

## Aufgaben 13      Doppler-Effekt

### Lernziele

- den Doppler-Effekt verstehen.
- die Zusammenhänge zwischen gesendeter und wahrgenommener Frequenz beim Doppler-Effekt verstehen und anwenden können.
- den Unterschied zwischen dem Doppler-Effekt bei mechanischer Wellen und dem Doppler-Effekt bei elektromagnetischen Wellen kennen und verstehen.

### Aufgaben

#### 13.1    **Bewegte Quelle, ruhender Beobachter**

Eine Quelle bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  auf einen ruhenden Empfänger **zu** und sendet einen Ton der Wellenlänge  $\lambda_Q$  (Frequenz  $f_Q$ , Periode  $T$ ) aus.

Wie im Unterricht aufgezeigt wurde, registriert der Beobachter einen Ton der (kleineren) Wellenlänge

$$\lambda_B = \lambda_Q - v \cdot T \quad (1)$$

- Leiten Sie aus (1) eine Beziehung zwischen der von der Quelle ausgesandten Frequenz  $f_Q$  und der vom Beobachter registrierten (höheren) Frequenz  $f_B$  her. Drücken Sie  $f_B$  in Abhängigkeit von  $f_Q$ ,  $v$  und der Schallgeschwindigkeit  $c$  aus.
- Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Sender vom Empfänger **weg**bewegt, ...
  - ... die zu (1) analoge Beziehung zwischen  $\lambda_Q$  und  $\lambda_B$ .
  - ... die entsprechende Beziehung zwischen  $f_Q$  und  $f_B$ .

- 13.2    An einem ruhenden Beobachter fährt eine pfeifende Lokomotive (1500 Hz) mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h vorbei.

Bestimmen Sie die Frequenz des Tones, den der Beobachter ...

- ... vor dem Vorbeifahren der Lokomotive hört.
- ... nach dem Vorbeifahren der Lokomotive hört.

- 13.3    Bei einem Marschmusikwettbewerb marschieren eine Blaskapelle an einer Jury vorbei.

Wie schnell müssten die Musiker marschieren, damit die Jury-Mitglieder die Musik nach dem Vorbeimarsch um einen halben Ton tiefer hören würden als beim Herannahen der Kapelle?

Hinweis:

- Das Frequenzverhältnis zweier Töne, die sich um einen halben Ton unterscheiden, beträgt 16:15.

#### 13.4    **Ruhende Quelle, bewegter Beobachter**

Ein Beobachter bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  auf eine ruhende Quelle **zu**, welche einen Ton der Frequenz  $f_Q$  aussendet.

Wie im Unterricht aufgezeigt wurde, registriert der Beobachter einen Ton der (höheren) Frequenz  $f_B$ , wobei die folgenden beiden Beziehungen gelten:

