

Schall – Grundlagen

1 Was ist Schall?

1.1 Definitionen

Wie Licht gehört Schall zu den über die menschliche Wahrnehmung definierten physikalischen Größen. Licht ist der sichtbare Bereich der elektromagnetischen Schwingungen (Wellen). Entsprechend ist **Schall der hörbare Bereich der mechanischen Schwingungen bzw. Wellen**.

Die **Schallquelle** ist immer mechanisch schwingende Materie, also Gase (Blasinstrumente), Körper (Saite, Stimmband) oder auch Flüssigkeiten.

Die **Schallübertragung** zum Ohr erfolgt stets über den **Schalleiter** Luft.

Die Schwingungen eines Festkörpers beispielsweise werden auf die Umgebungsluft übertragen und in Form von periodischen Druckschwankungen als longitudinal schwingende Schallwelle weitergeleitet. Longitudinal bedeutet, dass die Welle in Ausbreitungsrichtung schwingt.

Schallwahrnehmung und Schallwandlung: Im menschlichen Ohr werden die Schallwellen zunächst gebündelt und verstärkt („Kraftverstärkung“) und dann im Innenohr in eine hydronale Wanderwelle gewandelt, die ihrerseits elektrische Impulse und damit neuronale Aktivität erzeugt.

1.2 Einteilung nach Frequenz

Die Schallwellen werden nach ihren Frequenzen in folgende Bereiche eingeteilt:

- **Hörschall**
Schallwellen mit Frequenzen zwischen 16 Hz und 20.000 Hz, die für das menschliche Ohr wahrnehmbar sind.
- **Infraschall**
Schallschwingungen mit Frequenzen unter 16 Hz. Sie treten als Boden- oder Gebäudeschwingungen auf, werden vom menschlichen Ohr nicht wahrgenommen. Sie können jedoch unbewusst vom Körper „gespürt“ werden. Elefanten z. B. kommunizieren in diesem Bereich.
- **Ultraschall**
Frequenzen zwischen ca. 20 kHz und 10^7 kHz. Ultraschallwellen treten in der Technik auf und werden in der Medizin zur Diagnostik eingesetzt. In der Tierwelt nutzen z. B. Fledermäuse diesen Bereich als „akustisches Radar“.
- **Hyperschall**
Frequenzen oberhalb von 10^7 kHz bereits im Bereich der Wärmebewegung der Materie (u. a. zur Bestimmung von Materialeigenschaften wie Härte, Elastizität usw. genutzt).

Obwohl sich diese Frequenzbereiche für unser menschliches Empfinden unterscheiden, handelt es sich immer um mechanische Wellen (Analogie zu Licht: Ultraviolett, Infrarot, Mikrowellen).

2 Schallarten

Schallwellen beruhen in der idealen Grundform auf sinusförmigen Schwingungen (Sinuskurve). Prinzipiell können sich auch mehrere Schwingungen jeweils einzelner Frequenz zu einer Gesamtkurve überlagern, die als „umhüllende“ aller beteiligten Schwingungen dargestellt wird. Je nach Gesamtdauer, Amplitude und Form der umhüllenden Schallkurve kann man folgende Schallarten differenzieren:

- **Ton:**

Ein **reiner Ton** ist die physikalisch einfachste Art von Schallschwingung, nämlich eine Sinusschwingung einer einzigen Frequenz. D. h., die Druckschwankungen eines reinen Tones zeigen zeitlich und örtlich sinusförmigen Verlauf. Töne werden durch ihre Tonhöhe (Frequenz) und ihre Tonstärke (Amplitude) charakterisiert.

Beispiele: Der einzig wirklich reine Ton ist ein Prüftön aus einem elektronischen Generator. Nahezu rein ist der Ton einer Stimmgabel (wenig Obertöne, nur unmittelbar beim Anschlag zusätzliche Töne).

- **Klang:**

Wie jede andere Schwingung kann auch Schall durch **Überlagerung sinusförmiger Teilschwingungen gleicher Frequenz** aufgebaut werden. Wenn mehrere Töne, die in einer festen, „sinnvollen“ Beziehung zueinander stehen, zusammenklingen, ist das ein „Klang“: Sind die Frequenzen der Teil-Töne ganzzahlige Vielfache der Frequenz einer sinusförmigen Grundschiwingung, ist diese feste, sinnvolle Beziehung gegeben. Das Ergebnis, der Klang ist eine periodische, aber nicht mehr sinusförmige Gesamtschwingung.

Beispiele: Ton einer einzelnen(!) Gitarrensaite, Violinsaite usw.

- **Tongemisch:**

Entsteht aus sinusförmigen Schwingungen mit beliebigen Frequenzen.

Beispiel: Zusammenklang mehrerer Violinsaiten

- **Klanggemisch:**

Ein Klanggemisch setzt sich aus Klängen mit Grundtönen beliebiger Frequenzen zusammen.

