

Der Begriff Akustik stammt aus der griechischen Sprache (*ἀκούειν akoyein*: hören) und bedeutet die Lehre vom Schall und seiner Ausbreitung. Er umfasst die Schwingungen in gasförmigen, flüssigen und festen Medien.

Der Fachbereich der Akustik ist ein interdisziplinäres Fachgebiet. Für die Beschreibung der Geräuschsituation bei RLT-Anlagen ist zunächst die Bewegung der Luft von Bedeutung, d. h. die Strömung der Luft über den Ansaugbereich, in den Kanälen bis hin zum Luftauslass. Hinsichtlich der Geräuschsituation spricht man hier von der Strömungsakustik. Neben der Strömungsakustik ist für die Geräuschsituation innerhalb des klimatisierten Gebäudes auch die Bau- und Raumakustik zu betrachten. Während sich die Raumakustik mit den Fragestellungen im Raum selbst beschäftigt (z. B. Hörsamkeit in Schulungsräumen), wird in der Bauakustik die Schallausbreitung im Gebäude, d. h. zwischen den Räumen untersucht. Unsere technischen Beschreibungen der Geräuschsituation sind sicherlich sehr wichtig, aber letztlich entscheidend ist die Psychoakustik, denn damit wird die menschliche Empfindung des Schalls als Hörereignis beschrieben. Die Vorgabe für die akustische Auslegung könnte daher auch sehr kurz gefasst werden: keine störenden Geräusche.

Um die möglichen Anforderungen im Zusammenhang mit der Akustik beschreiben zu können, werden in den folgenden Kapiteln zunächst die Grundlagen und Definitionen der Begriffe erläutert. Im Anschluss hieran werden die Messtechnik und gesetzliche Vorgaben zusammengefasst. Mithilfe dieses Wissens werden dann die Fragestellungen hinsichtlich der Geräuschsituation in Verbindung mit einer RLT-Anlage erläutert.

Ziel des ersten Kapitels ist es, die Begriffe der Akustik zu erläutern und in einen Zusammenhang zu stellen. Trotz der umfassenden Literatur zur Akustik (z. B. [1-1], [1-2], [1-3], [1-4], [1-5]) und auch den Vorgaben des DIN hinsichtlich der Begriffsdefinitionen (DIN 1320 [1-6]) kann nicht vorausgesetzt werden, dass der TGA-Fachmann die Definition aller für diesen Bereich wesentlichen Begriffe der Akustik und die Zusammenhänge kennt. Um Missverständnisse zu vermeiden, werden daher zunächst die Grundlagen erläutert.

## 1.1 Schall / Schallübertragung

Wichtig im Zusammenhang mit akustischen Fragestellungen ist die Schallübertragung. Das heißt, dass eine Übertragungskette und somit die Verbindung zwischen Geräuschquelle und Empfänger vorhanden ist. Abbildung 1.1 zeigt den bekannten Stimmgabelversuch.

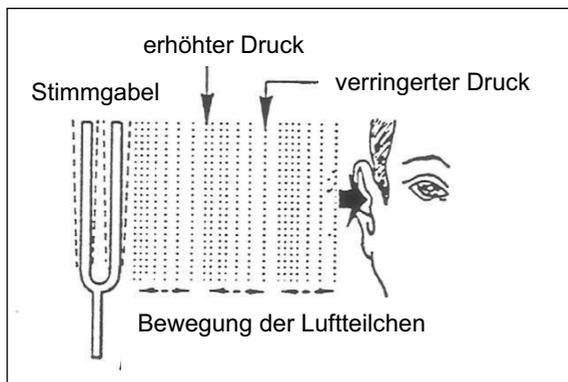


Abb. 1.1  
Stimmgabelversuch –  
Darstellung der Über-  
tragungskette für Schall

Anhand dieses einfachen Versuchs können grundlegende Zusammenhänge erläutert werden:

1. Übertragungskette: für die Übertragung von Schall brauchen wir immer eine geschlossene Übertragungskette: Sender (Emission) – Übertragung / Medium – Empfänger (Immission)
2. Anregung der Stimmgabel: die Stimmgabel wird in der Regel durch einen Impuls (Stoß) angeregt. Die Stimmgabel reagiert aber nur in ihrer – aufgrund der Konstruktion vorgegebenen – Eigenfrequenz.
3. Wechselwirkung Körperschall – Luftschall: Die Bewegung der Stimmgabel (Sender) wird an die umgebende Luft weitergegeben. Aufgrund der Bewegung und in Verbindung mit der Ausbreitung in der umgebenden Luft entstehen Bereiche mit erhöhten und Bereiche mit reduzierten Drücken gegenüber dem Umgebungsdruck: Schallwellen.
4. Empfänger: Das menschliche Ohr analysiert die Schallwellen und leitet die Informationen zur Beurteilung an das Gehirn weiter.

