

Die Schallbrechung

Neben der Schallreflexion und der Schalldämpfung oder -absorption gibt es noch zwei weitere Phänomene, die die Ausbreitung von Schall, insbesondere im Freien, beeinflussen, nämlich die **Schallbeugung** (engl.: *diffraction*) und die **Schallbrechung** (engl.: *refraction*). Sowohl die Beugung als auch die Brechung von Schall können die Höhe des Pegels mitbestimmen, mit welchem Schall im Freien z. B. auf Außenbauteile von Gebäuden trifft. (Die Schallbeugung wird in der nächsten Ausgabe noch ausführlicher behandelt. Hier geht es zunächst nur um die Schallbrechung).

Den Brechungseffekt beobachtet man überall dort, wo Schall sich in geschichteten Medien unterschiedlicher Schallgeschwindigkeit ausbreitet. Das bekannteste Beispiel dafür sind Außenluftschichten mit veränderlichem Temperaturgradienten. Mediumschichten unterschiedlicher Temperatur sind aber gleichbedeutend mit Schichten unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit für Schall. Die Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit c von der Temperatur t , und zwar speziell für Luft, zeigt die folgende Formel:

$$c_{t_1, t_2} = 331,4 \cdot \sqrt{\frac{t_1 + 273}{273}} = 331,4 \cdot \sqrt{1 + \frac{t_1}{273}}$$

Mit dieser Gleichung errechnet man für Temperaturen zwischen beispielsweise -10°C und $+30^\circ\text{C}$ die in Tabelle 1 angegebenen Werte. Wie die Zahlen zeigen, steigt die Schallgeschwindigkeit mit wachsender Temperatur an.

Den Effekt der Schallbrechung an Luftschichten unterschiedlicher Temperatur bzw. unterschiedlicher Schallgeschwindigkeit veranschaulicht Abbildung 1 sehr deutlich, und zwar mit Mitteln der geometrischen oder Strahlenakustik. Trifft Schall aus einem Medium 1 mit einer Schallgeschwindigkeit c_1 kommend unter einem Einfallswinkel ϑ_1 auf eine Grenzschicht zu einem zweiten Medium mit einer

Schallgeschwindigkeit $c_2 (< c_1)$, so erfährt der einfallende „Schallstrahl“ eine Brechung. Er dringt dabei unter einem kleineren Winkel ϑ_2 (gemessen gegenüber der Senkrechten) ins Medium 2 ein. Ein Teil des einfallenden Schalls kann an der Grenzschicht auch reflektiert werden, wie das in Abbildung 1 gestrichelt dargestellt ist. Dabei sind $\vartheta'_1 = \vartheta_1$. Die Winkel, unter denen die Brechung stattfindet, werden, in Anlehnung an die Optik, durch den so genannten Brechungsindex n beschrieben:

$$n = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin \vartheta_1}{\sin \vartheta_2}$$

Da die Frequenz des Schalls bei der Brechung unverändert bleibt, ändern sich lediglich die Wellenlängen λ_1 und λ_2 . Ihr Verhältnis zueinander entspricht ebenfalls dem Brechungsindex n .

Übertragen auf die Verhältnisse im Freien bedeutet das, dass die Brechung von Schall stets in Richtung zur kälteren Luft hin erfolgt. Je nach der meteorologischen Wetterlage (normale Temperaturschichtung oder Inversionswetterlage), wird der von einer Schallquelle erzeugte Schall somit entweder nach „oben“ oder nach „unten“ gebrochen (siehe Abbildung 2 bzw. Abbildung 3). Da sich die Temperatur in der Außenluft mit der Höhe kontinuierlich ändert, darf man sich auch die Schallstrahlen als kontinuierlich *gekrümmte* Linien vorstellen. In Abbildung 3 wird dies, zumindest im Prinzip, angedeutet.

Abbildung 3 macht noch einen weiteren Sachverhalt deutlich, nämlich dass bei Temperaturinversion (= bodennahe Kaltluft und wärmere Luft in großer Höhe) Schall über sehr große Entfernungen übertragen werden kann, z. B. von Flughäfen auf weiter entfernte Ortschaften. Diese Erscheinung kann den maßgeblichen Außenlärmpegel L_a an den Außenbauteilen von Gebäuden, zumindest zeitweise, ansteigen lassen.

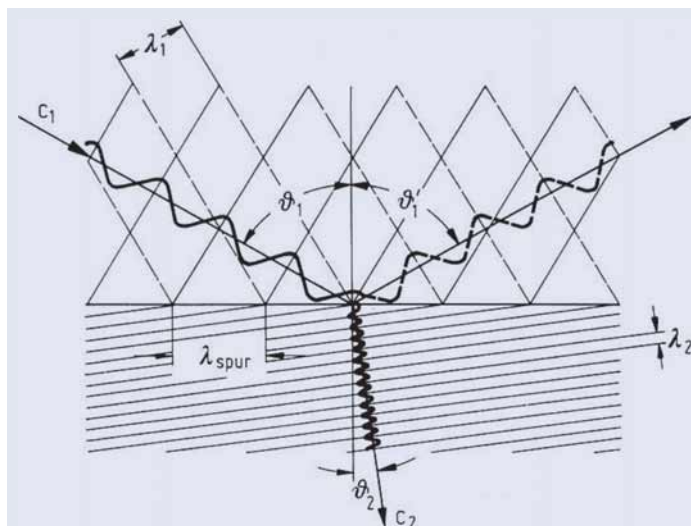


Abbildung 1: Schallbrechung beim Übergang von Schall aus einem Medium 1 mit einer Schallgeschwindigkeit c_1 in ein anderes Medium mit einer anderen Schallgeschwindigkeit c_2 ($c_1 > c_2$), veranschaulicht mit Schallstrahlen. Im Medium 1 fällt der Schall unter einem Einfallswinkel auf die Grenzschicht. Ein Teil des einfallenden Schalls wird an der Grenzschicht unter dem gleichen Winkel reflektiert, während ein anderer Teil unter einem Winkel $\vartheta_2 (< \vartheta_1)$ in das zweite Medium eindringt. Das Medium mit der größeren Schallgeschwindigkeit wird in diesem Zusammenhang auch als akustisch „dünn“ und das andere als akustisch „dichter“ bezeichnet. Die Berechnung erfolgt in diesem Fall zum Lot hin.

