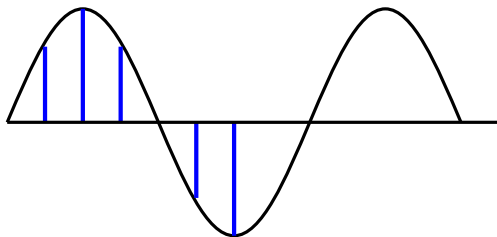
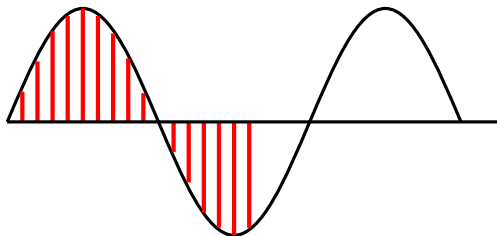
**Sampling:** Das Signal wird in bestimmten Zeitabständen gemessen (“abgetastet”)

**Quantisierung** kontinuierliche Amplitudenwerte werden in digitalisierte Werte umgewandelt (Messung mit bestimmter Genauigkeit)

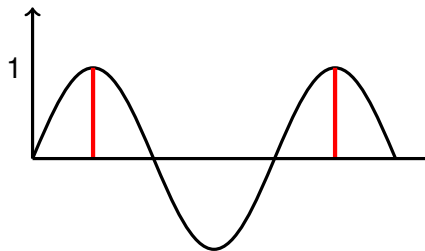
# Analoges & Digitales Signal (Mayer, 2006:49)



# Hohe vs. niedrige Abtastrate



# Zu niedrige Abtastrate



# Das Abtast-Theorem

Um ein periodisches Signal  $F$  zu erfassen,  
muss die Abtastrate mindestens  
die doppelte Frequenz von  $F$  haben

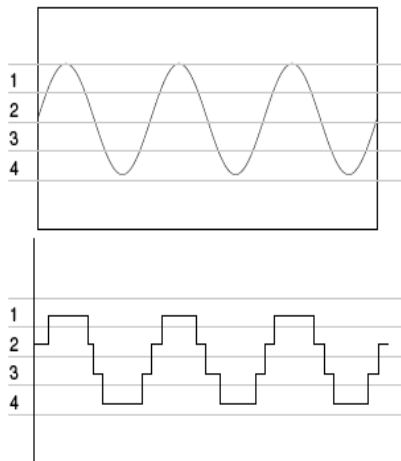
# Typische Abtastraten

**Musik auf einer Audio-CD:** 44 kHz

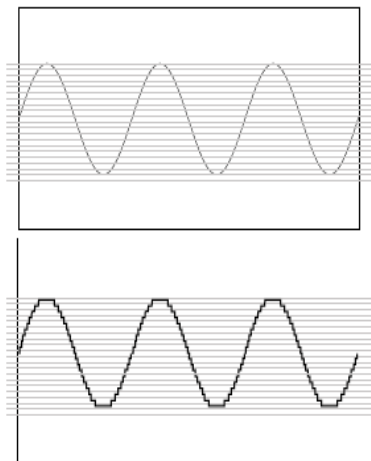
**DAT-Aufnahmen:** 48 kHz

**viele phonetische Aufnahmen:** 22 kHz

# Quantisierung (Mayer, 2006:60)



4-stufige Skala



20-stufige Skala



# Quantisierung

Standard  $\approx$  6500-stufige Skala

# Graphische Darstellungen von Schall

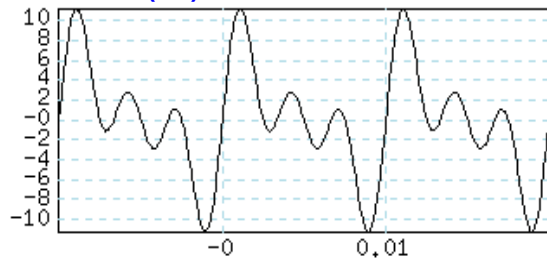
- ▶ Oszillogramm
- ▶ Amplituden-Spektrum
- ▶ Spektrogramm/Sonagramm

# Graphische Darstellungen: Oszillogramm

- ▶ entspricht weitgehend den Messungen, die durch ein Mikrofon zustande kommen
- ▶ X-Achse: Zeit (Sekunden)
- ▶ Y-Achse: Amplitude (Luftdruck in Pascal)

