

■ Raum für guten Klang

Mit passenden Absorbern und Diffusoren lässt sich die Raumakustik verbessern.

So manchen Sprecher in einem Seminarraum kann man zwar hören, aber nicht deutlich verstehen. Das hat natürlich verschiedene Gründe, aber maßgeblich ist dabei die Akustik des Raums. Sie ergibt sich aus dem Zusammenspiel von Raumvolumen und -geometrie mit den Oberflächen und Materialien im Raum, die den Schall reflektieren, streuen oder absorbieren. Breiten sich Schallwellen von einem Sprecher ausgehend in einem Raum aus, lässt sich dies über einen großen Frequenzbereich der menschlichen Stimme geometrisch beschreiben. Zunächst erreicht der Direktschall, also der entlang der Sichtlinie ankommende Schall, den Zuhörer (Abb. 1). Der restliche Schallanteil wird ein- bis mehrfach an Flächen des Raums reflektiert, wobei man zwischen frühen Reflexionen und Nachhall unterscheidet. Bei den frühen Reflexionen kann der Zuhörer die einzelnen Schallanteile noch getrennt wahrnehmen, beim Nachhall nicht.

In einem Seminarraum kommt es auf Sprachverständlichkeit an.



Wer Ansprachen hält, braucht dafür die passende Raumakustik. Diese hängt u. a. vom Volumen und der Form des Raums

Dafür muss der Anteil des Direktschalls möglichst hoch sein. Die frühen Reflexionen sollten idealerweise in den ersten 20 Millisekunden nach ihrer Ausstrahlung beim Zuhörer ankommen, weil er den Sprecher dadurch besser lokalisieren und lauter hören kann. Der Nachhall sollte möglichst innerhalb einer Sekunde abklingen.

Neben den Dimensionen und der Geometrie des jeweiligen Raums bestimmen die Schallabsorption der reflektierenden Flächen – Decke, Boden, Wände und Mobiliar – die ersten Reflexionen und den Nachhall. Eine schallharte Fläche wie eine Beton- oder Glaswand reflektiert eintreffende Schallwellen nahezu verlustfrei. Allgemein gilt: Je größer der Raum und je „schallhärter“ die Flächen, desto länger die Nachhallzeit. Sie ist als die Zeit definiert, in welcher der Schalldruck einer schlagartig verstummenden Quelle auf ein Tausendstel des Anfangswerts abnimmt.

In quasi jedem Raum tragen so genannte poröse Absorber zu einer angenehmeren Nachhallzeit bei – etwa in Form von Vorhängen, Teppichboden oder Polstermöbeln. Zudem gibt es gezielt für akustische Zwecke hergestellte Schaum- und Vliesstoffe, die sich beispielsweise an Decken oder Wänden platzieren lassen. Das zugrunde liegende

oder den Materialien auf den Oberflächen ab, lässt sich aber auch durch weitere Elemente beeinflussen.

physikalische Prinzip ist bei allen Absorbern dasselbe: Die in das poröse Material eindringenden Schallwellen regen die darin enthaltene Luft zum Schwingen an; die poröse Struktur des Materials bremst diese Schwingungen aufgrund des Strömungswiderstands und der Reibung ab und wandelt die Bewegungsenergie in Wärme um. Da die Schallabsorption von der Frequenz abhängt, unterscheiden sich Absorber vor allem in ihrer Bandbreite und Effektivität. Zudem ist die Position des Absorbers im Raum wesentlich, wenn man bestimmte Reflexionen vermeiden will. Am effektivsten arbeitet ein solcher Absorber, wenn er sich eine Viertel Wellenlänge vor einer schallharten Fläche befindet, weil dort die Schallschnelle, also die Geschwindigkeit der Luftteilchen, maximal ist.

Neben den porösen Absorbern gibt es auch resonante Absorber, die als Plattenabsorber oder Helmholtz-Resonator ausgelegt sind. Bei den Plattenabsorbern wird eine schwingungsfähige Platte auf einem lufthaltigen Volumen aus Schaumstoff oder Mineralwolle befestigt. Auftreffende Schallwellen regen diesen Absorber zu Eigenschwingungen an, die sich letztlich wieder in Reibungswärme umwandeln. Durch die Kombination



Bei diesem Kantenabsorber steckt ein poröser Schaumstoff in einem mit Stoff bespannten Rahmen. Der Name der Kantenabsorber leitet sich von seiner Positionierung in den Raumecken ab.

