

## Technik und Tipps

### Grundlagen der Akustik für Wohnräume

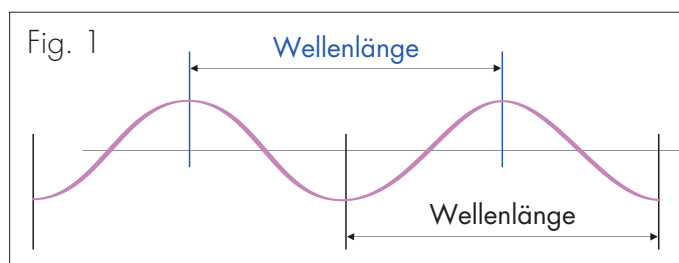
Ein Beitrag von Dirk Noy

**Die Akustik von Wohnräumen wird eher selten vorab geplant. Deren Eignung für spezifische Zwecke – z.B. der Reproduktion von Musik oder Sprache über ein elektroakustisches System – ist oftmals eher Glückssache denn Resultat koordinierter Planung.**

Eine Anzahl der für die Raumakustik eines Hörraums relevanten Faktoren wird im Folgenden beschrieben (siehe auch Glossar, Tab. 1, Seite 26). Dies ist für neu zu bauende oder auch bereits eingerichtete Räume insofern relevant, da vorzugsweise das Audiomaterial – und nicht der Raum – gehört werden soll.

#### Frequenz

Eine Grundgröße der Akustik ist die Frequenz. Diese ist wahrnehmbar als Tonhöhe – niedrige Frequenzzahlen entsprechen tiefen Tönen, hohe Frequenzen entsprechen hohen Tönen. Das menschliche Gehör reicht über einen Bereich von ca. 20Hz bis 20'000Hz, oder 20kHz. Gekoppelt mit dem Begriff der Frequenz ist der Begriff der Wellenlänge. Dies ist eine Angabe in Metern und beschreibt die physischen Abmessungen einer Schallwelle, die man sich durchaus ähnlich wie Wellen im Meer vorstellen kann, deren Abstand man von Kamm zu Kamm misst (siehe Fig. 1). Vielleicht erstaunlicherweise haben Schallwellen, die zu tiefen Frequenzen gehören, beträchtliche Ausmasse (siehe Tab. 2, Seite 26), bis zu 15 Meter und mehr für die tiefsten hörbaren Töne.



#### Raumgeometrie – stehende Wellen

Die oben genannte Wellenlänge ist auch der Begriff, der eine gebaute und bewohnbare Geometrie (messbar in Meter oder Zentimeter) mit der hörbaren akustischen Welt (Tonhöhe oder Frequenz, messbar in Hertz) rechnerisch verbindet. So unterstützt jede geo-

metrische Ausdehnung in einem Raum eine spezifische Frequenz, deren halbe Wellenlänge der gegebenen Raumdimension entspricht (siehe Tab. 2). Dieses Phänomen ist bekannt als «stehende Welle», «Eigentön» oder «Raummode». Neben der Grundfrequenz passen auch die ganzzahligen Vielfachen dieser Grundfrequenz, die sogenannten Harmonischen, in die beschriebene Geometrie. In punkto stehende Wellen kommt es in einem Raum mit quadratischem Grundriss (oder mit ganzzahligem Dimensionsverhältnis) zu einer starken Häufung der stehenden Wellen an bestimmten Frequenzen, da dann sowohl die Länge als auch die Breite (in einem kubischen Raum sogar auch noch die Höhe) die exakt gleichen Modenfrequenzen aufweisen.

Im akustischen Design eines Hörraums ist der Kontrolle dieser stehenden Wellen (durch geschickte Wahl von Raumdimensionsverhältnissen und Tieffrequenzabsorption) hohe Beachtung beizumessen.

