

## Letzte Stunde

- Die Energie einer harmonischen Welle ist proportional zum Quadrat ihrer Amplitude
- Intensität  $I$  einer Welle: mittlere Leistung pro Fläche
- Schallintensitätspegel (Einheit dB):  $10 \text{ dB} \log \frac{I}{I_0}$ 
  - $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  (Hörschwelle)
- Superpositionsprinzip für Wellen (Addition der Amplituden)
- Reflexion von Wellen
  - $180^\circ$  Phasensprung bei festem Ende
  - kein Phasensprung bei offenem Ende
- Stehende Wellen möglich, wenn räumlich begrenzt (Länge  $l$ )
  - Wellenlängen  $\lambda = 2l/n$  bzw.  $\lambda = 4l/(2n-1)$  mit  $n=1,2,3,\dots$

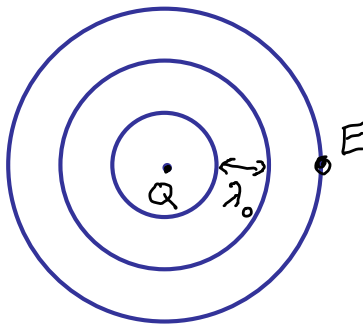
## Heute

- 9.5 Doppler-Effekt, Mach

<http://www.ep1.rub.de/lehre/veranstaltungen/ws0910/physikcbg/>

## 9.5 Doppler-Effekt

Wellen bei bewegten  
Quellen oder Empfängern



$$\lambda_0 = \frac{v}{f_Q}$$

a) Quelle und Empfänger ruht

$f_Q$  = Frequenz Quelle

$\lambda_0$  = Abstand der Wellenberge

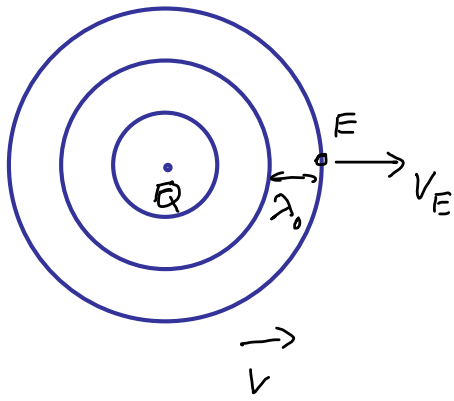
$v$  = Schallgeschwindigkeit

$$T_Q = \frac{1}{f_Q} = \frac{\lambda_0}{v}$$

Empfänger: Wellenberge fliegen an ihm vorbei

$$T_E = \frac{\lambda_0}{v} \quad \text{Hört Frequenz: } f_E = \frac{1}{T_E} = \frac{v_0}{\lambda_0} = f_Q$$

b) Quelle ruht, Empfänger bewegt sich  
(Luft ruht)



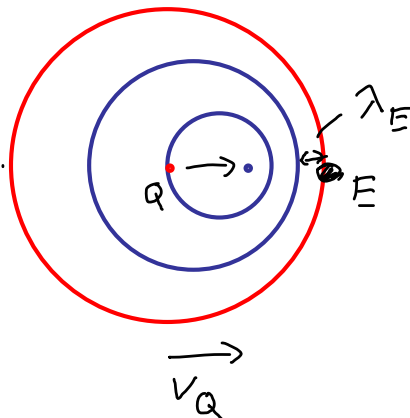
Wellenberge streichen  
mit  $v \pm v_E$  über  
Empfänger hinweg  
+ : auf Quelle zu  
- : von Quelle weg

Zeitabstand Wellenberge

$$T_E = \frac{\lambda_0}{v \pm v_E} \quad f_E = \frac{1}{T_E} = \frac{v \pm v_E}{\lambda_0} = f_Q \left( 1 \pm \frac{v_E}{v} \right)$$

Empfänger bewegt sich auf die Quelle zu: erhöhte Frequenz  
- 11 -  
von der Quelle weg = kleine Frequenz

c) Empfänger ruht, Quelle bewegt sich  
(Luft ruht)



Wellenlängen verkürzen sich  
in Bewegungsrichtung

Wellenlängen vergrößerung  
in entgegengesetzte Richtung

rechts von der Quelle  
(Q zu E)

links von der Quelle  
(Q von E weg)

$$\lambda_E = \lambda_0 + v_Q \cdot T_Q$$

$$\lambda_E = \lambda_0 - v_Q \cdot T_Q$$

$$f_E = f_Q \left( \frac{v}{v + v_Q} \right)$$

$$f_E = \frac{v}{\lambda_E} = \frac{v}{\lambda_0 - v_Q \cdot T_Q} = f_Q \left( \frac{v}{v - v_Q} \right)$$

$$f_E = f_Q \left( \frac{1}{1 \mp \frac{v_Q}{v}} \right)$$

- : Quelle auf Beobachter zu

+ : Quelle von Beobachter weg

Bsp. Signalfrequenz  $f_Q = 400 \text{ Hz}$

Kfz bewegt sich mit

$$108 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ auf Empfänger zu}$$

(Schallgeschw.  $v = 330 \text{ m/s}$ )

$$f_E = f_Q \left( \frac{1}{1 - \frac{v_Q}{v}} \right) = 440 \text{ Hz}$$

Empfänger bewegt sich auf die

Quelle zu:

$$f_E = f_Q \left( 1 + \frac{v_E}{v} \right) = 436,4 \text{ Hz}$$

( $v_E = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

Quelle und Beobachter bewegen sich auf einander zu

$$f_E = f_Q \left( \frac{v + v_E}{v - v_Q} \right)$$

## Lichtwellen (e.m. Wellen)

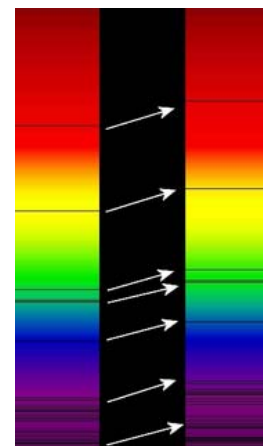
$v = c$   
Welle

Lichtgeschwindigkeit

Konstant

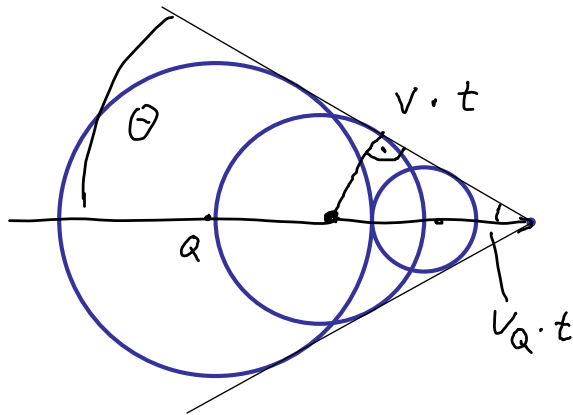
$$f_E = f_Q \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{v}{c} \\ 1 - \frac{v}{c} \end{array} \right.$$

$v =$  Relativ-  
geschwindigkeit  
zwischen  
Q und E



Rotverschiebung bei sich  
von der Erde weg  
bewegenden Sternen

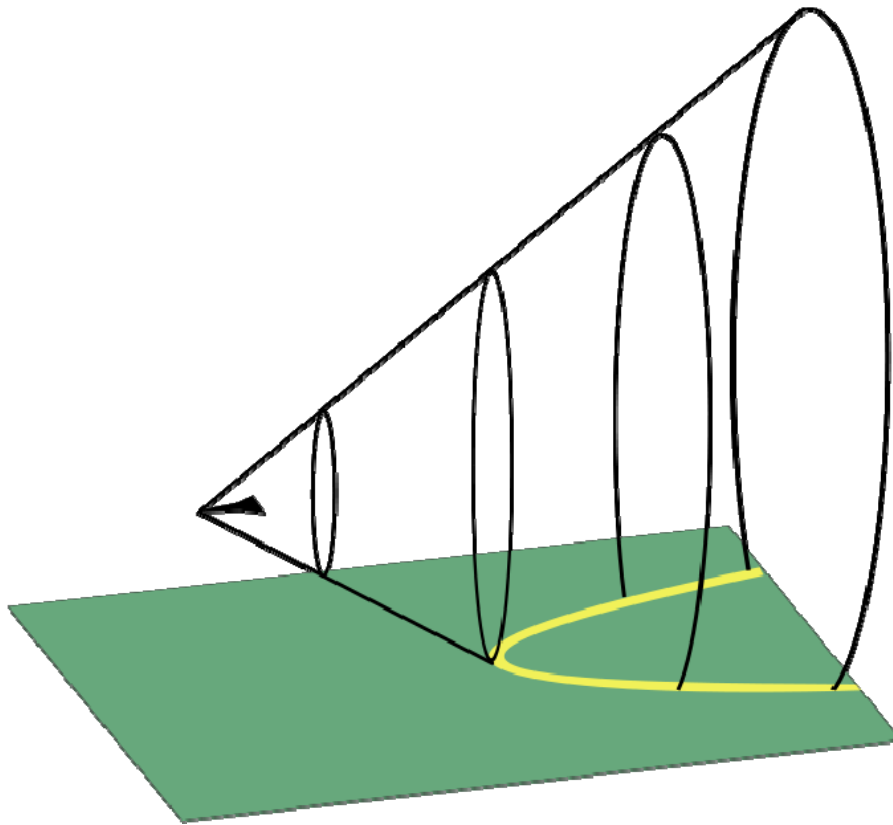
Was passiert bei  $v_Q > v_{\text{Schall}}$   
Stoßwellen



$$\sin \theta = \frac{v \cdot t}{v_Q \cdot t} = \frac{v}{v_Q}$$

$$\text{Machzahl } M_a = \frac{v_Q}{v_{\text{Schall}}}$$





## Nächste Vorlesung: Donnerstag, 7.1.2010

### Zusammenfassung

- Doppler-Effekt

- Wenn sich Schallquelle und Empfänger relativ zueinander bewegen, ist die empfangene Frequenz  $f_E$  höher als die Frequenz  $f_Q$  der Quelle, wenn der Abstand zwischen beiden abnimmt. Allgemein ( $v$ =Schallgeschwindigkeit,  $v_E$ ,  $v_Q$ =Geschwindigkeit Empfänger, Quelle, oberes Vorzeichen für nähern, unteres für entfernen):

$$f_E = f_Q \frac{v \pm v_E}{v \mp v_Q}$$

- Stoßwellen: Wenn die Geschwindigkeit der Quelle größer als die Schallgeschwindigkeit ist, werden Wellen in einem Kegel hinter der Quelle begrenzt.

*Frohe Weihnachten und ein gutes neues Jahr*