

Überblick Akustikgrundlagen

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

- 1 Schall, Welle
- 2 Schwingung
- 3 Zeitsignal
- 4 Schalldruck, Schallschnelle
- 5 Sinusoidalschwingung
- 6 Schallarten
- 7 Periodische Signale
- 8 zeitliche vs. spektrale Darstellung
- 9 Typen von Spektren
- 10 Überführung vom Zeit- in den Spektralbereich:
Fourier-Analyse
- 11 Aufnahmetechnik

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Schall

Ausbreitung von lokalen Druckschwankungen in einem elastischen Medium (z.B. Luft) als Welle

Wellen

Welle: Fortpflanzung von Schwingungen (hier Druckschwankungen)

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Entstehung und Ausbreitung von Schall:

- ▶ Eine Schallquelle (z.B. Stimmgabel) verursacht in ihrer unmittelbaren Umgebung Luftdruckschwankungen (= Schalldruck)
- ▶ Dadurch dass die schwingenden Luftmoleküle mit den benachbarten Molekülen interagieren und diese somit ebenfalls in Schwingung versetzen, pflanzen sich die lokalen Luftdruckschwankungen (= der Schalldruck) fort.
- ▶ Im Medium Luft schwingen die Teilchen in Ausbreitungsrichtung des Schalls. Die Schwingung pflanzt sich damit in Form einer sog. **Longitudinalwelle** mit Schallgeschwindigkeit (ca. 340 m/s) fort.

(Note: Bei Transversalwellen wie Wasser- oder Radiowellen schwingen die Teilchen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.)

Longitudinal- versus Transversalwellen

aus Reetz, 2003

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

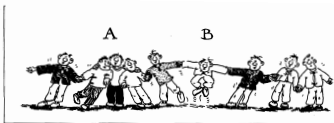


Abb. 3: Personen beim Schunkeln. Neigt sich die Person am linken Rand nach rechts, wird sich etwas später die neben ihr stehende Person ebenfalls nach rechts neigen usw. Nach einer Weile neigt sich auch die Person am rechten Rand nach rechts. D. h. das 'nach-rechts-neigen' zieht sich mit einer gewissen Geschwindigkeit über die ganze Strecke hin, obwohl sich jede einzelne Person nicht vom Fleck bewegt. Die *Ausbreitungsgeschwindigkeit* des 'nach-rechts-neigen' ist unabhängig davon, mit welcher *Schnelle* sich eine einzelne Person hin- und herneigt. In dieser Momentaufnahme sind die Personen im Teil 'A' dichter zusammen als im Teil 'B'.



Abb. 5: Die *la Ola* Welle als Beispiel für eine Transversalwelle: Personen richten sich auf und hocken sich nieder, wobei diese Bewegung der Personen in der *vertikalen* Richtung zu einer Ausbreitung der Welle in *horizontaler* Richtung führt, also senkrecht zur Bewegungsrichtung der Personen. Beim Schunkeln in Abb. 3 dagegen ist die Bewegungsrichtung der Personen horizontal, wie auch die Ausbreitungsrichtung der Welle.

Exkurs: Schallausbreitung braucht ein elastisches Medium

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

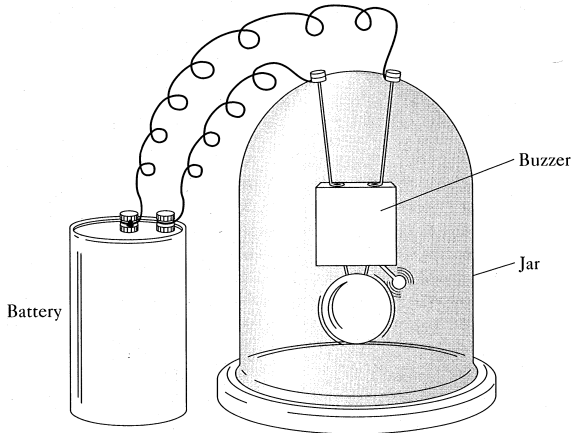
Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse



Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spekttralbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

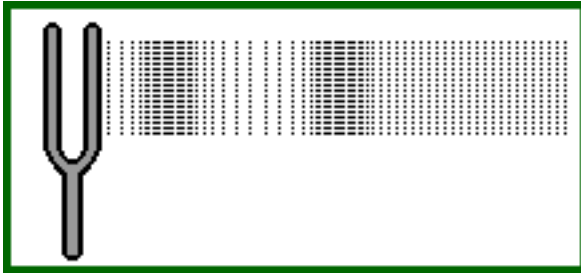
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

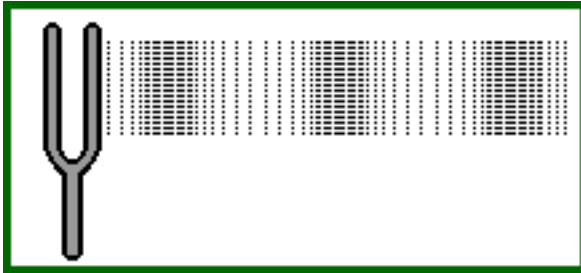
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

