

# Grundbegriffe: Schwingungen und Wellen

## Schwingungen

### 1.) *Schwingung*

- Eine **Schwingung** ist eine periodische Hin- und Herbewegungen eines Körpers (**Oszillator**) um eine Ruhelage.
- Allgemeiner: Eine Schwingung ist ein physikalischer Vorgang, der durch die **zeitlich periodische Änderung** einer physikalischen Größe beschrieben wird. Periodisch: Die Bewegungszustände wiederholen sich.

### 2.) *Grundgrößen einer Schwingung*

- **Periode**...volle Schwingung (vollständige Hin- und Herbewegung)
- **Periodendauer** (Schwingungsdauer) **T** Einheit: 1s  
Die **Periodendauer** gibt an, welche Zeit ein schwingender Körper für eine Periode benötigt.

$$T = \frac{t}{n} \quad t \dots \text{Zeit für } n \text{ Schwingungen}$$

- **Frequenz** (Schwingungszahl) **f** Einheit: 1Hz (Heinrich Hertz)  
Die **Frequenz** gibt an, wie viele Perioden ein schwingender Körper in einer Sekunde vollführt.

$$f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T} \quad t \dots \text{Zeit für } n \text{ Schwingungen} \quad 1\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}} \quad \text{weitere Einheiten: 1kHz, 1MHz, 1GHz}$$

- **Elongation** (Momentane Auslenkung) **y** Einheit: 1m  
Die **Elongation** ist der jeweilige Abstand des Körpers von seiner Gleichgewichtslage. Sie ändert sich periodisch.
- **Amplitude** (Schwingungsweite) **y<sub>max</sub>** Einheit: 1m  
Die **Amplitude** gibt den größten Abstand des schwingenden Körpers von seiner Gleichgewichtslage an.
- Der Winkel  $\varphi$ , den der **Radiusvektor r** (Zeiger r) zu einem bestimmten Zeitpunkt mit der positiven Abszissenachse einschließt, heißt **Phasenwinkel** oder **Phase** der Schwingung. Die Phase kennzeichnet den augenblicklichen Schwingungszustand. Der Phasenwinkel wächst mit zunehmender Zeit (nimmt nie ab).
- Die **Winkelgeschwindigkeit**  $\omega$  ist der Quotient aus dem vom Radiusvektor r überstrichenen Winkel  $\Delta\varphi$  und der dabei

$$\text{verstrichenen Zeit } \Delta t. \quad \omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad \text{Einheit: } \frac{1}{\text{s}} \quad (\varphi \dots \text{in Bogenmaß})$$

### 3.) *Harmonische Schwingung*

- Eine Schwingung, die mit der Projektion einer gleichförmigen Kreisbewegung übereinstimmt, heißt harmonische Schwingung.
- **Schwingungsgleichung**:  $y = y_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$

Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$  heißt **Kreisfrequenz** der harmonischen Schwingung.

**Maximale Geschwindigkeit** eines harmonischen Pendels:  $v_{\max} = y_{\max} \cdot \omega$

**Schwingungsenergie** eines harmonischen Pendels:  $E = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 y_{\max}^2$

- Periodendauer eines **Federpendels**:  $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$  m...Masse des Pendelkörpers; D...Federkonstante
- Periodendauer eines **Fadenpendels**:  $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$  l...Fadenlänge; g...Fallbeschleunigung

### 4.) *gedämpfte* $\leftrightarrow$ *ungedämpfte Schwingungen*

- Eine Schwingung mit konstanter Amplitude heißt **ungedämpft**.
- Nimmt die Amplitude mit der Zeit ab, so heißt die Schwingung **gedämpft**.

### 5.) *Resonanz*

- Stößt ein Erreger einen Oszillator periodisch an, so führt der Oszillator **erzwungene Schwingungen** in der Frequenz des Erregers durch. Wenn Eigenfrequenz (Frequenz des Oszillators) und Erregerfrequenz übereinstimmen ( $f_0 = f_E$ ), kommt es zur **Resonanz**. Die Amplituden der Schwingung werden sehr groß.

# Wellen

## 1.) Welle

- Eine **mechanische Welle** ist die Ausbreitung einer mechanischen Schwingung im Raum, bei der Energie übertragen, jedoch kein Stoff transportiert wird.
- Eine Welle, bei der die Oszillatoren senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingen, heißt **Transversalwelle**. (Wasserwelle, Seilwelle)
- Eine Welle, bei der die Oszillatoren in Ausbreitungsrichtung schwingen, heißt **Longitudinalwelle**. (Schallwelle, Federwelle)

## 2.) Grundgrößen einer Welle

- **Frequenz, Periodendauer, Amplitude**
- Die **Wellenlänge**  $\lambda$  ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenbergen. (Die Wellenlänge ist der Abstand zweier benachbarter Oszillatoren, die in Phase schwingen.)
- **Wellengleichung** einer harmonischen Welle:  $y = y_{\max} \cdot \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$
- **Ausbreitungsgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit)** einer Welle:  $c = \lambda \cdot f$
- Benachbarte Punkte einer Welle, die in Phase schwingen, bilden eine **Wellenfront**.
- **Wellenberge und Wellentäler** bewegen sich in eine Richtung. Die Richtung der Bewegung heißt **Ausbreitungsrichtung** der Welle. Die Ausbreitungsrichtung wird durch die **Wellennormalen** (Senkrechte zur Wellenfront) angezeigt. Mechanische Wellen breiten sich in ein und demselben Stoff **geradlinig** aus.

