



Akustische Messräume

Akustik-Serie Teil 12

Reflexionsarme Messräume, Messboxen, Impedanz-Messrohre und Hallräume

In der Akustik gibt es Messungen, für deren Durchführung man neben dem erforderlichen Mess-Equipment oft auch noch besondere Räume benötigt. Das sind Räume, in denen man - im Wesentlichen - entweder unter akustischen Freifeldbedingungen oder unter akustischen Diffusfeldbedingungen messen möchte. Konkret handelt es sich dabei um reflexionsarme Räume und Hallräume. Und dann gibt es noch eine weitere Gruppe von Mess-„Räumen“, und das sind Messrohre.

Nutzung von Messräumen

In reflexionsarmen Räumen misst man hauptsächlich

- akustische Leistungen (z. B. von Maschinen, von Fahrzeugen, inzwischen sogar von E-Bikes etc.) und
- Freifeld-Übertragungseigenschaften von elektroakustischen Wandlern, einschließlich deren Richtcharakteristiken (z. B. von Mikrofonen, Lautsprechern etc.).

Auch die Übertragungseigenschaften von Hörgeräten werden in reflexionsarmen Räumen bestimmt, zumindest während deren Entwicklung. Ansonsten gibt es zur weniger aufwendigen Prüfung von Hörgeräten bzw. Hörsystemen eigens dafür geschaffene Messboxen. Das sind im Prinzip ebenfalls reflexionsarme Räume, quasi in Kleinformat, die auch von Hörgeräte-Akustikern in deren Betrieben genutzt werden können.

Im Gegensatz zu reflexionsarmen Messräumen dienen Hallräume dazu, in ihrem Inneren ein diffu-

ses Schallfeld zu erzeugen, in dem an jedem Ort des Raums, ausgenommen die unmittelbare Umgebung um die Schallquelle herum, der gleiche Schalldruck herrscht. Eine der am häufigsten durchgeführten Messungen in Hallräumen befasst sich, neben der Messung von Schalleistungen diverser Quellen, vor allem mit der Bestimmung des Schall-Absorptionsgrads von schallschluckenden Materialien.

Eine ganz besondere Art von akustischen Mess-„Räumen“ bilden die sogenannten Impedanz-Messrohre, die insbesondere zur Messung des Absorptionsgrads von schall- und schwingungsisolierenden Materialien verwendet werden. Darauf wird weiter unten näher eingegangen.

Reflexionsarme Messräume gibt es nicht nur für Messungen in Luft, sondern auch für messtechnische Untersuchungen in Wasser. Das sind sogenannte Wasserschall-Messtanks. Darüber wird in einem späteren Beitrag dieser Reihe noch ausführlich berichtet.

Reflexionsarme Messräume

In reflexionsarmen Messräumen werden, wie einleitend schon gesagt, Messungen unter akustischen Freifeldbedingungen durchgeführt, d. h. ungestört durch Reflexionen von irgendwelchen Raumbegrenzungsflächen. Kennzeichen eines freien Schallfelds ist die Entfernungsab-



Zur Information:

In leicht verständlicher Form vermitteln wir eine **Einführung in die Arbeitsgebiete der technischen Akustik – einschließlich Schwingungstechnik – und der Elektroakustik.**

Themengebiete:

- Akustische Grundbegriffe – Schallfeldgrößen, Pegel, Resonatoren (ELVjournal 2/2019)
- Schallausbreitung – Reflexion, Beugung, Brechung und Absorption (ELVjournal 3/2019)
- Elektromechanische Analogien – Analogie erster und zweiter Art, Ersatzschaltbilder (ELVjournal 4/2019)
- Elektroakustische Wandler – Wandlerprinzipien und ihre Gesetze (ELVjournal 5/2019)
- Mikrofone – vom Studiomikrofon bis zum Subminiaturmikrofon (ELVjournal 6/2019)
- Kopfhörer – elektrodynamische und elektrostatische Kopfhörer (ELVjournal 1/2020)
- Lautsprecher – von den Anfängen bis zur Bassreflexbox (ELVjournal 2/2020)
- Beschallungstechnik – gerichtete Schallabstrahlung, Linienstrahler (ELVjournal 4/2020)
- Raum- und Bauakustik – Sabine'sches Gesetz, Nachhallzeit und äquivalente Absorptionsfläche (ELVjournal 4/2020)
- Gehör – Lautstärke, Lautheit, Hörverlust, Hörgeräte, Audiometrie (ELVjournal 5/2020)
- Persönlicher Schallschutz – von passiven Gehörschutzmitteln bis zum aktiven Schallschutz mittels „Antischall“ (ELVjournal 6/2020)
- **Akustische Messräume – reflexionsarme Räume, Impedanz-Messrohre und Hallräume**
- Körperschall und Vibrationen – Accelerometer und Ladungsverstärker
- Wasserschall – Schallausbreitung im Wasser, Hydrofone und Wasserschall-Messtanks
- Ultraschall und Infrarotschall – natürliche und industrielle Quellen

