

Physik und Musik - Vom Gartenschlauch zur Posaune

Jörg Pretz

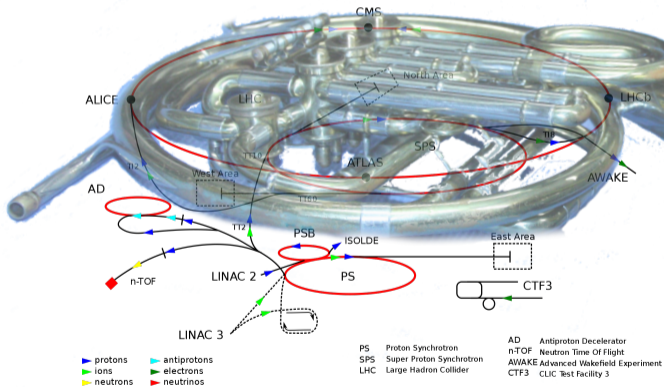


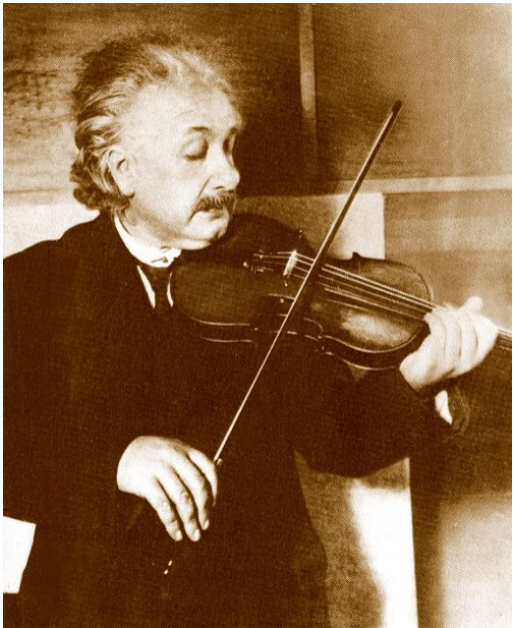
Regensburg, Highlights der Physik, 20. September 2022



Frequenz, Wellenlänge

Harmonische, Resonanz





A SURVEY OF RADIAL VELOCITIES
in the
ZODIACAL DUST CLOUD

Brian Harold May
Astrophysics Group

Department of Physics
Imperial College
London

Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy to
Imperial College of Science, Technology and Medicine
London
· 2007 ·



Quelle: <https://shop.brianmayguitars.co.uk/news/bmg-super.html>

Inhalt

- Was sind (Schall-)wellen?
Frequenz, Wellenlänge
- Was unterscheidet den Klang verschiedener Instrumente?
Fourierzerlegung, Harmonische
- Vom Gartenschlauch zur Posaune
Resonanz, Intervalle

Was sind (Schall)wellen?

(Schall)wellen

λ (lambda)	Wellenlänge
T	Periodendauer
$f = \frac{1}{T}$	Frequenz

(Schall)wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

- Schallgeschwindigkeit
- Wellenlänge
- Frequenz

	c	$=$	λ	\cdot	f
①	\leftrightarrow	$=$	\nearrow	\cdot	\searrow
②	\nearrow	$=$	\leftrightarrow	\cdot	\nearrow

Beispiele für Wellen

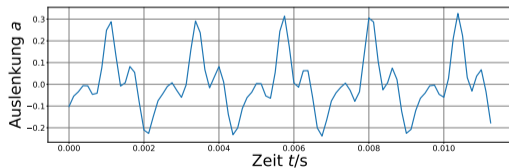
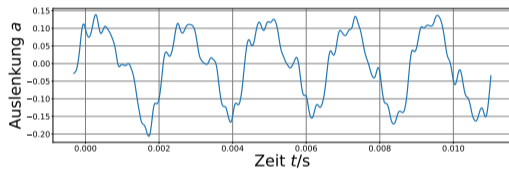
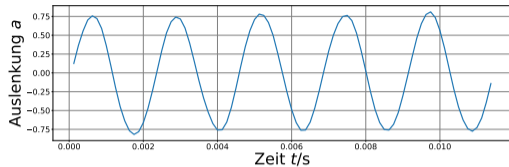
	Frequenz f [Hz=1/s]	Wellenlänge λ [m]	Ausbreitungsgeschw. $c = \lambda \cdot f$ [m/s]
Schall	440	0,78	343 (Luft)
Radiowellen (WDR2)	$100,8 \cdot 10^6$	3	300 000 000
Licht (blau)	$6,4 \cdot 10^{14}$	$470 \cdot 10^{-9}$	300 000 000
Wasserwellen	6	3	18