$$c = \lambda_Q \cdot f_Q \quad (2)$$

$$c + v = \lambda_B \cdot f_B \quad (3)$$

$$\lambda_B = \lambda_Q \quad (4)$$

- a) Leiten Sie aus (2) bis (4) eine Beziehung zwischen der von der Quelle ausgesandten Frequenz  $f_Q$  und der vom Beobachter registrierten (höheren) Frequenz  $f_B$  her.
- b) Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Beobachter von der Quelle **wegbewegt**, ...
- i) ... die zu (3) analoge Beziehung.
- ii) ... die entsprechende Beziehung zwischen  $f_Q$  und  $f_B$ .
- 13.5 Die Hupe eines stehenden Autos besitze die Frequenz 440 Hz.  
Bestimmen Sie die Frequenz, die ein anderer Autofahrer wahrnimmt, wenn er sich mit 100 km/h ...
- a) ... nähert.
- b) ... entfernt.
- Hinweis:  
- Für diese Aufgabe können Sie einen Taschenrechner verwenden.
- 13.6 \* **Bewegte Quelle, bewegter Beobachter**  
Eine Quelle und ein Beobachter bewegen sich auf einer gemeinsamen Geraden, die Quelle mit der Geschwindigkeit  $v_Q$ , der Beobachter mit der Geschwindigkeit  $v_B$ .  
Die Quelle sendet einen Ton der Frequenz  $f_Q$  aus, der Beobachter empfängt einen Ton der Frequenz  $f_B$ .  
Bestimmen Sie die Beziehung zwischen den beiden Frequenzen  $f_Q$  und  $f_B$ . Berücksichtigen Sie dabei alle zu unterscheidenden Fälle für die Bewegungsrichtungen von Quelle und Beobachter.
- 13.7 Ein Autofahrer wird von der Polizei angehalten und gebüsst, weil er ein Rotlicht überfahren haben soll. Der Autofahrer wehrt sich: Er behauptet, Grün gesehen zu haben, und führt dies auf den Doppler-Effekt zurück.  
Beurteilen Sie die Argumentation des Autofahrers: Bestimmen Sie die Geschwindigkeit, mit welcher ein Autofahrer fahren müsste, um das rote Licht einer Ampel wegen des Dopplereffekt als grünes Licht zu sehen.
- 13.8 Ein Auto fährt geradlinig auf ein Polizei-Radargerät zu.  
Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz  $f$  in Richtung des Autos aus. Die Welle wird vom Auto reflektiert und gelangt wieder zum Radargerät zurück. Das Radargerät registriert die Frequenz  $f_R$  der reflektierten Welle und vergleicht sie mit der Frequenz  $f$  der ausgesendeten Welle.  
Bestimmen Sie aus den Frequenzen  $f$  und  $f_R$  die Geschwindigkeit  $v$  des Autos.
- 13.9 Betrachten Sie noch einmal die Aufgabe 13.8. Jemand realisiert nicht, dass es sich bei den Radarwellen um elektromagnetische Wellen handelt, und verwendet die Formeln für den Doppler-Effekt bei mechanischen Wellen.
- a) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit  $v$ , die sich aus dieser falschen Betrachtung aus den Frequenzen  $f$  und  $f_R$  ergibt.
- b) Vergleichen Sie die Ergebnisse aus 13.8 und 13.9 a).
- 13.10 (siehe nächste Seite)

13.10 Beurteilen Sie, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind.  
Kreuzen Sie das entsprechende Kästchen an.

- |   | wahr                     | falsch                   |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a) Der Doppler-Effekt tritt sowohl bei Schallwellen als auch bei elektromagnetischen Wellen auf.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) Beim Doppler-Effekt von Schallwellen kommt es nur auf die Relativgeschwindigkeit zwischen Quelle und Beobachter an.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) Beim Doppler-Effekt von elektromagnetischen Wellen kommt es auf die Geschwindigkeiten der Quelle und des Beobachters relativ zum Wellenträger an.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d) Bewegen sich Quelle und Beobachter einer elektromagnetischen Welle aufeinander zu, dann registriert der Beobachter eine Welle grösserer Wellenlänge., als wenn sie sich voneinander entfernen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e) Der Doppler-Effekt ist bei Schallwellen schwächer ausgeprägt als bei optischen Wellen, weil die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen viel kleiner ist als jene optischer Wellen.       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Lösungen**

13.1 a)  $f_B = \frac{f_Q}{1 - \frac{v}{c}}$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$

b) i)  $\lambda_B = \lambda_Q + v \cdot T$

ii)  $f_B = \frac{f_Q}{1 + \frac{v}{c}}$

13.2 a) vor dem Vorbeifahren  
 $f_B = \frac{f_Q}{1 - \frac{v}{c}} \approx 1660 \text{ Hz}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )

b) nach dem Vorbeifahren  
 $f_B = \frac{f_Q}{1 + \frac{v}{c}} \approx 1370 \text{ Hz}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )

13.3  $\frac{f_{B1}}{f_{B2}} = k$   
 $f_{B1} = \frac{f_Q}{1 - \frac{v}{c}}$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$   
 $f_{B2} = \frac{f_Q}{1 + \frac{v}{c}}$

-----  
 $\Rightarrow v = \frac{k-1}{k+1} c = 11 \text{ m/s} = 39 \text{ km/h}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )

Dies liegt über dem 100-m-Weltrekord!

