

## 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 mechanischen Wellen und dem Doppler-Effekt bei elektromagnetischen Wellen kennen und verstehen.

### Aufgaben

13.1 Studieren Sie die folgenden **YouTube-Videos**. Sie finden die Videos unter <http://www.thomasborer.ch> → Physik → Dokumente/Applets/Links

- Doppler-Effekt: Martinshorn
- Doppler-Effekt: Wellenwanne

13.2 Studieren Sie das folgende **Applet**. Sie finden das Applet unter <http://www.thomasborer.ch> → Physik → Dokumente/Applets/Links

- Doppler-Effekt

### 13.3 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  $f_B$ .

13.4 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.

13.5 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.

### 13.6 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  $f_B$ .

13.7 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.

### 13.8 \* 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.

13.9 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.

13.10 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.

13.11 Betrachten Sie noch einmal die Aufgabe 13.10. 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 13.10 und 13.11 a).

13.12 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 ...

13.2 ...

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

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

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

13.4 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:  $c = 340 \text{ m/s}$ )

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

-----  
 $\Rightarrow v = \frac{k-1}{k+1} c = 11 \text{ m/s} = 39 \text{ km/h}$  (Annahme:  $c = 340 \text{ m/s}$ )  
 Dies liegt über dem 100-m-Weltrekord!

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

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

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

13.7 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:  $c = 340 \text{ m/s}$ )

13.8 \* 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  $v_B = v_Q$

$$13.9 \quad v = \frac{1 - \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2} c = 4.90 \cdot 10^7 \text{ m/s} = 1.76 \cdot 10^8 \text{ km/h}$$

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)

13.10 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  $f_R$ .

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

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

---


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

13.11 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.

13.12 a) wahr

b) falsch

c) falsch

d) falsch

e) falsch