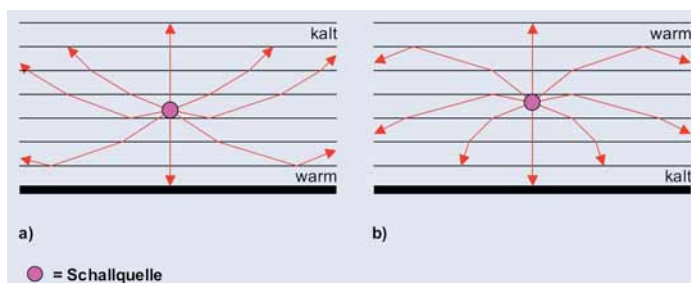


Abbildung 2: Schallbrechung in (Luft-)Schichten mit unterschiedlichem Temperaturgradienten.

- Sinkt die Temperatur mit zunehmender Höhe (normale Temperaturschichtung an Sommertagen), so wird der Schall nach „oben“ gebrochen.
- Steigt dagegen die Temperatur mit zunehmender Höhe an (Inversionswetterlage), so wird der Schall nach „unten“ zurückgebogen.

Tabelle 1: Schallgeschwindigkeit c für Luft, abhängig von der Temperatur t

Temperatur t [$^\circ\text{C}$]	Schallgeschwindigkeit c [m/s]
-10	325,3
± 0	331,4
+10	337,4
+20	343,3
+30	349,1

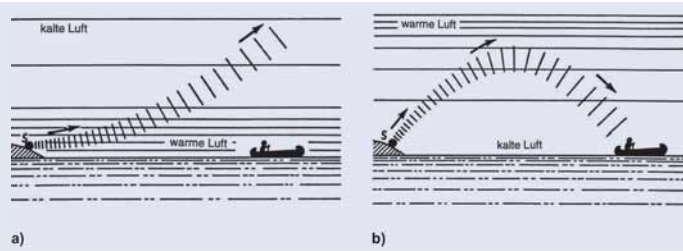


Abbildung 3: Schallbrechung in Luft mit unterschiedlicher Temperaturschichtung.

- a) **Normale Wetterlage** (tagsüber, im Sommer): Infolge der niedrigeren Schallausbreitungsgeschwindigkeit bei kälterer Luft in größerer Höhe wird der Schall nach „oben“ gebrochen. Seine Wahrnehmbarkeit in größerer Entfernung verringert sich stärker, als es nach dem Entfernungsgesetz allein zu erwarten wäre.
- b) **Wetterlage bei Temperaturinversion** (nachts oder auch an sehr kalten Wintertagen): Bei Inversionswetterlage kann die Luft in großer Höhe wärmer sein als am Boden. Infolge der damit verbundenen höheren Schallgeschwindigkeit in der warmen Luft oben wird der Schall nach „unten“, d.h. zum Boden zurückgebrochen. Dadurch kann z.B. der sonst kaum hörbare Flugverkehr von weit entfernten Flughäfen plötzlich laut hörbar werden.

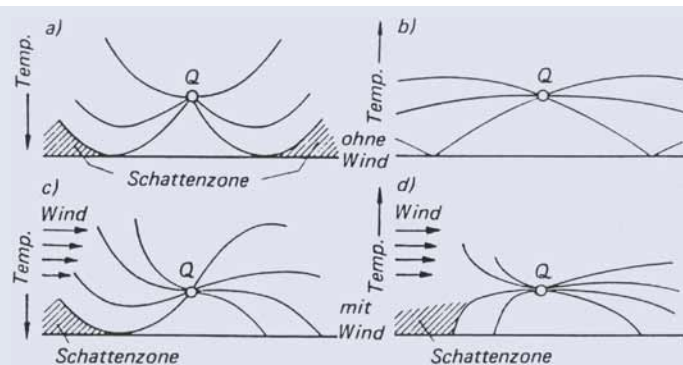


Abbildung 4: Die Schallausbreitung im Freien (hier schematisch dargestellt) wird in Luftschichten unterschiedlich gear- teten Temperaturgefälles (Bilder a und b) durch Brechungsvor- gänge bestimmt. Daneben kann zusätzlicher vorhandener Wind den Brechungsverlauf ganz erheblich verändern (Bilder c und d), siehe dazu auch die VDI 2714, „Schallausbreitung im Freien“.

Auf die Struktur des Brechungsverlaufs kann des Weiteren zusätzlich vorhandener Wind Einfluss nehmen (siehe Abbildung 4). Wind- und Schallgeschwindigkeit addieren sich nämlich vektoriell. Infolgedessen erfolgt die Schallausbreitung mit dem Wind schneller und gegen den Wind langsamer. Im letzteren Falle kann sich sogar eine Schallschattenszone ausbilden, siehe dazu auch die VDI 2714 „Schallausbreitung im Freien“.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit ist Akustiker und Sachverständiger mit Büros in Nauheim (Groß Gerau) und Riga (Lettland). An der FH Wiesbaden/Rüsselsheim hat er einen Lehrauftrag für Akustik.

