

5.6.7 Stehende Schallwellen



1 Motivation

Dieser Versuch führt stehende Schallwellen in Luft vor.

2 Experiment

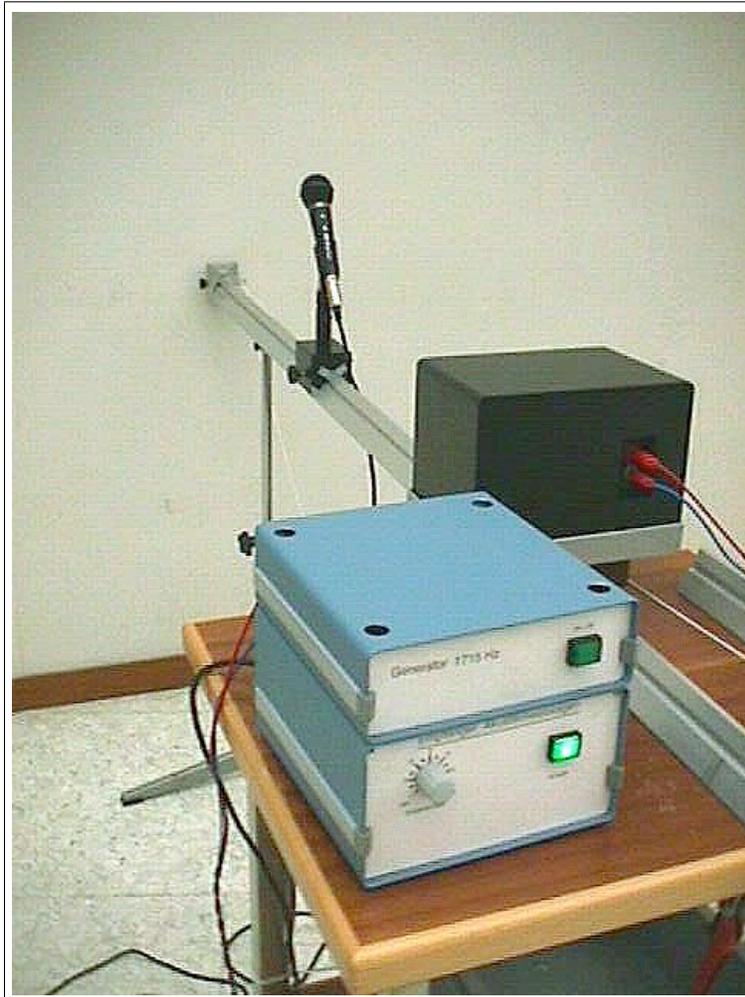


Abbildung 1: Versuchsanordnung „Stehende Schallwellen“

Ein Lautsprecher strahlt einen reinen Ton ($\nu = 1650 \text{ Hz}$) senkrecht gegen eine Wand. Zwischen Lautsprecher und Wand befindet sich ein verschiebbares Mikrophon (siehe Abb. 1). Die vom Mikrophon gemessene Lautstärke (proportional zum Amplitudenquadrat der resultierenden stehenden Welle) ändert sich periodisch als Funktion des Mikrophons. Bei der Reflexion an der Wand gibt es einen Phasensprung von 180° , so dass sich dort ein Knoten ausbildet.

3 Theorie 3.1 Schallwellen

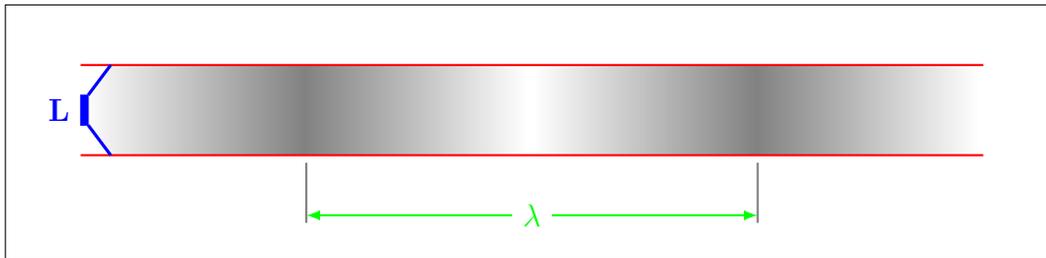


Abbildung 2: Mit einem Lautsprecher **L** erzeugte Schallwelle in einem Gas.