Theoretische Zusammenhänge werden nur so weit vertieft, wie es für das Verständnis des Stoffs notwendig ist. Auf mathematische Ausdrücke (Gleichungen, Formeln) wird im Text so weit wie möglich verzichtet. Anschauliche Illustrationen unterstützen diese Beiträge. Autor dieser Serie ist Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit.

hängigkeit des Schalldrucks p (Einheit: Newton/m² oder Pascal) von der Schallquelle gemäß dem $1/r$ -Gesetz, entsprechend einem Pegelabfall um – 6 dB pro Entfernungsverdopplung, siehe [Bild 1](#).

Den grundsätzlichen Aufbau eines reflexionsarmen Messraums zeigt das [Bild 2a](#). Die Begrenzungsflächen derartiger Messräume sind mit extrem schallabsorbierendem Material ausgekleidet. Das sind im Allgemeinen Mineralfaser-Werkstoffe. Bevorzugt werden dabei keilförmige Strukturen, in denen der auftreffende Schall eine Vielzahl von Reflexionen mit stets begleitenden Absorptionen erfährt ([siehe Bild 2b](#)), sodass die einfallende Schalleistung oberhalb einer bestimmten Grenzfrequenz (z. B. ≥ 30 –50 Hz) um bis zu 99,9 % absorbiert wird. Auf diese Weise kann sich auch in einem allseits geschlossenen Raum ein freies Schallfeld ausbilden, in dem der Schalldruck p , wie oben schon erwähnt, proportional mit der Entfernung r zur Schallquelle abnimmt ([Bild 3](#)).

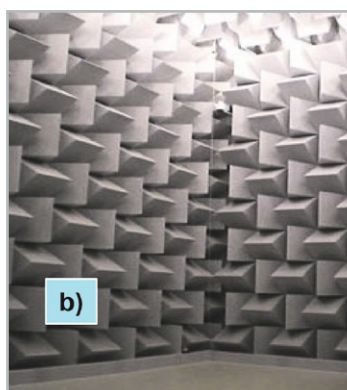
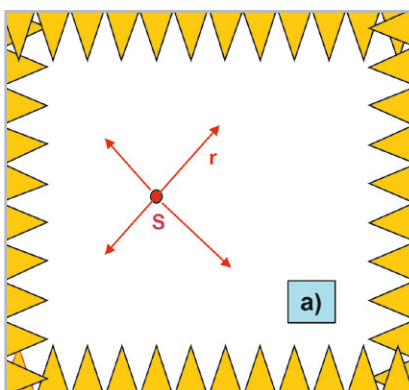


Bild 2: Reflexionsarmer Messraum für akustische Messungen unter Freifeldbedingungen.
 a) Sämtliche Raumbegrenzungsflächen sind mit schallabsorbierendem Material ausgekleidet, meist in Keilform. Der Raum selbst ist im Allgemeinen federnd gelagert und somit gegen Vibrationen und Erschütterungen gut isoliert. Der von einer Schallquelle S abgestrahlte Schall breitet sich nach allen Seiten mit abnehmendem Schalldruck p gemäß dem $1/r$ -Gesetz aus, ohne reflektiert zu werden.
 b) Innenansicht eines reflexionsarmen Raums

$$W_{ak} = \frac{p^2}{\rho c} \cdot 4\pi r^2$$

$$p = \frac{1}{r} \cdot \sqrt{\frac{W_{ak} \cdot \rho c}{4\pi}}$$

W_{ak} = akustische Leistung [in: Watt]. Eigentlich verwendet man in der Elektrotechnik für die Leistung das Symbol P . Da das große P bei flüchtiger Schreibweise mit dem kleinen p für den Schalldruck leicht verwechselt werden kann, benutzt man in der Akustik gern auch das große W_{ak} als Symbol. Siehe dazu auch das für den Schalleistungspegel generell verwendete Symbol L_w mit W als Index. – Die obige Formel gilt für Kugelstrahler 0-ter Ordnung.
 ρc = Schallkennimpedanz (= 408 Ns/m³ für Luft bei 20°C)