#### Raumgeometrie – Symmetrie

Um eine exakte Stereorepräsentation sowie eine korrekte Raumabbildung zu erreichen, sollte eine Hörumgebung, allermindestens im Bereich der Lautsprecher, so gut es irgend geht symmetrisch gestaltet sein. Die Erstellung einer Symmetrie ist auch in einfacher gebauten Umgebungen eine meist gut zu realisierende Optimierung. Manchmal bietet es sich auch an, die Symmetrieachse nicht senkrecht zu den Wänden zu wählen, sondern diese in eine Winkelhalbierende eines rechten Winkels zu legen. Die optimale Hörposition liegt auf der Symmetrieachse. Neben der geometrischen Symmetrie der Raumform ist auch eine akustische Symmetrie anzustreben: Die gewählten Materialien sollten symmetrisch im Raum platziert sein. Wenn also z.B. ein Fenster auf der linken Seite ist, sollte die rechte Seite mit einem Material mit den ähnlichen akustischen Parametern ausgestattet sein – oder natürlich einem zweiten Fenster...

#### Schall an Oberflächen – Reflektion, Absorption, Diffusion

Trifft Schall auf eine Oberfläche, können generell drei Dinge geschehen: Der Schall wird vollständig geometrisch reflektiert (Reflektion), der Schall wird absorbiert (Absorption), oder der Schall wird diffus reflektiert (Diffusion) (s. Fig. 2).

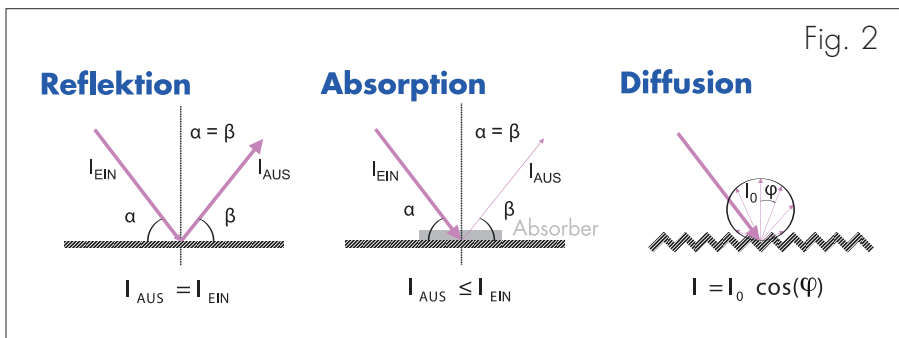


Fig. 2

## Absorptionskoeffizient

Verschiedenste Materialien sind für verschiedene akustische Aufgaben nützlich, ähnlich wie verschiedene Medikamente für verschiedene Genesungswege geeignet sind. Um die Eigenschaften eines absorbierenden Materials zu beschreiben, wurde der Absorptionskoeffizient «Alpha» eingeführt. Dieser beschreibt den flächennormierten Prozentsatz (0%–100%, oder 0 bis 1) der Schallenergie, die im entsprechenden Material in eine andere Energieform (meist Wärme) umgewandelt wird. Damit tritt diese Energie nicht mehr als Schall in Erscheinung und wird somit salopp gesagt «geschluckt». Der Absorptionskoeffizient ist eine stark frequenzabhängige Grösse: Materialien, die bei tiefen Frequenzen gute Absorptionseigenschaften haben (Alpha beispielsweise über 60%), haben oft bei hohen Frequenzen keine oder nur eine geringe Absorptionswirkung (beispielsweise unter 20%) und umgekehrt. Die Zusammenstellung der «richtigen» Absorbermaterialien um eine gegebene akustische Situation zu optimieren, ist die Aufgabe des Akustikers. Manchmal trifft man Absorptionskoeffizienten an, die grösser als 100% (oder grösser als 1) sind. Obwohl dies wie ein Fehler aussehen mag, ist dies verursacht durch einen zusätzlichen Anteil der Materialränder (und manchmal sogar der Rückseite) des Absorbers.