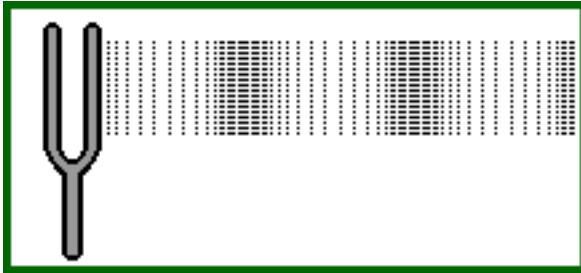
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

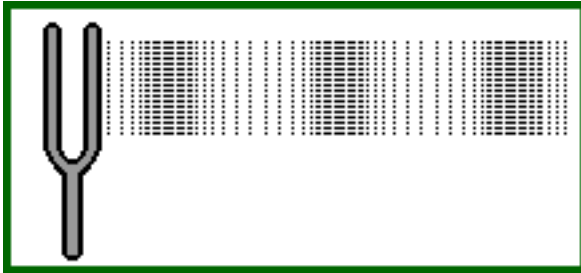
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Compression-Rarefaction

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

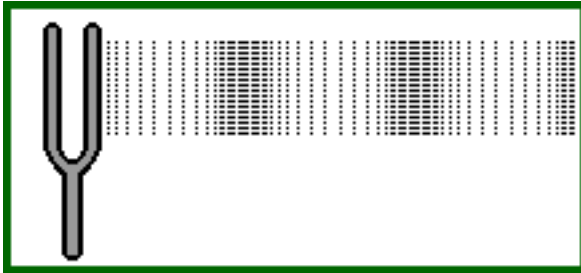
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Eine Stimmgabel in Schwingung führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck!), die sich durch das Trägermedium fortpflanzen.



s.a. Videos “Longitudinal Wave Propagation on a Slinky” und “Longitudinal waves in a spring in slow motion”

Schallausbreitung

aus Ladefoged 1962, "Elements of an Acoustic Phonetics"

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

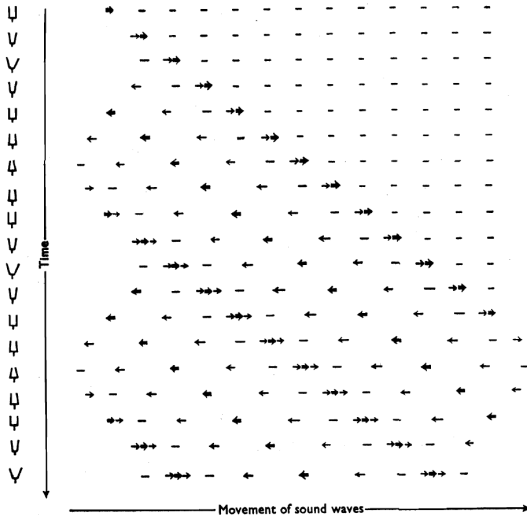
Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse



Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Definition

Verlauf einer Zustandsänderung eines Systems, das durch eine Störung aus dem Gleichgewicht gebracht wird, woraufhin rücktreibende Kräfte das Gleichgewicht wieder herzustellen versuchen.

Phasen

- 1 Ein Teilchen wird durch eine auf es einwirkende Kraft (die Schallquelle) aus seiner Ruhelage herausbewegt.
- 2 Elastische Rückstellkräfte ziehen es wieder Richtung Ruhelage zurück.
- 3 Aufgrund seiner Trägheit bewegt sich das Teilchen aber über die Ruhelage hinaus solange weiter, bis die erneut einsetzenden Rückstellkräfte größer sind als die Trägheit des Teilchens.

Go to 2

Schwingung II

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ Analogie zum **Masse-Feder-Modell**; Masse - Trägheit; Feder - Rückstellkräfte
- ▶ Video: “Longitudinal waves in a spring in slow motion”
- ▶ Ein Schwingungsdurchgang wird als **Periode** bezeichnet.
- ▶ Die zeitabhängige Abweichung des Teilchens von seiner Ruhelage heißt **Amplitude** (im Falle von Schall ist das der **Schalldruck**).
- ▶ Nimmt die Amplitude im Laufe der Schwingung (aufgrund von **Reibungskräften**) ab, so wird die Schwingung als **gedämpft** bezeichnet.