Beispiel: Chor, Orchester usw.

- **Geräusch:**

Alle zuvor genannten Schallarten beruhen auf periodischen Druckschwankungen! Durch Druckschwankungen ohne Regelmäßigkeit (Sinusschwingungen) erzeugte Schallereignisse sind keine Töne oder Klänge und werden als Geräusch bezeichnet.

Umgangssprachlich sagt der Fachmann im Sinne von „Audio“ oft undifferenziert zu allem „Ton“. Eine praxisorientiertere Definition von Geräusch ist deshalb: Ein Schallereignis, dessen Töne in keinerlei inhaltlich oder ästhetisch sinnvollen Beziehung zueinander stehen.

Beispiele: Blätterrauschen, Wasserfall, Maschinengeräusche usw.

- **Knall:**
Er besteht aus einer kleinen Anzahl von Schwingungen unterschiedlichster Frequenz, bei denen die Amplituden blitzschnell hochschnellen und dann schnell abnehmen.

Beispiel: Luftballon platzt, Explosion

3 Kenngrößen der einzelnen Schallwelle

3.1 Physikalische Grundgrößen

Wie bei jeder anderen Art von Welle:

- Frequenz (Wellenlänge)
- Schwingung
- Amplitude

3.2 Sichtbare und hörbare Kenngrößen

Schwingungen und Wellen werden als mathematische Kurven dargestellt, darum sagt man zur Form einer Schwingung auch „Kurvenform“. Das kann zum Beispiel mit dem Oszilloskop sichtbar gemacht werden. (Hinweis: Moderne Audio-Bearbeitungsprogramme für den PC beinhalten auch oszilloskopartige Darstellungsmöglichkeiten.)

Dabei gilt:

- Die **Amplitude** steht für die **Lautstärke**.
- Die **Frequenz** gibt die **Tonhöhe** an.
- Die **Schwingungsform** bestimmt den **Klang**.

3.3 Elektroakustik: Darstellung mit Oszilloskop

Bei hohen Tönen sind die Wellenformen eng und wiederholen sich schnell, bei tiefen Tönen sind die Wellenformen breiter und wiederholen sich langsamer.

Hinweis: Auf dem Medienportal der Siemens Stiftung ist eine ganze Reihe von typischen Tonproben als Tondateien bzw. auch als kombiniertes Video (Oszilloskop/Ton-Darstellung) vorhanden.

3.4 Schallgeschwindigkeit in der Luft

Schallwellen sind Longitudinalwellen. D. h. die Ausbreitungsrichtung der Schallenergie ist der Richtung der Auslenkung der Luftpartikel parallel. (Wasserwellen sind vergleichsweise transversal!)

Die Geschwindigkeit, mit der sich Schallenergie ausbreitet, wird als Schallgeschwindigkeit bezeichnet. Sie beträgt in der Luft bei 0° C und 1.013 mbar 331 m/s (= ca. 1.200 km/h).

3.5 Schallgeschwindigkeit in anderen Medien

Bei einer Schallschwingung müssen sich die kleinsten Teilchen eines Stoffes (Atome, Moleküle oder Ionen) gegeneinander bewegen und ihre Bewegungen verkoppeln.

Wie gut sich das einzelne Teilchen bewegen lässt, hängt u. a. von dessen Masse ab und wie fest es mit den anderen Teilchen zusammenhängt. Andererseits hängt es auch vom gegenseitigen Abstand ab, wie „leicht“ sich die Bewegung des einen Teilchens dem nächsten Teilchen mitteilt. Unterm Strich kombinieren sich die diversen Materialeigenschaften so, dass die Schallgeschwindigkeit letztlich nur vom Elastizitätsmodul (E) und der Dichte (ρ) des Stoffes abhängt:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Die Dichte erschließt sich als „schwere und leichte Stoffe“ unserer Alltagserfahrung. Das Elastizitätsmodul ist weniger gut erfahrbar, denn es ist u. a. durch die Bindungskräfte und die atomare Raumstruktur der Stoffe bestimmt. (Übrigens, da es Elastizität nur bei Festkörpern gibt, wird für Gase und Flüssigkeiten mit einer adäquaten Größe gearbeitet, der „Kompressibilität“)

3.6 Schallgeschwindigkeitswerte verschiedener Materialien

Gase [m/s]		Flüssigkeiten [m/s]		Feste Stoffe [m/s]	
Chlor	206	Alkohol	1.168	Blei	1.200
Sauerstoff	313	Benzol	1.324	Stahl	5.200
Stickstoff	336	Wasser	1.407	Kronglas	5.300
Wasserstoff	1.261	Glycerin	1.900	Quarzglas	5.370

Da Dichte und Elastizität temperaturabhängig sind, ändert sich die Schallgeschwindigkeit auch mit der Temperatur.