Bild 1: Zusammenhang zwischen Schalleistung W_{ak} , Schalldruck p , Entfernung r bis zur Schallquelle und Schallkennimpedanz $\rho c = Z_0$ im freien Schallfeld; $1/r$ -Gesetz

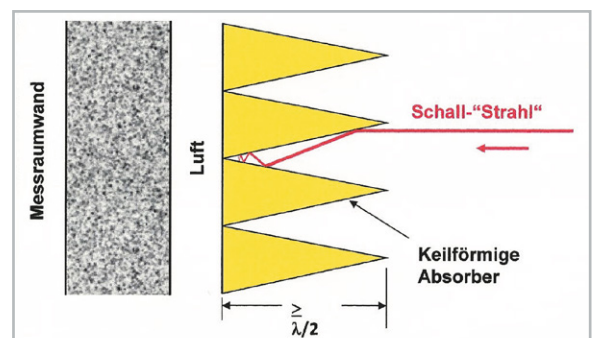


Bild 3: Teildarstellung einer mit keilförmigen Absorbern ausgekleideten Wand innerhalb eines reflexionsarmen Messraums. Die Keile sind in einem geeignet gewählten Abstand vor der massiven Messraum-Außenwand angebracht. Die Absorber selbst bestehen meist aus Mineralfasermaterial. Stellt man den auftreffenden Schall durch Strahlen dar, so erfahren diese beim Auftreffen und Eindringen in die schrägen Absorberstrukturen eine Vielzahl von partiellen Reflexionen und Absorptionen. Auf diese Weise wird ein freies Schallfeld ohne gegleiche Reflexionen erzeugt.

Die Länge der Absorberkeile sollte größer als oder zumindest gleich groß sein wie die halbe Wellenlänge $\lambda/2$ der unteren Frequenzgrenze, bis zu der Freifeldbedingungen herrschen, bei denen auch gemessen werden kann. Die keilförmige Absorbergeometrie führt zu einer Vielzahl von nacheinander stattfindenden partiellen Reflexionen und Absorptionen zwischen den schrägen Keilflächen (im Bild 3 rot eingezeichnet), was ein sehr schnelles Abklingen des auftretenden Schalls zur Folge hat.

Wie eingangs schon erwähnt, werden reflexionsarme Messräume besonders häufig zur Messung der Schalleistung W_{ak} von den unterschiedlichsten Schallquellen, z. B. Maschinen, eingesetzt. Bei der Leistungsbestimmung verwendet man meist eine gedachte sogenannte Hüllfläche um die zu untersuchende Quelle herum, siehe dazu Bild 4. Die in der Praxis, nach DIN EN ISO 3745, meist zum Einsatz kommende

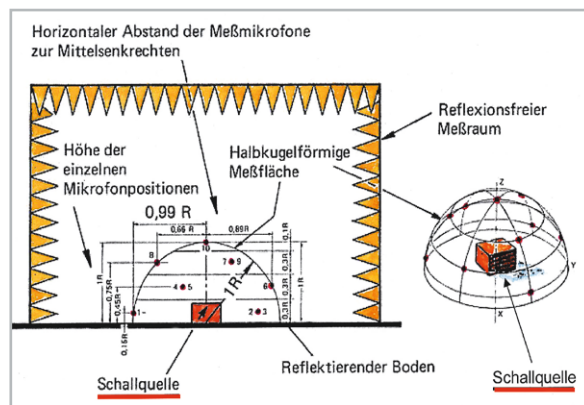


Bild 4: Messung der Schalleistung W_{ak} einer Schallquelle nach dem Hüllflächen-Verfahren im freien Schallfeld eines reflexionsarmen Messraums. Bei Schalleistungsmessungen nach DIN EN ISO 3745 und Güteklasse 1 sind mindestens 10 Messpunkte erforderlich. Die obige Darstellung zeigt eine solche Anordnung (schematisch) mit 10 Mikrofonen an 10 Messorten auf einer halbkugelförmigen Messfläche über einem schallhart reflektierenden Boden. Die Mikrofonpositionen sind so verteilt, dass der Winkel zwischen je zwei benachbarten Messpunkten für alle Messorte gleich groß ist.

