

Der Doppler-Effekt

Sabine Reinhardt, WS 12/13

Gliederung

1	Der Doppler-Effekt (Beschreibung)	1
2	Fall: Quelle bewegt - Empfänger ruht.....	1
3	Fall: Quelle ruht - Empfänger bewegt.....	2
4	Fall Quelle und Empfänger bewegt	4
5	Legende	4

Einstieg: Der Doppler-Effekt ist allgemein bekannt und zählt zu den wichtigsten physikalischen Phänomenen. Benannt wurde er nach dem österreichischen Mathematiker und Physiker Christian Doppler. Ein typisches Beispiel für den akustischen Doppler-Effekt ist, die Veränderung der Ton-Frequenz bei einem vorbeifahrenden Auto. Bewegt sich ein Auto (= Schall-Quelle) auf eine Person (= Empfänger) zu, nimmt diese zunächst einen höhere Ton-Frequenz wahr. Bewegt sich ein Auto von einer Person weg, nimmt diese eine tiefere Ton-Frequenz wahr.

1 Der Doppler-Effekt (Beschreibung)

Der akustische Doppler-Effekt besagt, dass wenn sie eine Schall-Quelle und Empfänger relativ zueinander bewegen, die von der Quelle abgestrahlte Frequenz nicht mit der empfangenen übereinstimmt. Dabei können unterschiedliche Fälle beobachtet werden: zum einen kann sich die Quelle bewegen und der Empfänger ruht, die Quelle ruht und der Empfänger bewegt sich oder es können auch beide in Bewegung sein.

2 Fall: Quelle bewegt - Empfänger ruht

Bewegt sich eine Quelle von einem Empfänger weg, dann nimmt dieser eine tiefere Ton-Frequenz wahr. Das liegt daran, dass bei Wellen, die der Quelle nachlaufen, die Wellen-Kämme weiter auseinander liegen (Abb. 1). Bewegt sich eine Quelle auf einen Empfänger zu, dann nimmt dieser eine höhere Ton-Frequenz wahr. Das liegt daran, dass bei Wellen, die der Quelle vorseilen, die Wellen-Kämme dichter beieinander liegen (Abb. 1).

Diese, vom Empfänger wahrgenommene, Frequenz-Änderung (Frequenz-Verschiebung; Abb. 3) kann wie folgt berechnet werden:

Zunächst muss die jeweilige Wellenlänge für nachlaufende bzw. vorseilende Wellen bestimmt werden. Dafür wird die Ursprungsfrequenz der Quelle (Frequenz die bei stillstand der Quelle ausgestoßen wird), Geschwindigkeit des Schalls und die Geschwindigkeit der Quelle benötigt.

Für die Wellenlänge von nachlaufenden Wellen ergibt sich:

$$\lambda_n = \frac{u}{v_0} * \left(1 + \frac{U_Q}{u}\right)$$

Für die Wellenlänge von vorauselenden Wellen ergibt sich:

$$\lambda_v = \frac{u}{v_0} * \left(1 - \frac{U_Q}{u}\right)$$

Anschließend kann damit die vom Empfänger registrierte Frequenz ermittelt werden. Für die registrierte Frequenz der nachlaufenden Wellen gilt:

$$v_n = \frac{u}{\lambda_n} = \frac{v_0}{1 + \frac{U_Q}{u}}$$

Für die registrierte Frequenz der vorseilenden Wellen gilt:

