



UdK Berlin  
Sengpiel  
12.96  
Tutorium

# Die Schallgeschwindigkeit, die Temperatur ... und nicht der Luftdruck

Speed of sound - temperature matters, not air pressure <http://www.sengpielaudio.com/SpeedOfSoundPressure.pdf>

Der Ausdruck für die Schallgeschwindigkeit  $c_0$  in Luft ist:

$$c_0 = \sqrt{\frac{p_0}{\rho}} \cdot \kappa \quad \text{Gl. 1}$$

$c_0$  = Schallgeschwindigkeit in Luft bei 0°C = 331 m/s

$p_0$  = Luftdruck 101325 Pa (Normaldruck)

$\rho_0$  = Dichte der Luft bei 0°C: 1,293 kg/m<sup>3</sup> =  $Z_0 / c_0$

$\rho$  = kleiner griechischer Buchstabe "rho"

$\kappa$  = Adiabatenexponent der Luft bei 0°C: 1,402 =  $c_p / c_v$  = Verhältnis der spezifischen Wärmen

$\kappa$  = kleiner griechischer Buchstabe "kappa"

Schallgeschwindigkeit bei 20°C ist  $c_{20} = 343$  m/s

Schallkennimpedanz bei 20°C ist  $Z_{20} = 413$  N s / m<sup>3</sup>

Die Dichte der Luft bei 20°C ist  $\rho_{20} = 1,204$  kg/m<sup>3</sup>

Schallkennimpedanz bei 0°C ist  $Z_0 = 428$  N s / m<sup>3</sup>

Schallwiderstand = Schallimpedanz  $Z = \rho \cdot c$

Mit diesen Werten ergibt sich die Schallgeschwindigkeit  $c_0$  in Luft bei 0°C:

$$c_0 = \sqrt{\frac{p_0}{\rho_0}} \cdot \kappa = \sqrt{\frac{101325}{1,2935}} \cdot 1,402 = 331,4 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 2} \quad \text{Die neueste anerkannte Messung gibt den Wert 331,5 m/s an.}$$

Für die Schallgeschwindigkeit (Ausbreitungsgeschwindigkeit) in Luft bei anderen Temperaturen gilt:

$$c_{\vartheta} = c_0 \cdot \sqrt{1 + \alpha \cdot \vartheta} \quad \text{in m/s} \quad \text{Gl. 3}$$

$\alpha$  = Ausdehnungskoeffizient 1 / 273,15 = 3,661 · 10<sup>-3</sup> in 1 / °C

-273,15 °C (Celsius) = absolut tiefste Temperatur = 0 K (Kelvin), dabei sind alle Moleküle bewegungslos.

$\vartheta$  = Temperatur in °C = kleiner griechischer Buchstabe "theta"

$c_0$  = Schallgeschwindigkeit in Luft bei 0 °C

Die Schallgeschwindigkeit (Fortpflanzungsgeschwindigkeit)  $c_{20}$  in Luft von 20°C beträgt:

$c_{20} = 343$  m/s

Dieser Wert von  $c$  wird üblicherweise in Formeln eingesetzt.

Für Tonmeister gilt mit hinreichender Genauigkeit für die Schallgeschwindigkeit von Luft in m/s in Abhängigkeit von der Temperatur  $\vartheta$  in °C:

$$c = 331 + 0,6 \cdot \vartheta \quad \text{Gl. 4} \quad \text{Mit dieser Formel ist die Schallgeschwindigkeit schnell zu berechnen.}$$

Betrachtet man Gl. 3 so erkennt man, dass die Schallgeschwindigkeit mit steigender Temperatur zunimmt:

$$c_{\vartheta} \sim \sqrt{\vartheta} \quad \text{Gl. 5}$$

**Merke:** Die Schallgeschwindigkeit  $c$  in Luft ist allein von der Temperatur  $\vartheta$  abhängig.

**Merke:** Die Schallgeschwindigkeit  $c$  in Luft ist unabhängig vom Luftdruck.

Begründung: Der Luftdruck und die Dichte der Luft sind bei gleicher Temperatur zueinander proportional. Das heißt, in Gl. 1 ist der Bruch  $p_0 / \rho_0$  immer konstant.

Die Schallgeschwindigkeit ist von der Dichte der Luft abhängig und die Dichte wiederum von der Temperatur. Deshalb würde sich die Schallgeschwindigkeit auf einer Bergspitze sowie auf Meereshöhe nicht verändern vorausgesetzt, die Temperatur ist gleich.

Die beiden obigen Merksätze gehören nicht nur zum tontechnischen Grundwissen.

## Aufgaben:

1. Wie groß ist die Schallgeschwindigkeit  $c_{15}$  bei 15°C?

2. Wie groß ist die Schallgeschwindigkeit  $c_{25}$  bei 25°C?

3. Bei 20°C ergibt sich für 1 m Schallweg eine Laufzeitdifferenz von  $\Delta t = 2,915$  ms, also rund 3 ms. Für 10 Meter sind das 29,15 ms. Welche Laufzeitdifferenzen ergeben sich denn für 10 Meter bei 15 °C und 25°C?

**Eine Bitte:** Wenn in den Fach-Büchern bei der "Schallgeschwindigkeit in Luft" der irreführende "Hinweis auf den Luftdruck" angegeben ist, dann streichen Sie dieses. Auch die Angabe der Schallgeschwindigkeit "in Meereshöhe" ist nicht brauchbar, wohl aber die unbedingt notwendige Angabe der Temperatur.

Eine häufige Frage: Wie groß ist die Schallgeschwindigkeit? Kleine Nachfrage: Bei welcher Temperatur denn?

Siehe die Online-Rechner-Berechnung "Schallgeschwindigkeit in Luft und die Temperatur":

<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-schallgeschw.htm> Wie schnell ist eigentlich Schall?