Ausbreitungsgeschwindigkeit = Wellenlänge · Frequenz

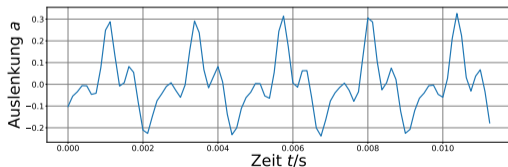
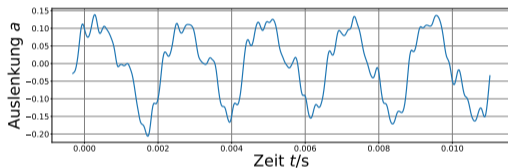
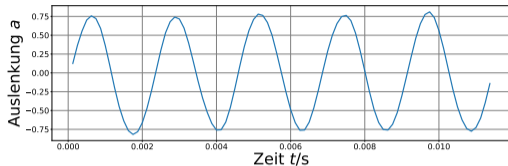
$$c = \lambda \cdot f$$

Was unterscheidet den Klang
verschiedener Instrumente?

Schwingungen verschiedener Instrumente



Schwingungen verschiedener Instrumente



Alle drei Signale haben die gleiche Frequenz (Periodizität), aber eine unterschiedliche Form. Wie kann man diese Unterschiede charakterisieren?

Fourier-Zerlegung

benannt nach Joseph Fourier (1768 -1830):

Ein beliebiges periodisches Signal kann als Summe von Sinuskurven dargestellt werden.

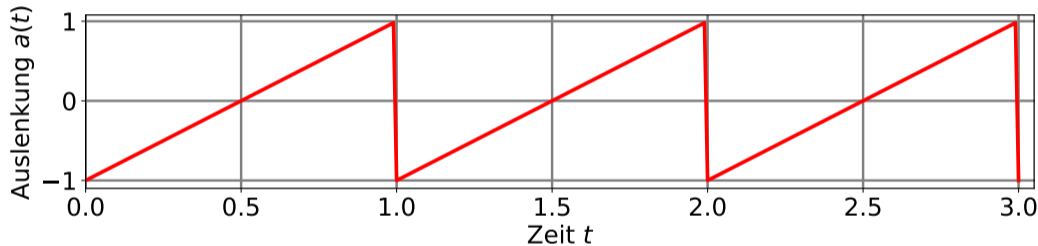


<http://web.mit.edu/2.51/www/fourier.jpg>

Vielfältige Anwendungen: Wärmeleitung, JPEG-Algorithmus, Magnetresonanztomographie (MRT), Quantenmechanik, ...

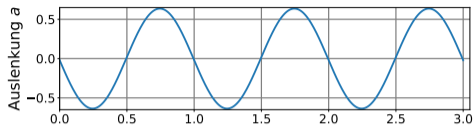
Beispiel: Sägezahn-förmiges Signal

... hat zunächst wenig mit Sinuskurve zu tun:

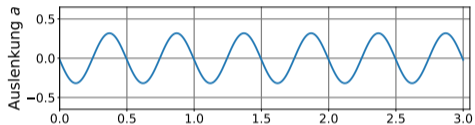


aber ...