Gedaempfte Schwingung / Masse-Feder-System

Gelfand, 1990

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

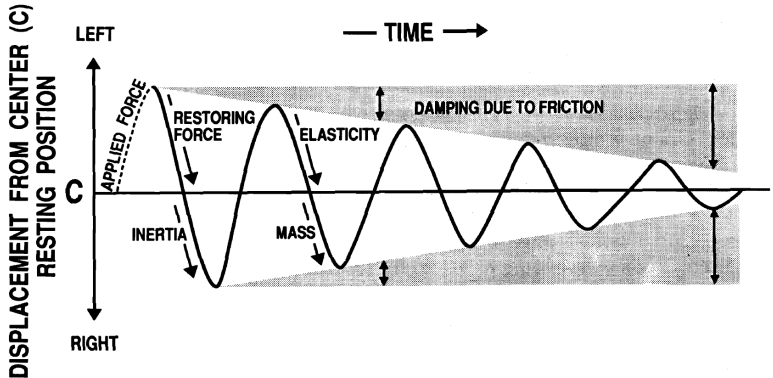
Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse



Zeitlicher Verlauf einer Schwingung :

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- 1 Durch eine angelegte Kraft (applied force) wird es aus seiner Ruhelage herausbewegt.
- 2 Rückstellkräfte (= Elastizität; restoring force, elasticity) ziehen es wieder Richtung Ruhelage zurück.
- 3 Auf Grund seiner Masse (mass) wirken Trägheitskräfte (inertia) auf das Teilchen.
- 4 Daher bewegt es sich über seine Ruhelage hinaus solange weiter, bis die Rückstellkräfte die Trägheit überwiegen.
- 5 Im zeitlichen Verlauf sorgen Reibungskräfte (friction) für eine Dämpfung der Schwingung, also einer Abnahme der Amplitude.

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ Durch Messen von Schall an einer **fixen** Stelle im Raum (z.B. durch ein Mikrofon) erhält man ein **Zeitsignal**: einen sich in diesem Raumpunkt über die Zeit ändernden **Schalldruck**.
- ▶ Wir erhalten also einen Schalldruckverlauf in Abhängigkeit der Zeit.
- ▶ Dieser Schalldruck entspricht der **zeitveränderlichen Amplitude einer Schwingung**.
- ▶ Die Anzahl der Schwingungsdurchgänge pro Sekunde ist die **Frequenz** in $\text{Hz} = 1/\text{s}$.

Sinusoidalschwingung

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ Grundbaustein akustischer Signale
- ▶ Sinus- oder Cosinusschwingung aus denen sich komplexere Schwingungen zusammensetzen.
- ▶ darstellbar über den Einheitskreis: Ein Punkt bewegt sich auf einer Kreisbahn. Die Höhe über der horizontalen Mittellinie wird gemessen, und als Funktion der Zeit abgebildet.
- ▶ Die **Frequenz** in Hz quantifiziert, wie oft der Punkt pro Sekunde die Kreisbahn umläuft.

Sinusoidschwingung

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

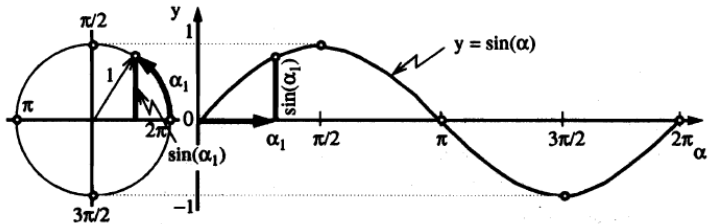
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektr

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

aus Pompino-Marschall, 1995, Abb. 42



Allgemein:

$$\sin(\alpha) = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypothenuse}}$$

Hier:

$$\text{Hypothenuse} = 1$$

Also:

$$\rightarrow \sin(\alpha) = \text{Gegenkathete}$$

Zeitsignal eines Sinusoiden

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Zeitsignal: $y(t)$ zum Zeitpunkt t :

$$y(t) = A \times \sin(2\pi ft + \varphi)$$

A : Maximalamplitude (Radius des Kreises)

π konstante Kreiszahl π (3.1416)

f Frequenz

t Zeit

φ Phase

Video: Simple Harmonic Motion

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

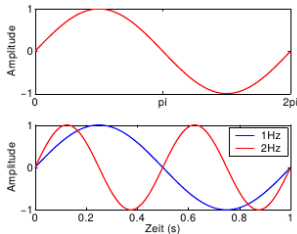
Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse



- $y(t) = A \times \sin(2\pi f t + \varphi)$
- Ein Umlaufen des Kreises von 0 bis 2π entspricht einer Periode.
- Die Frequenz gibt f an, wie oft der Einheitskreis in einer Sekunde umlaufen wird, "wieviele Perioden also in eine Sekunde passen."

Frequenz - Hz

Bei einer Frequenz von **1 Hz** ist das **1x** der Fall

Bei einer Frequenz von **2 Hz** ist das **2x** der Fall

Winkelgeschwindigkeit.