$$v_n = \frac{u}{\lambda_n} = \frac{v_0}{1 - \frac{U_Q}{u}}$$

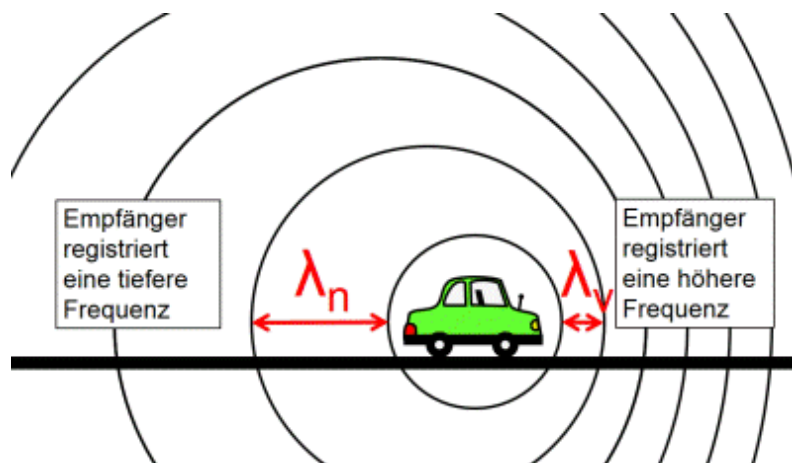


Abb. 1: Frequenz-Verschiebung für eine bewegte Quelle

Diese Form des akustischen Doppler-Effekts lässt sich ganz leicht zeigen. Man benötigt dazu ein „Heulrohr“ (ein geripptes, flexibles Plastik-Rohr, welches beim Schwingen Töne erzeugt). Dieses muss gleichmäßig geschwungen werden und stellt somit die Schall-Quelle dar. Die Empfänger (= Publikum) nehmen eine höhere Ton-Frequenz wahr, wenn sich das „Heulrohr“-Ende auf diese zu bewegt. Bewegt sich das „Heulrohr“-Ende von den Empfängern weg, nehmen diese eine tiefere Frequenz wahr.

3 Fall: Quelle ruht - Empfänger bewegt

Ruht die Quelle, dann ändert sich die Wellenlänge des ausgesandten Schalls nicht. Bewegt sich der Empfänger auf die Quelle zu oder von ihr weg, ändert sich trotzdem die vom Empfänger registrierte Frequenz. Bewegt sich der Empfänger auf die ruhende Schall-Quelle zu, dann registriert er eine höhere Frequenz (Abb. 2). Bewegt er sich weg, nimmt der Empfänger eine tiefere Frequenz wahr (Abb. 2). Das liegt daran, dass der Empfänger, wenn er sich auf die Quelle zu bewegt, die Wellen-Berge schneller passiert und somit die Anzahl der Wellen-Fronten pro Zeit-Einheit erhöht (Frequenz-Erhöhung; Abb. 3). Bewegt er sich von der Quelle weg, so vergrößern sich hingegen die Abstände der Wellenberge (Frequenz-Erniedrigung; Abb. 3).

Die Ton-Frequenz, die ein Empfänger jeweils wahrnimmt, kann wie folgt berechnet werden: Zunächst muss die Anzahl der Wellen, die den Empfänger in einer Zeit-Einheit treffen, bestimmt werden. Dazu werden deren Wellenlänge, die Geschwindigkeit des Empfängers und die Geschwindigkeit des Schalls benötigt. Für die Wellen-Zahl, die den Empfänger treffen, wenn er sich auf die Schall-Quelle zu bewegt, gilt:

$$N_z = \frac{u + u_E}{\lambda} * \Delta t$$

Für die Wellen-Zahl, die den Empfänger treffen, wenn er sich von der Schall-Quelle entfernt, gilt:

$$N_e = \frac{u - u_E}{\lambda} * \Delta t$$

Anschließend kann damit die vom Empfänger registrierte Frequenz ermittelt werden. Für die registrierte Frequenz, die der Empfänger wahrnimmt, wenn er sich auf die Quelle zu bewegt, gilt:

$$v_z = \frac{N_z}{\Delta t} = \frac{u + u_E}{\lambda} = v_0 * \left(1 + \frac{u_E}{u}\right)$$

Für die registrierte Frequenz, die der Empfänger wahrnimmt, wenn er sich von der Quelle entfernt, gilt:

$$v_e = \frac{N_e}{\Delta t} = \frac{u - u_E}{\lambda} = v_0 * \left(1 - \frac{u_E}{u}\right)$$

