



Schallschnelle und Druckgradient sind nicht das Gleiche

Zusammenstellung von Johannes Kammann

Bei der Erklärung des Nahbesprechungseffekts oder der akustischen Wirkungsweise von Richtmikrofonen wird häufig auf die Schallschnelle und deren angebliche Äquivalenz zum Druckgradienten verwiesen.

Der Druckgradient ist ein Vektor, der in die Raumrichtung mit der größten Druckdifferenz zwischen zwei dicht benachbarten Orten zeigt. Sein Betrag ist der Quotient aus der Druckdifferenz Δp und dem Abstand dr der zugehörigen Orte im Schallfeld ($\Delta p/dr$).

Die Schallschnelle hingegen stellt einen Vektor dar, der die Richtung und den Betrag der mittleren Geschwindigkeit angibt, mit dem die Moleküle des Mediums um ihre Ruhelage schwingen. Gemeint ist die gerichtete, durch den Schall erzeugte Bewegung, die der ungerichteten thermischen Molekularbewegung überlagert ist.

Druckgradient und Schallschnelle sind also zwei grundsätzlich verschieden definierte akustische Größen, die aber in einer festen physikalischen Beziehung zueinander stehen. Diese Beziehung wird durch die sogenannte "Euler-Gleichung" ausgedrückt, die generell sowohl im Nahfeld (Kugelwelle) als auch im Fernfeld (ebene Welle) Gültigkeit hat:

$$\frac{dp}{dr} = -\rho \cdot \frac{dv}{dt} \quad \text{Bei Luft von } 20^\circ\text{C ist } \rho = 1,204 \text{ kg/m}^3. \text{ Bei Luft von } 0^\circ\text{C ist } \rho = 1,293 \text{ kg/m}^3.$$

Sie zeigt, dass der örtliche Druckgradient der zeitlichen Ableitung der Schallschnelle (d. h. der Beschleunigung $a = dv/dt$) proportional ist ($\rho =$ Dichte der Luft). Für sinusförmige Schwingungen gilt:

$$v = v_0 \cdot \sin \omega t, \quad \frac{dv}{dt} = \omega \cdot v_0 \cdot \cos \omega t, \quad \frac{dp}{dr} = -\rho \cdot \omega \cdot v_0 \cdot \cos \omega t = -\rho \cdot \omega \cdot v_0 \cdot \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Der Druckgradient nimmt bei konstanter Schallschnelle also frequenzproportional zu (Omegagang, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$) und eilt der Schnelle um 90° voraus. Schallschnelle und Druckgradient dürfen also keinesfalls gleichgesetzt werden.

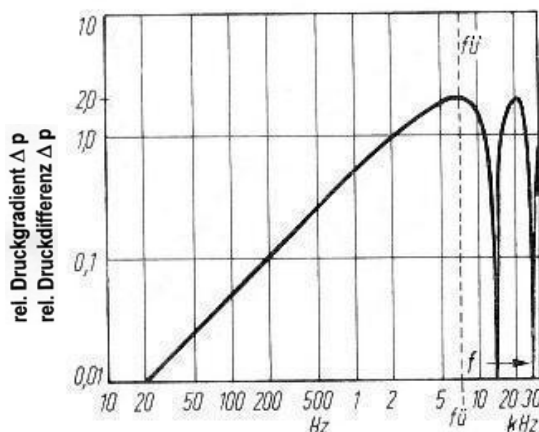
Für die ebene fortschreitende Welle gilt für die Schallkennimpedanz: $Z_0 = p/v = \rho \cdot c$ (Schallgeschwindigkeit $c = 343$ m/s bei 20°C). Schalldruck und Schallschnelle sind stets zueinander frequenzunabhängig proportional und in Phase. Ein ebener Frequenzgang des Schalldrucks bedingt daher einen ebenen Frequenzgang der Schallschnelle. Der Druckgradient zeigt dagegen den bekannten Omegagang und eilt Druck und Schnelle um 90° voraus. Im Nahfeld der Kugelwelle ändern sich die Verhältnisse: Der Schalldruck eilt hier der Schallschnelle um 90° voraus und ist mit dem Druckgradienten daher in Phase. Die Euler-Gleichung für das Verhältnis von Druckgradient und Schallschnelle bleibt aber weiterhin gültig.

