

## Schallausbreitung und Hindernisse

Schallwellen breiten sich kreisförmig bzw. räumlich gesehen kugelförmig um die Schallquelle aus. Kann sich der Schall ungestört ausbreiten, spricht man von einem freien Schallfeld. Im täglichen Leben ist das Schallfeld aber meist durch Objekte, durch Gegenstände, Wände und auch Personen gestört.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie Schall sich verhält, wenn er auf ein Hindernis trifft:

- Brechung
- Reflexion
- Bündelung
- Streuung
- Absorption
- Beugung

Hinter all diesen Möglichkeiten steckt letztlich der Wellencharakter des Schalls.

### Schallbrechung

Schallbrechung beruht darauf, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in zwei Medien verschieden ist. Läuft also eine Schallwelle durch Medium 1 (z. B. Luft) und trifft auf die Grenzfläche zum zweiten Medium, kommt es immer zu Brechungseffekten. (Nach den Gesetzen der Wellenphysik sind das - wenn auch in einem anderen Frequenzbereich – exakt die gleichen wie bei Licht!)

In Abhängigkeit vom Einfallswinkel wird die Schallwelle in das zweite Medium übertreten, sich aber in diesem aufgrund der Brechung mit Richtungsänderung ausbreiten.

### Beispiel: Am Tag ist das Fußballspiel lauter

Ein Fußballspiel findet einmal vormittags und einmal abends statt. Am Vormittag ist der Boden kühl und die Luftschichten sind warm. Der Schall trifft auf die warmen Luftbereiche, wird nach unten gebrochen und ist in der Umgebung des Stadions gut zu hören.

Am Abend ist der Boden aufgewärmt, die hohen Luftschichten sind aber schon abgekühlt. Der Schall wird in den kühlen Luftschichten nach oben hin gebrochen und ist in der Umgebung des Stadions schlechter zu hören.

### Schallreflexion

Wenn eine Schallwelle auf eine große, harte Oberfläche trifft - d. h. dass die Schallgeschwindigkeit in den beiden Medien extrem verschieden ist - tritt eine Schallreflexion auf. In diesen Fällen wird der Schall mehr oder weniger komplett zurückgeworfen oder je nach Einfallswinkel und Form des Hindernisses umgelenkt: Die Schallreflexion ist ein Spezialfall der Brechung und somit frequenzabhängig. Hohe Töne werden z. B. an steinernen Wänden in der Regel stärker reflektiert als tiefe, von denen ein größerer Anteil in die Wand eingeleitet wird. Den Bass der Stereoanlage hört man deshalb als Körperschall durch das ganze Haus.

Der Schall wird von der Oberfläche wie Licht von einem Spiegel reflektiert.

Sprechen Leute in einem Raum oder wird auf einer Bühne ohne elektronische Beschallungsanlage musiziert, so wird das Klangbild von den Eigenschaften der reflektierenden Oberflächen der Wände und Decken beeinflusst. Sog. „Schallsegel“ in Konzertsälen sind nichts anderes als Schallreflektoren.

### **Schallstreuung**

Unter Streuung versteht man eine Reflexion an vielfältigen Strukturen mit unterschiedlichsten Winkeln. D. h. der Schall von einer Quelle, die diesen mit einer starken Vorzugsrichtung ausstrahlt, wird diese Vorzugsrichtung an einem solchen Hindernis verlieren.

Die Streuung ist frequenzabhängig bzw. abhängig von der Wellenlänge. Streuung tritt auf, wenn die Struktur des Hindernisses kleiner ist als die Wellenlänge des Schalls.

### **Schallbündelung**

Das Gegenteil der Schallstreuung ist die Schallbündelung. Darunter versteht man mechanische und elektroakustische Maßnahmen zur Konzentration der Schallwellen in einem engeren Schallfeld. Das funktioniert ähnlich wie Spiegel oder Sammellinse in der Optik. Bei entsprechender Form der reflektierenden Fläche (z. B. bei der Kuppel einer Kirche) wird der Schall bei der Reflexion gebündelt, der Nachhall oder das Echo in einem bestimmten Bereich des Kirchenschiffs konzentriert. (Eine Bündelung kann übrigens auch beim Aussenden des Schalls erfolgen. Beim Lautsprecher in Form eines Hochtorns sieht man das deutlich.)

### **Schallabsorption, Schalldämpfung**

In jedem Medium (Luft und Festkörper) geht ein gewisser Prozentsatz der Schallenergie durch mechanische Reibung „verloren“ (bzw. wird in Wärmeenergie umgewandelt).

Ist der Schallweg lang genug, wird also der Schall letztendlich in jedem Medium verschluckt d. h. „absorbiert“.

