

## Aufgaben 7                      Wellen Doppler-Effekt

### Lernziele

- den Doppler-Effekt verstehen.
- die Zusammenhänge zwischen gesendeter und wahrgenommener Frequenz beim Doppler-Effekt verstehen und anwenden können.
- eine neue Problemstellung bearbeiten können.

### Aufgaben

#### 7.1      **Bewegter Sender, ruhender Empfänger**

Ein Sender bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  auf einen ruhenden Empfänger **zu** und sendet einen Ton der Wellenlänge  $\lambda$  (Frequenz  $f$ , Periode  $T$ ) aus.

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

$$\lambda_E = \lambda - v \cdot T \quad (1)$$

- Leiten Sie aus (1) eine Beziehung zwischen der Frequenz  $f$  und der vom Empfänger registrierten (höheren) Frequenz  $f_E$  her.
- Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Sender vom Empfänger **weg**bewegt, ...
  - ... die zu (1) analoge Beziehung zwischen  $\lambda$  und  $\lambda_E$ .
  - ... die entsprechende Beziehung zwischen  $f$  und  $f_E$ .

- 7.2      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.

Hinweis:

- Für diese Aufgabe können Sie einen Taschenrechner verwenden.

- 7.3      Bei einem Marschmusikwettbewerb marschiert 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?

Hinweise:

- Das Frequenzverhältnis zweier Töne, die sich um einen halben Ton unterscheiden, beträgt 16:15.
- Für diese Aufgabe können Sie einen Taschenrechner verwenden.

#### 7.4      **Bewegter Empfänger, ruhender Sender**

Ein Empfänger bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v$  auf einen ruhenden Sender **zu**, welcher einen Ton der Frequenz  $f$  aussendet.

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

$$c = \lambda \cdot f \quad (2)$$

$$c + v = \lambda \cdot f_E \quad (3)$$

- a) Leiten Sie aus (2) und (3) eine Beziehung zwischen der Frequenz  $f$  und der vom Empfänger registrierten (höheren) Frequenz  $f_E$  her.
- b) Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Empfänger vom Sender **wegbewegt**, ...
  - i) ... die zu (3) analoge Beziehung.
  - ii) ... die entsprechende Beziehung zwischen  $f$  und  $f_E$ .

7.5 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.

7.6 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.

7.7 \* **Bewegter Sender, bewegter Empfänger**

Ein Sender und ein Empfänger bewegen sich auf einer gemeinsamen Geraden, der Sender mit der Geschwindigkeit  $v_S$ , der Empfänger mit der Geschwindigkeit  $v_E$ .

Der Sender sendet einen Ton der Frequenz  $f$  aus, der Empfänger empfängt einen Ton der Frequenz  $f_E$ .

Bestimmen Sie die Beziehung zwischen den beiden Frequenzen  $f$  und  $f_E$ . Berücksichtigen Sie dabei alle zu unterscheidenden Fälle für die Bewegungsrichtungen von Sender und Empfänger.

**Lösungen**

7.1 a)  $f_E = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}}$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$

b) i)  $\lambda_E = \lambda + v \cdot T$

ii)  $f_E = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}}$

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

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

7.3  $\frac{f_1}{f_2} = k$   
 $f_1 = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}}$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$   
 $f_2 = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}}$

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

Dies liegt über dem 100-m-Weltrekord!

7.4 a)  $f_E = f \left(1 + \frac{v}{c}\right)$   $c = \text{Schallgeschwindigkeit}$

b) i)  $c - v = \lambda \cdot f_E$

ii)  $f_E = f \left(1 - \frac{v}{c}\right)$

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

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

7.6 Hinlaufende Radarwelle: Radargerät  $\rightarrow$  Auto  
 - Das Radargerät sendet eine Radarwelle der Frequenz  $f$  aus (ruhender Sender).  
 - Das Auto empfängt eine Welle der Frequenz  $f_1$  (bewegter Empfänger).

Reflektierte Radarwelle: Auto  $\rightarrow$  Radargerät  
 - Das Auto reflektiert eine Welle der Frequenz  $f_1$  (bewegter Sender).  
 - Das Radargerät empfängt eine Welle der Frequenz  $f_R$  (ruhender Empfänger).

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

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

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

- 7.7 \* a) Sender und Empfänger bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen aufeinander zu.  
$$f_E = f \frac{c+v_E}{c-v_E}$$
- b) Sender und Empfänger bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen voneinander weg.  
$$f_E = f \frac{c-v_E}{c+v_E}$$
- c) Der Empfänger bewegt sich hinter dem Sender her.  
$$f_E = f \frac{c+v_E}{c+v_E}$$
  
Bemerkung:  $f_E = f$ , falls  $v_E = v_S$
- d) Der Sender bewegt sich hinter dem Empfänger her.  
$$f_E = f \frac{c-v_E}{c-v_E}$$
  
Bemerkung:  $f_E = f$ , falls  $v_E = v_S$