## 3.) Huygensches Prinzip

- Jeder Punkt einer Welle lässt sich als Ausgangspunkt einer **Elementarwelle** betrachten. **Wellenfronten** entstehen durch die Überlagerung vieler Elementarwellen und lassen sich als deren **Einhüllende** konstruieren. Die Elementarwellen haben immer die **gleiche Frequenz** wie die Welle, aus der sie entstanden sind, oder die sie erzeugen.
- **Beugung** ist das Eindringen einer Welle in den Schattenraum eines Körpers (Spalt).
- **Reflexion** ist das Zurückwerfen einer Welle, wenn sie auf die Grenzfläche eines Körpers trifft. Es gilt das **Reflexionsgesetz**: Einfallswinkel, Reflexionswinkel und Lot liegen in einer Ebene. Einfallswinkel und Reflexionswinkel sind gleich groß.

- **Brechung** ist die Richtungsänderung einer Welle, wenn sie durch die Grenzschicht zweier verschiedener Medien geht. (Ausbreitungsgeschwindigkeit und Ausbreitungsrichtung ändern sich.) Es gilt das **Brechungsgesetz**: Einfallswinkel  $\alpha$ ,

Ausfallswinkel  $\beta$  (Brechungswinkel) und Lot liegen in einer Ebene. 
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

- **Interferenz** ist die ungestörte Überlagerung zweier Wellen. Während der Überlagerung addieren sich die Elongationen in jedem Raumpunkt. Nach der Überlagerung laufen sie ungestört weiter.

Zwei Wellen mit gleicher Frequenz und Wellenlänge heißen **kohärent**. Bis zum Punkt der Überlagerung haben zwei kohärente Wellen i.A. verschiedene Wege zurückgelegt. Der Wegunterschied heißt **Gangunterschied**  $\Delta s$ . Aus dem

Gangunterschied resultiert eine **Phasendifferenz**  $\Delta \varphi = 2\pi \frac{\Delta s}{\lambda}$ .

**Konstruktive Interferenz** (Maximale Verstärkung) tritt auf bei den Gangunterschieden  $\Delta s = k \cdot \lambda$  bzw. bei den Phasendifferenzen  $\Delta \varphi = k \cdot 2\pi$ . ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) (Wellenberg und Wellenberg bzw. Wellental und Wellental treffen aufeinander.) **Destruktive Interferenz** (Maximale Abschwächung) tritt auf bei den Gangunterschieden

$\Delta s = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$  bzw. bei den Phasendifferenzen  $\Delta \varphi = (2k + 1) \cdot \pi$ . ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) (Wellenberg und

Wellental treffen aufeinander.)

## 4.) Stehende Welle

- Eine stehende Welle ist ein ortsfestes räumliches Schwingungsmuster, das durch die Überlagerung zweier gegeneinander laufender Wellen gleicher Amplitude und gleicher Frequenz entsteht. Die Energie der Wellen ist in den Schwingungsbäuchen gespeichert. Es findet weder Energie- noch Stofftransport statt. Eine stehende Welle ist eine diskrete Erscheinung. Die möglichen Eigenfrequenzen (Grundschiwingung, 1. Oberschwingung, 2. Oberschwingung, ...) sind stets ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz. Der Abstand zweier benachbarter Schwingungsbäuche (ebenso wie der Abstand zweier benachbarter Schwingungsknoten) beträgt immer  $\frac{\lambda}{2}$ .

- **2 feste Enden** (Einspannung eines Seils auf beiden Seiten)

Grundfrequenz:  $f_0 = \frac{c}{2l}$       Eigenfrequenzen:  $f_n = (n + 1) \frac{c}{2l}$       Wellenlängen:  $\lambda_n = \frac{2l}{n + 1}$

( $n = 0, 1, 2, \dots$ ;  $l$ ...Länge des Wellenträgers)

- **1 loses Ende** (Einspannung eines Seils auf einer Seite)

Grundfrequenz:  $f_0 = \frac{c}{4l}$       Eigenfrequenzen:  $f_n = (2n + 1) \frac{c}{4l}$       Wellenlängen:  $\lambda_n = \frac{4l}{2n + 1}$

( $n = 0, 1, 2, \dots$ ;  $l$ ...Länge des Wellenträgers)