

## 2. Schallentstehung

Erstellt: 03/2005

© Hannes Raffaseder / FH St. Pölten / Telekommunikation und Medien

1/25

## **Schallentstehung**

Schallquellen können im Allgemeinen in bis zu drei Teilkomponenten zerlegt werden:

- Oszillator  
(z.B.: Saite, Membran, Luft, elektr. Schwingkreis)
- Anregung  
(z.B.: Zupfen, Anblasen, Anstreichen, Anschlagen,...)
- Resonanzkörper  
(z.B.: Korpus von Gitarre oder Klavier)

Audiotechnik, 2. Semester, SS 05

## **Schallentstehung**

Aufgaben des Resonanzkörpers

- Akustischer Verstärker
- Charakteristische Klangfärbung  
manche Frequenzen werden mehr,  
andere weniger verstärkt.

Formanten:

jene Frequenzbereiche,  
die vom Resonanzkörper hervorgehoben werden.

- Abstrahlverhalten

## Einteilung von Schallquellen

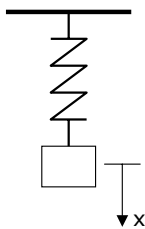
<b>Oszillator</b>			
<b>Art</b>	Mechanisch	Akustisch	elektr. Strom bzw. elektr. Spannung
<b>Körper</b>	Saite, Membran, Stab	Röhre	Elektr. Schwingkreis, digitale Technik
<b>Schallquelle bzw. Instrument</b>	<p><b>Idiophone</b> (Selbstklinger) Rassel, Becken etc.</p> <p><b>Chordophone</b> (Saitenklinger) Klavier, Cembalo, Gitarre etc.</p> <p><b>Membranophone</b> (Fellklinger) div. Trommeln etc.</p>	<p><b>Aerophone</b> (Luftklinger) Orgel, Harmonika, Flöte, Klarinette, Trompete, Posaune, etc.</p>	<p><b>Elektrophone</b> („Stromklinger“) Synthesizer, Sampler</p>

## Einfachste Schwingungssysteme

Voraussetzungen für Schwingungen:

- Anregung
- Elastizität
- Massenträgheit

Feder-Masse-System



Elastizität:  $F_E = -K \cdot x$  (Federgesetz)

Massenträgheit:  $F_M = m \cdot a$

(2. Gesetz von Newton)

## **Freie Schwingung**

Bei freien Schwingungen wird das Schwingungssystem

- einmal angeregt
- ohne weiterer Krafteinwirkung von außen sich selbst überlassen

Einfachste Schwingungssysteme:

- freie Schwingung = harmonische Schwingung

Eigenfrequenz (oder Resonanzfrequenz):

- Frequenz der freien Schwingung
- sie ist umso höher,  
je größer die Elastizität und je kleiner die Masse ist
- Art und Amplitude der Anregung spielen keine Rolle

## **Gedämpfte Schwingung**

Bei realen Schwingungssystemen tritt immer **REIBUNG** zu Elastizität und Massenträgheit hinzu.

- Reibung bewirkt eine **DÄMPFUNG** der Schwingung
  
- i.A. ist die Reibungskraft proportional zur Geschwindigkeit
  
- in diesen Fällen führt die Reibung zu einer:  
    exponentielle Abnahme der Amplitude
  
- Die Stärke der Dämpfung hängt ab von:  
    Masse, Material, geometrischer Form des Systems

## **Erzwungene Schwingung**

Eine dauerhafte **ANREGUNGSKRAFT** von außen tritt zu Elastizität, Massenträgheit und Reibung hinzu. (z.B durch Anstreichen, Anblasen, Reiben etc.)