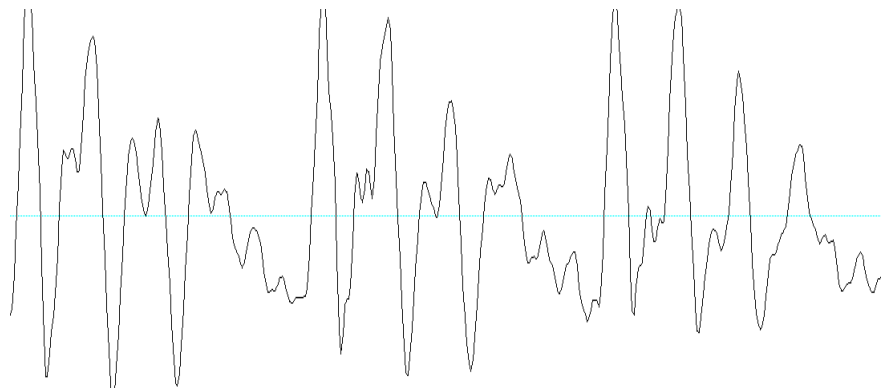
# Oszillogramm eines Klangs

**Luftdruck (Pa)**

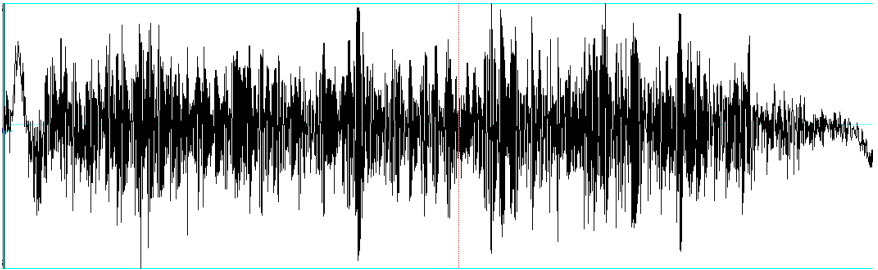


**Zeit (s)**

# Oszillogramm eines Quasi-Klangs: [a]



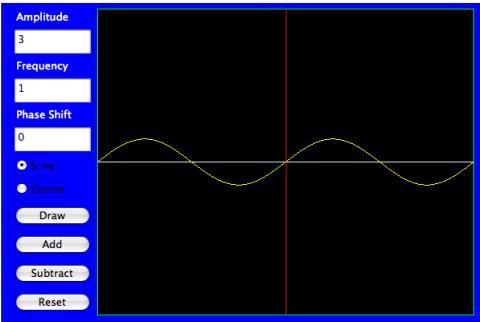
# Oszillogramm eines Geräuschs: [s]



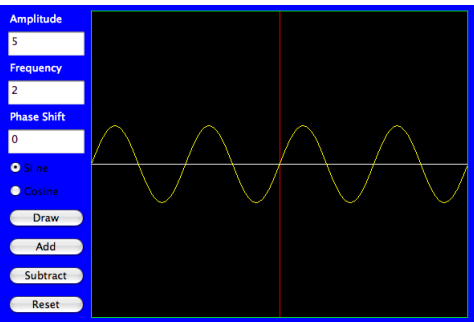
# Fourier-Analyse

- ▶ kehrt Fourier-Synthese um
- ▶ mathematisch komplex
- ▶ Gängigster Algorithmus: Fast Fourier Transformation (FFT)

# Fouriersynthese [\(<http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/waveAdder/WaveAdder1.html>\)](http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/waveAdder/WaveAdder1.html)