Absorption von mittleren und hohen Frequenzen wird oft durch die Installation von porösen Materialien

im Raum bewerkstelligt. Absorptive Materialien sind erhältlich in Dutzenden von Bauarten, Formen, Farben, Formaten etc. Gegenwärtig sind Absorber aus einer Vielfalt von Materialklassen erhältlich, z.B. Kunststoff, gelochte/geschlitzte Holzplatten, Metall in verschiedenen Formen, Stoff, Schaumstoff, fugenlose Wand- und Deckenverputze, mikroperforierte Folien, usw. und beliebige Kombinationen untereinander. Eine Auswahl wird nach den akustischen Eigenschaften, der gewünschten Ästhetik und dem vorhandenen Budget getätigt, teurere Materialien haben nicht unbedingt bessere akustische Eigenschaften, sondern sind oft von einer speziellen Ästhetik oder einer besonders neuen Funktionsform, was den hohen Preis dann rechtfertigt. Manchmal bezahlt man natürlich wie in anderen Branchen auch bloss das Werbebudget des Anbieters mit...

## Tieffrequenzabsorption

Tiefe Frequenzen, eines der akustischen Hauptprobleme in kleinen Räumen, können wegen der sehr grossen Wellenlängen (siehe Tab. 2) nicht durch poröse Absorber kontrolliert werden. Für den Bereich unter rund 125Hz haben sich deshalb andere Absorberbauformen durchgesetzt: Membranabsorber und Helmholtzresonatoren. Bei einem Membranabsorber ist eine gut bewegliche Gummi-, Holz- oder Metallmembran in einem Rahmen montiert, der die mechanische Schwingung der Membran zulässt. Bei be-

stimmten Frequenzen (oder je nach Bauform: unter einer bestimmten Grenzfrequenz) beginnt die Membran zu schwingen. Somit entnimmt sie dem Raum Schallenergie, um sie durch das Dämpfungssystem der Membran in Wärme überzuführen. Helmholtzresonatoren arbeiten ähnlich wie eine halbvolle Colaflasche, die man anbläst: Ein gegebenes Volumen (Flaschenvolumen) ist durch eine Öffnung mit definierter Länge (Länge des Flaschenhalses) und definiertem Querschnitt (Durchmesser des Flaschenhalses) mit dem zu kontrollierenden Raum verbunden. Helmholtzresonatoren werden bequem dort eingebaut, wo ansonsten ungenutzte Raumvolumina vorhanden sind (z.B. ein Hohlraum, der durch den Einbau der Podeststufen in einem Home-Theater entsteht, oder ein Hohlraum oberhalb einer abgehängten Decke).

## Nachhallzeit

Die akustischen Eigenschaften der Raumbooberflächen in den Gesichtspunkten Reflektion, Absorption und Diffusion beeinflussen stark das Nachhallverhalten eines Raums. Der Nachhall wird vom Prinzip her folgendermassen gemessen (siehe auch Fig. 3): Im Raum wird ein konstantes Rauschsignal reproduziert und dessen Pegel (in Dezibel, dB) gemessen, das sei z.B. 100dB. Zu einem gewissen Zeitpunkt wird die Schallquelle abgeschaltet, und gleichzeitig eine Stoppuhr gestartet. Die Abnahme des Schallpegels wird scharf beobachtet, und sobald der Schallpegel einen Wert erreicht hat, der 60dB unter dem Anfangswert liegt (hier z.B. bei 100dB – 60dB = 40dB), wird die Stoppuhr angehalten. Die somit gemessene Zeit, die für den Pegelabfall von 60dB notwendig war, wird mit RT60 Nachhallzeit («Reverberation Time») bezeichnet. Die RT60 Zeit eines Raums ist wiederum frequenzabhängig: Die meisten Räume haben durch die Präsenz von stehenden Wellen und Ab-

senz von Tieffrequenzabsorption bei tiefen Frequenzen eine längere Nachhallzeit als bei hohen Frequenzen.