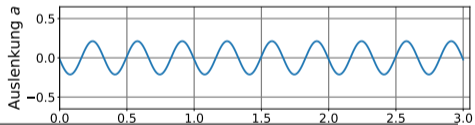
Fourier-Zerlegung



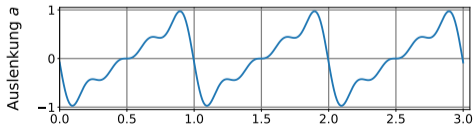
+



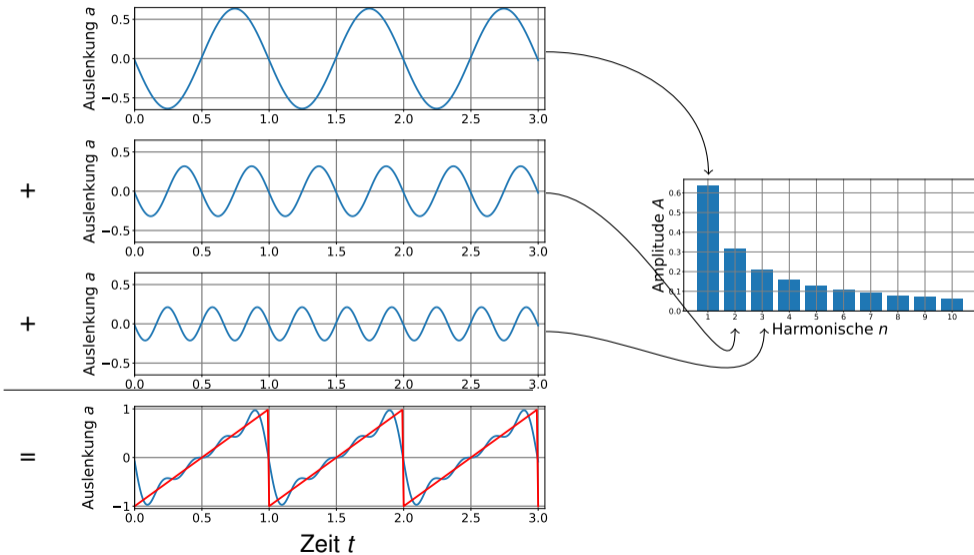
+



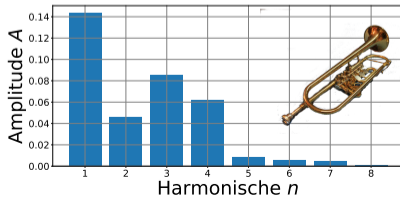
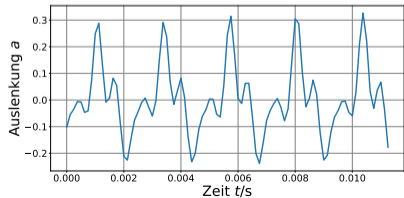
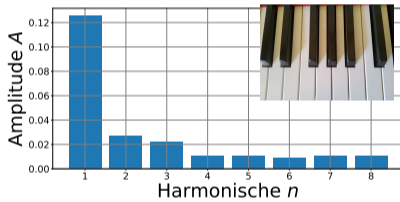
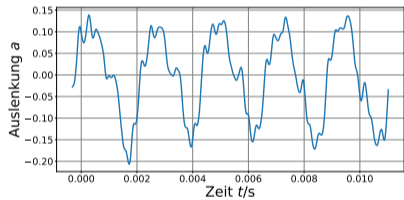
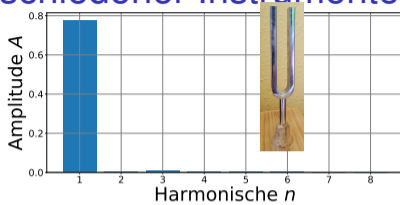
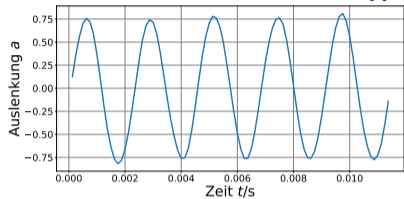
||



Fourier-Zerlegung



Fourier-Zerlegung verschiedener Instrumente



Fourier-Zerlegung

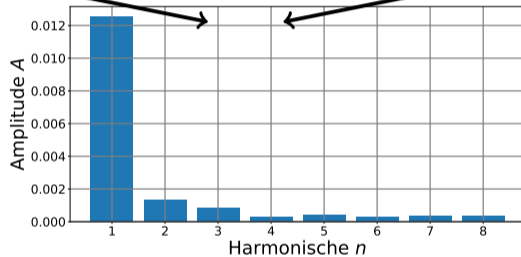
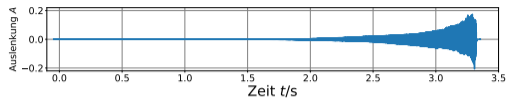
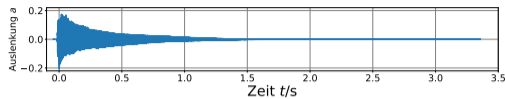
Alle drei Töne haben die gleiche Frequenz (440 Hertz, Kammerton a, $T=1/(440 \text{ Hz}) = 2.27 \text{ ms}$), d.h.