Die Schallausbreitung in der Luft erfolgt durch die Bewegung der Gasmoleküle, welche den Druckunterschied weiterleiten und so ein Signal übermitteln. Bei Medium

Luft spricht man von Luftschall, bei Flüssigkeiten von Flüssigkeitsschall und bei festen Körpern von Körperschall.

Da die Luft – dies gilt auch für Flüssigkeiten – keine Informationen quer zur Ausbreitungsrichtung weitergeben kann, haben wir immer Wellen in Ausbreitungsrichtung. Man nennt diese Longitudinalwellen. Dagegen können in festen Körpern auch Wellen quer zur Ausbreitungsrichtung, sogenannte Transversalwellen auftreten.

Die Beschreibung der Schallwellen erfolgt mittels Amplitude  $a$ , Frequenz  $f$ , Wellenlänge  $\lambda$ , Schallschnelle  $v$  und Ausbreitungsgeschwindigkeit, d. h. Schallgeschwindigkeit  $c$ .

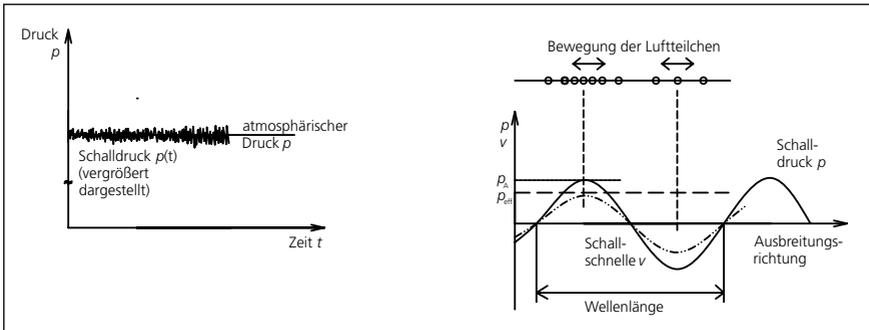


Abb. 1.2 Beschreibung der Schallwellen

Die Abbildung 1.2 zeigt auf der linken Seite den Verlauf des Schalldrucks ( $p = f(t)$ ), der dem atmosphärischen Druck (Luftdruck) überlagert ist. Der Schalldruck ist gegenüber dem Luftdruck sehr klein. So ist z. B. in 1 m Abstand zu einem Redner der Schalldruck  $p = \text{ca. } 1 \text{ Pa}$  (Umgebungsdruck  $p_{\text{atm}} = \text{ca. } 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ).

Das Diagramm auf der rechten Seite (Abb. 1.2) zeigt zunächst die Bewegung der Luftteilchen und darunter den Verlauf des Schalldrucks und der Schallschnelle entlang der Ausbreitungsrichtung. Je größer die Amplitude, desto größer der Schalldruck und desto energiereicher ist die Schallwelle.

Zur Beschreibung der Wellen benötigen wir auch die Periodendauer  $T$  und den Kehrwert hierzu, dies ist die Frequenz  $f$ :

$$f = 1/T \text{ in } 1/s \quad (1-1)$$

Die Wellenlänge  $\lambda$  beschreibt die Distanz zwischen zwei gleichen Zuständen einer Schallwelle:

$$\lambda = c / f \text{ in m} \quad (1-2)$$

Hierin enthalten ist die Schallgeschwindigkeit  $c$ . Die Schallgeschwindigkeit  $c$  entspricht der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Druckänderungen und ist nicht zu verwechseln mit einer weiteren Geschwindigkeit, der sogenannten Schallschnelle  $v$ . Diese Geschwindigkeit bezieht sich auf die Bewegung (Schwingung) des einzelnen Luftteilchens um seine Ruhelage (Bild 1.1 bzw. 1.2). Sie ist die Momentangeschwindigkeit der Teilchen des Mediums. In der Luft ist die Schallschnelle  $v$  meist kleiner als  $1\text{ m/s}$  und somit deutlich kleiner als die Schallgeschwindigkeit  $c$ , welche in Luft bei einer Temperatur von  $20\text{ °C}$  ungefähr  $340\text{ m/s}$  beträgt.

In Abbildung 1.2 befinden sich Schallschnelle und Schalldruck in Phase. Dies ist im sogenannten Fernfeld der Schallquelle der Fall und ist erst mit einem gewissen Abstand von der Schallquelle (im Anschluss an das Nahfeld, Abstand ca.  $1/2$  der Wellenlänge) gegeben. Letztlich ist dieser Zusammenhang zwischen Schallschnelle und Schalldruck eine wesentliche Voraussetzung für die Schallmessung mithilfe des Schalldrucks (siehe auch Kap.1.5).

Zur Einordnung der Schallwellen zeigt die Tabelle 1.1 eine Übersicht für Frequenzen und Wellenlängen für das menschliche Ohr.