Unabhängig vom genauen zeitlichen Verlauf der Anregungskraft  $F(t)$  gibt es immer **ZWEI PHASEN** der Schwingung

- Einschwingphase  
gekennzeichnet durch exponentiell abklingenden freien Schwingungen
  
- eingeschwungener Zustand  
gekennzeichnet vor allem durch die externe Anregungskraft



## **Erzwungene Schwingung – Resonanz**

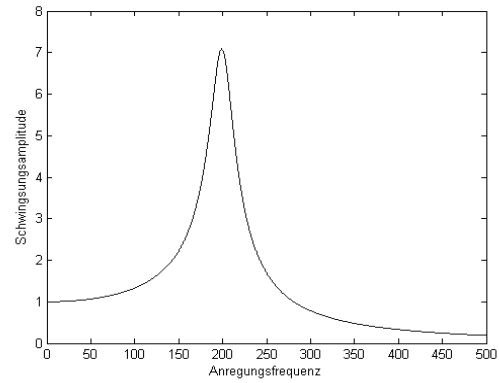
Im eingeschwungenen Zustand hängt die Amplitude der resultierenden Schwingung ab von:

- Amplitude der externen Anregungskraft
- Frequenz der externen Anregungskraft

Stimmt die Frequenz der externen Anregungskraft mit der Eigenfrequenz des einfachen Schwingungssystems überein, so wird von **RESONANZ** gesprochen.

- schon ein **geringer Kraftaufwand** von außen bewirkt im Resonanzfall eine **große Amplitude** der Schwingung.

## Erzwungene Schwingung – Resonanz

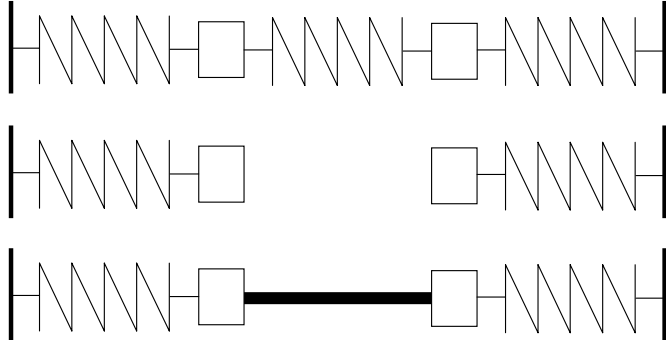


Einfaches Schwingungssystem

Resonanzfrequenz  $f_R = 200$  Hz

## Reale Schwingungssysteme

### KOPPLUNG von einfachsten Schwingungssystemen



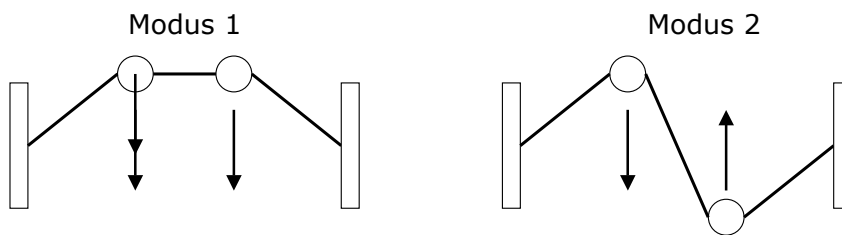
Im Gegensatz zu einfachsten Schwingungssystemen  
(z.B. Feder-Masse-System),  
weisen reale Schwingungssysteme  
immer **MEHRERE EIGENFREQUENZEN** auf.

## Reale Schwingungssysteme – Schwingungsmodus

Schwingungsmodus:

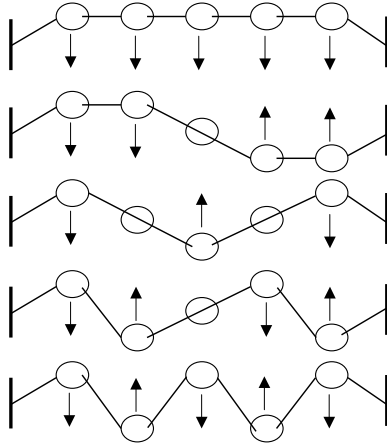
= eine mögliche Schwingungsform

Ein System mit zwei Eigenfrequenzen hat auch  
zwei Schwingungsmodi.



## Reale Schwingungssysteme – Schwingungsmodus

Ein System mit N Eigenfrequenzen hat auch  
N Schwingungsmodi.



