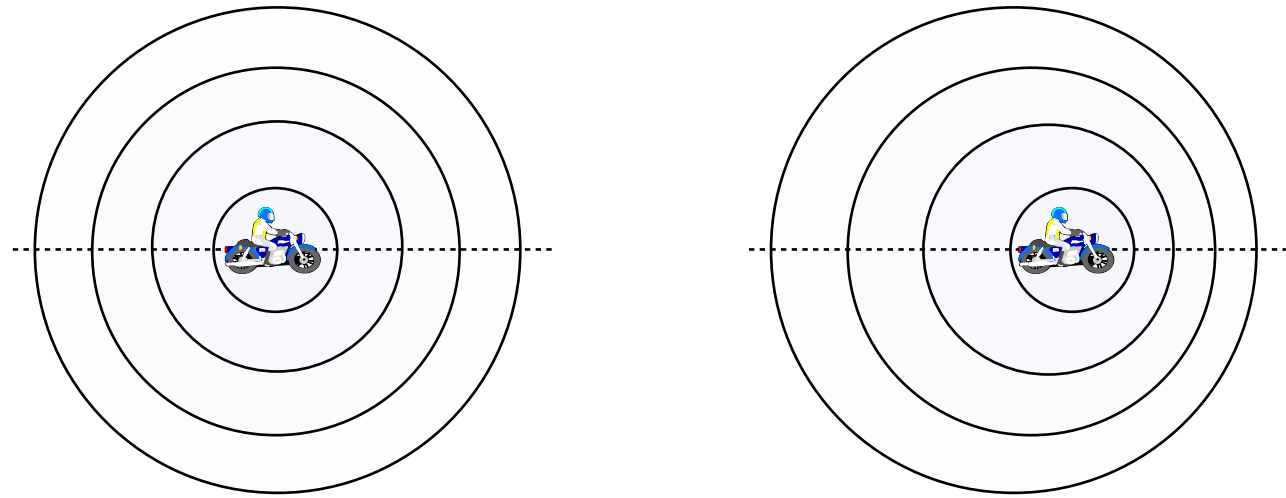


## 4.3 Radiale Bewegung und Dopplereffekt

### Prinzip Dopplereffekt:



Die Frequenz einer Schallquelle ist ..... , wenn sie sich nähert  
und ..... , wenn sie sich entfernt.

#### Grund:

Die Schallwellen breiten sich in alle Richtungen mit ..... Geschwindigkeit  
aus, starten bei einem fahrenden Sender aber ständig von

einer ..... aus.

Vor dem Fahrzeug werden die Wellen .....,

die Wellenlänge wird dort .....

Hinter dem Fahrzeug werden die Wellen .....

die Wellenlänge wird dort .....

Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  (Schallgeschw.) ..... ist,  
ergibt sich dadurch die beschriebene Frequenzveränderung. L  
SEP

Mit den einschlägigen Formeln aus der 10. Klasse zur Wellenausbreitung kann man die gezeichnete Änderung der Wellenlänge aufgrund der Bewegung des Senders leicht quantitativ erfassen. Der Übergang zur vergleichbaren Formel für die Frequenzänderung ist dagegen etwas kniffliger. Für Interessierte ist der Weg von der ersten zur zweiten Formel unten dargestellt. (beide Formeln finden sich in der Formelsammlung, in der Regel kommt die erste zur Anwendung)

**Berechnung der Frequenzänderung**

Die Wellenlänge verändert sich genau um die Länge, die sich der Sender  
..... , also

relative Wellenlängenänderung:

relative Frequenzänderung:

Bei Annäherung wird  $\lambda$  kleiner:

$$\lambda_{\text{neu}} = \lambda - \Delta\lambda = \lambda - \frac{v}{c} \cdot \lambda = \lambda \cdot \frac{c-v}{c}$$
$$f_{\text{neu}} = \frac{c}{\lambda_{\text{neu}}} = \frac{c}{\lambda \cdot \frac{c-v}{c}} = f \cdot \frac{c}{c-v}$$
$$\Delta f = f_{\text{neu}} - f = f \cdot \frac{c}{c-v} - f = f \cdot \frac{c-(c-v)}{c-v}$$
$$= f \cdot \frac{v}{c-v}$$
$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{v}{c-v} \approx \frac{v}{c} \quad \text{für } v \ll c \text{ (Näherung)}$$

Der Dopplereffekt tritt bei allen Wellentypen auf, wenn sich der Sender (oder der Empfänger) bewegt. Da Licht eine elektromagnetische Welle ist, tritt der Effekt auch auf, wenn sich Sterne in radialer Richtung (auf uns zu oder von uns weg) bewegen. Das Problem bei der praktischen Umsetzung liegt daran, dass wir zwar die Wellenlänge messen können, die bei uns ankommt aber zunächst nicht wissen, wie groß eigentlich die ursprüngliche Wellenlänge war. Hier helfen uns die typischen Linien im Spektrum.

Beachte: Je nach Sterntyp muss dabei das Linienmuster nicht vollständig identisch sein. Es reicht die typische Linienstruktur eines Elements, um den Vergleich zu ziehen.

**Anwendung auf das Licht von Sternen**

Auch das Licht (elektromagnetische Welle) von Sternen unterliegt dem Dopplereffekt, auch die Formeln gelten dabei in gleicher Weise:

Stern bewegt sich auf uns zu

Stern bewegt sich von uns weg

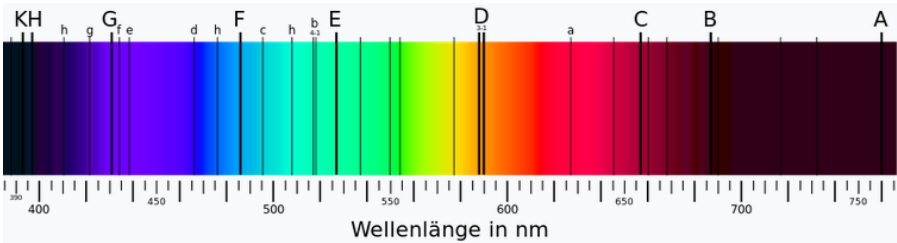
**Konkrete Umsetzung**

Zunächst ermittelt man das ..... des Sterns.

Hier findet man eine ..... für ein bestimmtes Element, deren Wellenlänge ist allerdings im Vergleich zu unserer Sonne oder zu

Labormessungen ..... . Nun lässt sich mit der Formel die Radialgeschwindigkeit des Sterns berechnen.

Labormessung



aus dem Spektrum des beobachteten Sterns



### Übungsaufgabe:

Bei einem Stern wird eine Parallaxe von  $p = 0,02''$  und eine scheinbare Eigengeschwindigkeit von  $\mu = 0,09''/a$  gemessen. Eine Linie des Wasserstoffs ist im Vergleich zur Laborwellenlänge von 656 nm um  $6,6 \cdot 10^{-2} \text{ nm}$  in den roten Bereich verschoben.

- a) Berechne seine Radialgeschwindigkeit in km/s.
- b) Berechne seine Entfernung in pc und Lj.
- c) Berechne seine Tangentialgeschwindigkeit in km/s.
- d) Ermittle die Gesamtgeschwindigkeit, mit der sich der Stern im Raum bewegt.

### Selbst-Check:

- Dopplereffekt Prinzip
- Dopplereffekt Formeln
- Anwendung auf Licht von Sternen
- Berechnung der Radialgeschwindigkeit

### Übungsaufgabe:

Aus der Abituraufgabe "Sonnenähnlicher Stern" aus 2007 passen die Aufgaben a) und c) und d). Suchbegriff auf Leifiphysik: "sonnenähnlicher stern".