

# Schallwellen

Jochen Trommer

`jtrommer@uni-leipzig.de`

Universität Leipzig  
Institut für Linguistik

Phonologie/Morphologie – SS 2007

# Überblick

Entstehung und Ausbreitung von Schallwellen

Schallwellen als Luftdruck-Schwankungen

Sinus-Schwingungen

Komplexe Schwingungen

Klänge

Geräusche

# Schallwellen

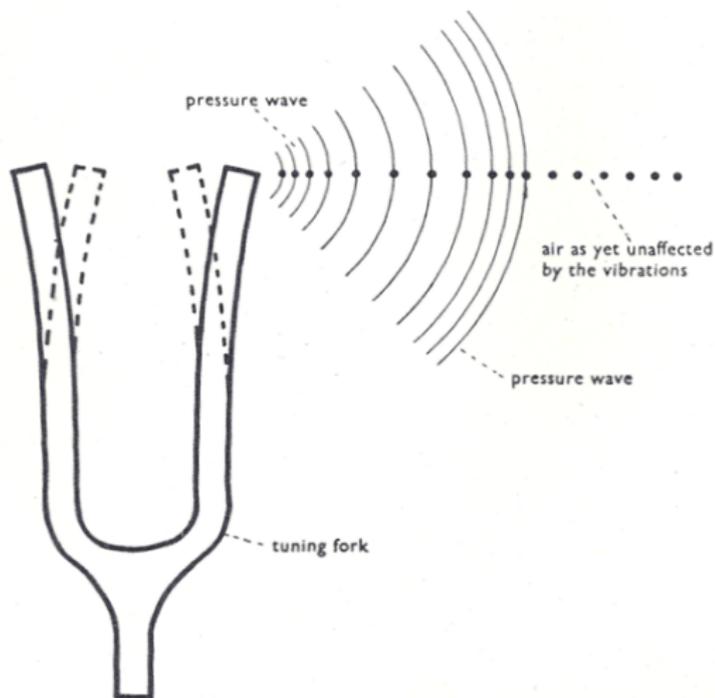
Schallwellen sind Wellen,  
bei denen sich Schwingungen  
von Luftmolekülen ausbreiten

# Entstehung von Schallwellen: Stimmgabel

- ▶ Stimmgabel wird angestossen
- ▶ Zinken beginnen zu schwingen
- ▶ Schwingung überträgt sich auf angrenzende Luft-Moleküle