Audiotechnik, 2. Semester, SS 05

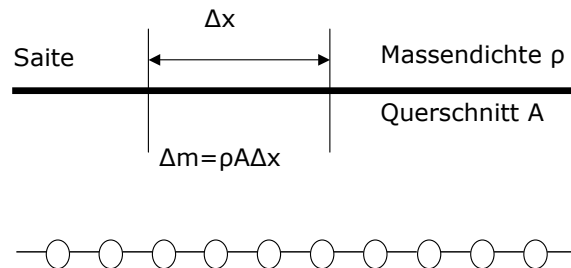
## **Reale Schwingungssysteme**

### **Anregung**

Durch die ANREGUNG (Anfangsbedingungen) wird festgelegt,  
welcher Schwingungsmodus  
wie stark  
zur resultierenden Schwingung beiträgt.

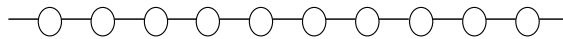
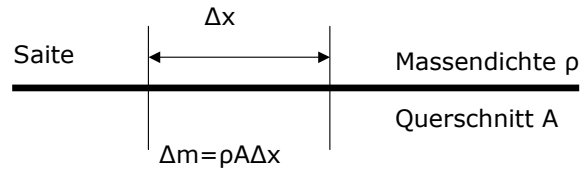
Bei unterschiedlicher Anregung kann ein und das selbe  
Schwingungssystem ganz unterschiedlich klingen!!!  
(vgl. Perkussionsinstrumente, gezupfte vs. gestrichene Saite etc.)

## Reale Schwingungssysteme Saite



Reale Schwingungssysteme haben im Allgemeinen unendlich viele Eigenfrequenzen.

## Reale Schwingungssysteme Saite



Reale Schwingungssysteme haben im Allgemeinen unendlich viele Eigenfrequenzen.

- Aus den Schwingungen werden WELLEN
- Aus dem Schwingungsmodus wird die WELLENFORM
- Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen auf einer Saite:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho A}}$$



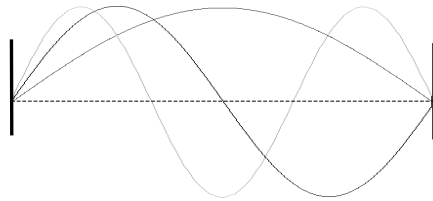
## Reale Schwingungssysteme Saite

**Ausbreitungsgeschwindigkeit** von Wellen auf einer Saite:

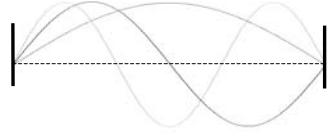
$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho A}}$$

v ... Ausbreitungsgeschwindigkeit  
T ... Saitenspannung  
 $\rho$  ... Massendichte  
A .. Querschnitt

**Wellenform:** wird bestimmt von den Randbedingungen



## Reale Schwingungssysteme Saite



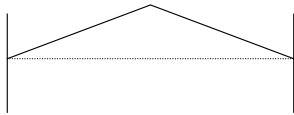
$$\lambda_0 = 2L \quad \text{größte mögliche Wellenlänge}$$

$$f_0 = \frac{1}{2L} v = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho A}} \quad \text{Grundfrequenz}$$

- je länger eine Saite, desto tiefer ist der Klang
- je größer die Masse der Saite, desto tiefer ist der Klang
- je stärker die Saitenspannung, desto höher ist der Klang

## Reale Schwingungssysteme Saite

Die ANREGUNG bestimmt,  
welche Wellenformen zur sich ausbreitenden Welle beitragen.