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi f$

$$y(t) = A \times \sin(2\pi f t + \varphi)$$

- ▶ $2\pi f$ wird auch als Winkelgeschwindigkeit ω bezeichnet.
- ▶ Sie gibt an, wie oft pro Sekunde die Kreisbahn umlaufen wird. Multipliziert mit der Zeit ergibt sich die jeweils zugehörige Position auf der Kreisbahn.

Phase.

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Phase φ

$$y(t) = A \times \sin(2\pi ft + \varphi)$$

- ▶ Sinus- und Cosinus-Schwingung sind gegeneinander um $\pi/2$ (90°) phasenverschoben.
- ▶ Eine Cosinusschwingung weist zum Zeitpunkt 0 einen **Schwingungsbauch (Extremwert)** auf.
- ▶ Bei einer Sinusschwingung befindet sich beim Zeitpunkt 0 ein **Schwingungsknoten (Nulldurchgang)**, vorausgesetzt $\varphi = 0$.

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

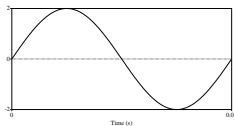
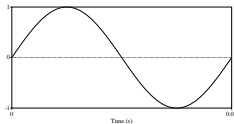
Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Amplitude A

$$y(t) = A \times \sin(2\pi ft + \varphi)$$

- ▶ lokale Schwankung des Luftdrucks, i.e. der Amplitude des Zeitsignals



Amplitude und Schalldruck

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Definition

lokale Schwankung des Luftdrucks, i.e. der Amplitude des Zeitsignals

Einheit

$$\text{Pascal}(Pa) = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

Der Schalldruck ist gegenüber dem atmosphärischen Luftdruck (10^5 Pa) sehr gering:

Hörschwelle:

$$10^{-5} Pa$$

Schmerzgrenze

$$10^1 Pa$$

Schalldruck cont

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spekttralbereich:
Fourier-Analyse

Die Spanne zwischen Hörschwelle und Schmerzgrenze ist sehr groß. Daher wird zur Angabe des Schalldrucks i.d.R. statt der linearen Pascal-Skala die "gestauchte" logarithmische **Dezibel-Skala (dB)** verwendet. Man spricht nun vom **Schalldruckpegel L** . Hierbei wird der Schalldruck P stets im Verhältnis zu einem festgelegten Referenzschalldruck P_0 angegeben:

Schalldruckpegel L

$$L[\text{dB}] = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

Referenzschalldruck

$$P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

(psychoakustisch definiert, knapp unterhalb der Hörschwelle bei 1000 Hz)

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Allgemeiner - eine Verhältnisskala

$$20 \log \frac{P_1}{P_2} [dB]$$

- ▶ +20 dB entspricht einer Verzehnfachung des Schalldrucks
- ▶ +6 dB entspricht in etwa einer Verdopplung, -6dB einer Halbierung

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ Geschwindigkeit der schwingenden Teilchen. maximal an Schwingungsknoten, gleich 0 an Schwingungsbäuchen (dort Richtungswechsel).
- ▶ Der Schallschnelleverlauf ist also gegenüber dem Schalldruckverlauf um $\pi/2$ (90°) phasenverschoben.
- ▶ **nicht gleichzusetzen mit der Schallgeschwindigkeit**, also der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schwingung in Form einer Longitudinalwelle!

Schalldruck versus Schallschnelle

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

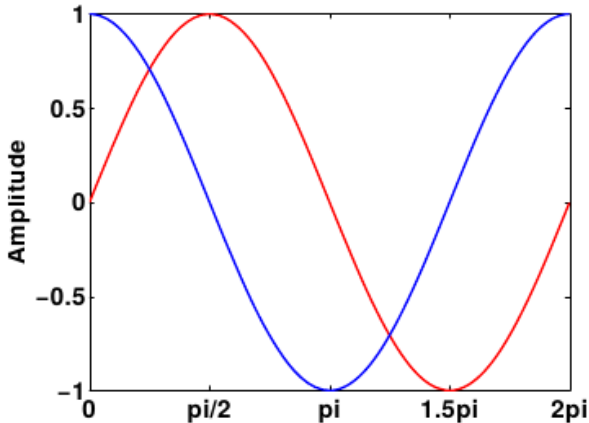
Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse



Schalldruck- (rot) und Schallschnelleverlauf
(blau) einer periodischen Schwingung

Töne, Klänge, Geräusche

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Reine Töne

einzelne Sinusoidalschwingungen

Klänge

aus Sinusoidalschwingungen zusammengesetzte Schwingungen.
Die tiefste Schwingung wird als **Grundton** bezeichnet und ihre
Frequenz als **Grundfrequenz (f_0)**.

Der Grundton muss nicht notwendigerweise im Signal enthalten sein. Allgemeiner formuliert ist die Grundfrequenz der größte gemeinsame Teiler der im Klang enthaltenen Frequenzen.

Geräusche

Geräusche: zusammengesetzte Schwingung, deren
Sinusoidalkomponenten unendlich nah beieinander liegen.

