

Fragen zu Wellen und Schwingungen

Verständnisfragen

1. Was unterscheidet eine Schwingung und eine Welle voneinander?
2. Zeichnen Sie eine beliebige Schwingung im A-t-Diagramm. Zeichnen Sie nun in dasselbe Diagramm dieselbe Schwingung jeweils um 90° in positive Zeitrichtung verschoben, mit doppelter Amplitude und mit doppelter Frequenz ein.
3. Nennen Sie jeweils drei Beispiele für longitudinale und transversale Wellen denen man im Alltag begegnet.
4. Ist Wechselstrom eine Schwingung oder eine Welle? Falls es eine Welle ist, ist sie longitudinal oder transversal? Beachten Sie dabei, dass es sich um Bewegungen von Elektronen im Leiter, nicht um Bewegungen des Elektromagnetischen Feldes handelt.
5. Was wird bei einer Welle transportiert?
6. Was haben Knoten und Bäuche mit Wellen zu tun?

Rechenaufgaben

1. Schwingungen belasten den menschlichen Körper. Sie lösen die bekannte Reisekrankheit aus und können bei langfristiger Einwirkung zu Veränderung des Knochen-, Muskel- und Nervensystems führen. Viele Menschen sind an ihrem Arbeitsplatz mechanischen Schwingungen ausgesetzt, etwa bei der Nutzung von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen aber auch bei der Nutzung handgeführter Werkzeuge. Durch Schwingungen ausgelöste Erkrankungen sind darum als Berufskrankheiten anerkannt.

Besonders belastet sind Lastwagenfahrer. Die Amplitude der Sitzschwingung betrage nun 0,88cm.

- a) Der Sitz des Lastwagenfahrers ist 2,32s nach Messungsstart um 0,664cm gegen die Gleichgewichtsposition ausgelenkt, nach 2,48s dagegen um -0,499cm. Bestimmen Sie die Schwingungsfrequenz.

Hinweis: Beachten Sie, dass die tatsächliche Frequenz ein Vielfaches der hier berechneten sein kann. Aus vorherigen Messungen wissen Sie, dass die Frequenz sich zwischen 4,5Hz und 5Hz bewegen sollte.

- b) Die von der EU vorgegebene maximale Schwingungsbeschleunigung entlang der Wirbelsäule bei Arbeitsbelastung beträgt $0,8 \frac{m}{s^2}$. Es gilt wieder, dass $v(t) = \frac{dx}{dt}$ und $a(t) = \frac{d^2x}{dt^2}$. Überschreitet der Lastwagenfahrer diesen Wert?
- c) Ein neuer luftgedämpfter Sitz in der Fahrerkabine dämpft die Schwingungsintensität um 42%. Wird der Grenzwert nun eingehalten?
- d) Bestimmen Sie, welche Schwingungsenergie ein Fahrer mit 82kg Gewicht gedämpft und ungedämpft hat.
2. Berechnen Sie zu folgenden Fällen jeweils die fehlenden Größen, so dass am Ende für jeden der Fälle die Größen der Frequenz f , Wellenlänge λ , Geschwindigkeit v , Kreisfrequenz ω und Kreiswellenzahl k (Anzahl der Schwingungen, die pro 2π ausgeführt werden, berechnet über $k = \frac{2\pi}{\lambda}$) vorliegen.
- a) Eine Wasserwelle hat eine Wellenlänge von 1,8cm und eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 1,8m/s.
- b) Eine Gitarrensaite schwingt mit einer Frequenz von 440Hz und hat eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 880m/s.
- c) Ein Zweitaktmotor läuft mit 3600 Umdrehungen pro Minute. Das ausgestoßene Gas hat eine Geschwindigkeit von 30m/s. (Gefragt ist hier nach den Wellen im Gas)
- d) Wechselstrom in Deutschland hat eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 300000km/s und eine Kreiswellenzahl von etwa $1,05 \cdot 10^{-6}$ 1/m.
- e) Röntgenstrahlung hat eine Kreiswellenzahl von 757010278 1/m.
3. Eine Gitarrensaite ist ein an beiden Enden befestigter Resonator. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen auf einer Gitarrensaite beträgt 880m/s. Beim Anschlagen findet man auf einer Gitarrensaite in einem speziellen Fall Wellen der Wellenlänge 0,52m, 0,312m und 0,195m die einander überlagern. Bestimmen Sie welchen Oberschwingungen diese Wellenlängen entsprechen, die Länge der Saite und die Schwingungsfrequenz der Grundschwingung.
4. Zur Sichtbarmachung innerer Organe und Strukturen wird in der Medizin häufig das Verfahren der Sonographie verwendet. Hierbei werden gepulste Ultraschallwellen durch den Körper geleitet und die Reflektionen ausgewertet. In diesem Fall möchten Sie die Gallenblase auf Gallensteine untersuchen. Hierzu wird eine maximale Schalleindringtiefe von 20cm gewählt. Über der Gallenblase liegen 2,5cm Fettgewebe ($K = 190,12 \cdot 10^7 \frac{kg}{ms^2}$,

$\rho = 0,97 \frac{g}{cm^3}$) und 12cm Muskelgewebe ($K = 255,70 \cdot 10^7 \frac{kg}{m \cdot s^2}$, $\rho = 1,04 \frac{g}{cm^3}$), die von den Schallwellen durchdrungen werden müssen. Die Galle selbst ins gefüllt mit Gallenflüssigkeit ($K = 235,50 \cdot 10^7 \frac{kg}{ms^2}$, $\rho = 0,993 \frac{g}{cm^3}$) und ggf. Gallensteinen ($E = 220,32 \cdot 10^8 \frac{kg}{ms^2}$, $\rho = 1,7 \frac{g}{cm^3}$). Das von Ihnen verwendete Gerät hat eine Frequenz von 3MHz und eine Intensität von $110 \frac{mW}{cm^2}$.

(Anmerkung: Das Elastizitätsmodul E bei Festkörpern entspricht der Steifigkeit K bei Gasen und Flüssigkeiten.)

- a) Bestimmen Sie die Schallgeschwindigkeit in jedem der genannten Medien.
 - b) Berechnen Sie den Schallintensitätspegel L_I des Geräts.
 - c) Wie bereits erwähnt werden bei der Sonographie gepulste Ultraschallwellen verwendet. Das bedeutet, dass das Gerät für einen kurzen Zeitraum Schallwellen aussendet und die nächste Wellenausendung erst erfolgt, wenn alle Echos des vorherigen Schalls wieder vom Gerät aufgenommen wurden. Ohne pathologischen Befund, d.h. wenn keine Gallensteine auftreten, wie lang müssen Sie maximal auf das Echo warten? Wie hoch darf damit Ihre Pulsfrequenz maximal sein?
 - d) Die Reflektion R der Schallwellen an einer Grenzfläche ist abhängig von dem Wellenwiderstand z der beiden Medien: $R = \left(\frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}\right)^2$. An einer Grenzschicht gilt für Transmission T und Reflektion $R_1 = T + R$. Der Schall durchläuft zwei reflektierende Grenzschichten bevor er die Gallenblase erreicht. Nur der transmittierte Schall läuft jeweils weiter. Es folgt daraus, dass $I_G = I(1 - R_1 - R_2)$. Welche Schallintensität kommt demnach noch in der Gallenblase an?
 - e) Ein Gallenstein reflektiert nun die Schallwelle. Welche Intensität hat die reflektierte Schallwelle, wenn sie vom Gerät detektiert wird? Wie kann die Reflektion von dem Gallenstein von der Reflektion des Fett- und Muskelgewebes oder der Gallenflüssigkeit unterschieden werden?
 - f) Luft hat eine Schallgeschwindigkeit von $v = 331 \frac{m}{s}$ und eine Dichte von $0,0012 \frac{g}{cm^3}$. Warum wird auf Ultraschallköpfe von der Benutzung immer ein dickflüssiges Gele aufgetragen?
5. Mit Hilfe des Doppler-Effekts kann auch das Strömen von Flüssigkeiten in der Sonographie sichtbar gemacht werden, denn das Echo der bewegten Zellen ist durch den Doppler-Effekt frequenzverschoben. Sie nutzen wieder das oben bezeichnete Ultraschallgerät mit einer Frequenz von 3MHz. Sie möchten den Fluss in einem Blutgefäß sehr nah unter der Haut sichtbar machen. Die Schallgeschwindigkeit in Blut beträgt 1570m/s.
- a) Bestimmen Sie zunächst die Formel für die Frequenzveränderung durch den Dopplereffekt. Der Ultraschallkopf ist hierbei ein ruhender Sender.

- b) Wie verändert sich die obige Formel, wenn die Schallaufrichtung nicht senkrecht zum Blutfluss steht? Bedenken Sie, dass in diesem Fall der Geschwindigkeitsvektor auf die Senkrechte zur Schallaufrichtung projiziert wird.
- c) Bei einer Messung mit senkrechtem Ultraschallkopf messen Sie eine Frequenzverschiebung von 1,2kHz. Wie schnell fließt das Blut.
- d) An einem Blutgefäß mit einer Flussgeschwindigkeit von 12cm/s messen Sie eine Frequenzverschiebung um 0,45kHz. In welchem Winkel liegt das Gefäß relativ zu ihrem Messapparat?