

## Übungsaufgaben zur Wellenlehre für IT 2

1. Eine ebene Schallwelle in Luft wird durch folgende Gleichung beschrieben:  
 $y = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \sin(1980 \text{ s}^{-1} t - 6 \text{ m}^{-1} x)$ .  
Berechnen Sie für diese Welle:
  - a) Frequenz  $f$ ,
  - b) Wellenlänge  $\lambda$ ,
  - c) Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$ ,
  - d) Geschwindigkeitsamplitude (Schnelleamplitude)  $\hat{v}$ ,
  - e) Wie groß ist die Energiestromdichte (Intensität) und der Schallpegel?
2. Geben Sie die Gleichung einer harmonischen Welle mit der Amplitude  $\hat{y} = 5 \text{ cm}$  und der Wellenlänge  $\lambda = 1 \text{ m}$  an, die sich in x-Richtung mit der Geschwindigkeit  $c = 30 \text{ m/s}$  ausbreitet. Am Ort  $x = 0$  sei zur Zeit  $t = 0$  die Auslenkung  $y = 0$  und die Schnelle positiv. Welche Frequenz  $f$  hat diese Wellenbewegung?
3. Wie groß ist die maximale Geschwindigkeit  $\hat{v}$  und die maximale Beschleunigung  $\hat{a}$  eines Moleküls in der Luft bei einer Ultraschallwelle? Die Frequenz der Welle ist  $f = 50 \text{ kHz}$ , die Amplitude der Partikelverschiebung ist  $\hat{y} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ .
4. Von vier Orchestertrompetern, die alle denselben Ton gleichzeitig und gleich laut blasen sollen, verschlafen drei den Einsatz. Um wie viel dB ist der Schallpegel des allein Gelassenen niedriger als beim Blasen zu viert?
5. Die Schallintensität eines Lautsprechers bei einem Rockkonzert beträgt bei der Frequenz  $f = 1 \text{ kHz}$  in einem Abstand von  $r_1 = 20 \text{ m}$  noch  $I_1 = 10^{-2} \text{ W/m}^2$ . Nehmen Sie an, dass der Lautsprecher die gesamte Energie gleichmäßig in die vordere Halbkugel abstrahle und dass keine Schallwellen am Boden oder anderswo reflektiert werden.
  - a) Wie hoch ist der Schalldruckpegel  $L_1$  in diesem Abstand?
  - b) Wie groß ist die gesamte Schalleistung  $P$  des Lautsprechers?
  - c) In welchem Abstand  $r_2$  vom Lautsprecher wird die Schmerzgrenze erreicht?
  - d) Wie hoch ist der Pegel  $L_3$  in  $r_3 = 30 \text{ m}$  Abstand?
6. Ein langer Eisenbahnzug auf gerader Strecke ist in guter Näherung eine lineare Schallquelle mit zylindrischen Wellenfronten, während die Lokomotive als punktförmige Schallquelle kugelförmige Wellenfronten ausbildet. Auf ebenem Gelände sind in  $r_1 = 500 \text{ m}$  Entfernung vom vorbeifahrenden Zug Pfiff und Fahrgeräusch gleich laut. Wie verhalten sich die Intensitäten von Pfiff und Zuggeräusch zueinander in  $r_2 = 1 \text{ km}$  Entfernung? Um wie viel unterscheiden sich die Schallpegel?
7. Der Geräuschpegel in einem leeren Hörsaal (verursacht durch Lüftung etc.) betrage  $L_{\text{leer}} = 40 \text{ dB}$ . Wenn  $n = 100$  Studenten eine Prüfung schreiben, erhöhe das schwere Atmen und Kratzen der Kugelschreiber den Pegel auf  $L_{\text{ges},100} = 60 \text{ dB}$ . Berechnen sie den entstehenden Geräuschpegel  $L_{\text{ges},50}$ , der entsteht, nachdem 50 Studenten den Raum verlassen haben. Nehmen Sie dazu an, dass jeder Student gleich viel zum Geräuschpegel beiträgt.