Obertöne / Harmonische

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Klänge beinhalten Teiltöne, mit ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz. Diese bezeichnet man als **Obertöne oder Harmonische**).

Sprachlaute - Töne, Klänge, Geräusche

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ Klänge - Vokale
- ▶ Geräusche (“Kräche”) - stimmlose Konsonanten
- ▶ Klang u. Geräusche - stimmhafte Konsonanten

Periodizität

periodische Schwingung:

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ Zeitintervall eines Schwingungsdurchgangs
(=**Periodendauer** T) ist konstant.
- ▶ Reine Töne und Klänge im engeren Sinn sind periodische
Signale
- ▶ Zusammenhang zwischen Harmonizität der Obertöne und
Periodizität des Zeitsignals
- ▶ Bezug zur Lautsprache: Vokale und stimmhafte Konsonanten
weisen eine annähernde Periodizität auf. Ihre Signale sind
quasi-periodisch.
- ▶ Dies ist auf das quasi-periodische Schwingungsverhalten der
Stimm Lippen zurückzuführen

Periodizität cont

periodische Schwingung:

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ Die Grundfrequenz eines Signals ist gleich der Frequenz der Stimmlippenschwingung (also der Anzahl der Stimmlippenschwingungen pro Sekunde).
- ▶ Anmerkung: die Schwingung der Stimmlippen ist **nicht** unmittelbar für die akustische Schwingung verantwortlich (vgl. Stimmgabel),
- ▶ sondern: die **durch den glottalen Verschluss bewirkte impulsartige Störung** des Luftdrucks.

Periodizität cont

stimmhafte Anregung

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

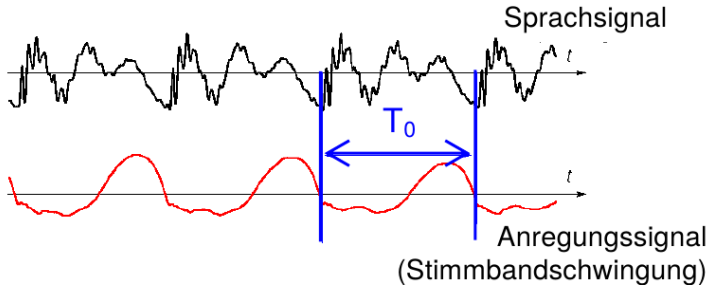
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektrn

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Das Schließen der Stimmlippen (senkrechte blaue Linien) evoziert die **Führungsamplitude** und markiert den Beginn eines Schwingungszyklusses (einer Periode).



Bestimmung der Periodizität

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

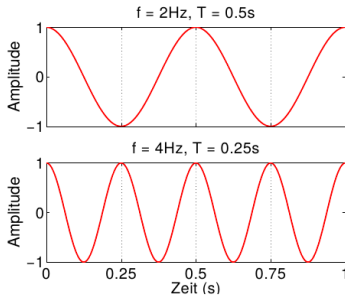
Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse



Grundfrequenzbestimmung

In einem periodischen Zeitsignal lässt sich die Grundfrequenz anhand des Abstands zwischen zwei Führungsamplituden mittels der Gleichung $f = 1 / T$ berechnen (T steht für Periodendauer).

Zeitliche versus spektrale Darstellung

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Zeitsignal: Änderung des Schalldrucks über die Zeit in einem festen Raumpunkt

- ▶ unabhängige Variable: Zeit
- ▶ abhängige Variable: Amplitude (Schalldruck)

Spektrum: Schalldruck in einem festen Zeitfenster in Abhängigkeit der Frequenz.

Im Spektrum sind also Raum und Zeit repräsentiert.

- ▶ unabhängige Variable: Frequenz
- ▶ abhängige Variable: Amplitude

Zeitliche versus spektrale Darstellung

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Spektrogramm: zeitabhängiges Spektrum (z.B.
Sonagramm, Wasserfall-Diagramm)

- ▶ unabhängige Variable: Zeit
- ▶ abhängige Variablen: Frequenz **und** Amplitude

Zeitsignal und Spektrum

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

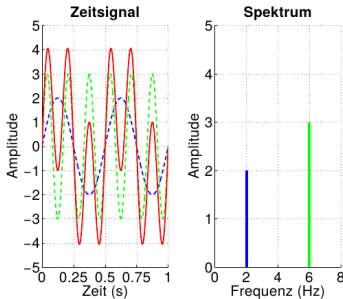
Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektrum

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse



- ▶ Zeitsignal und Spektrum einer komplexen Schwingung **(rot)**
- ▶ als Ergebnis der Addition von zwei Sinusoidschwingungen (**blau,grün**).
- ▶ Die Grundfrequenz ist gleich der Frequenz der tiefsten Komponente

Typen von Spektren

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Linienpektrum

für periodische Zeitsignale (z.B. Vokale) - je tiefer f_0 , desto enger liegen die Linien beieinander.