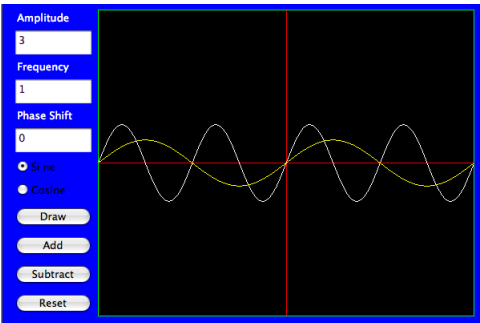
Teilwelle 1



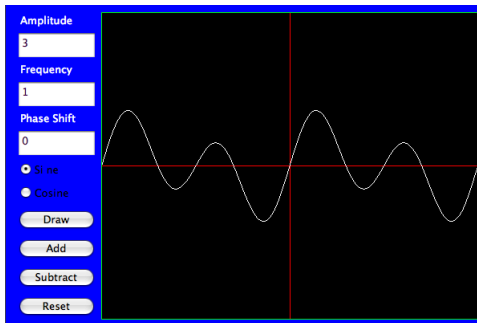
Teilwelle 2



# Fouriersynthese

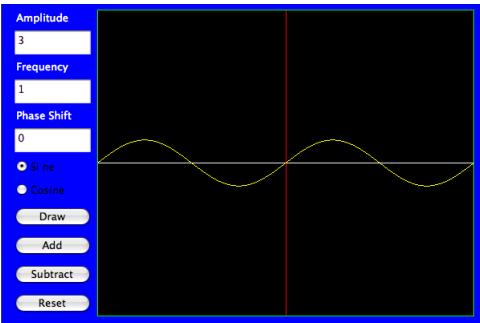


Teilwellen 1 und 2 übereinander

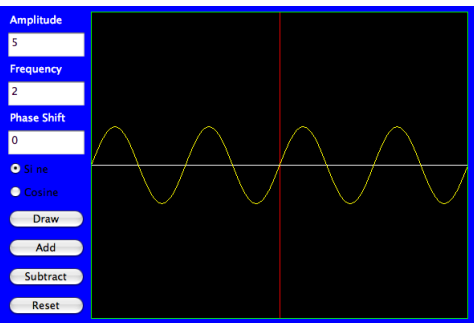


Teilwellen 1 und 2 addiert

# Fourieranalyse (Umkehrung)

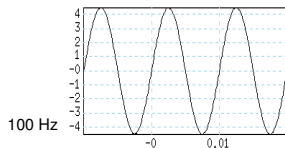
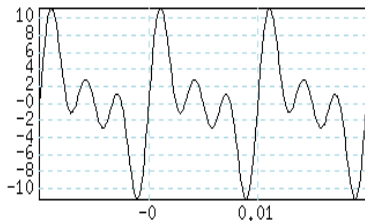


Teilwelle 1

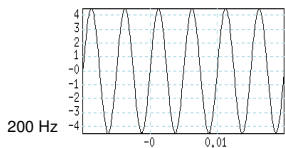


Teilwelle 2

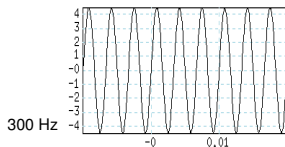
# Fourier-Analyse eines Klangs



+



+

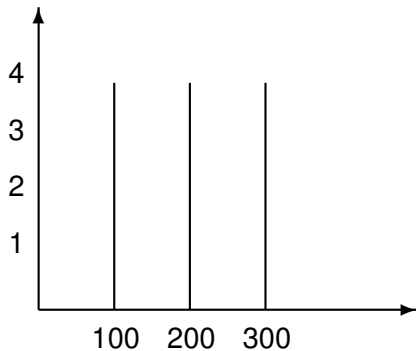


# Graphische Darstellungen: (Linien-)Spektrum

- ▶ Komplexe Schwingungen werden durch **Fourier-Analyse** in Teilschwingungen zerlegt
- ▶ jede Teilschwingung wird durch eine Linie dargestellt
- ▶ X-Achse: Frequenz (Hertz)
- ▶ Y-Achse: Amplitude (Luftdruck in Pascal)

# (Linien-)Spektrum eines Klangs

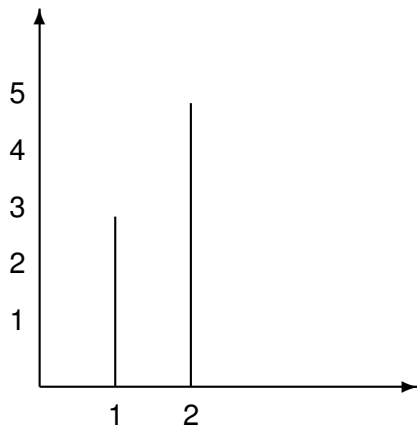
Luftdruck (Pa)



Frequenz (Hz)