# Entstehung von Schallwellen: Stimmgabel

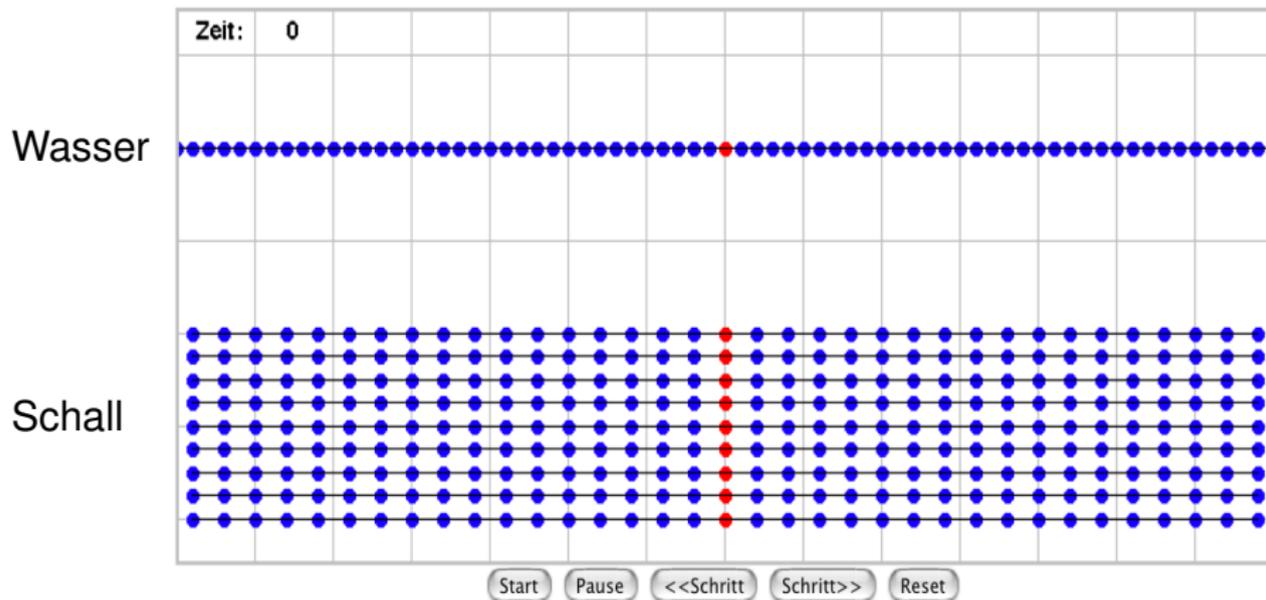


(Ladefoged, 1996:4)

# Ausbreitung von Schallwellen

- ▶ Luftmolekül  $L_1$  wird von aussen angestossen (z.B. durch eine Stimmgabel)
- ▶  $L_1$  schwingt in Anstossrichtung und stösst  $L_2$  an
- ▶  $L_2$  schwingt in Anstossrichtung und stösst  $L_3$  an
- ▶ ...

# Ausbreitung von Schallwellen



# Transversal- vs. Longitudinal-Wellen

Wasserwellen sind **Transversal**-Wellen

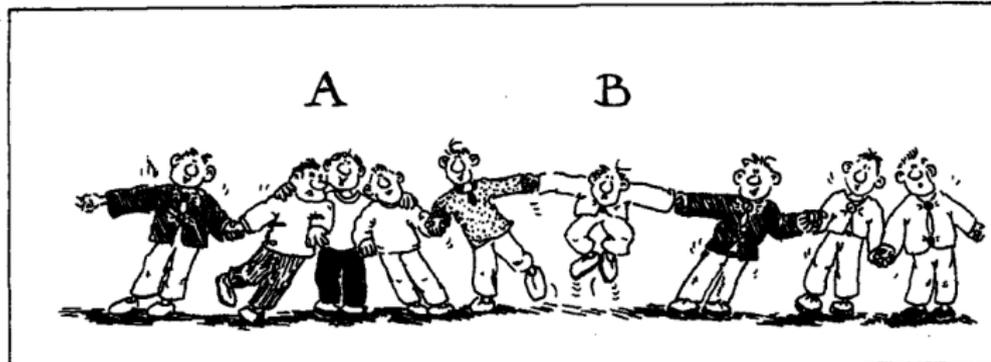
(Die Wassermoleküle schwingen **senkrecht** zur Richtung der Wellen-Ausbreitung)

---

Schallwellen sind **Longitudinal**-Wellen

(Die Luftmoleküle schwingen **in derselben** Richtung wie die Ausbreitung der Welle)