Kontinuierliche Spektren

für Impulse, z.B. Verschlusslösungen. Merkhilfe:

- ▶ Impuls einmalig
- ▶ → Periodendauer unendlich
- ▶ → $f_0=0$
- ▶ → Spektrallinien unendlich nah beieinander

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Mittlere kontinuierliche Spektren

für Rauschen (z.B. Frikative)

- ▶ frequenzabhängige Amplituden ändern sich statistisch über die Zeit
- ▶ nötig: Mittelung der Amplitudenwerte für die jeweiligen Frequenzen über einen größeren Zeitraum ($> 5 \text{ ms}$)
- ▶ weißes Rauschen: gleiche Amplituden über den kompletten Frequenzbereich

Typen von Spektren

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

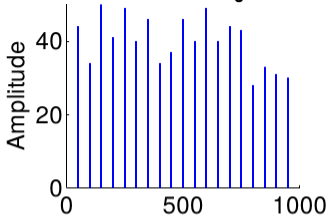
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

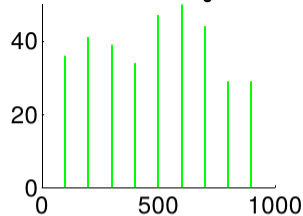
Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

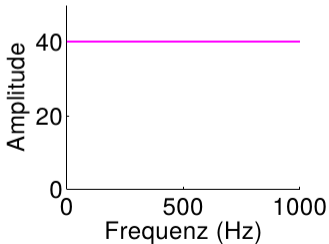
Linienpektrum, $F_0 = 50\text{Hz}$



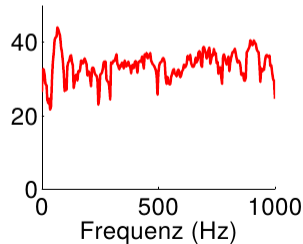
Linienpektrum, $F_0 = 100\text{Hz}$



Spektrum eines Impulses



kontinuierliches Spektrum



Vom Zeit- zum Spektralbereich: Fourier-Analyse

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Ergebnis der Fourieranalyse:

- ▶ Zerlegung eines beliebigen periodischen Signals in einem festen Zeitfenster in eine Summe von Sinusoidalschwingungen
- ▶ Ermittlung der Amplituden (und Phasen) der einzelnen Sinusoidalschwingungen
- ▶ → Ermittlung des Amplituden- (und Phasen)spektrums eines Zeitsignals.

Spektrogramm (Sonagramm)

Amplitude als Funktion von Frequenz und Zeit

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ x-Achse: Zeit
- ▶ y-Achse: Frequenz
- ▶ Schwärzungsgrad: Amplitude

Sonogramm/Spektrogramm

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

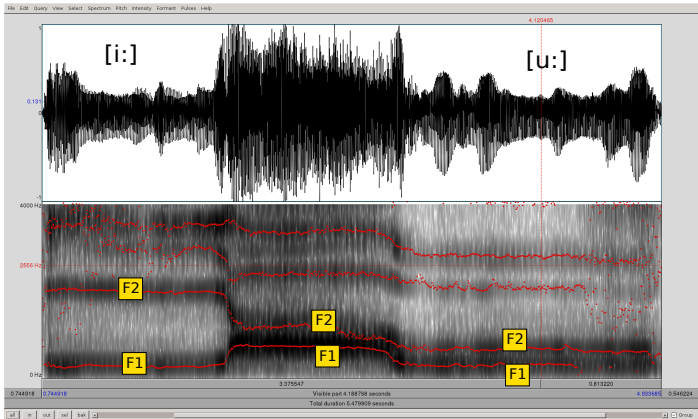
Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

[a:]



Frequenzbänder

Wsa passiert an welchen Frequenzen im Sprachschall?

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

125Hz	F0 die meisten männlichen Stimmen
250Hz	Wahrnehmungselemente für Stimmhaftigkeit F0 von Frauen und Kindern die niedrigen Harmonischen erwachsener Männerstimmen “Nasal Murmur” (=F1 von [m/n/ŋ]) F1 von hohen Hinter- und Vorderzungenvokalen
500Hz	Hinweisreize (engl. “Cues”) Artikulationsweise von Konsonanten Harmonische für die meisten Stimmen F1 der meisten Vokale F1 der Laterale /l/ und /r/
1000Hz	Hinweisreize Artikulationsweise von Konsonanten Harmonische der meisten Stimmen F2 von nasalen Konsonanten F2 von von hinteren und Zentralvokalen Burstinformation Plosive

Frequenzbänder

Was passiert an welchen Frequenzen im Sprachschall?