8. Zwei Züge fahren auf parallelen Gleisen mit der gleichen Geschwindigkeit  $v$  einander entgegen. Ein Zug gibt ein Pfeifsignal ab, das ein Reisender im anderen Zug hört. Der musikalische Reisende nimmt beim Vorbeifahren einen Tonhöhen sprung von einer Quinte wahr (Frequenzverhältnis 3:2).  
Wie schnell fahren die Züge? (Schallgeschwindigkeit  $c = 340$  m/s)
9. Ein Geschoss fliegt mit der Geschwindigkeit  $v = 680$  m/s im Abstand  $s = 5$  m an einem Mann vorbei.  
Wie weit ist das Geschoss von dem Mann entfernt in dem Moment, in dem er es erstmals hört?
10. Wie groß ist die Frequenzänderung eines an einem entgegenkommenden Fahrzeug reflektierten Radarstrahls, wenn das Fahrzeug mit der Geschwindigkeit  $v = 60$  km/h fährt und die Senderfrequenz  $f_S = 9$  GHz beträgt? Wie groß ist die Schwebungsfrequenz, die entsteht, wenn der Originalstrahl mit dem reflektierten überlagert wird?
11. In einem Observatorium wird das Licht eines Fixsterns spektral zerlegt. Bei einer Messung im Frühjahr läuft die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne dem Fixstern genau entgegen, im Herbst entfernt sie sich von ihm. Der Stern emittiert u.a. gelbes Na-Licht. Der Unterschied der gemessenen Wellenlängen im Frühjahr und Herbst beträgt  $\Delta\lambda = 0,1172$  nm. Wie groß ist die Bahngeschwindigkeit der Erde um die Sonne, wenn die Wellenlänge der gelben Na-D1-Linie  $\lambda = 589,593$  nm beträgt?
12. Ein Stab der Länge  $l = 1$  m ist an seinen Enden eingespannt. Durch Reiben in Längsrichtung erzeugt man einen Ton der Frequenz  $f_0 = 2550$  Hz.  
Wie groß ist die Schallgeschwindigkeit  $c$  im Stab und welche Obertöne werden erzeugt?
13. Mit Hilfe einer Glühbirne wird auf einer Lecherleitung eine stehende elektromagnetische Welle abgetastet. Die Lampe zeigt maximale Helligkeit in Abständen von  $s = 12$  cm.  
Welche Frequenz  $f$  hat der Sender?
14. Wie lautet die Gleichung einer stehenden Welle, die
  - a) an einer harten
  - b) an einer weichen Wand reflektiert wird?
  - c) Falls es sich um eine Schallwelle handelt, wie ist der Druckverlauf vor der Wand?
15. Ein Stahldraht von  $d = 1$  mm Durchmesser läuft über zwei Stege mit  $l = 1$  m Abstand. Welche Frequenz  $f_0$  hat der höchste Grundton, wenn eine Zugspannung von  $\sigma = 200$  N/mm<sup>2</sup> nicht überschritten werden darf?
16. Welche im Hörbereich des menschlichen Ohres liegenden Frequenzen kann eine gedackte Pfeife von  $l = 5$  cm Länge hervorbringen?
17. Zwei Lautsprecher sind im Abstand  $g$  nebeneinander aufgestellt und schwingen beide gleichphasig. Unter welchen Winkeln  $\alpha_m$  (gemessen relativ zur Symmetrieachse) hört man in großem Abstand einen Ton mit der Wellenlänge  $\lambda$  bevorzugt, wenn
  - a)  $\lambda = g$ , und
  - b)  $\lambda = g/4$  ist?

18. Ein Kreuzgitter hat horizontal verlaufende Striche im Abstand  $\frac{1}{75}$  mm und vertikale Striche im Abstand  $\frac{1}{150}$  mm. Wenn das Gitter mit einem Krypton-Laser der Wellenlänge  $\lambda = 647,1$  nm durchstrahlt wird, entsteht an einer  $s = 5$  m entfernten Wand ein rechteckiges Punktmuster.  
Wie groß sind die Abstände der Punkte in horizontaler und vertikaler Richtung nahe der optischen Achse?
19. Zwei Wellen gleicher Frequenz und Laufrichtung überlagern sich. Sie werden beschrieben durch  
 $y_1 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$  und  $y_2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$ .  
Ermitteln Sie  
a) die resultierende Amplitude  $\hat{y}$ ,  
b) die Phasenverschiebung der resultierenden Welle gegenüber  $y_1$ .
20. Zwei ebene ungedämpfte Wellen laufen in gleicher Richtung und überlagern sich. Die Frequenzen sind  $f_1 = 30$  Hz und  $f_2 = 33$  Hz. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist für beide gleich:  
 $c_1 = c_2 = 330$  m/s.  
a) Wie groß ist der Abstand zweier aufeinander folgender Orte mit maximaler Auslenkung?  
b) Wie groß ist die Schwebungsfrequenz  $f_s$  am Ort eines Detektors?  
c) Wie groß ist die Gruppengeschwindigkeit  $c_{gr}$  der Schwebungsgruppe?
21. Der Brechungsindex von Quarzglas hängt von der Wellenlänge ab (Dispersion). Es werden folgende Werte gemessen:  
Bei  $\lambda_1 = 800$  nm:  $n_1 = 1,4534$ , bei  $\lambda_2 = 900$  nm:  $n_2 = 1,4518$ .  
Bestimmen Sie näherungsweise die Gruppengeschwindigkeit, mit der sich der Schwerpunkt eines kurzen Lichtpulses auf einer Glasfaser ausbreitet. Der Lichtblitz stammt von einem GaAs-Laser, der bei  $\lambda = 850$  nm emittiert.  
Wie groß ist der Gruppenindex  $n_{gr}$  von Quarzglas für diese Wellenlänge?
22. Die Nachweisgrenze des menschlichen Auges liegt für gelbes Licht ( $\lambda = 590$  nm) bei einer Strahlungsleistung von  $\Phi = 1,7 \cdot 10^{-18}$  W. Wie viele Lichtquanten müssen demnach pro Sekunde auf die Netzhaut fallen, damit ein Nervenreiz ausgelöst wird?
23. Ein Photon und ein Elektron haben beide die (kinetische) Energie  $E = 1$  eV.  
Wie groß sind die zugehörigen Wellenlängen?  
Bei welcher Energie sind die Lichtwellenlänge und die Materiewellenlänge gleich groß?  
Rechnen Sie zunächst klassisch und dann relativistisch.