- Stimmgabelenden ...
- Klaviersaiten ...
- Lippen des Trompeters ...

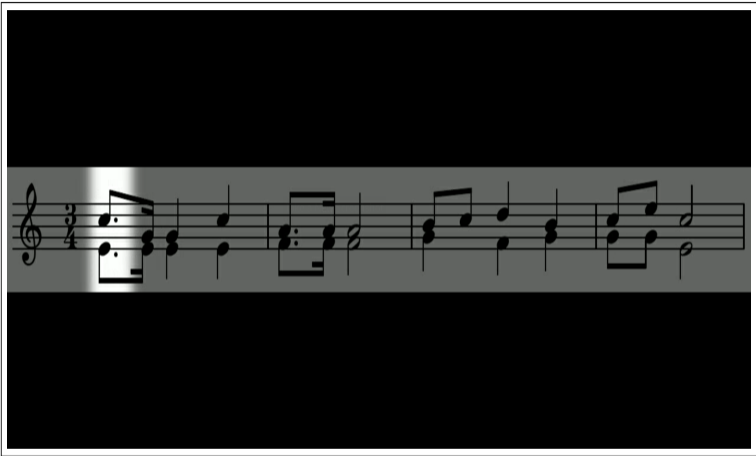
schwingen 440 mal pro Sekunde hin und her. Die unterschiedlichen Formen können durch das Fourierspektrum beschrieben werden.

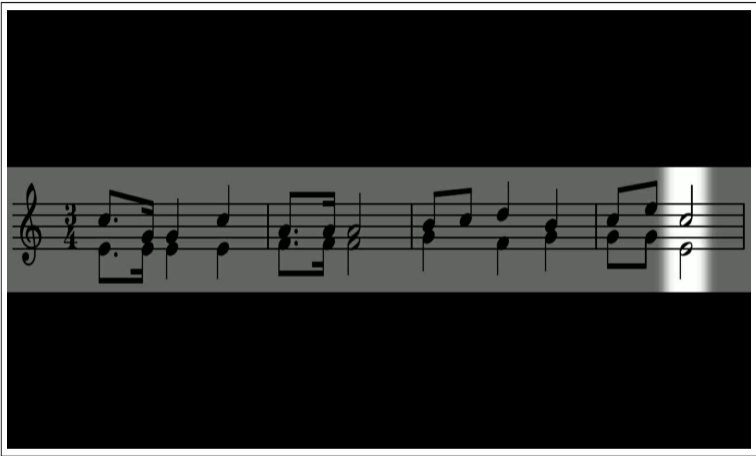
Charakterisiert das Fourierspektrum den Klang des Instruments vollständig?

Ton \Leftrightarrow noT

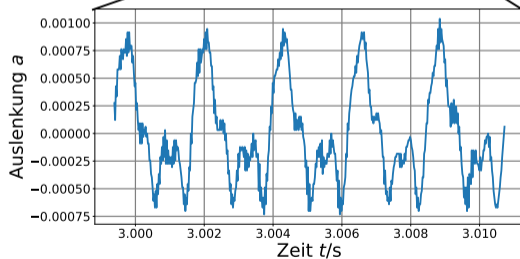
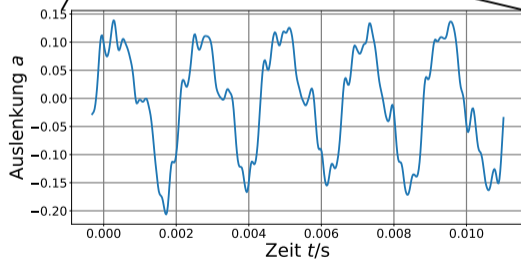
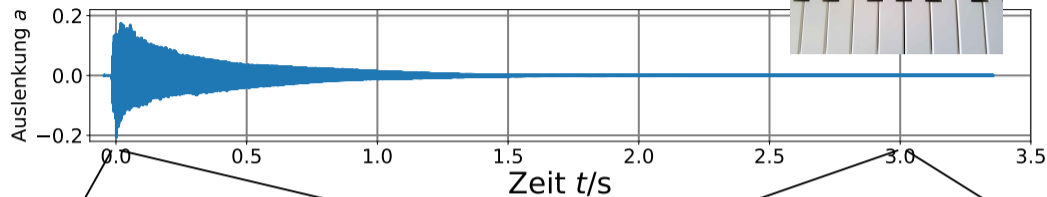


