

Einführung in die Akustik: Lösungen I

1 Welche Kräfte wirken auf ein schwingendes Teilchen?

- von außen angelegte Kraft (z.B. Glottisimpulse)
- Rückstellkräfte (Elastizität, Feder)
- Trägheit (Masse)
- Reibungskräfte
- *Folien 1(4-5)*

2 Was ist der Unterschied zwischen einer Welle und einer Schwingung?

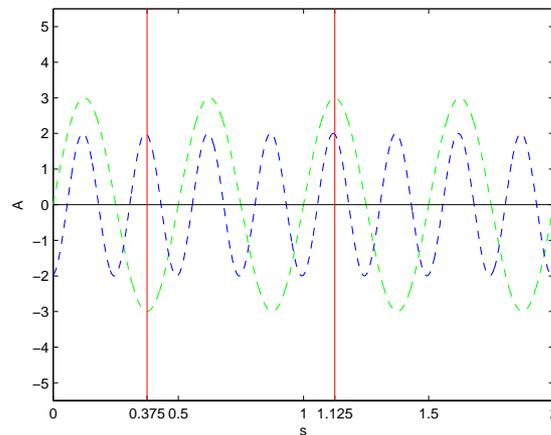
- **Schwingung:** wiederkehrendes Ereignis, lokale Schalldruckschwankung
- **Welle:** räumliche Ausbreitung einer Schwingung
- *Folien 1(2-5)*

3 Was ist der Unterschied zwischen Longitudinal- und Transversalwellen.

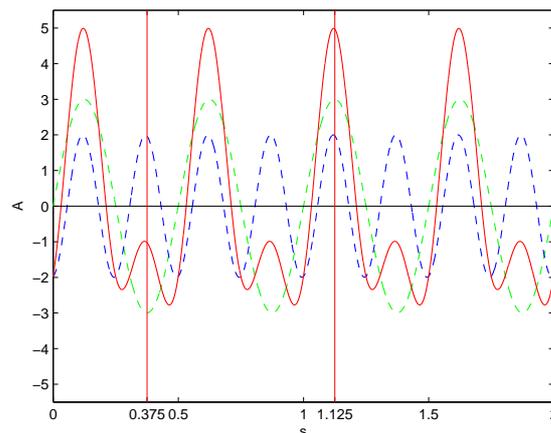
- **Longitudinalwelle:** Teilchen schwingen in Ausbreitungsrichtung (z.B. Schallwellen)
- **Transversalwelle:** Teilchen schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (z.B. Radiowellen)
- *Folien 1(2)*

4 Eine komplexe Schwingung ...

...setzt sich aus den folgenden beiden Teilschwingungen zusammen. Bestimme ihre Amplitudenwerte zu den Zeitpunkten 0.375 s und 1.125 s. Welche Frequenz haben Teilschwingungen und die komplexe Schwingung?



- Die Amplitudenwerte der zusammengesetzten Schwingung ergeben sich aus der Summe der entsprechenden Werte der Teilschwingungen (**Fourier-Synthese**). In unserem Fall also: $A(0.375) = 2 - 3 = -1$ und $A(1.125) = 2 + 3 = 5$.
- Die Frequenzen der Teilschwingungen betragen 2 und 4 Hz.
- Die Grundfrequenz der komplexen Schwingung entspricht der Frequenz der tiefsten Teilschwingung, ist also gleich 2 Hz.
- *Folien 1(21)*



5 In welchen Einheiten lässt sich Schalldruck bzw. Schalldruckpegel angeben?

- Pascal Pa (linear) und Dezibel dB (logarithmisch)
- *Folien 1(11-13)*

6 Warum wird hierfür eine logarithmische Skala bevorzugt.

- zur Abdeckung der großen Spannweite zwischen Hörschwelle (10^{-5} Pa) und Schmerzgrenze (10 Pa)
- *Folien 1(11)*

7 Um wieviel dB ist ein Schalldruck von 1 Pa höher als ein Schalldruck von 0.1 Pa?

$$\begin{aligned}x &= 20 \log \frac{1}{0.1} \\ &= 20 \log 10 \\ &= 20\end{aligned}$$

- $a = b^x \longleftrightarrow x = \log_b a$
- *Folien 1(12-13)*

8 Welchem Faktor entspricht eine Schalldruckzunahme um 32 dB?

- +20 dB entspricht Faktor 10
- +6 dB entspricht Faktor 2
- $32 = 20 + 6 + 6$, entspricht also dem Faktor $10 \cdot 2 \cdot 2 = 40$
- *Folien 1(13)*

9 Was ist der Unterschied zwischen Schallgeschwindigkeit und Schallschnelle?

- **Schallschnelle:** Geschwindigkeit der schwingenden Teilchen
- **Schallgeschwindigkeit:** Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle, also des Zustandes, dass Teilchen schwingen.
- *Folien 1(14)*

10 Welche Arten von Schall lassen sich unterscheiden?

- Reine Töne
- Klänge
- Geräusche
- *Folien 1(16)*

11 Was sind Obertöne bzw. Harmonische?

- Schwingungen in einem Klang, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache zur Frequenz des Grundtons sind
- *Folien 1(16)*