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

2000Hz	<p>primäre Artikulationsstellencues</p> <p>Zusätzliche Artikulationsstellencues</p> <p>Harmonische der meisten Stimmen</p> <p>F2 von Vorderzungenvokalen</p> <p>Noise “Bursts” der meisten Plosive und Affrikaten</p> <p>Rauschkomponenten der Frikative ʃ und f und english th</p>
4000Hz	<p>Sekundäre Artikulationsstellencues</p> <p>Obergrenze der Harmonischen für die meisten Stimmen</p> <p>F3 der meisten Vokale</p> <p>Noise bursts von Frikativen und Affrikaten</p> <p>Turbulenzen von stimmlosen und stimmhaften Frikativen</p>
8000Hz	<p>Turbulenzen aller Frikative und Affrikaten</p>

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

In welchen Dimensionen unterscheiden sich die folgende Aufnahmen

- ▶ radio feature (www.test.de)
- ▶ field research (SIN project, UP)
- ▶ laboraty speech (STIMOS project, UP)

Unterschiede

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Qualitätsunterschiede

- ▶ Gibt es Hintergrundrauschen
- ▶ signal to noise ratio (in dB)

Verschiedene Aufnahmesituationen

- ▶ Sprachlabor
- ▶ ein geschlossener Raum mit reflektierenden Wänden
- ▶ draussen

Ausrüstung und Aufnahmetechnik

- ▶ Mikrofonhardware
- ▶ Aufstellen des Mikrophons
- ▶ Vorhandensein einer Aufnahmekabine
- ▶ stereo versus mono

Grundausrüstung Audiolabor

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ Aufnahmekabine
- ▶ Mikrophone
- ▶ Mikrophonvorverstärker
- ▶ Datenerfassungskarten (Audio/DAQ)
- ▶ AD-Wandler

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

- ▶ An einem gegebenen Punkt im Raum der Abstand von der Schallquelle, an dem Primär- und Sekundärschall den gleichen Schalldruck erzeugen
- ▶ Wovon hängt der Hallradius ab? Beschaffenheit der Wände; Grösse des Raums ...
- ▶ Warum ist er wichtig? Auswahl des Mikrofontyps

Beispiele für Schallabsorption

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse



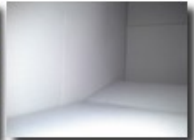
Anechoic-Chamber



IAC



Room-Harmonizer



Studiobox

- (a) Anechoic Chamber - Noise Rating
- (b) IAC Industrial Acoustics GmbH - Metallische Elemente
- (c) Room Harmonizer (Sommer Studioteknik GmbH) - Edelhölzer
- (d) Studiobox GmbH Karslsruhe - Komplett metallfreie Bauweise

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Vorteil

- ▶ Schallabsorption/weniger Sekundärschall - weniger indirekten Schall aufgrund von Beschaffenheit und Geometrie/Anordnung der Wände

Nachteile

- ▶ unnatürliche Situation
- ▶ Portabilität

Mikrophontypen

Omnidirektional

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

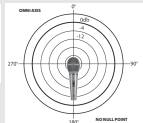
Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Omnidirektionales Mikrophon (figure from Owsinski(2009: 12))

There are three typical patterns commonly found in microphone design: omnidirectional, figure 8, cardioid, and hypercardioid.

Omnidirectional

An omnidirectional microphone picks up sound equally from all directions. The ideal omnidirectional response is shown equal pickup curves from all directions at all frequencies. (See Figure 1.5.)



- ▶ erfasst Schall aus allen Richtungen gleich stark
- ▶ Messprinzip: Schalldruck
- ▶ gut bei niedrigen Frequenzen
- ▶ am besten geeignet in Studioumgebungen
- ▶ sollte nahe der Schallquelle aufgestellt werden, ansonsten "Verdünnung" höherer Frequenzen

Mikrophontypen

Richtmikrophon

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

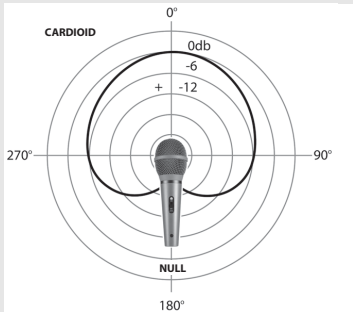
Typen von
Spektrern

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

Nierencharakteristik (engl "cardioid")

Cardioid

The cardioid microphone has strong pickup on the axis (in the front) of the microphone, but reduced pickup off-axis (to the side and to the back). This provides a more or less heart-shaped pattern, hence the name *cardioid*. (See Figure 1.7.)



