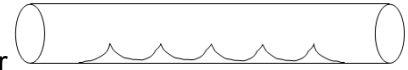


## Lösung

- 1 In einem teilweise verbrannten Versuchsprotokoll eines berühmten Physikers werden folgende Hinweise gefunden:  
 In einem Glasrohr, von dem unbekannt ist, ob seine Enden offen oder verschlossen sind, befindet sich Korkmehl. Mit einem Lautsprecher werden stehende Wellen in dem Rohr erzeugt. Dadurch bewegt sich das Korkmehl von den Stellen mit Schwingungsbäuchen weg und sammelt sich an den Schwingungsknoten. Zwei benachbarte Schwingungsknoten sind vom linken Rohrende 42 cm und 54 cm entfernt. Diese Schwingungsknoten sind vom rechten Ende 48 cm und 36 cm entfernt. Die Schallgeschwindigkeit beträgt 340 m/s.



- a) Geben Sie mit Begründung für das linke und das rechte Rohrende an, ob das Rohrende verschlossen oder offen ist.

*Die Schwingungsknoten haben den Abstand  $(54-42)\text{cm}=(48-36)\text{cm}=12\text{cm}$ .*

*Lage der Schwingungsknoten zum linken Ende hin: 54cm ; 42cm ; 30cm ; 18cm ; 6cm.*

*Da ein Abstand zwischen Schwingungsknoten und Schwingungsbauch übrig bleibt, ist das linke Ende offen, da sich dort ein Schwingungsbauch befindet.*

*Lage der Schwingungsknoten zum rechten Ende hin: 48cm ; 36cm ; 24cm ; 12cm ; 0cm.*

*Da kein Rest bleibt, befindet sich am rechten Ende ein Schwingungsknoten.*

*Also liegt rechts ein festes Ende vor.*

- b) Berechnen Sie die Frequenz des bei diesem Versuch verwendeten Tones.

*Da die Lage benachbarter Schwingungsknoten angegeben ist, gilt für die Wellenlänge wegen  $\lambda/2=(54-42)\text{cm}=12\text{cm}=(48-36)\text{cm} : \lambda=24\text{cm}$ .*

- c) Bei einer Messung an einem anderen Rohr, das ein offenes Ende besitzt, findet man bei 56 cm und bei 88 cm Entfernung vom offenen Ende Schwingungsbäuche. Man weiß aber nicht, ob zwischen den beiden Schwingungsbäuchen noch weitere Schwingungsbäuche liegen. Berechnen Sie die niedrigste Frequenz, mit der dieses Versuchsergebnis gemessen werden kann.

*Der Abstand zwischen 56cm und 88cm beträgt 32cm. Geht man in 32cm-Schritten zurück, ergibt sich 88cm ; 56cm ; 24cm. Da nicht 0cm und nicht die Hälfte von 32cm (also 16cm) übrig bleiben, muss zwischen den angegebenen Knotenstellen mindestens noch ein weiterer Knoten sein.*

*Der Knotenabstand beträgt bei einem zusätzlichen Knoten 16cm:*

*88cm ; 72cm ; 56cm ; 40cm ; 24cm ; 8cm. 8cm als die Hälfte von 16cm passt zum offenen Ende.*

*Es gilt also  $\lambda/4=8\text{cm}$  und damit  $\lambda=32\text{cm}$ . Mit  $f=c/\lambda$  ergibt sich für die Frequenz:*

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,32 \text{m}} = 1062,5 \text{Hz}$$

*Diese Frequenz ist die niedrigste Frequenz, da für kleinere Frequenzen die Wellenlänge größer werden müsste, was aber auf Grund der Bedingungen nicht möglich ist.*

- 2 Die 10 m voneinander entfernten Sender 1 und 2 senden mit gleicher Phase einen Ton derselben Frequenz aus.

Auf einer 8 m von den beiden Sendern entfernten Geraden werden bei A, B und C Lautstärkemaxima gemessen. Zwischen A und C gibt es keine weiteren Maxima.

Berechnen Sie Wellenlänge und Frequenz des von den Sendern erzeugten Tones.