## Transversal- vs. Longitudinal-Wellen (Reetz, 2003:6,9)

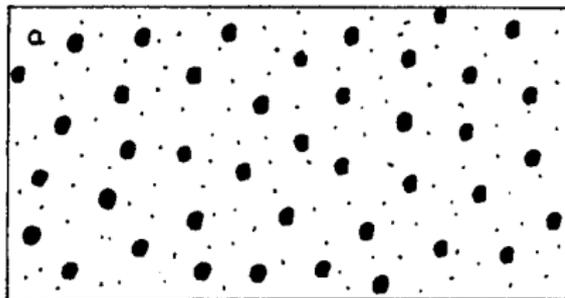


# Was ist Luftdruck

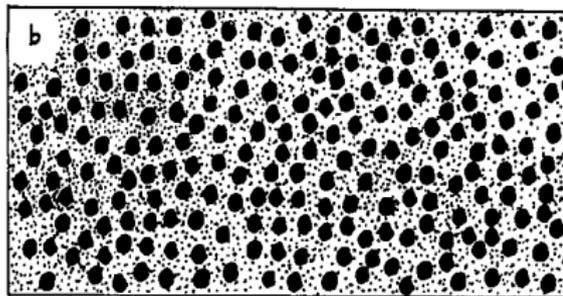
- ▶ der Druck, den die Luftmoleküle der Atmosphäre auf eine bestimmte Fläche ausüben
  
- ▶ die Dichte der Luftmoleküle an einem bestimmten Punkt

# Schallwellen & Luftdruck (Reetz, 2003:5)

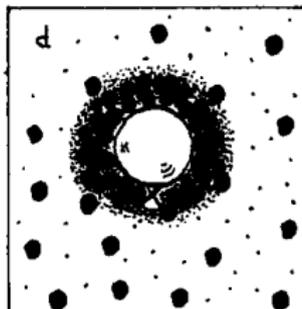
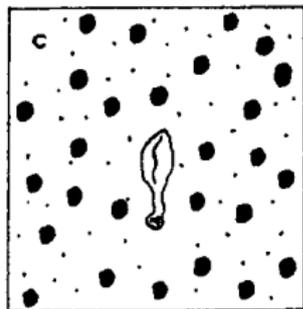
**niedriger Luftdruck**



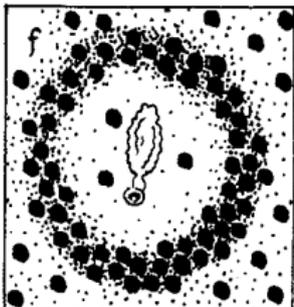
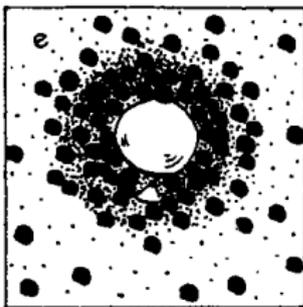
**hoher Luftdruck**



# Schallwellen & Luftdruck (Reetz, 2003:5)

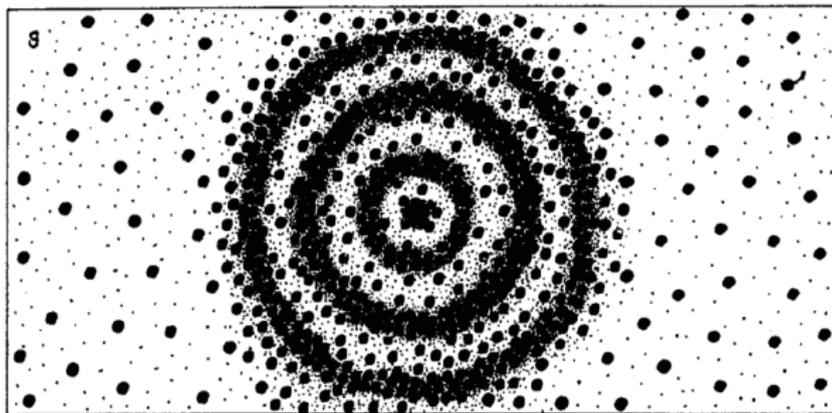


Ein Luftballon wird aufgeblasen.  
Um den Ballon verdichten sich  
die Luftmoleküle.