12 Was versteht man unter Periodizität?

- Wiederkehr eines Ereignisses in konstanten Zeitintervallen
- Ereignis in unserem Fall z.B.: **Glottisverschluss**
- *Folien 1(17)*

13 Wodurch kommt Periodizität im Sprachsignal zustande?

- durch quasi-periodischen Verschluss der Stimmlippen, der eine impulsartige Störung des Luftdrucks bewirkt
- *Folien 1(17-18)*

14 Was ist der Unterschied zwischen einem Zeitsignal und einem Spektrum?

- **Zeitsignal:** Amplitude als Funktion der Zeit
- **Spektrum:** Amplituden (oder Phasen) als Funktion der Frequenz zu einem festen Zeitpunkt.
- außerdem **Spektrogramm:** Aneinanderreihung einer zeitlich benachbarter Spektren (z.B. Sonagramm). Amplituden als Funktion von Zeit und Frequenz.
- *Folien 1(20-21)*

15 Welche Typen von Spektren gibt es?

- Linienspektren
- kontinuierliche Spektren
- mittlere kontinuierliche Spektren
- *Folien 1(22-23)*

16 Was leistet die Fourieranalyse?

- Sie liefert eine Fourierreihe, d.h. sie zerlegt eine zusammengesetzte Schwingung in die darin enthaltenen Sinoidalschwingungen und gibt deren Amplituden und (indirekt) deren Phasen an.
- *Folien 1(24-36)*

$$y(t) = b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \sin(2\pi f_0 n t) + b_n \cos(2\pi f_0 n t))$$

17 Was bezeichnen die Fourierkoeffizienten?

- a_n bezeichnet die Amplitude des Sinusanteils der n -ten Sinoidalschwingung in einer zusammengesetzten Schwingung
- b_n bezeichnet die Amplitude ihres Kosinusanteils.
- der Index n steht für das n -te Vielfache der Grundfrequenz der zusammengesetzten Schwingung (Grundton: $n = 1$, Obertöne: $n > 1$).
- (b_0 bezeichnet die Verschiebung der Schwingung als Ganzes auf der Amplituden-Achse)
- *Folien 1(34-35)*

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y(\omega t) \cdot \sin(n\omega t) dt$$
$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y(\omega t) \cdot \cos(n\omega t) dt$$

18 Welche Sinoidalschwingungen prägen die Form der komplexen Schwingung, in der sie enthalten sind, besonders?

- je höher die Amplitude einer Sinoidalschwingung, desto stärker prägt sie das Aussehen der komplexen Schwingung, desto **ähnlicher** ist sie ihr
- Ähnlichkeit lässt sich als **Korrelation** berechnen
- Die Korrelation wird mittels des **Skalarprodukts** berechnet
- dadurch, dass die Werte, die aufsummiert werden, zeitlich infinitesimal nah zusammenliegen, wird aus der Summe des Skalarprodukts ein Integral
- *Folien 1(24-27)*

19 Wann kann es zu Nullkorrelationen zwischen einer komplexen Schwingung und einer Sinoidalschwingung kommen?

- Wenn die Sinoidalschwingung nicht in der zusammengesetzten Schwingung enthalten ist (vgl. **Orthogonalitätsprinzip**).
- Bei bestimmten Frequenz- und Phasenverhältnissen auch wenn die Sinoidalschwingung enthalten ist.
- —→ Um im zweiten Fall nicht fehlerhafterweise zu schlussfolgern, dass die Sinoidalschwingung nicht enthalten ist, zerlegt man sie in ihren Sinus- und Kosinusanteil, da auf Grund ihrer Phasenverschiebung gegenüber einander mindestens einer der beiden mit der komplexen Schwingung korreliert ist.
- *Folien 1(27-30, 33)*

20 Wie ergeben sich Amplitude und Phase einer Sinoidalschwingung aus ihrem Sinus- und Cosinusanteil?

- über **Pythagoras**: $A = \sqrt{a^2 + b^2}$, wo a gleich der Amplitude des Sinus-, b gleich der Amplitude des Kosinusanteils und A gleich der Amplitude der Sinoidalschwingung.
- Im Gegensatz dazu werden Amplituden der Sinoidalschwingungen zur Amplitude der zusammengesetzten Schwingung **addiert**.
- die **Phase** lässt sich als eine Art **gewichtetes Mittel** der Phasen von Sinus- und Cosinusanteil verstehen, d.h. wenn die Amplitude des

Sinusanteils größer ist als die des Cosinusanteils, verschiebt sich die Phase Richtung Sinus, u.u.

- genauer betrachtet ist die Phase der zum Amplitudenverhältnis von Sinus und Cosinus gehörige Winkel: $\arctan(\frac{A_u}{A_g})$. $\frac{A_u}{A_g}$ entspricht dem Verhältnis von Gegenkathete (A_u) zu Ankathete (A_g), ist also der **Tan-gens**. Die Umkehrfunktion \arctan liefert den zum Tangens gehörigen Winkel, und der ist die Phase der Sinoidalschwingung.
- *Folien 1(31-32)*