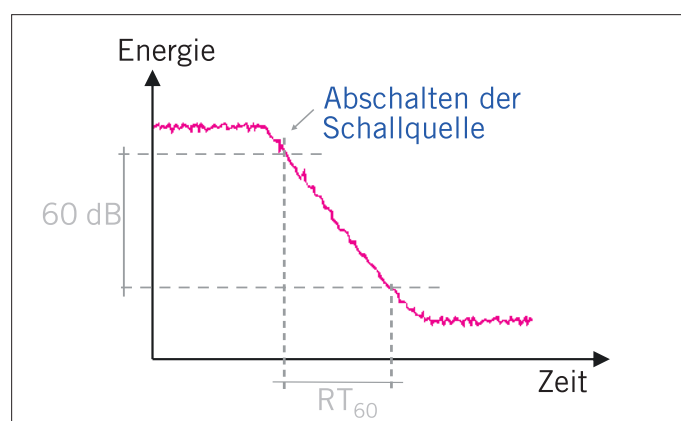


Fig. 3: Messen der Nachhallzeit

### Charakterisierung von Nachhallzeit

Bei quantitativen Betrachtungen der Nachhallzeit sind zwei getrennte Aspekte zu studieren. Einerseits die effektive Dauer (in Sekunden) der Nachhallzeit (entweder pro Frequenzband, oder als Mittelwert). Die Idealdauer der Nachhallzeit ist keine absolut gegebene Zahl, sondern sie weist jeweils ein zum Raumvolumen und zum Nutzungszweck des Raums passendes Minimum und Maximum auf – akustisch zu lebendige Räume sind genau so unerstrebenswert wie akustisch zu

dumpe Räume. Der zweite, oft vernachlässigte Aspekt der Nachhallzeit ist deren Linearität über die Frequenz. Als sehr schlecht klingend wird z.B. ein Raum wahrgenommen, der bei hohen Tönen eine sehr kurze Nachhallzeit hat, und bei tiefen Tönen eine sehr lange. Der Mittelwert stimmt hier zwar auf den ersten Blick gesehen, aber in der Wahrnehmung ist dieses Nachhallzeit-Verhalten schlechter, als wenn bei den hohen Tönen auch eine längere Nachhallzeit realisiert worden wäre. Die genauen Zielwerte der Nachhallzeit pro Frequenzband und deren obere und untere Toleranzgrenzen müssen von Raum zu Raum definiert werden.

### Zusammenfassung

Raumakustik ist die Wissenschaft, welche die akustischen Eigenschaften im Innern eines Raums beschreibt. Die Herausforderung des akustischen Designs und der Architektur von Hörräumen ist das Kombinieren der akustischen Parameter mit den zweckgebundenen Rahmenbedingungen wie Ergonomie, technische Systeme, Möblierung, Ästhetik und natürlich Budget. In jedem Projekt finden sich z.T. sehr unterschiedliche Gewichtungen der einzelnen Punkte – womit kein Hörraum dem anderen gleicht und unsere Arbeit somit so spannend bleibt, wie sie eben ist!

Fachbegriff	Masseinheit	Erläuterung
Akustik		Studium der Generierung und Fortbewegung von Schall
Schall		Zeitabhängige Druckänderung in einem Medium
Frequenz	Hz - Hertz	Anzahl Schwingungen pro Sekunde / Tonhöhe
Wellenlänge	m - Meter	Abstand zweier identischer Punkte eines Wellenzugs
Schallpegel	dB - Dezibel	Mass für die Lautstärke eines Schallsignals
Dämmwert	dB - Dezibel	Mass für die Schallisolation eines Bauteils
Absorption		Umwandlung von Schallenergie in andere Energieformen
Diffusion		Streuung von Schall
Reflektion		Umrichtung von Schall
Nachhallzeit	s - Sekunde	Benötigte Zeit für einen Schallpegelabfall von 60dB
Noise Criteria (NC)		Grenzwertkurve des Dauergeräusch-Schallpegels

Tab. 1 – Glossar der Fachbegriffe

Frequenz [Hz]	Wellenlänge
32	10.68 m
63	5.34 m
125	2.67 m
250	1.34 m
500	66.8 cm
1k	33.4 cm
2k	16.7 cm
4k	8.35 cm
8k	4.18 cm
16k	2.09 cm
	c = 334 m/s

Tab. 2 – Wellenlängen und Frequenzen

# Technik und Tipps

## Grundlagen der Akustik für Wohnräume



### Der Autor Dirk Noy

Dirk Noy, Jahrgang 1968, ist diplomierte(r) Physiker und hat in den USA Raumakustik studiert. Er ist Geschäftsführer der «Walters-Storyk Design Group Europe».