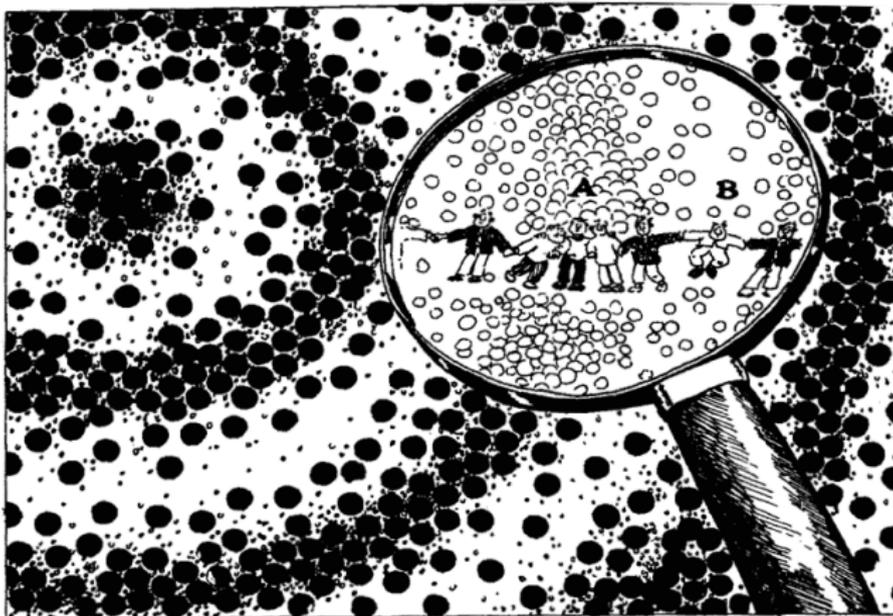


Luftdruckerhöhung breitet sich aus.  
Luftballon wird abgelassen.  
Luftmoleküle strömen zurück.

# Schallwellen & Luftdruck (Reetz, 2003:5)



# Schallwellen & Luftdruck (Reetz, 2003:5)



# Berechnung von Luftdruck

<b>Masse:</b>	Invariante Kenngrösse eines Gegenstands	Gramm (g)
<b>Kraft:</b>	Masse $\times$ Beschleunigung	Newton (N)
<b>Druck:</b>	Kraft/Fläche	Pascal (Pa)

---

**1 N** = die Kraft, die ein Körper von 102 g unter Erdbeschleunigung ( $9,81 \frac{m}{s^2}$ ) auf die Auflagefläche ausübt

**1 Pa** = der Druck, den 1 N auf eine Fläche von  $1 m^2$  ausübt

## Luftdruck: Größenordnungen

**meteorologischer Luftdruck:** 1013 Hekto-Pascal

**Wahrnehmbare Schallwellen:** 20 Mikro-Pascal - 20 Pascal

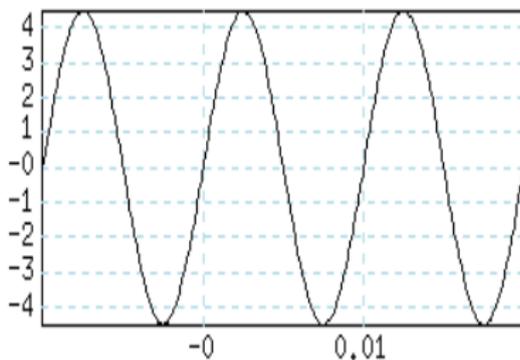
**Normale Sprache:** 600 Mikro-Pascal - 2 Pascal

# Sinus-Schwingungen

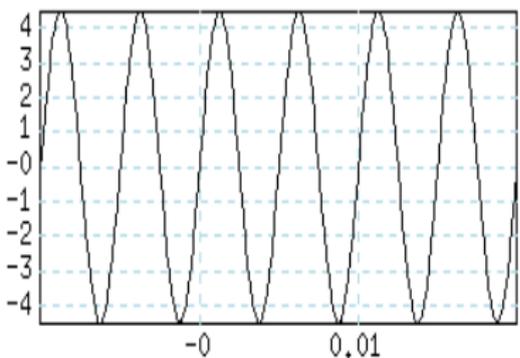
- ▶ Intuitiv und mathematisch die einfachsten Schwingungen
- ▶ völlig beschreibbar durch Sinus-Funktion
- ▶ kommt in der Natur praktisch nicht vor
- ▶ komplexe Schwingungen lassen sich als Kombination von Sinus-Schwingungen analysieren