Alle Mikrofone, die eine Membran enthalten (also praktisch alle verwendeten Mikrofone), reagieren auf die Druckdifferenz zwischen der Vorder- und der Rückseite der Membran. Je nachdem, ob nur die Vorderseite oder auch die Rückseite an das Schallfeld angekoppelt sind, werden die Mikrofone als Druck- oder Druckgradientenempfänger bezeichnet. Reine Druckmikrofone weisen eine Kugelcharakteristik auf, reine Gradientenempfänger eine Achtercharakteristik.

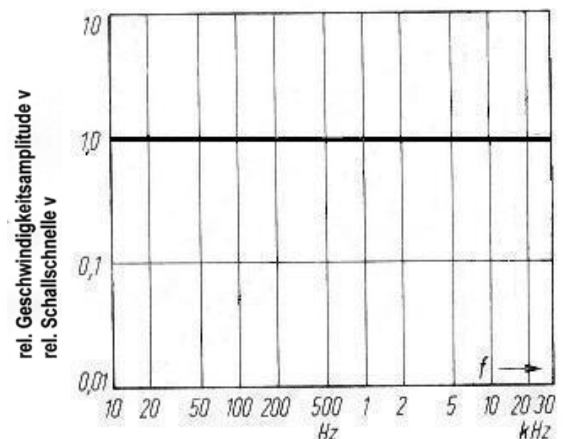
Richtmikrofone reagieren also auf Druckdifferenzen, nicht aber auf die Schallschnelle. Auch das Bändchenmikrofon nicht, obwohl es häufig als Schnellmikrofon bezeichnet wird. Das Bändchen galt früher als so leicht, dass man irrtümlich glaubte, es würde der Luftteilchenbewegung unmittelbar folgen. Das ist aber, wie ein rechnerischer Vergleich der Geschwindigkeiten zeigt, nicht der Fall.

Bisher gibt es nur ein Mikrofon, das völlig eindeutig auf die Schallschnelle reagiert, das "Hitzdraht-Mikrofon" von Microflown. Es besitzt keine Membran, sondern mikrofeine Drähte, die durch elektrische Ströme erhitzt und durch die Schwebewegung der Luft mehr oder weniger gekühlt werden. Die dadurch bewirkten Widerstandsänderungen werden dann ausgewertet.

Offensichtlich wird die Schallschnelle zur Erklärung des Verhaltens der Mikrofone nicht benötigt. Mikrofonmembranen werden durch Kräfte bewegt, die durch Drücke bzw. Druckdifferenzen verursacht werden. Dagegen ist die Schallschnelle bei der Schallerzeugung von elementarer Bedeutung. Lautsprecher erzeugen über die Membranbewegung zunächst eine gleich große Schallschnelle unmittelbar vor der Membran. Die Physik des Schallfeldes bedingt aber feste Beziehungen zwischen Schallschnelle und Schalldruck. Genau das ist die physikalische Wesenheit des Begriffs "Schallfeld". Das Schallmedium erzeugt gewissermaßen aus der Schnelle einen Druck, den wir dann unmittelbar mit unseren Ohren oder mittelbar über die Mikrofone wahrnehmen können.



Abhängigkeit des Druckgradienten (der Druckdifferenz) Δp von der Frequenz f (Punktabstand $d = 25$ mm)
(im ebenen Schallfeld; Schalldruck p über der Frequenz konstant)



Abhängigkeit der Schallschnelle (Geschwindigkeitsamplitude) v von der Frequenz f