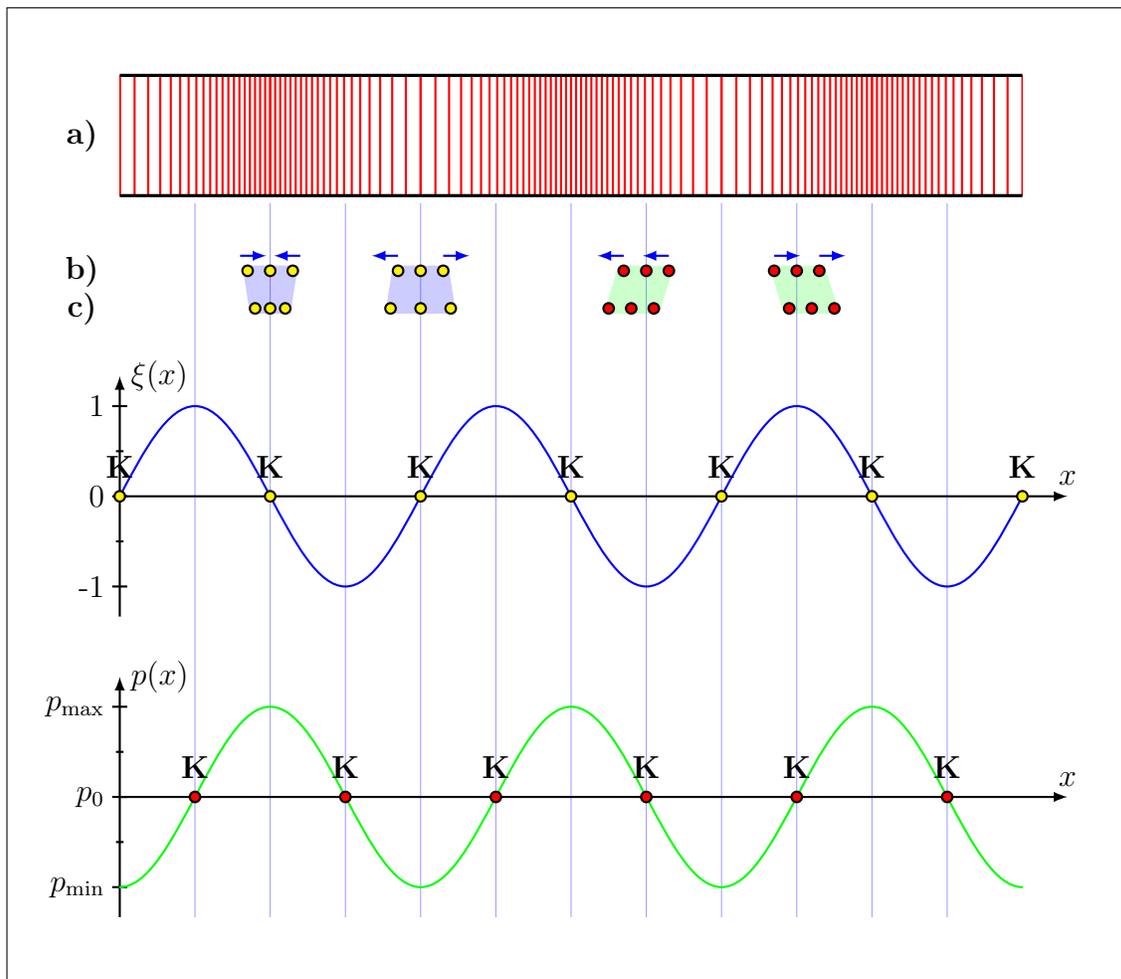


Abbildung 3: Druck- und Amplitudenverteilung einer stehenden Schallwelle in einem Gas zu einem festgelegten Zeitpunkt: a) Dichteverteilung des Gases, b) Ruhelagen einiger ausgewählter Moleküle mit Richtung ihrer Auslenkung gemäss $\xi(x)$, c) Positionen dieser Moleküle in der Schallwelle. Die Knotenpunkte in der Auslenkung $\xi(x)$ entsprechen Extrema im Druck und in der Dichte und umgekehrt.

Schallwellen in Gasen sind reine Longitudinalwellen, bei denen sich die Dichte und der Druck periodisch ändern (siehe Abb. 2). Dabei sind Druck und Dichte maximal dort, wo die Auslenkung minimal ist (siehe dazu Abb. 3).

