

6 Bewegung

Lernziele:

- Sie erklären wie der Dopplereffekt zustande kommt.
- Sie berechnen den Dopplereffekt für verschiedene Situationen.
- Sie erklären wie der Überschallknall entsteht.

6.1 Der Doppler – Effekt

Quelle: Wikipedia

Der Doppler-Effekt wurde bekannt durch Christian Doppler, der im Jahre 1842 Astronomen davon zu überzeugen versuchte, dass dieser Effekt die Ursache dafür sei, dass bei Doppelsternen zwischen den beiden Partnersternen Farbunterschiede erkennbar sind. Nach seiner Meinung kreisen diese Sterne so schnell umeinander, dass die Farbe des gerade vom Beobachter hinweg bewegten Sterns mit einer Rotverschiebung wahrgenommen wird, während die Farbe des zulaufenden Sterns in den blauen Bereich des Spektrums verschoben ist. Dieser Effekt konnte nach dem Tode Dopplers tatsächlich durch die Vermessung von Spektrallinien nachgewiesen werden. Er ist aber zu gering, um wahrnehmbare Farbunterschiede zu erklären. Die tatsächliche Ursache für mit dem Auge erkennbare Farbunterschiede zwischen Sternen sind deren Temperaturunterschiede.

Seine Hypothese, die Farbigkeit der Sterne beruhe auf der Entfernungsänderung während der Lichtaussendung, war schon nach dem damaligen Kenntnisstand der Astronomen unhaltbar, – dazu ist die Sternbewegung viel zu langsam. Sein Bemühen um Anerkennung führte aber zum baldigen experimentellen Nachweis des akustischen, nach ihm Doppler-Effekt benannten Phänomens – die ersten Dampflokomotiven waren dafür gerade schnell genug –, sodass sein Name mit dem Effekt verbunden blieb.

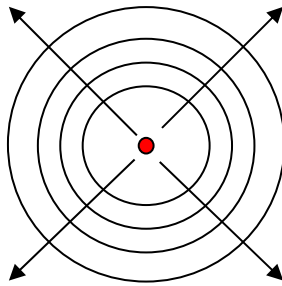
6.1.1 Wahrnehmung und Erklärung

→ <https://www.youtube.com/watch?v=8WgSQIRymwE>

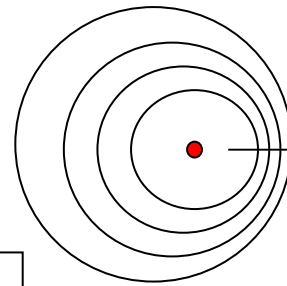
Auftrag: Schreiben Sie Ihre Wahrnehmungen auf.

→ <https://www.leifiphysik.de/akustik/akustische-wellen/grundwissen/doppler-effekt>

Auftrag: Lesen Sie untenstehenden Text und füllen Sie die Lücken.



Eine **ruhende** Schallquelle sendet Wellen nach allen Seiten aus, deren Wellenberge überall den gleichen Abstand haben.



B2

B1

Die Wellenberge einer **bewegten** Schallquelle drängen sich in Bewegungsrichtung zusammen und in der entgegengesetzten Richtung auseinander.

Beobachter B1 vor der Schallquelle hört den Ton**höher**

Die Schallwellen haben**kleinere**..... Wellenlänge

Beobachter B2 hinter der Schallquelle hört den Ton ...**tiefer**.....

Die Schallwellen haben**grössere**.....Wellenlänge

6.1.2 Berechnung

Die wahrgenommen Frequenz kann berechnet werden mit folgender Formel:

$$f_B = f_S \cdot \frac{c \pm v_B}{c \mp v_S}$$

- f = Frequenz
- c = 340 m/s
- v = Geschwindigkeit
- S = Sender
- B = Beobachter
- \pm und \mp : Das **obere** Operationszeichen gilt jeweils für **Annäherung** (Bewegung in Richtung des Senders bzw. Beobachters)

Auftrag: Ein Auto fährt mit 100km/h auf Ihnen zu und der Fahrer betätigt die Hupe, welche einen Ton von 200Hz von sich gibt.

Was erwarten Sie von der wahrgenommene Ton: ist der höher, tiefer oder gleich?
Erklären Sie.

Schallwellen werden verdichtet durch Bewegung → kürzere Welle → Ton höher

Berechnen Sie die wahrgenommene Frequenz der Hupe.