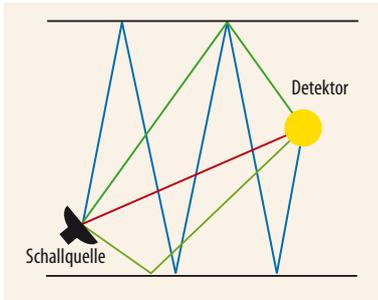


Abb. 1 Der Direktschall (rot) erreicht den Detektor vor den frühen Reflexionen von den Wänden (grün). Zuletzt gelangt der Nachhall (blau) zum Detektor.

mehrerer Platten unterschiedlicher Eigenfrequenz lassen sich so auch breitbandigere Absorber herstellen. Ein Helmholtz-Resonator dagegen besteht aus einem kleinen schwingungsfähigen Luftvolumen in einer schmalen Öffnung, an das ein großes Luftvolumen angekoppelt ist. Treffen Schallwellen auf das kleine Luftvolumen, regt dieses das große resonant zum Schwingen an. Damit der Schalldruckpegel nicht verstärkt, sondern gedämpft wird, muss die in der Öffnung schwingende Luft durch Reibung gebremst werden. Dafür sorgt ein dünnes poröses Material (etwa aus Schaum- oder Vliesstoff), das hinter der Öffnung sitzt.

Häufig sind Helmholtz-Resonatoren in Form gelochter Deckenverkleidungen zu sehen. Die Löcher fungieren dabei als die kleinen Luftvolumina, deren Schwingungen sich auf Hohlräume hinter den einzelnen Löchern übertragen. Die Abstimmung der Lochdurchmesser auf mehrere Resonanzfrequenzen ermöglicht einen relativ breitbandigen Absorber.

Wir brauchen Bass

Ein anderes Phänomen tritt auf, wenn die Wellenlängen des Schalls in der Größenordnung der Raumdimensionen liegen. Bei einem größeren Besprechungsraum ist das bei Frequenzen etwas unterhalb von 200 Hertz der Fall, bei einem Konzertsaal bei etwa 30 Hertz. Unterhalb dieser Frequenzen bilden sich stehende Wellen aus, so genannte Raummoden. Diese tiefen Frequenzen nimmt ein Zuhörer abhängig von seiner Position in sehr unterschiedlicher Intensität

wahr: Jeder kennt das sicher, wenn mal wieder der Bass – und nur der Bass – aus der Nachbarwohnung herüberwummert. Poröse Absorber helfen bei diesen tiefsten Frequenzen nicht weiter, weil ihr Abstand von der Wand für eine wirkungsvolle Absorption zu groß sein müsste. Konzepte basierend auf Helmholtz-Resonatoren können hier helfen. Jedoch sind diese Lösungen nicht von der Stange zu haben, sondern erfordern eine genaue raumspezifische Auslegung, was ihre Verbreitung beschränken dürfte.

Völlig anders als bei einem Seminarraum sieht die Situation bei einem Konzertsaal aus. Hier soll die Musik den Zuhörer „einhüllen“. Das geschieht am besten, wenn die Anteile der ersten Reflexionen groß genug gegenüber dem Anteil des Direktschalls sind. Sie dürfen aber auch nicht zu groß werden, damit der räumliche Eindruck nicht verloren geht. Auch der Nachhall trägt zum vollendeten Musikerlebnis bei, wenn er etwa doppelt so lange wie in „Sprechräumen“ ausfällt und noch einen merklichen Anteil am gesamten Schalldruckpegel erreicht.

Während sich die Sprachverständlichkeit in einem Raum vor allem über die schallabsorbierenden Materialien und Oberflächen beeinflussen lässt, sind für das „einhüllende“ Musikerlebnis in großen Räumen zusätzlich zu Absorbern oft Diffusoren erforderlich, um den Schall gleichmäßig zu verteilen. Die streuenden Strukturen der Diffusoren liegen dazu in derselben Größenordnung wie die Wellenlänge der Schallwellen, um einen möglichst großen Winkelbereich abzudecken. In Konzertsälen ist das unter anderem mit speziell gestalteten Wänden zu erreichen. Sprecher gut zu verstehen und Musik intensiv zu erleben schließen sich aus akustischer Sicht also gegenseitig aus.

Michael Vogel

*

Ich danke Ingolf Bork von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig für hilfreiche Erläuterungen.