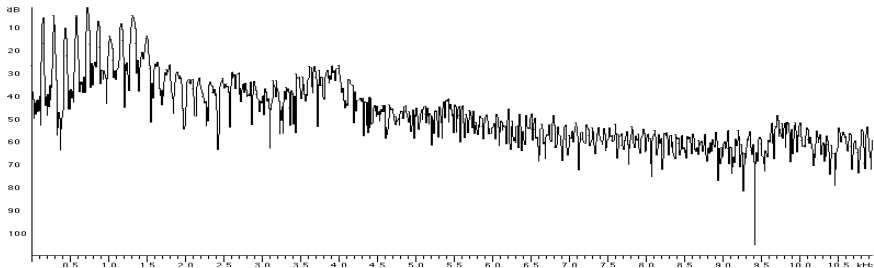
# (Linien-)Spektrum eines Klangs

Luftdruck (Pa)

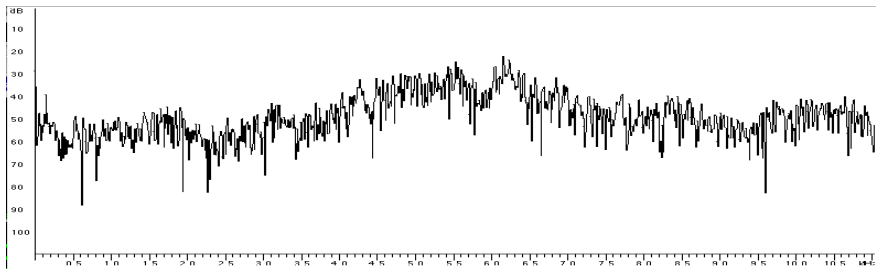


Frequenz (Hz)

# (Linien-)Spektrum eines Quasi-Klangs: [a]



# (Linien-)Spektrum eines Geräuschs: [s]



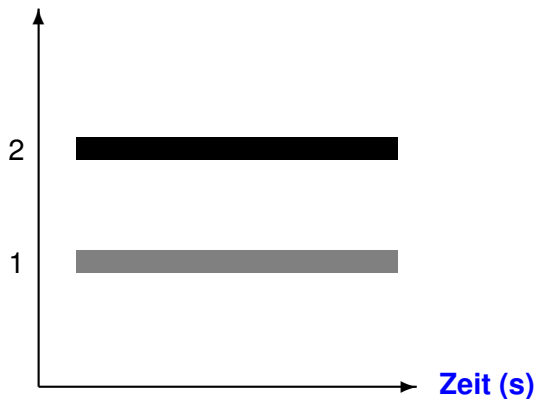


# Graphische Darstellungen: Spektrogramm

- ▶ stellt wie ein Spektrum Teilschwingungen dar
- ▶ berücksichtigt aber auch die zeitliche Abfolge
- ▶ Amplitude wird durch Schwärzung angezeigt
- ▶ “Spektrogramm”  $\approx$  “Sonagramm”

# Spektrogramm eines Klangs

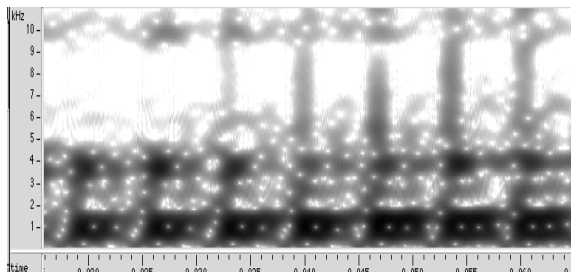
Frequenz (Hz)



Grad der Schwärzung = **Lautstärken der Teil-Schwingungen**

# Spektrogramm eines Quasi-Klangs: [a]

Frequenz (Hz)

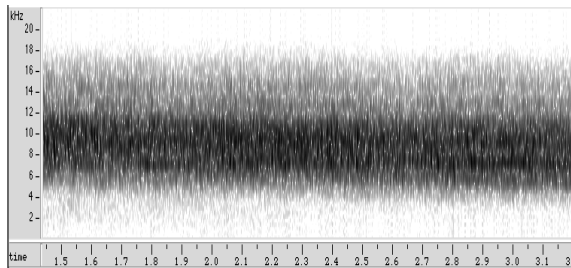


Zeit (s)

Schwärzung = **Lautstärken der Teil-Schwingungen**

# Spektrogramm eines Geräuschs: [s]

Frequenz (Hz)



Zeit (s)

Schwärzung = **Lautstärken der Teil-Schwingungen**

# Obertöne in einer akustischen Täuschung