$v_S = 100 \text{ km/h} = 27.8 \text{ m/s}$, $v_B = 0$, S bewegt in Richtung B also oberes Zeichen

$$f_B = 200\text{Hz} \cdot \frac{340}{340 - 27.8} = 218\text{Hz}$$

Auftrag: Eine Schallquelle fliegt vorbei mit halber Schallgeschwindigkeit.
Die Schallquelle gibt einen Ton von 100Hz von sich.
Berechnen Sie die Frequenzen der wahrgenommenen Ton (1) *vor* und (2) *nach* dem vorbeifahren.

$$v_s = \frac{1}{2}c, \quad v_B = 0,$$

vorher:

$$f_B = f_s \cdot \frac{c}{c - v_s} = f_s \cdot \frac{c}{c - \frac{1}{2}c} = f_s \cdot \frac{c}{\frac{1}{2}c} = f_s \cdot 2 = 200\text{Hz}$$

nachher

$$f_B = f_s \cdot \frac{c}{c + v_s} = f_s \cdot \frac{c}{c + \frac{1}{2}c} = f_s \cdot \frac{c}{\frac{3}{2}c} = f_s \cdot \frac{2}{3} = 66.67\text{Hz}$$

Auftrag: Sie fliegen an eine Schallquelle vorbei mit halber Schallgeschwindigkeit.
Die Schallquelle gibt einen Ton von 100Hz von sich.
Berechnen Sie die Frequenzen der wahrgenommenen Ton (1) *vor* und (2) *nach* dem vorbeifahren.

$$v_s = 0, \quad v_B = \frac{1}{2}c,$$

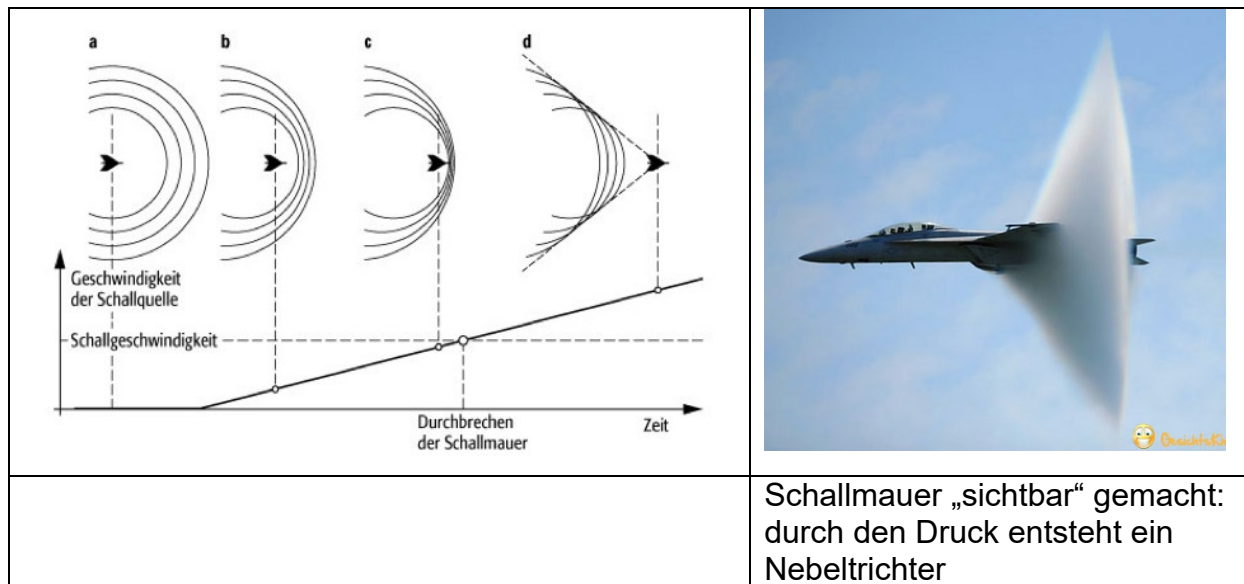
vorher:

$$f_B = f_s \cdot \frac{c + v_B}{c} = f_s \cdot \frac{c + \frac{1}{2}c}{c} = f_s \cdot \frac{\frac{3}{2}c}{c} = f_s \cdot \frac{3}{2} = 150\text{Hz}$$

nachher

$$f_B = f_s \cdot \frac{c - v_B}{c} = f_s \cdot \frac{c - \frac{1}{2}c}{c} = f_s \cdot \frac{\frac{1}{2}c}{c} = f_s \cdot \frac{1}{2} = 50\text{Hz}$$

6.2 Überschall



Wie Sie oben sehen, kommt es für grosser Geschwindigkeit des Senders v_s zu einer Verdichtung der Wellenfronten.

Für $v_s > c$ überholt der Sender die Wellenfronten.

Die resultierende Einhüllende der Wellenberge wird als **Machscher Kegel** bezeichnet. An der Mantelfläche des Kegels summieren sich die Luftverdichtungen, es entsteht ein besonders starker Überdruck, der sich für den Beobachter in einem explosionsartigen Knall äussert. Ein mit Überschall fliegendes Flugzeug "schleppt" seinen "Düsenknall" auf dem Mantel des Machschen Kegels *fortwährend* hinter sich her.

→Sonic boom explained: https://www.youtube.com/watch?v=1pf-Is2S1_Q

→<https://de.wikipedia.org/wiki/Wolkenscheibeneffekt>

6.2.1 Excursion

Weiterführende Links:

→<https://de.wikipedia.org/wiki/Bugwelle>

→<https://de.wikipedia.org/wiki/Tscherenkow-Strahlung>