- ▶ erfasst Schall auf der Hauptachse des Mikrophons
- ▶ Druckgradientenverfahren ("pressure-gradient microphone")
- ▶ Anwendung: in verrauschten Umgebungen mit niedrigem Hallradius (==starken Reflektionen)

Mikrophontypen

bidirektional

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

figure of eight (figure from Owsinski(2009: 13))

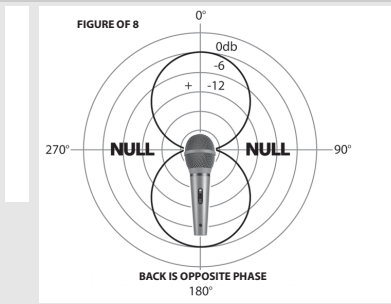


figure of eight

Figure of Eight

Figure of 8 (or *bidirectional* or *figure-8*) microphones pick up almost equally in the front and back, but nearly nothing on each side. It should be noted that the frequency response is usually a little better (as in brighter) on the front side of the microphone, although the level between front and rear will seem about the same.

Because the sensitivity on the sides is so low, figure-8s are often used when a high degree of rejection is required. (See Figure 1.6.)

Einsatz

- ▶ Schall wird von frontal vorne und hinten aufgenommen
- ▶ Druckgradientenverfahren
- ▶ Anwendung in der Sprachforschung: Dialog

Frequenzgänge der gängigen Mikrophontypen

Beispiel Firma Schöps

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

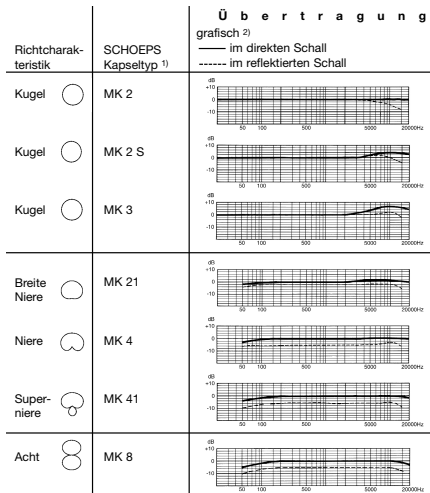
Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse



Sampling

Was man ueber Sampling wissen sollte ...

Christian Geng

43

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektralbereich:
Fourier-Analyse

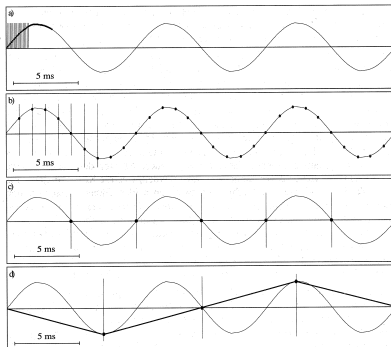


Abb. 20: Digitalisierung eines Signals im Zeitbereich. Bei einer hohen Abtastrate (senkrechte Linien in a) wird das Signal häufig gemessen und deswegen genau im Computer abgebildet (dargestellt durch die Punkte). Bei einer niedrigeren Abtastrate (b) werden zwar nicht mehr alle Details des Signals erfasst, aber der Verlauf des Signals kann durch das Verbinden der Messpunkte gut rekonstruiert werden. Sinkt die Abtastrate auf die Hälfte der Periodenfrequenz ab (c), dann wird im ungünstigsten Fall nur noch die Nulllinie aus den gemessenen Punkten rekonstruiert. Ist die Abtastrate noch niedriger (d), dann wird ein Scheinsignal aus den Abtastwerten rekonstruiert (dickerer Linienzug), das nie im Originalsignal vorhanden war.

“Nyquist-Shannon sampling theorem”

oft vereinfacht Nyquist-Theorem

Christian Geng

Schall und
Wellen

Schwingung

Zeitsignal

Schallarten

Periodische
Signale

Zeitliche versus
spektrale
Darstellung

Typen von
Spektren

Überführung
vom Zeit- in den
Spektラルbereich:
Fourier-Analyse

Merke:

- ▶ Um keinen Informationsverlust zu erleiden, muß ein Signal mindestens mit einer Samplerate abgetastet ist, welche zweimal so hoch ist wie die darin enthaltene Frequenz.
- ▶ Beispiel: Ein 100Hz Sinuston muss mit mindestens einer Abtastrate von 201 Hz aufgenommen werden.

Auswahl der Samplerate

- ▶ Die Auswahl der Sampling-Frequenz hängt von dem ab was man analysieren will
 - ▶ Vokalformanten gehen bis (maximal 7 kHz). Eine Samplerate von 16 kHz reicht aus.
 - ▶ Frikativspektren enthalten verwertbare Information in Frequenzen bis zu 10 kHz (manchmal mehr). Diese Signale sollte man dann mit mindestens 22 kHz abtasten.
 - ▶ Im Vergleich dazu enthalten physiologische Signale (Zungenbewegungen, Atmungszyklen ...) nur Information in sehr niedrigen Frequenzbereichen. Deswegen werden diese Signale mit sehr niedrigen Abtastraten aufgenommen (EMA25-1250 Hz, manchmal niedriger).
- ▶ Signale können immer “runtergesampled” werden (aber dann muss ein **Antialiasing-Filter eingesetzt werden**).