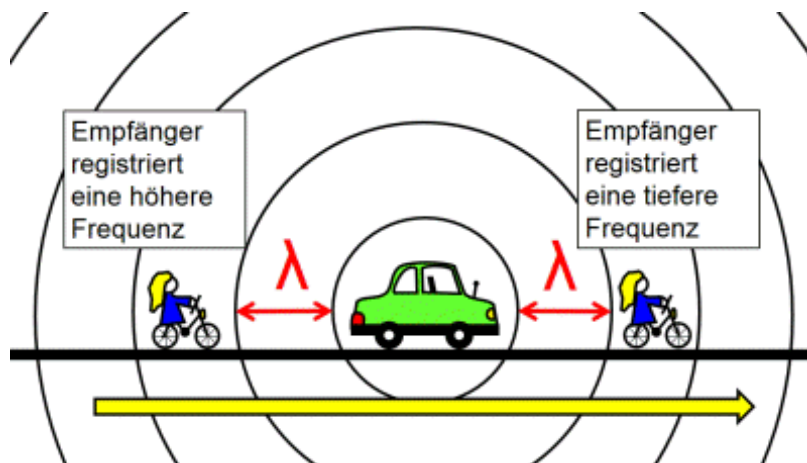


Abb. 2: Frequenz-Verschiebung für einen bewegten Empfänger

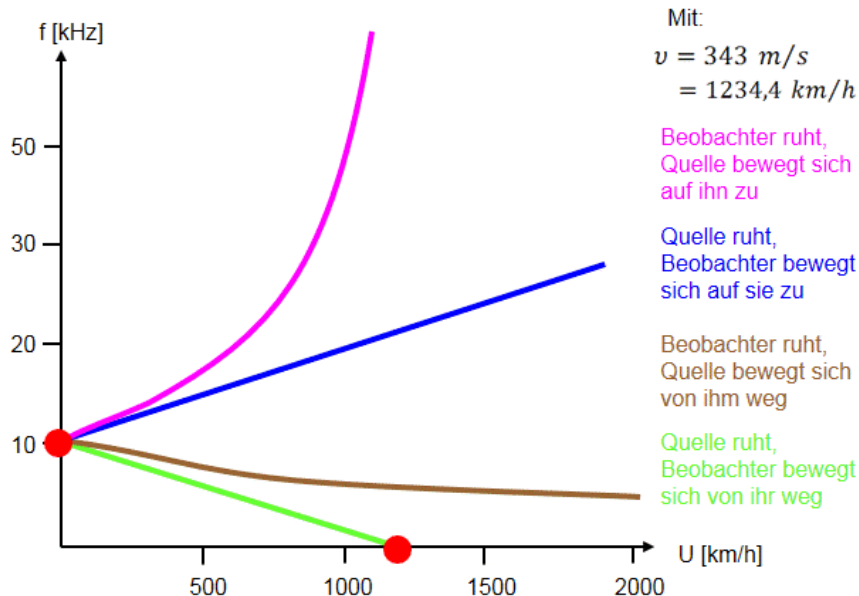


Abb. 3: Frequenz-Verschiebung des Doppler-Effekts

4 Fall Quelle und Empfänger bewegt

Durch Kombination der Gleichungen aus 2 (Quelle bewegt - Empfänger ruht) und 3 (Quelle ruht - Empfänger bewegt) ergibt sich für die Frequenz-Verschiebung:

$$v = \frac{\left(1 \pm \frac{U_E}{u}\right)}{\left(1 \mp \frac{U_Q}{u}\right)} * u_0$$

5 Legende

λ = Wellenlänge

v = Frequenz

u = Geschwindigkeit des Schalls

U = Geschwindigkeit

N = Anzahl der erzeugten Wellen

Δt = Zeit-Spanne

Zusammenfassung:

1. Der Doppler-Effekt ist immer dann zu beobachten, wenn periodische Signale zwischen Sender (Quelle) und Empfänger hin und her laufen.
2. Man unterscheidet in: Quelle bewegt – Empfänger ruht, Quelle ruht – Empfänger bewegt und Quelle und Empfänger bewegt.
3. Neben dem akustischen Doppler-Effekt (bei mechanische Wellen) gibt es z. B. auch den optischen Doppler-Effekt (bei elektromagnetischen Wellen).
4. Eine praktische Anwendungsmöglichkeit des Doppler-Effekts ist die Geschwindigkeitsmessung.

Quellen:

1. Tipler, P.: Physik, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2000
2. Atkins, P.: Physikalische Chemie, VCH, Weinheim 1996
3. <http://www.jgiesen.de/astro/stars/DopplerEffekt/index.htm>; (online: 9.12.2012)
4. http://www.wissenschaft-schulen.de/sixcms/media.php/1308/Paetec-Heft_11_03.pdf; (online: 9.12.2012) (Quelle verschollen, 31.07.2020)
5. <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-schallgeschw.htm>; (online: 9.12.2012)
6. http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno_Willemsen/Laser/Skript.pdf; (online: 9.12.2012) (Quelle verschollen, 31.07.2020)