Für die Anregungsfrequenzen ν gilt:

$$\nu = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

3.2 Stehende Wellen

Wir untersuchen nun die Interferenz zweier entgegengelauferer kohärenter Wellen. Die entgegengelaufernde Welle kann man beispielsweise durch Reflexion an einem Spiegel erzeugen.

$$\xi_1(t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (2)$$

$$\xi_2(t) = A \cos(-kx - \omega t + \delta_R) \quad (3)$$

Die Superposition $\xi := \xi_1 + \xi_2$ dieser beiden Wellen ergibt

$$\xi = 2A \cos\left(kx - \frac{\delta_R}{2}\right) \cos\left(\omega t - \frac{\delta_R}{2}\right) \quad (4)$$

Dies ist kein laufende Welle mehr, da sie nicht vom Typ $f(x - vt)$ ist!

Die mittlere Intensität beträgt

$$\langle I \rangle \sim \frac{1}{2}(2A)^2 \cos^2\left(kx - \frac{\delta_R}{2}\right) \quad (5)$$

Für $\delta_R = 0$ (Reflexion am weichen Medium, kein Phasensprung) gibt es Maxima der Intensität bei

$$kx = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

und Minima bei

$$kx = (2n + 1)\frac{\pi}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

mit der bei der Reflexion entstehenden Phase δ_R . Diese Welle ist, wie bereits erwähnt, keine laufende Welle mehr. Man bezeichnet sie vielmehr als **stehende Welle**. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass **Knoten** und **Bäuche** auftreten. Knoten entsprechen den Nullstellen der ortsabhängigen Funktion, so dass dort die Auslenkung stets null ist. Bäuche entsprechen dagegen den Extrema, also sowohl den Maxima als auch den Minima der ortsabhängigen Funktion. Die stehende Welle schwingt dort ortsfest mit der maximal möglichen Auslenkung. Wir unterscheiden nun nach der Art der Reflexion:

a) Reflexion am harten Medium ($\delta_R = \pi$)

Die Amplitude ist in diesem Fall

$$\xi = 2A \sin kx \sin \omega t \quad (8)$$

und garantiert einen Knoten an der Grenzfläche ($x = 0$) (siehe Abb. 4).

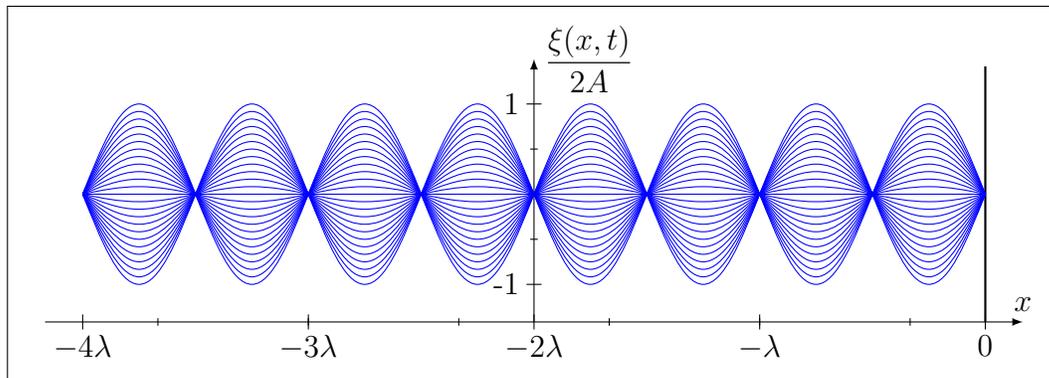


Abbildung 4: Stehende Welle bei Reflexion am harten Medium

b) Reflexion am weichen Medium ($\delta_R = 0$)

Hier ist die Amplitude gleich

$$\xi = 2A \cos kx \cos \omega t \quad (9)$$

und ergibt einen Bauch für $x = 0$ (siehe Abb. 5).