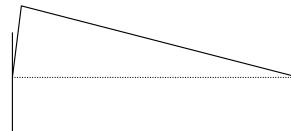
Anzupfen in der Mitte

→Dreieck

→Nur ungeradzahlige Vielfache der Grundwelle

→Abnahme der Amplituden mit  $1/n^2$

→Wenige Obertöne,  
eher dumpfer Klang



Anzupfen am Rand

→Sägezahn

→sämtliche Vielfache der Grundwelle

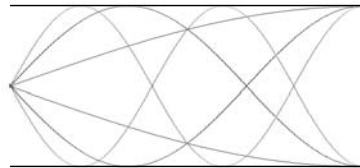
→Abnahme der Amplituden mit  $1/n$

→viele Obertöne,  
eher heller Klang

## Reale Schwingungssysteme RÖHREN

Die Ausbreitung von Schallwellen in RÖHREN ist mit Saiten vergleichbar.

Allerdings entspricht die **Ausbreitungsgeschwindigkeit** der **Schallgeschwindigkeit in Luft**.



Offenes Ende:

→Schalldruck ist minimal

Geschlossenens Ende:

→ Schalldruck ist maximal

## Mehrdimensionale Schwingungssysteme MEMBRANEN und RÄUME

EIGENFREQUENZEN müssen keine ganzzahligen Vielfachen einer Grundfrequenz sein.

- Die resultierenden Wellen sind nicht mehr periodisch.
- Die Schallsignale sind im Allgemeinen Geräusche.

Eigenfrequenzen  
einer Membran

$$f_{m,n} = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{m}{L} + \frac{n}{B}}$$

Eigenfrequenzen  
eines Raumes

$$f_{m,n,o} = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{m}{L} + \frac{n}{B} + \frac{o}{H}}$$

V ... Ausbreitungsgeschwindigkeit im [m/s]

L ... Länge in [m]

B ... Breite in [m]

H ... Höhe in [m]

## **Menschliche Sprache**

Oszillator:

→ Stimmbänder

Resonanzkörper:

→ Mund-Nasen-Rachenraum

Stimmhafte Laute:

→ Stimmbänder schwingen

→ näherungsweise periodisches Schwingung der Stimmbänder

→ Sprachgrundfrequenz

ca. 100 – 150 Hz bei Männern

ca. 200 – 300 Hz bei Frauen

Stimmlose Anregung:

→ Stimmbänder schwingen nicht

→ Diverse Hindernisse bewirken Turbulenzen im Luftstrom

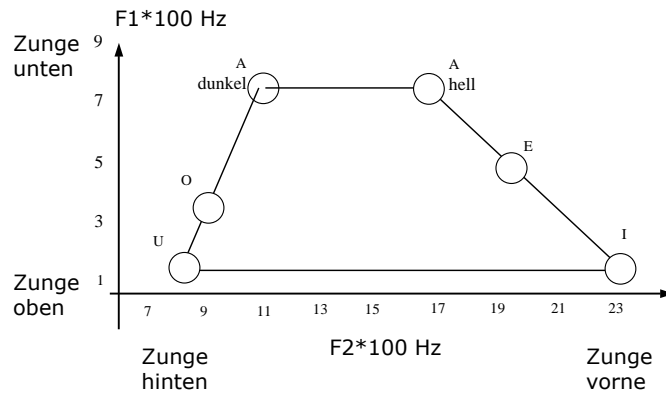
→ rauschförmiges Signal

## **Menschliche Sprache**

- Mund-Nasen-Rachenraum als Resonanzkörper
- manche Frequenzbereiche werden mehr, andere weniger verstärkt
- charakteristische Formanten
- Vgl. zylindrisches Rohr  
( $v=340$  m/s,  $L=17$  cm,  $f_1=500$  Hz,  $f_2 =1500$  Hz,  $f_3 =2500$ ,...)
  
- Veränderung der Resonanzeigenschaften  
(z.B. durch geänderte Zungenstellung)
  
- Änderung der Formanten bewirkt andere Klangfarbe des Signals
- Die menschlichen Vokale unterscheiden sich vor allem  
aufgrund der ersten beiden Formanten
- Darstellung im sog. Vokalviereck

## Menschliche Sprache

- Vokalviereck
- Zusammenhang zwischen Formantfrequenz und Zungenstellung





## Menschliche Sprache

### Sprach-Synthese

→ Quelle-Filter-Modell