Tab. 1.1 Hörbereich des menschlichen Ohrs – Frequenzen  $f$  und Wellenlängen  $\lambda$

	<b>Frequenz</b> $f$	<b>Wellenlänge</b> $\lambda$
<b>tiefster wahrnehmbarer Ton</b>	20 Hz	17,2 m (→ Infraschall)
<b>höchster wahrnehmbarer Ton</b>	15000 Hz	0,023 m (→ Ultraschall)

Sehr tiefe Frequenzen, d. h. Frequenzen, die unterhalb des menschlichen Hörbereichs liegen, nennt man Infraschall. Hohe Frequenzen, die oberhalb des menschlichen Hörbereichs liegen, werden als Ultraschall bezeichnet.

In der TGA wird meist nicht der gesamte Hörbereich betrachtet. So werden z. B. in der Raum- und Bauakustik (siehe auch Kapitel 6) nur die Frequenzen im Bereich von  $f = 100\text{ Hz}$  bis  $f = 5000\text{ Hz}$  dokumentiert. Dies entspricht Wellenlängen von  $\lambda = \text{ca. } 3,4\text{ m}$  bis  $\lambda = \text{ca. } 0,086\text{ m}$ .

Für die Ausbreitung der Schallwellen ist die Schallgeschwindigkeit  $c$  entscheidend. Diese ist abhängig vom jeweiligen Medium sowie vom Zustand des Mediums, der mithilfe der Dichte beschrieben wird. Für Gase, Flüssigkeiten und Festkörper gelten folgende Zusammenhänge:

- Gase:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}} = \sqrt{\kappa R T} \text{ in m/s} \quad (1-3)$$

- mit  $\rho$  Dichte in  $\text{kg/m}^3$
- $\kappa$  Isentropenkoeffizient
- $R$  Gaskonstante in  $\text{J}/(\text{kg K})$
- $p$  Druck in Pa
- $T$  Temperatur in K

- Flüssigkeiten:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \text{ in m/s} \quad (1-4)$$

- mit  $K$  Kompressionsmodul

- Festkörper (Spezialfall des langen Stabs, Querschnitt klein im Vergleich zur Wellenlänge):

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ in m/s} \quad (1-5)$$

- mit  $E$  Elastizitätsmodul.

Die Tabelle 1.2 zeigt Zahlenwerte der Schallgeschwindigkeit  $c$  für verschiedene Medien.

Tab. 1.2 Schallgeschwindigkeit  $c$  für verschiedene Medien

Feste Stoffe (Temperatur 20 °C)		Gase (Umgebungsdruck 1 bar)	
Stahl, Aluminium	5100 m/s	Wasserdampf (110 °C)	413 m/s
Holz (z. B. Eiche)	4300 m/s	Luft – 20 °C	319 m/s
Glas	5000 m/s	0 °C	332 m/s
Ziegel	3600 m/s	+ 20 °C	344 m/s
		+ 100 °C	387 m/s
Wasser (dest)			
0 °C	1407 m/s		
+ 20 °C	1449 m/s		
+ 40 °C	1530 m/s		

Eine wichtige Kenngröße zur Beschreibung des Mediums ist die Schallkennimpedanz  $Z$  (früher: Schallwellenwiderstand). Die Schallkennimpedanz ergibt sich in Analogie zum ohmschen Gesetz aufgrund des konstanten Verhältnisses zwischen Schalldruck und Schallschnelle. Es gilt:

$$p/v = \textit{konstant} = Z = \rho c \tag{1-6}$$

Vorausgesetzt wurde hierbei, dass die Schallschnelle  $v$  und der Schalldruck  $p$  in Phase sind (siehe Abbildung 1.2). Die Schallkennimpedanz bzw. die Differenz der Schallkennimpedanzen ist wesentlich beim Schallübergang an der Grenzfläche zweier Medien. So werden Schallwellen, die auf eine Wasseroberfläche treffen, aufgrund der unterschiedlichen Schallkennimpedanzen von Luft und Wasser, reflektiert. Diese Reflexion an der Grenzfläche ist umso stärker, je größer die Differenz der Schallkennimpedanzen ist.

Tabelle 1.3 zeigt beispielhaft die Werte der Schallkennimpedanz  $Z$  für verschiedene Medien.

Tab. 1.3 Schallkennimpedanz  $Z$  für verschiedene Medien

Medium	Schallgeschwindigkeit $c$ m/s	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Schallkennimpedanz $Z$ Ns/m <sup>3</sup>
Mauerwerk	3500	1800	6300000
Beton	4000	2000	8000000
Wasser	1449 (20° C)	1000	1480000
Luft	344 (20° C)	1,2	414

## 1.2 Schallfeldgrößen

### 1.2.1 Schalldruck / Schalldruckpegel

Da der Schalldruck  $p$  eine zeitlich abhängige Größe ist, gilt die folgende Schreibweise:

$$p = f(t) \text{ in Pa} \tag{1-7}$$