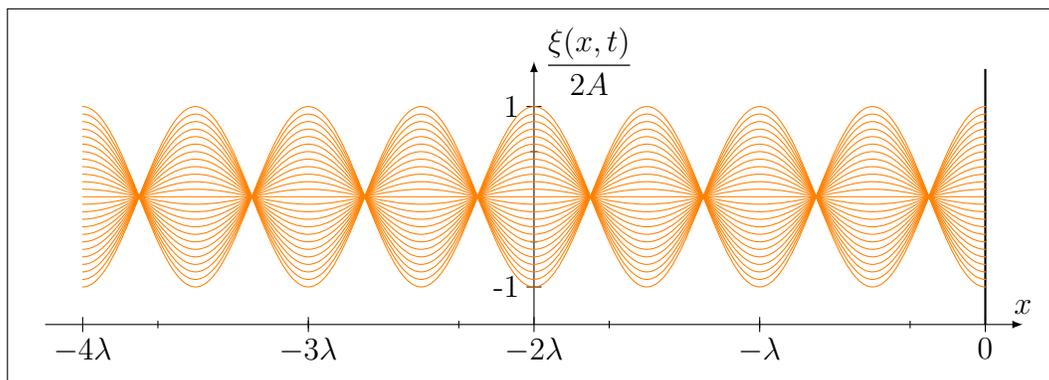


Abbildung 5: Stehende Welle bei Reflexion am weichen Medium

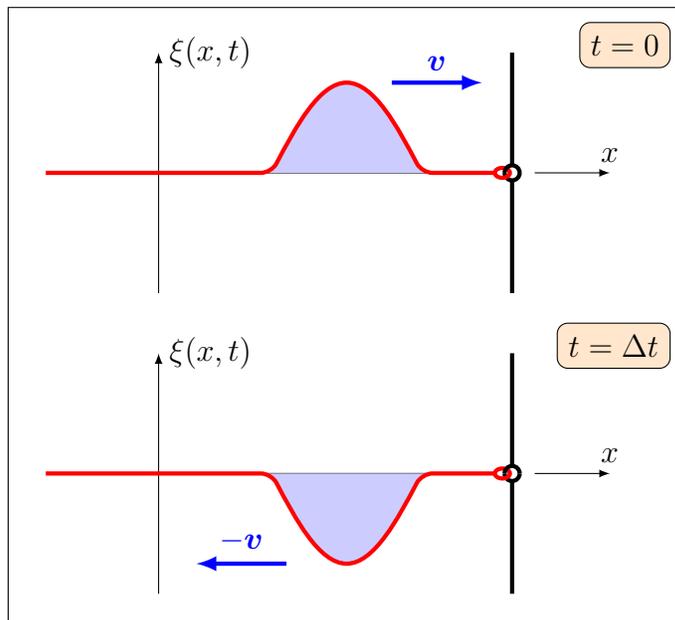


Abbildung 6: Reflexion eines Wellenbergs am festen Ende.

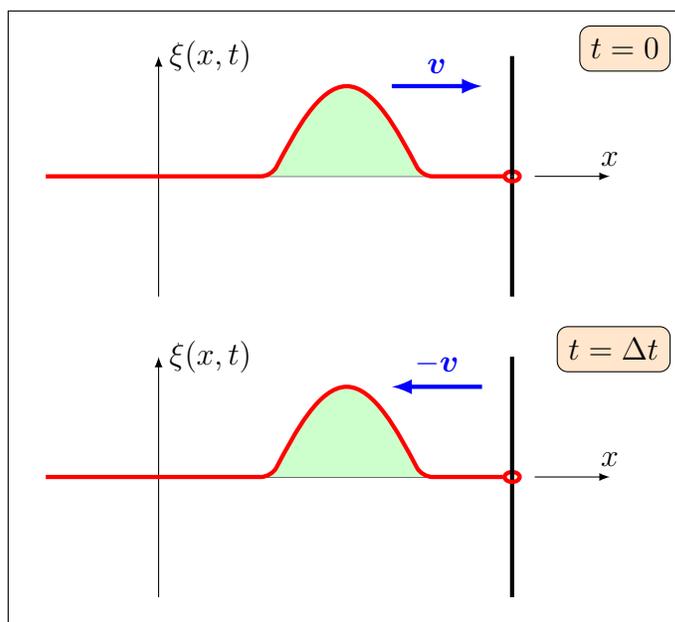


Abbildung 7: Reflexion eines Wellenbergs am losen Ende.

Das Verhalten einer Welle bei der Reflexion wird durch Abbn. 6 und 7 veranschaulicht, die die Reflexion einer Seilwelle am harten bzw. am weichen Medium zeigen.