13.4 a)  $f_B = f_Q \left(1 + \frac{v}{c}\right)$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$

b) i)  $c - v = \lambda_B \cdot f_B$

ii)  $f_B = f_Q \left(1 - \frac{v}{c}\right)$

13.5 a) beim sich Nähern  
 $f_B = f_Q \left(1 + \frac{v}{c}\right) = 476 \text{ Hz}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )

b) beim sich Entfernen  
 $f_B = f_Q \left(1 - \frac{v}{c}\right) = 404 \text{ Hz}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )

13.6 \* a) Quelle und Beobachter bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen aufeinander zu.

$$f_B = f_Q \frac{c + v_B}{c - v_Q}$$

b) Quelle und Beobachter bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen voneinander weg.

$$f_B = f_Q \frac{c - v_B}{c + v_Q}$$

c) Der Beobachter bewegt sich hinter der Quelle her.

$$f_B = f_Q \frac{c + v_B}{c + v_Q}$$

Bemerkung:  $f_B = f_Q$ , falls  $v_B = v_Q$

d) Die Quelle bewegt sich hinter dem Beobachter her.

$$f_B = f_Q \frac{c - v_B}{c - v_Q}$$

Bemerkung:  $f_B = f_Q$ , falls  $v_B = v_Q$

$$13.7 \quad v = \frac{1 - \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2} c = 4.90 \cdot 10^7 \text{ m/s} = 1.76 \cdot 10^8 \text{ km/h}$$

Annahmen:  $\lambda_1 = \lambda_{\text{grün}} = 530 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = \lambda_{\text{rot}} = 625 \text{ nm}$

(vgl. Lehrbuch Tipler/Mosca, Beispiel 31.4, Seite 1130)

- 13.8 Hinlaufende Radarwelle: Radargerät  $\rightarrow$  Auto  
 - Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz  $f$  aus.  
 - Das Auto empfängt eine Welle der Frequenz  $f_1$ .

- Reflektierte Radarwelle: Auto  $\rightarrow$  Radargerät  
 - Das Auto reflektiert eine Welle der Frequenz  $f_1$ .  
 - Das Radargerät empfängt eine Welle der Frequenz  $f_R$ .

$$f_1 = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} f \quad c = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwelle}$$

$$f_R = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} f_1$$

---


$$\Rightarrow v = \frac{f_R - f}{f_R + f} c$$

- 13.9 a) Hinlaufende Radarwelle: Radargerät  $\rightarrow$  Auto  
 - Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz  $f$  aus (ruhende Quelle).  
 - Das Auto empfängt eine Welle der Frequenz  $f_1$  (bewegter Beobachter).

- Reflektierte Radarwelle: Auto  $\rightarrow$  Radargerät  
 - Das Auto reflektiert eine Welle der Frequenz  $f_1$  (bewegte Quelle).  
 - Das Radargerät empfängt eine Welle der Frequenz  $f_R$  (ruhender Beobachter).

$$f_1 = f \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad c = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwelle}$$

$$f_R = \frac{f_1}{1 - \frac{v}{c}}$$

---


$$\Rightarrow v = \frac{f_R - f}{f_R + f} c$$

- b) Die Ergebnisse für  $v$  und  $f_R$  sind zufälligerweise gleich. Die Ergebnisse für  $f_1$  sind jedoch verschieden.

- 13.10 a) wahr  
 b) falsch  
 c) falsch  
 d) falsch  
 e) falsch