*B ist von den Sendern gleich weit entfernt. Deshalb ist bei B auf alle Fälle ein Maximum anzutreffen.*

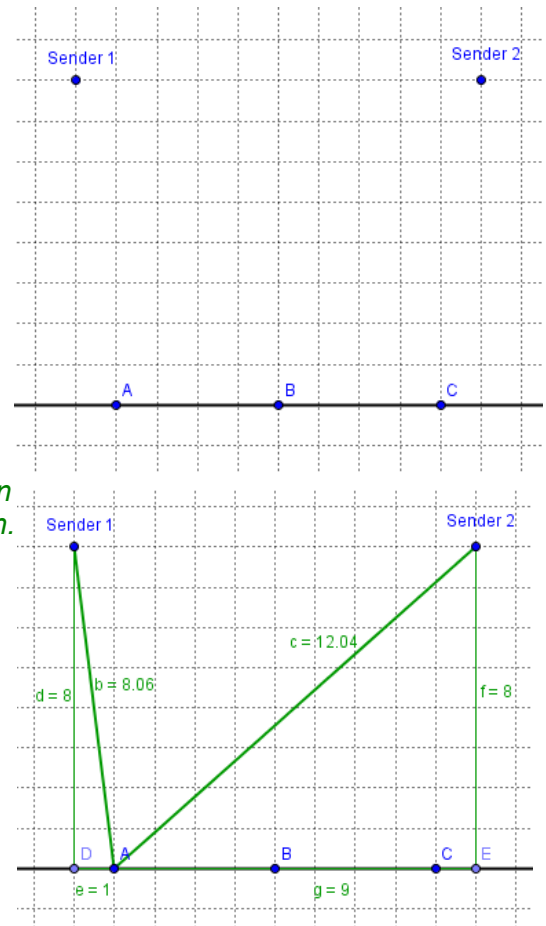
*Da zwischen A und B kein weiteres Maximum liegt, müssen sich die Streckenlängen b und c genau um  $\lambda$  unterscheiden.*

$$b = \sqrt{d^2 + e^2} = \sqrt{8^2 + 1^2} = \sqrt{64 + 1} = \sqrt{65}$$

$$c = \sqrt{f^2 + g^2} = \sqrt{8^2 + 9^2} = \sqrt{64 + 81} = \sqrt{145}$$

*Daraus folgt die Wellenlänge  $\lambda = \sqrt{145} - \sqrt{65} \approx 3,98 \text{ m}$*

und die Frequenz:  $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,98 \text{ m}} = 85,4 \text{ Hz}$

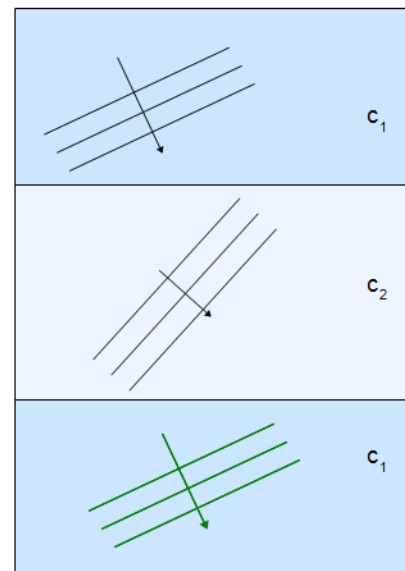


- 3 Eine Welle mit gerader Wellenfront bewegt sich im oberen Medium mit der Geschwindigkeit  $c_1$  in Pfeilrichtung vorwärts. Im mittleren Medium hat sich die Bewegungsrichtung geändert.

- a) Geben Sie mit Begründung an, ob die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c_2$  der Wellen im mittleren Medium größer oder kleiner als im oberen Medium ist.

*Kommt der linke untere Teil der Wellenfront im oberen Bereich an der oberen Trennschicht an, so breiten sich die Elementarwellen im mittleren Abschnitt schneller aus als oben, weil der Abstand vom rechten oberen Rand der Wellenfront oben zur Trennschicht kürzer ist als der Abstand des linken Teils der Wellenfront in der Mitte zur Trennschicht. Es gilt  $c_2 > c_1$ .*

- b) Skizzieren Sie und beschreiben Sie in Worten, in welche Richtung sich die Welle im unteren Medium (Geschwindigkeit  $c_1$ ) bewegt, wenn sie das mittlere Medium verlässt.



*Bei der Brechung von Wellen an planparallelen Grenzschichten bleibt die ursprüngliche Richtung erhalten. Die Wellenfront wird lediglich parallel zur Seite etwas verschoben.*

Die Abstände zwischen den Wellenfronten sind willkürlich gewählt und sind kein Kriterium für die Geschwindigkeit der Welle.

4 „Nähert sich mir als ruhendem Empfänger eine bewegte Schallquelle, die einen Ton der Frequenz  $f_S=600$  Hz ausstrahlt und höre ich dabei den Ton mit einer Frequenz, die um 200 Hz größer ist (also  $f_E=800$  Hz), so gilt das („... um 200 Hz größere Frequenz...“) auch für alle anderen Frequenzen.“

a) Belegen oder widerlegen Sie diese Aussage durch eine Rechnung.