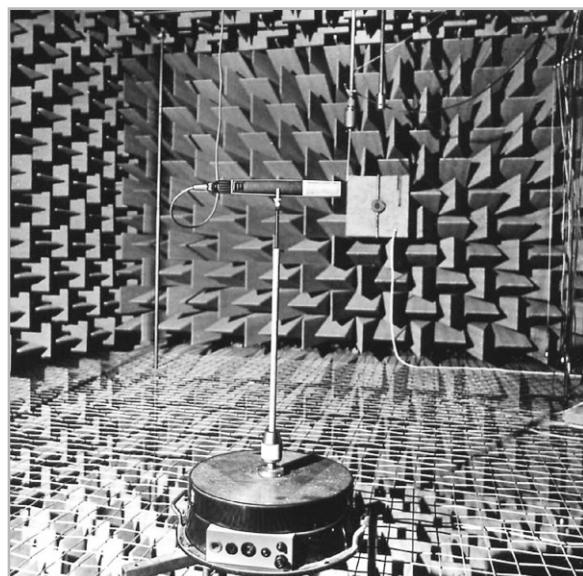


Bild 5: Reflexionsarmer Messraum mit einem begehbaren Drahtgitter. Im Vordergrund steht ein Drehtisch, mit dem man die Richtcharakteristik, z. B. von Mikrofonen, messen kann.

halbkugelförmige Hüllfläche umschließt einen Halbraum oberhalb eines starren, reflektierenden Bodens. Wählt man für den Radius R der gedachten Halbkugel einen Wert von $0,4 \text{ m}$, so hat die Oberfläche der Hüllfläche einen Wert von $2\pi r^2 = 2\pi \cdot 0,4^2 = 1,0 \text{ m}^2$ (!). Das bedeutet, dass der in dieser Entfernung von der Quelle gemessene mittlere Schalldruckpegel L_p zahlenmäßig (!) – und zwar nur zahlenmäßig – den gleichen Wert hat wie der dort herrschende und zu bestimmende Schalleistungspegel L_w . Dieses Zusammenfallen von zwei Zahlenwerten, die physikalisch nichts miteinander zu tun haben, vereinfacht und erleichtert den rein „handwerklichen“ Messvorgang.

Zurück zur Messfläche. Gemäß der genannten Norm werden an 10 verschiedenen Messorten mit 10 über der halbkugelförmigen Messfläche gleichmäßig um die Schallquelle herum verteilten Mikrofonen die Schalldruckpegel gemessen und gemittelt. Aus dem Messergebnis gewinnt man schließlich den gewünschten Leistungspegel der Schallquelle.

Bei größeren Schallquellen, z. B. großen Maschinen, muss der Radius der halbkugelförmigen Messfläche entsprechend größer gewählt werden, was eine entsprechende Flächenkorrektur am Ergebnis erforderlich macht.

Neben der Messung von akustischen Leistungen benutzt man reflexionsarme Messräume hauptsächlich auch zur Messung der Übertragungseigenschaften von elektroakustischen Wandlern, d. h. im Wesentlichen von Mikrofonen und Lautsprechern. Dazu gehört auch die messtechnische Bestimmung der Richtcharakteristik von Mikrofonen. Die zu messenden Mikrofone werden dazu auf einen Drehtisch montiert und in einem reflexionsarmen Raum aufgestellt, siehe Bild 5. Die gesamte Anordnung dreht sich dabei einmal um die eigene Achse, d. h. um 360° , während die Messung läuft. Das dabei gewonnene Ergebnis wird meist in Polarkoordinaten dargestellt.

Auch bei der Entwicklung von Hörgeräten spielen reflexionsarme Messräume eine sehr wichtige Rolle. Für Hörgeräteakustiker, die sich nicht in jedem ihrer Geschäfte einen großen, reflexionsfreien Messraum aufstellen können, gibt es eine „handlichere“ Ausführung davon, und das sind Messboxen, siehe Bild 6.

Messboxen

Die Funktion ist dieselbe wie beim Test von Mikrofonen in großen reflexionsarmen Messräumen. Hier daher noch einmal die Erklärung des Messvorgangs am Beispiel einer Hörgeräte-Messung in einem größeren und somit übersichtlicheren Messraum, siehe Bild 7. Zunächst befindet sich darin eine für den Test benötigte Schallquelle, ein Lautsprecher. Der zu untersuchende Prüfling, sei es ein Mikrofon oder eben ein Hörgerät, befindet sich in einem bestimmten Abstand a) von der Schallquelle entfernt. Im gleichen Abstand zum Lautsprecher, und zwar symmetrisch dazu, steht ein Regelmikrofon. Letzteres steuert über einen Regelverstärker den für die Untersuchung erforderlichen Tongenerator zur Speisung des Lautsprechers, und zwar so, dass am Ort des Regelmikrofons und damit auch des Prüflings, z. B. eines zu testenden Hörgeräts mit angeschlossenem 2-cm^3 -Kuppler, der Schalldruck p_e bzw. der Schalldruckpegel L_e über den gesamten Messfrequenzbereich hinweg konstant bleibt. „Unebenheiten“ im Frequenzgang des Lautsprechers werden auf diese Weise „korrigiert“.