Bestimmte Hindernisse wie Schallschutzwände sind genau so konstruiert, dass sie möglichst viel Schall absorbieren. Ihr Volumen ist porös, so entstehen durch Vielfach-Reflexion (Streuung) extrem lange Schallwege und unter Umwandlung in Wärme „läuft sich“ der Schall in diesen Materialien „tot“.

Die Absorption ist frequenzabhängig bzw. abhängig von der Wellenlänge. Absorption tritt auf, wenn die Gitterkonstante des Hindernisses kleiner ist als die Wellenlänge des Schalls. Zusätzlich spielt u. a. der Wärmekoeffizient des Materials eine Rolle.

### **Nachhall und Resonanz**

#### **Nachhallzeit**

Ein kurzer Schall ist so lange zu hören, bis die meiste Schallenergie absorbiert worden ist. Dieses Phänomen heißt „Nachhallzeit“; in einem normalen Wohnzimmer beträgt sie Millisekunden, in einer Konzerthalle liegt sie dagegen im Bereich von hunderten von Millisekunden. Ein gewisser Nachhall wird übrigens vom menschlichen Gehör als normal empfunden und verbessert evtl. die Hörbarkeit. Zu langer Nachhall wirkt dagegen umgekehrt.

#### **Resonanz**

Von Resonanz spricht man dann, wenn das Medium mitschwingt und nur ein geringer Teil der Schallenergie absorbiert wird. Das Mitschwingen in Resonanz erhöht zwar nicht die Gesamtenergie des ausgesandten Schalls, wirkt aber u. U. kraftverstärkend, die Hörbarkeit wird besser. (Beispiel: Saite der Gitarre mit und ohne Resonanz des Gitarrenkörpers.)

### Echo

Sicherlich hat jeder selbst schon einmal in einem Tunnel oder in den Bergen laut gerufen und dem Echo seines Rufes gelauscht.

Wird der Schall von einem entfernten Objekt reflektiert, ist die Schallreflexion als Echo zu hören. Zu beachten ist jedoch, dass die reflektierten Schallwellen nur dann bewusst als Echo wahrgenommen werden, wenn zwischen dem Ausgangston und dem reflektierten Ton eine Zeitdifferenz von 30 – 50 ms (nach anderer Aussage 100 ms) liegt.

Ist die Differenz geringer, so kommt es zu einem Höreindruck, bei dem das Echo als Nachhall unbewusst wahrgenommen wird. Dieser Höreindruck hängt von Größe, Art und Anzahl der Einrichtungsgegenstände etc. ab und erlaubt es, sich ein Bild von dem umgebenden Raum zu machen. Blinde Menschen nutzen zu ihrer Orientierung in der Umwelt häufig Nachhall bzw. Echo von selbst erzeugten Geräuschen, z. B. den Nachhall ihrer Fußschritte.

### Schallbeugung

Die totale Reflexion von Schall hat zur Voraussetzung, dass die reflektierende Struktur im Verhältnis zur Wellenlänge groß ist. Ist die Wellenlänge hingegen gleich groß wie der Durchmesser des Hindernisses, werden die Schallwellen nicht mehr reflektiert, sondern gebeugt.

#### Beispiel: Die Straße hört man auch hinter dem Haus

Beugung bedeutet, dass die Schallwellen sich um das Hindernis „herumbiegen“. Ist das Hindernis also im Verhältnis zur Wellenlänge klein, so pflanzt sich die Schallwelle hinter dem Hindernis fast genauso wie vor dem Hindernis fort. (Erklärung ist, dass an den Kanten neue Elementarwellen entstehen, die sich nun kugelförmig auch in den Schattenbereich ausbreiten.)

#### Beispiel: Probleme mit dem Hörgerät

Ein Beispiel für Schallbeugung ist der so genannte „Kopfschatten“-Effekt: Trägt jemand nur in einem Ohr ein Hörgerät, wird der Schall durch die akustische Wirkung des Kopfs („Kopfschatten“) abgeschwächt.

Der Kopf dämpft dabei aber die hohen Töne, weil im Vergleich zu den Ausmaßen des Kopfs deren Wellenlängen klein sind. Bei den tiefen Tönen, den niedrigen Schallfrequenzen hingegen sind im Vergleich zum Kopf die Wellenlängen groß und können um ihn herumgehen.

Bei der Sprache führt dies dazu, dass sie zwar ausreichend laut klingt, aber schwer zu verstehen ist: Sie kann nur dann gut verstanden werden, wenn die Konsonanten gut verständlich sind und gerade diese Konsonanten liegen im hohen Frequenzbereich.