Das Fourierspektrum eines Tons und des zeitlich invertierten Tons sind identisch. Hören sich die beiden Töne für uns auch gleich an?

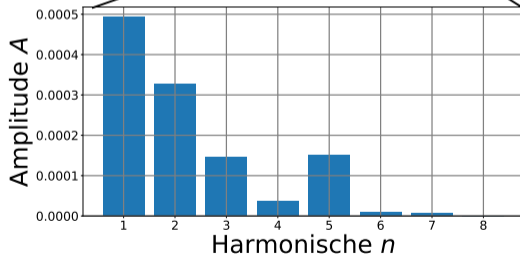
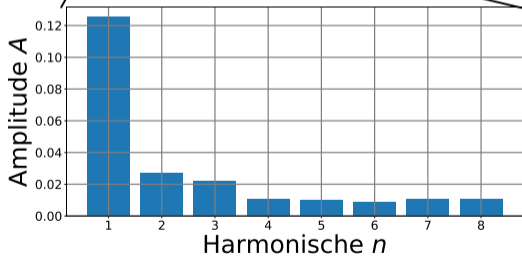
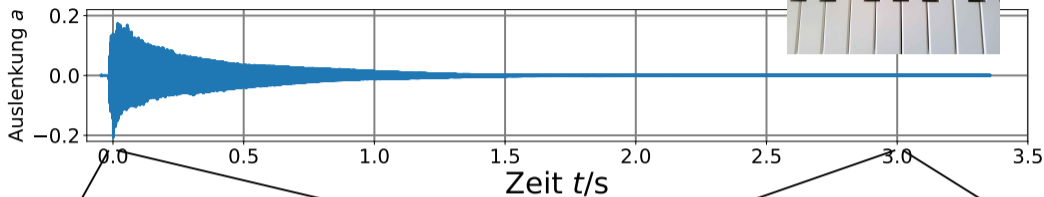




Fourier-Zerlegung Klavier



Fourier-Zerlegung Klavier



Vom Gartenschlauch zur Posaune

Wie kommt man den Grundgesetzen der Natur auf die Spur?

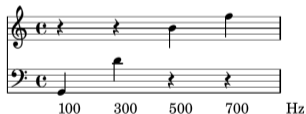
Geschickte Vereinfachungen:



Einfache Grundgesetze/Theorie:

$$c = \lambda \cdot f$$

Vergleich Theorie \leftrightarrow Experiment:



Stehende Wellen

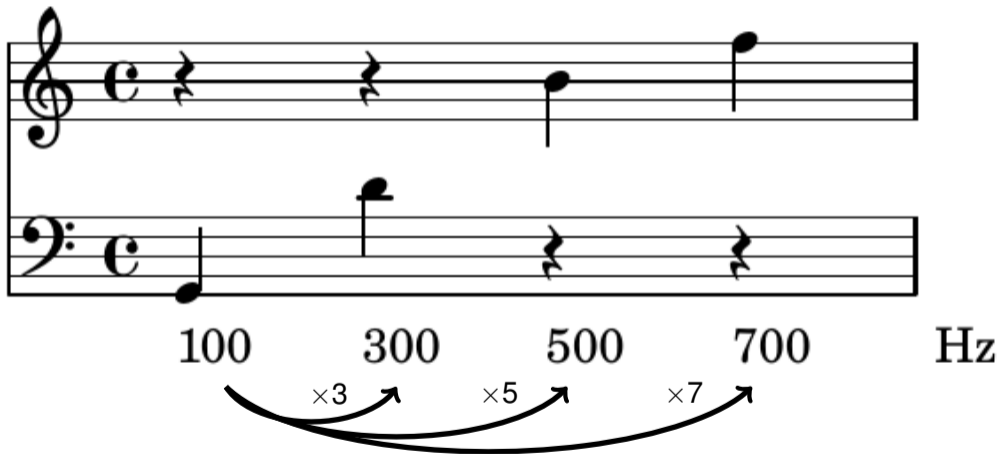
Stehende Wellen



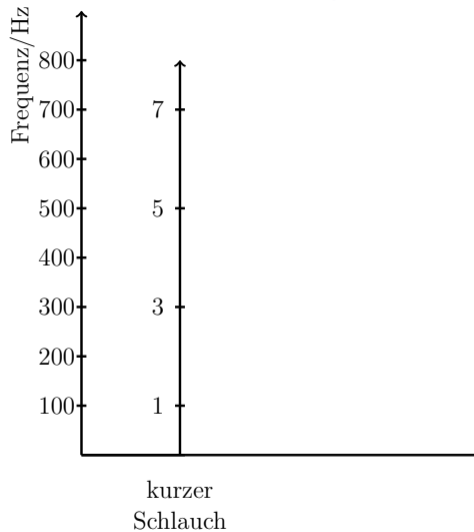
Nur bestimmte Wellenlängen/Frequenzen (**Naturtöne**) erlaubt.
Bedingung: **Knoten** an einem Ende, **Bauch** am anderen Ende.

Wellenlänge	Frequenz	$L=86\text{ cm}, c = 343\text{ m/s}$
$\lambda = 4L$	$f = \frac{c}{4L}$	= 100 Hz
$\lambda = \frac{4}{3}L$	$f = 3\frac{c}{4L}$	= 300 Hz
$\lambda = \frac{4}{5}L$	$f = 5\frac{c}{4L}$	= 500 Hz

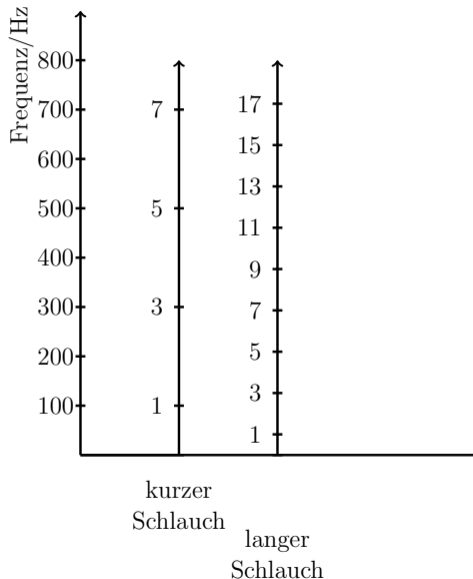
Naturtöne Gartenschlauch (Zylinder)



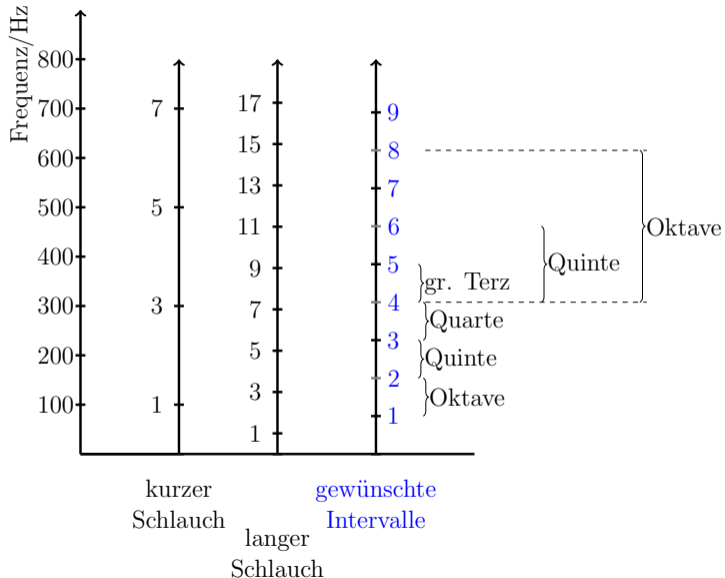
Intervalle (= Verhältnis von Tonfrequenzen)



Intervalle (= Verhältnis von Tonfrequenzen)



Intervalle (= Verhältnis von Tonfrequenzen)



Intervalle (= Verhältnis von Tonfrequenzen)