In der Messbox geschieht genau dasselbe, aber alles nur sehr viel kleiner. Die Box ist ausreichend schallisoliert aufgebaut. Das Messobjekt inkl. Kuppler sowie das Regelmikrofon befinden sich hier in derselben Ebene, und zwar gleich weit entfernt vom darunter befindlichen Lautsprecher, siehe auch Bild 6.

Impedanz-Messrohre

In der Bauakustik werden Faserdämmstoffe verwendet, und zwar sowohl zur Schalldämmung als auch zur Schalldämpfung. Letzteres geschieht z. B. beim Einsatz von Faserabsorbieren unter schwimmenden Estrichen zur Minimierung der Trittschallübertragung. Zur Kennzeichnung der Dämpfungs- oder Absorptionseigenschaften von Faserdämmstoffen ge-

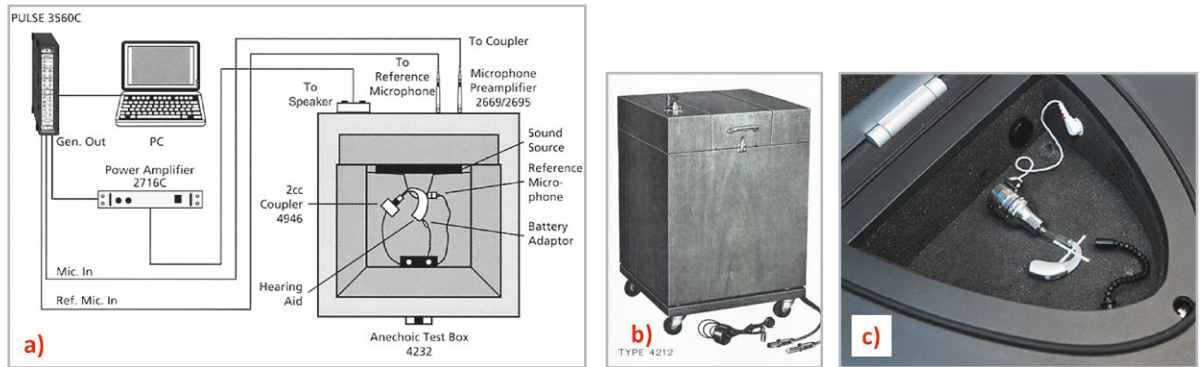


Bild 6: Hörgeräte-Messboxen, einige Beispiele:
 a) Hörgeräte-Messbox (Typ 4232, Brüel & Kjaer) mit dazugehörigen Messgeräten zur Messung der Übertragungseigenschaften von Hörgeräten
 b) Hörgeräte-Messbox (Typ 4212, Brüel & Kjaer), älteres Modell aus der Anfangszeit der Hörgeräte-Messtechnik
 c) Moderne Messbox (Quelle: Hörzentrum Müller, Mönchengladbach)

ben deren Hersteller im Allgemeinen den Schallabsorptionsgrad α in Abhängigkeit von der Frequenz und in Abhängigkeit von der Materialdicke d an.

Die Bestimmung des Absorptionsgrads für senkrechten Schalleinfall erfolgt in der Praxis mithilfe eines Impedanz-Messrohrs, und zwar durch Messung des Stehwellenverhältnisses SWR (standing wave ratio) $n = p_{\max}/p_{\min}$, siehe Bild 8. Daraus gewinnt man den Schallabsorptionsgrad $\alpha(0)$ für senkrechten Schalleinfall mittels folgender Formel:

$$\alpha(0) = 1 - r^2 = 1 - [n - 1/n + 1]^2$$

Neben dem Schallabsorptionsgrad gibt es noch zwei weitere Kenngrößen, die zur vollständigen Beschreibung der akustischen Eigenschaften von Faserabsorbern dazugehören, nämlich die komplexe, spezifische Schallimpedanz Z_a (= Wellenwiderstand) [Einheit: Ns/m^3] und die ebenfalls komplexe Aus-

breitungskonstante Γ_a [Einheit: dB/m]. Beide Größen sind frequenzabhängig. Die Ausbreitungskonstante beschreibt den örtlichen Verlauf der in die Probe eindringenden Schallwelle, wobei ihr Realteil das Dämpfungsmaß Γ'_a und der Imaginärteil Γ''_a das Phasenmaß darstellen (Bild 8).

Beide Größen vermitteln einen Eindruck davon, wie der Pegelabfall ΔL_i und die Phasendrehung $\Delta \varphi_i$ entlang des Wegs x_i innerhalb der Materialprobe verlaufen.

Die rechnerische Behandlung dieser Thematik ist sehr aufwendig. In der Praxis erleichtert man sich daher die Arbeit durch Zuhilfenahme des aus der Nachrichtentechnik gut bekannten Smith-Diagramms. Im ELVjournal 3/2019 [1] wurde ein Messgerät zur Aufnahme dieses Diagramms beschrieben, nämlich der ebenfalls aus der Nachrichtentechnik bekannte Z-g-Diagraph.

Bild 7: Reflexionsfreier Raum, wie er neben der Bestimmung von Schallleistungen, vor allem aber zur Messung der Übertragungseigenschaften von elektroakustischen Wandlern (Mikrofone, Lautsprecher) sowie bei Entwicklung von Hörgeräten unentbehrlich ist. Dazu wird in einer bestimmten Entfernung a von der Schallquelle (rot dargestellt) ein von der Messfrequenz unabhängiger Schalldruckpegel (L_E) erzeugt. Das geschieht mithilfe eines Regelmikrofons (angeschlossen am Regelverstärker) und eines geregelten Tongenerators.

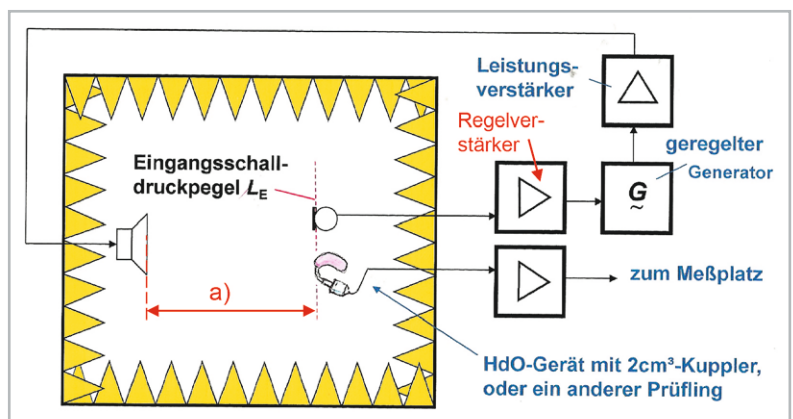
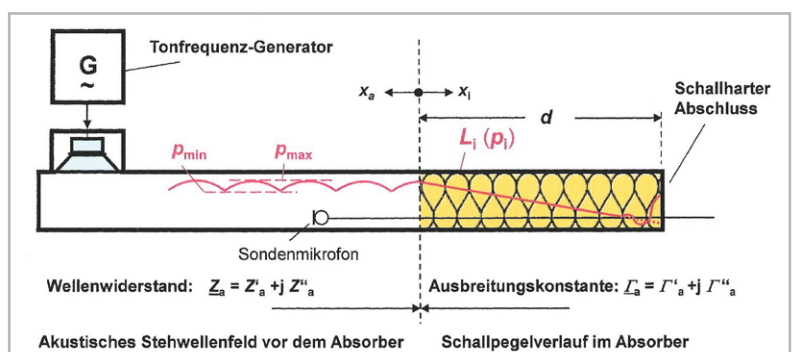


Bild 8: Grundsätzlicher Messaufbau zur Bestimmung der wichtigsten akustischen Kenngrößen von Faserabsorbern in einem Impedanz-Messrohr mit beweglichem Sondenmikrofon. Bei dickeren Materialproben ist die Welligkeit des Stehwellenfelds entsprechend kleiner.



Hallräume

Hallräume wurden geschaffen, um diffuse Schallfelder für Messzwecke zu erzeugen und um sie für ganz bestimmte Messungen bereitzustellen. In einem diffusen Schallfeld ist der darin erzeugte Schalldruck p bzw. Schalldruckpegel L_p unabhängig von der Entfernung r zur Schallquelle SQ, siehe [Bild 9](#) und [Bild 10](#).

Die Hauptanwendungsgebiete für Hallräume sind:

- die Ermittlung der von einer Schallquelle abgestrahlten Schallleistung W_{ak}
- und
- die Bestimmung des Absorptionsgrads α von Absorbermaterialien. Für die Raum- und Bauakustik ist Letzterer eine sehr wichtige Größe.

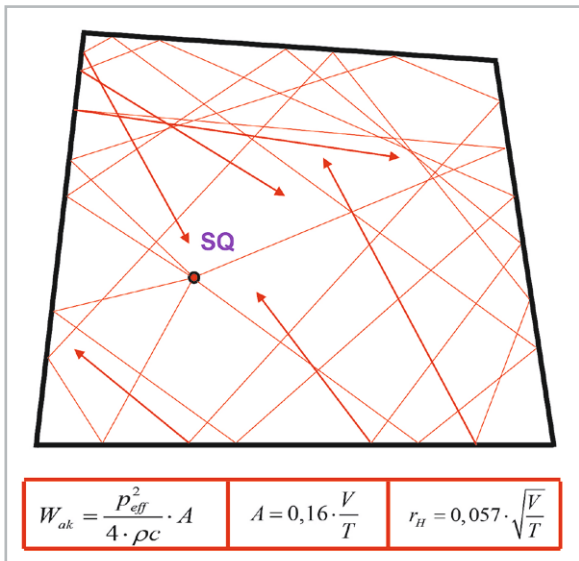


Bild 10: Im diffusen Schallfeld eines Hallraums ist der Schalldruck p unabhängig von der Entfernung zur Schallquelle SQ in jedem Raumpunkt gleich groß, ausgenommen die unmittelbare Umgebung um die Quelle herum, die vom Hallradius r_H bestimmt ist. W_{ak} = Schallleistung, T = Nachhallzeit, A = äquivalente Absorptionsfläche, V = Volumen



Bild 11: Typischer Hallraum mit eingehängten Diffusoren zur Erhöhung der Diffusität. Im Vordergrund befindet sich ein Messmikrofon an einem drehbaren „Galgen“ zur räumlichen Mittelung der Messwerte. Foto: Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg

$$p = \sqrt{\frac{W_{ak} \cdot 4 \cdot \rho \cdot c}{A}}$$

p = Schalldruck [in: $N/m^2 = Pa$]

W_{ak} = akustische Leistung [in: Watt].

$\rho \cdot c$ = Schallkennimpedanz (= $408 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ für Luft bei 20°C)

$A = \alpha \cdot S$ = äquivalente Absorptionsfläche [in: m^2]

Bild 9: Zusammenhang zwischen dem Schalldruck p , der Schallleistung W_{ak} , der Schallkennimpedanz $\rho \cdot c = Z_0$ und der äquivalenten Absorptionsfläche A im diffusen Schallfeld

Die Messung erfolgt in der Weise, dass zunächst eine Probe des zu testenden Materials – mit einer bestimmten Fläche S – in den Messraum eingebracht und anschließend die Nachhallzeit T ($= 0,16 \cdot V/A$) gemessen wird. Das geschieht, wie überhaupt in der Bauakustik, meist mit Terzbanddrauschen, und zwar mit Bandmittenfrequenzen zwischen 100 Hz und 3150 Hz. Aus der erhaltenen Nachhallzeit und dem bekanntem Volumen V des Hallraums kann so die genannte äquivalente Absorptionsfläche A ($= \alpha \cdot S$) ermittelt werden. Darunter versteht man eine gedachte Fläche mit hundertprozentiger Schallabsorption. Aus den beiden Größen A und S erhält man schließlich den Absorptionsgrad α . Bei der Auswertung der gemessenen Nachhallzeit ist natürlich die Nachhallzeit des zuvor leeren Hallraums zu berücksichtigen.

Die Nachhallzeit ist im Allgemeinen eine frequenzabhängige Größe. Bei tiefen Frequenzen ist sie höher, bei hohen Frequenzen niedriger. Die in der weiter oben genannten Formel angegebene Zahl 0,16 findet man kommentarlos leider auch in vielen Normen; sie ist keine Naturkonstante. Diese Zahl ist temperaturabhängig, und zwar über die darin enthaltene Schallgeschwindigkeit c . Nur für eine Temperatur von 20°C , und somit für eine Schallgeschwindigkeit von 343 m/s , gilt die Zahl 0,16 ($= 24 \cdot \ln 10/c$).

Von ihrem Aufbau her sind Hallräume so gestaltet, dass sie keine planparallelen Wände besitzen, siehe [Bild 10](#). Ihre Wandoberflächen sind zudem starr, hart und frei von Poren. Dadurch erleidet jede auf eine solche Wand auftreffende Schallwelle eine Vielzahl von aufeinanderfolgenden Reflexionen. Des Weiteren hängt man in Hallräume zur Erhöhung der Diffusität oft auch noch Streukörper hinein. Das können z. B. große gebogene Platten aus Plexiglas oder einem anderen geeigneten Material sein ([Bild 11](#)).

In Hallräumen misst man nicht nur den Absorptionsgrad von Materialproben, sondern auch von kompletten Bauteilen, z. B. von ganzen Sitzgruppen, siehe [Bild 12](#).

Abschließend noch eine Anmerkung zum Thema Diffusität. In Hallräumen ist es nicht unüblich, zur Erhöhung der Diffusität solcher Räume schallstreuende Strukturen, d. h. Streukörper einzubringen. Solche Diffusoren gibt es auch für Auditorien, aber auch für kleinere Räume, z. B. Abhörräume ([Bild 13](#)) oder Musikstudios. Mithilfe diffuser Reflexionen erreicht man ein gleichmäßigeres Abklingen des Schallfelds. Klassische Diffusoren haben meist eine zylindrische, rechteckige oder auch dreieckige Struktur. Sehr bekannt sind auch die sogenannten Schroeder-Diffusoren, die seinerzeit aus Forschungserkenntnissen von Manfred R. Schroeder hervorgegangen sind, die er in den 70er-Jahren des vorigen Jahrhunderts an der Universität Göttingen gewonnen hat.

Ausblick

In den bisherigen Beiträgen war der Luftschall das dominierende Medium, über das ausführlich berichtet wurde. Daneben gibt es aber auch noch den Körperschall und den Wasserschall.

Im nächsten Beitrag ist der Körperschall das zentrale Thema. Über den Wasserschall wird in der darauffolgenden Ausgabe des ELVjournals berichtet. Zunächst aber zum Körperschall, der sich im Gegensatz zu



Bild 12: Messaufbau zur Bestimmung des Schallabsorptionsgrads einer Bestuhlung in einem Hallraum
Foto: Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg



Bild 13: Beispiel für den Einsatz von Diffusoren in einem Abhörraum.
Foto: Fa. Harman, 76307 Karlsbad-Ittersbach



den anderen beiden Medien – Luft und Wasser – nicht nur in einer einzigen, sondern in mehreren verschiedenen Wellenarten ausbreiten kann. Die unangenehmste davon ist die Biegewelle, deren bekannteste Eigenschaft darin besteht, dass sie sich bei jeder Frequenz mit einer anderen Geschwindigkeit (!) ausbreitet (Dispersion).

Darüber und über vieles andere, z. B. wie man Körperschall misst oder wie man sich gegen die unangenehmen Eigenschaften von Körperschall zur Wehr setzt, wird im nächsten Beitrag berichtet.

Zur Sprache kommen dabei auch Beschleunigungsaufnehmer (Accelerometer), Dehnungsmessstreifen, Ladungsverstärker und vieles andere: mehr. Körperschall spielt vielerorts eine große Rolle, sei es im Baube-

reich, im Maschinenbau, in der Medizin oder auch bei der Lärmbekämpfung. **ELV**



Weitere Infos:

[1] Hallo, Echo! Schall: Reflexion, Beugung, Brechung und Absorption, ELVjournal 3/2019
www.elv.com: Artikel-Nr. 250842

Mein ELVprojekt

Viele Ideen für Ihr Smart Home

Bei uns erwarten Sie viele spannende, ausführlich beschriebene Projekte für Einsteiger und Profis. Diese Projekte haben wir als Produktmanager und Techniker alle selbst erfolgreich umgesetzt.

Wir zeigen Ihnen z. B., wie Sie für mehr Komfort und Energieeinsparung Rollläden automatisieren, mit einer intelligenten Heizungssteuerung Energiekosten sparen oder Ihr Zuhause vor Einbrechern wirkungsvoll schützen können. Dabei erhalten Sie nicht nur Informationen zum geschätzten Zeitaufwand und dem Schwierigkeitsgrad – alle verwendeten Produkte aus unserem Sortiment werden für Sie übersichtlich aufgeführt. Dazu erhalten Sie in vielen Projekten hilfreiche Installationsvideos. Setzen Sie nun Ihr Projekt mit ELV erfolgreich um!



Komfort und Steuerung



Energiesparen



Sicherheit



Alle Projekte finden Sie online unter:

de.elv.com/elvprojekte
at.elv.com/elvprojekte
ch.elv.com/elvprojekte