# Sinus-Schwingungen (<http://www.phonetik.uni-muenchen.de/AP/APKap1.html>)

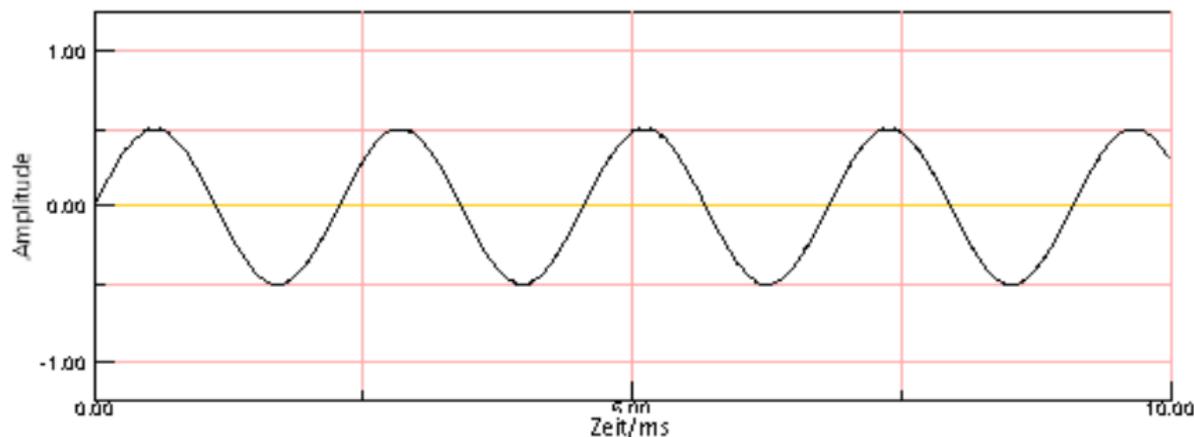
100 Hz



200 Hz



# Sinus-Schwingungen

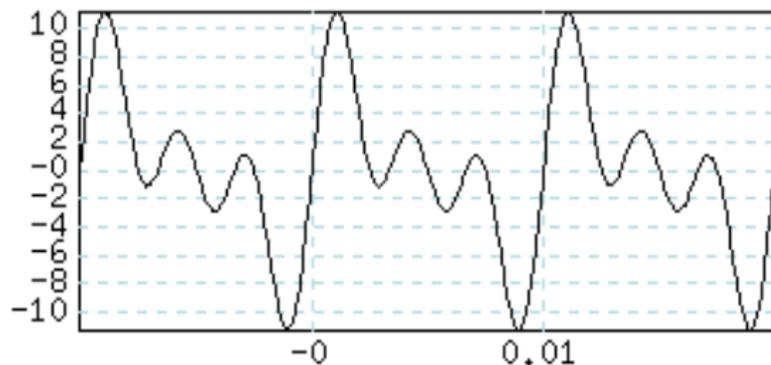


<b>Amplitude A</b>	A <input type="text" value="0.5"/> <input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> +0	
<b>Frequenz f</b>	f <input type="text" value="0.25"/> <input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> +0	<b>kHz</b>
<b>Phase phi</b>	phi <input type="text" value="0"/> <input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> +0	

# Komplexe Schwingungen: Klänge

Klänge sind periodische Schwingungen,  
die keine Sinus-Schwingungen sind

# Komplexe Schwingungen: Klänge



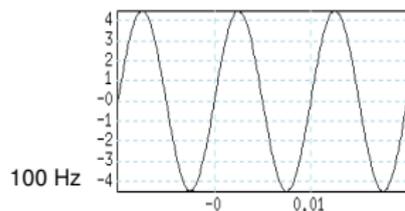
# Fourier-Synthese



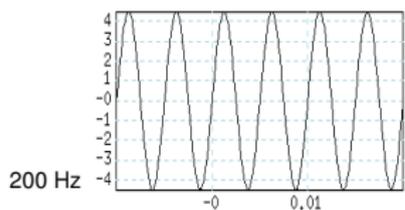
Jean Baptiste Joseph Fourier  
(\* 21. März 1768; + 16. Mai 1830)  
franz. Mathematiker und Physiker

Jede periodische Schwingung kann durch Synthese einer endlichen Zahl von Sinus-Schwingungen erzeugt werden

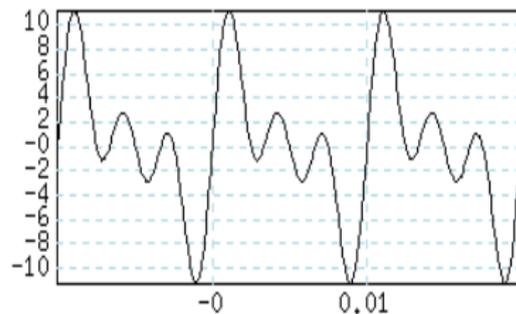
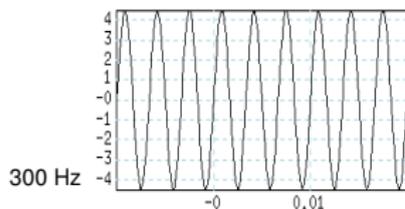
## Fourier-Synthese eines Klangs <http://www.phonetik.uni-muenchen.de/AP/APKap1.html>



+



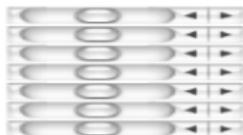
+



# Fourier-Synthese von Klängen: ein Synthesizer

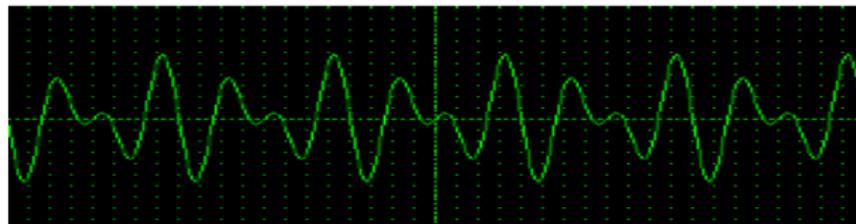
**Cosinus:**

a0: 0.0  
a1: 0.0  
a2: 0.0  
a3: 0.0  
a4: 0.0  
a5: 0.0  
a6: 0.0



**Sinus:**

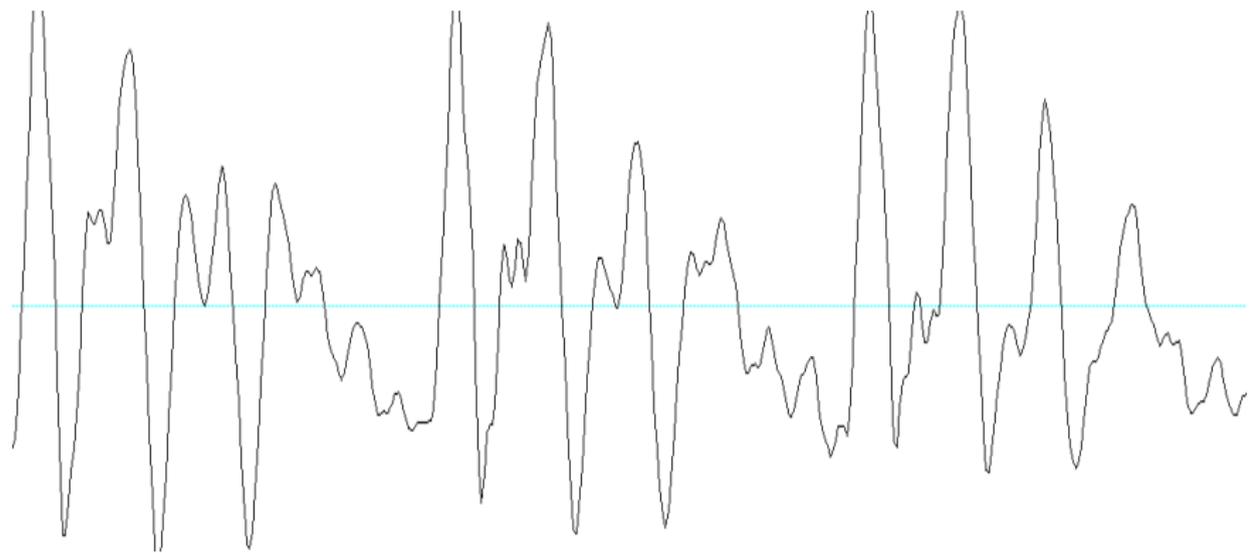
b1: 0.0  
b2: 3.1  
b3: 2.9  
b4: 0.0  
b5: 0.0  
b6: 0.0



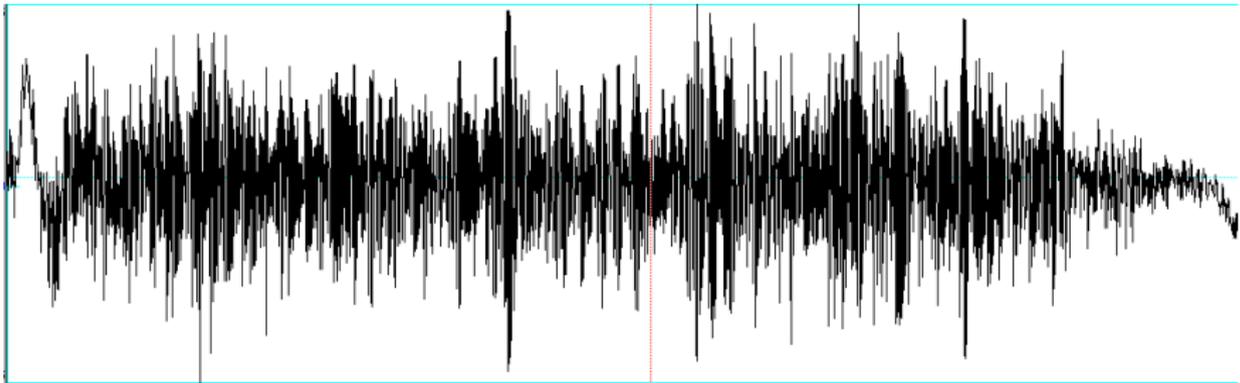
# Klänge & Töne

- ▶ Musikalische “Töne” sind (in Annäherung) Klänge
- ▶ Vokale und Sonoranten sind (in noch grösserer Annäherung) Klänge

## [a] in [masa] als Klang



# Komplexe Schwingungen: Geräusche



# Fourier-Synthese



Jean Baptiste Joseph Fourier  
(\* 21. März 1768; + 16. Mai 1830)  
franz. Mathematiker und Physiker

Jede **un**-periodische Schwingung kann durch Synthese einer **un**-endlichen Zahl von Sinus-Schwingungen erzeugt werden

# Arten von Schall

- Explosionsschall:** Entsteht bei Sprengung eines Verschlusses durch Überdruck
- Friktionsrauschen:** Verursacht durch Turbulenzen, wenn Luft durch Engebildung strömt; (z.B. Frikative, Aspiration)
- Klang:** Modifizierte Phonation (z.B. Vokale, Approximanten, Nasale)
- Stummer Schall:** Die Signalamplitude ist nahe Null (Verschlussphase bei Plosiven)