Die WSDG-E GmbH ist ein Ingenieurbüro, welches Beratungen und Planungen in den Bereichen Raum-, Bau- und Elektroakustik durchführt. Die Schweizer Partnerfirma der in New York ansässigen, seit 1969 weltweit tätigen Walters-Storyk Design Group (WSDG) Ltd., ist das Ergebnis einer langjährigen Partnerschaft zwischen Beth Walters, John Storyk und Dirk Noy. Seit 1997 wird aus der Schweiz der Raum Europa betreut. Das Schweizer Büro beschäftigt gegenwärtig sechs Personen.

Sowohl John Storyk als auch Dirk Noy sind als Dozenten an diversen Schulen für Audiotechnik tätig und können zahlreiche Fachartikel und Referate zum Thema Akustik vorweisen.

Homepage: [www.wsdg.com](http://www.wsdg.com)

### Raumakustik und Bauakustik

Raumakustik und Bauakustik sind grundsätzlich zwei komplett verschiedene Teilgebiete der Akustik.

Die Raumakustik thematisiert das Verhalten des Schalls im Innern eines Raums – die Eigenschaften der Oberflächen, die Geometrie des Raumaufbaus, die Platzierung von Wänden, Schallquellen und -hörern, Einrichtungsgegenständen und Mobiliar sind hierbei im Fokus.

Bei der Bauakustik geht es um die Übertragung von Schallsignalen in benachbarte Zonen, seien dies andere Räume im selben Gebäude oder benachbarte Baueinheiten. Hier diskutierte Fragestellungen betreffen den inneren Aufbau der Wände, des Bodens und der Decke, sowie weiterer Trennelemente wie Türen und Fenster. Kritisch ist dies insbesondere bei den energiereichen tiefen Frequenzen, die ganze Baustrukturen zu mechanischen Schwingungen anregen können. Diese können dann wiederum als Luftschall abgestrahlt werden, was zu Klagen der Nachbarschaft oder weniger musikliebender Familienmitglieder Anlass geben wird. Bauakustische Situationen können durch das Einbringen von Masse («Gewicht») und mechanische Entkopplung modifiziert werden, was in letzter Konsequenz zur sehr aufwändigen Raum-in-Raum Bautechnik führt.

### Wohnraumakustik und Hörraumakustik

In Wohnräumen spielt die Musik eine zwar wichtige, aber nicht unbedingt prioritäre Rolle – diese dienen vor allem als Orte der Verbringung der Freizeit und des Familienlebens. Unter Hörräumen werden Räume verstanden, die ausschliesslich dem Zweck dienen, Musik (und allenfalls andere Medien, wie bewegte Bilder) zu reproduzieren. Oftmals werden Hörräume spezifisch geplant und aufgebaut. Neben den im Hauptartikel genannten akustischen Parametern, die alle uneingeschränkt auch hier Gültigkeit haben, ist insbesondere der Aspekt des möglichst niedrigen Grundgeräuschpegels für Hörräume von grosser Wichtigkeit. Grundgeräuschpegel werden in sogenannten Noise Criteria (NC) Werten angegeben – ein gegebener NC Grenzwert muss dann durch alle eingebauten Komponenten (inkl. Dimmer, Lüftungssysteme, Laufwerke, Videoprojektor etc.) erfüllt werden. Der Genuss, einen komplett stillen Raum zu betreten, diesen mit Musik zu füllen, und die Wucht derer Dynamik zu erleben, sei es mit oder ohne Bild, ist schwierig mit Worten zu beschreiben. Dieses einmalige Erlebnis, und auch die Kompromisslosigkeit, mit der in einem Hörraum die technischen Einrichtungen, die Beleuchtung, das Mobiliar und die raumakustischen Materialien – kurz, der «Look and Feel» – die korrekte Beachtung finden, sind für gewisse Zeitgenossen starke Argumente für dessen Bau.