*Ruhender Empfänger hört die Frequenz  $f_E$ . Bewegter Sender sendet mit der Frequenz  $f_S$ .*

*Dann gilt:  $f_E=f_S \cdot \frac{c}{c-v}$ . Berechnung der Geschwindigkeit  $v$  mit den angegebenen Werten:*

$$f_E=f_S \cdot \frac{c}{c-v} \rightarrow c-v=\frac{f_S}{f_E} \cdot c \rightarrow v=c-\frac{f_S}{f_E} \cdot c=c \cdot \left(1-\frac{f_S}{f_E}\right)=340 \frac{m}{s} \cdot \left(1-\frac{600 \text{ Hz}}{800 \text{ Hz}}\right)=340 \frac{m}{s} \cdot 0,25=85 \frac{m}{s}$$

*Widerlegung der Aussage durch ein Gegenbeispiel:  $f_S=400$  Hz ;  $f_E=600$  Hz:*

$$v=340 \frac{m}{s} \cdot \left(1-\frac{400 \text{ Hz}}{600 \text{ Hz}}\right)=340 \frac{m}{s} \cdot 0,33 \approx 113,33 \frac{m}{s}$$

*Es ergibt sich eine andere Geschwindigkeit, d.h. der Empfänger kann nicht jede Frequenz bei einer bestimmten Geschwindigkeit um 200 Hz erhöht hören.*

b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Schallquelle.

*Siehe unter a)*

5 Ein auf einem kreisenden Karussell befindlicher Beobachter hört eine Sirene, die außerhalb des Karussells ruht und ständig einen Ton gleichbleibender Frequenz aussendet. Auf Grund des Dopplereffektes hört der auf dem Karussell befindliche Beobachter diesen Ton in verschiedenen Tonhöhen zwischen  $f_1 = 800$  Hz und  $f_2 = 900$  Hz.

a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Karussells.

*Es gelten die Formeln  $f_{E1}=f_S \cdot \frac{c-v}{c}=800 \text{ Hz}$  und  $f_{E2}=f_S \cdot \frac{c+v}{c}=900 \text{ Hz}$ . Daraus folgt*

$$\frac{f_{E2}}{f_{E1}}=\frac{c+v}{c-v}=\frac{900 \text{ Hz}}{800 \text{ Hz}} \rightarrow 800c+800v=900c-900v \rightarrow 1700v=100c \rightarrow v=\frac{100}{1700} \cdot c$$

*Mit  $c=340$  m/s ergibt sich  $v=\frac{1}{17} \cdot 340 \frac{m}{s}=20 \frac{m}{s}$  für die Geschwindigkeit des Karussells.*

b) Berechnen Sie die Frequenz des ausgesendeten Tons.

$$f_{E1}=f_S \cdot \frac{c-v}{c} \rightarrow f_S=f_{E1} \cdot \frac{c}{c-v}=800 \text{ Hz} \cdot \frac{340 \frac{m}{s}}{340 \frac{m}{s}-20 \frac{m}{s}}=800 \text{ Hz} \cdot \frac{340}{320}=850 \text{ Hz}$$

$$f_{E2}=f_S \cdot \frac{c+v}{c} \rightarrow f_S=f_{E2} \cdot \frac{c}{c+v}=900 \text{ Hz} \cdot \frac{340 \frac{m}{s}}{340 \frac{m}{s}+20 \frac{m}{s}}=900 \text{ Hz} \cdot \frac{340}{360}=850 \text{ Hz}$$

*Eine dieser beiden Rechnungen reicht aus. Der Sender sendet einen Ton der Frequenz 850 Hz.*

Rechenweg jeweils genau angeben!

Formeln:  $c = f \cdot \lambda$      $s = s_m \cdot \sin\left(2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right)$

$L = (2k-1) \cdot \frac{\lambda}{4}$      $L = k \cdot \frac{\lambda}{2}$      $c = 340 \frac{m}{s}$      $T = \frac{1}{f}$

Sender	Empfänger	Richtung	Formel
bewegt	ruht	aufeinander zu	$f_E = f_s \cdot \frac{c}{c-v}$
bewegt	ruht	voneinander weg	$f_E = f_s \cdot \frac{c}{c+v}$
ruht	bewegt	aufeinander zu	$f_E = f_s \cdot \frac{c+v}{c}$
ruht	bewegt	voneinander weg	$f_E = f_s \cdot \frac{c-v}{c}$

Viel Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben!