

# Grundlagen der Schallabsorption

## BER Akustik-Elemente für Decke und Wand

NEUES RAUMGEFÜHL



## Tonhöhe - Frequenz

(Luft-) Schall ist eine Druckschwankung in der Luft  
 Jede Druckwelle hat eine bestimmte Länge  
 (Wellenlänge die sich in einem bestimmten  
 Zeitraum (Frequenz  $f$ ) wiederholt

Die Frequenz entspricht der empfundenen Tonhöhe,  
 tiefe Töne haben eine Weine Frequenz, hohe Töne  
 eine große Frequenz Der Frequenz-Bereich wird in  
 18 Terzen (6 Oktaven) unterteilt

Alle alwsüschen Vorgänge sind stark abhängig von  
 der Frequenz Wem Auslegungen früher nur bei 500  
 oder 1000 Hz durchgeführt wurden so liegt dies an  
 einem unverhältnismäßig großen Rechenaufwand  
 einer irequenzabhänggen Betrachtung, nicht aber  
 an einer gew-Inschten Gewichtung. Heute  
 ermöglichen Computerprogramme mühelos  
 Berechnungen in Terz- bzw. Oktavschritten.

Schallgeschwindigkeit in Luft  $c$ :

$$c = \lambda \cdot f \approx 340 \text{ m/s} \approx 1200 \text{ km/h}$$

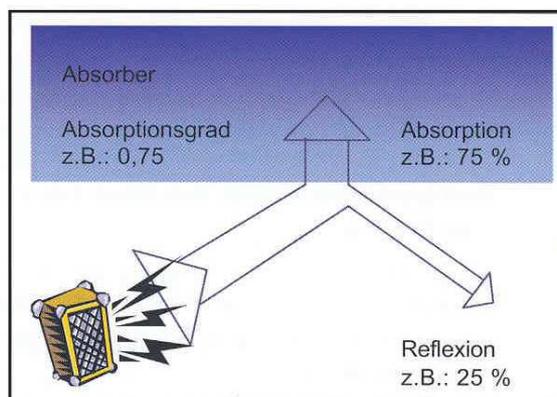
Grenzen von Hör - und Sprachbereich

| Bereich           | Frequenz, $f$ [Hz] | Wellenlänge, $\lambda$ [m] |
|-------------------|--------------------|----------------------------|
| Hören / Musik     | 20 ... 20 000      | 17,0 ... 0,0017            |
| Sprechen / Gesang | 200 ... 2 000      | 1,70 ... 0,0170            |
| Raumakustik       | 100 ... 5 000      | 3,40 ... 0,0680            |

18 Terzen (6 Oktaven) der Raumakustik

| Mitten-<br>Frequenz | Terz Unten   | 100 | 200 | 400 | 800  | 1600 | 3150 |
|---------------------|--------------|-----|-----|-----|------|------|------|
|                     | Terz / Oktav | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|                     | Terz Oben    | 160 | 315 | 630 | 1250 | 2500 | 5000 |

Absorption und Reflexion einer Oberfläche



Zu den Oberflächen addiert sich de Absorption von  
 Einrichtung und Personen. Da diese keine eindeutig  
 definierte Oberfläche haben, werden sie durch ihre  
 äquivalente Absorptionsfläche  $A_{\text{ges}}$  gekennzeichnet  
 (bzw. Absorptionsgrad / Stück). Mit Berücksichtigung  
 der Luftabsorption (Dämpfungskonstante  $m$ ), ergibt  
 sich die Gesamtabsorption eines Raumes  $A_{\text{ges}}$ :

$$A_{\text{ges}} = \sum_i \alpha_i \cdot S_i + \sum_{ki} A_{ki} + 4 \cdot V \cdot m \quad [\text{m}^2]$$

Teilt man die gesamte Absorption  $A_{\text{ges}}$  durch die  
 gesamte Oberfläche  $S_{\text{ges}}$ , so erhält man den mittleren  
 Absorptionsgrad  $\bar{\alpha}$ :

$$\bar{\alpha} = A_{\text{ges}} / S_{\text{ges}} \quad [-]$$

## Schallabsorption

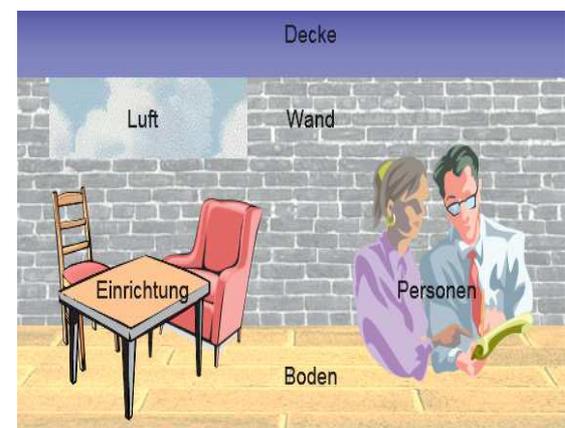
Trifft eine Schallwelle auf eine Oberfläche so wird  
 ein Teil der Energie reflektiert, der andere Teil  
 absorbiert (in Wärme umgewandelt). Den Verlust  
 an Energie nennt man Absorption.

Der Absorptionsgrad gibt das Verhältnis von  
 absorbiertes zu auftreffender Energie an, ein  
 Wert von Null entspricht einer totalen Reflexion,  
 ein Wert von Eins einer totalen Absorption.

Multipliziert man den Absorptionsgrad  $\alpha$  eines  
 Materials mit seiner Fläche  $S$ , so erhält man die  
 äquivalente Absorptionsfläche  $A$ .

$$A = \alpha \cdot S \quad [\text{m}^2]$$

Schallabsorbierende Elemente in einem Raum



## Einzahlangaben

Einzahlangaben, d.h. Mittelwerte, sind aus praktischen Gründen oft notwendig (für eine sinnvolle akustische Auslegungen jedoch unzureichend). Folgende drei Varianten sind in der Praxis verbreitet:

### Arithmetischer Mittelwert - $L_m$

Die 18 Terzwerte (6 Oktavwerte) werden addiert und durch 18 (6) dividiert

### Bewerteter Schallabsorptionsgrad $\alpha_w$

Im Gegensatz zur Amerikanischen Norm ASTM C 423 enthält die Europäische Norm DIN EN ISO 20354 keine Einzahlangabe. Seit 1997 gibt es die DIN EN ISO 11654 'Schallabsorption für die Anwendung in Gebäuden' welche aus den Messwerten eine Einzahlangabe bildet:

Zunächst werden die 3 Terzwerte einer jeden Oktav gemittelt und in Schritten von 0,05 gerundet. Die sich ergebenden 6 Werte, praktischer Absorptionsgrad  $\alpha_p$ , ersetzen die Messwerte. Danach wird eine Bezugskurve (siehe Beispiel) so lange nach unten verschoben (n Schritten von 0,05), bis die Summe der unterhalb der Bezugskurve liegenden Werte kleiner gleich 0,10 ist. Der bewertete Absorptionsgrad  $\alpha_w$  ist der Wert der Bezugskurve bei 500 Hz. Liegt  $\alpha_p$  bei einer (oder mehreren) Frequenzen um 0,25 oder mehr über der verschobenen Bezugskurve so muss  $\alpha_w$  mit einem (oder mehreren) Formindikator ergänzt werden: L (low) bei 250 Hz, M (middle) bei 500 oder 1000 Hz, H (high) bei 2000 oder 4000 Hz

### Noise Reduction Coefficient NRC

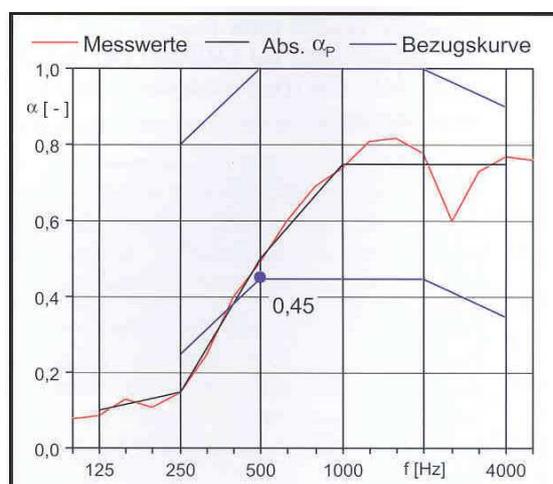
Die Amerikanische Norm ASTM C 423 Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method' entspricht der europäischen Norm DIN EN ISO 20354 'Messung der Schallabsorption im Hallraum'. Die ASTM C 423 enthält zusätzlich die Bestimmung einer Einzahlangabe: Die 4 Terzwerte bei 250, 500, 1000 und 2000 Hz werden addiert und durch 4 dividiert. Das Ergebnis wird in Schritten von 0,05 gerundet.

Der (informative) Anhang B der DIN EN ISO 11654 enthält eine Klassifizierung der Einzahlangabe, d.h. % wird in Absorptionsklassen eingeteilt:

| Klasse              | $\alpha_w$    |
|---------------------|---------------|
| A                   | 0,90 ... 1,00 |
| B                   | 0,80 ... 0,85 |
| C                   | 0,60 ... 0,75 |
| D                   | 0,30 ... 0,55 |
| E                   | 0,15 ... 0,25 |
| nicht klassifiziert | 0,00 ... 0,10 |

Beispiel: Vorhang aus Baumwolle (gespannt), H=70 mm  $\alpha_{1,M} = 0,5$  NRC = 0,55  $\alpha_w = 0,45$ (MH) Klasse D

| Frequenzen [Hz]            |            | 125  | 250         | 500         | 1000        | 2000        | 4000 |
|----------------------------|------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| Messwerte                  | Terz Unten | 0,08 | 0,11        | 0,40        | 0,69        | 0,82        | 0,73 |
|                            | Terz Mitte | 0,09 | <b>0,15</b> | <b>0,49</b> | <b>0,74</b> | <b>0,78</b> | 0,77 |
|                            | Terz Oben  | 0,13 | 0,25        | 0,60        | 0,81        | 0,60        | 0,76 |
| Terzwerte - Summe          |            | 0,30 | 0,51        | 1,49        | 2,24        | 2,20        | 2,26 |
| Terzwerte - Mittel         |            | 0,10 | 0,17        | 0,50        | 0,75        | 0,73        | 0,75 |
| praktische Abs. $\alpha_p$ |            | 0,10 | 0,15        | 0,50        | 0,75        | 0,75        | 0,75 |
| Bezugskurve (BK)           |            | -    | 0,80        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 0,90 |
| BK verschoben              |            | -    | 0,25        | <b>0,45</b> | 0,45        | 0,45        | 0,35 |



## Ermittlung der Schallabsorption im Labor

Die Messung erfolgt in einem so genannten Hallraum. Dieser Raum ist mit Diffusoren so ausgestattet, dass ein diffuses Schallfeld gegeben ist. Als Diffusoren dienen in der Regel 1 bis 3 m<sup>2</sup> große, leicht gekrümmte Metallplatten, die mit regelloser Orientierung im Raum verteilt angeordnet sind. Messverfahren und Raumcharakteristik sind europaweit nach DIN EN ISO 20354 genormt. Die Bestimmung der Schallabsorption erfolgt in drei Schritten:

- Messung der Nachhallzeit im leeren Raum
- Messung der Nachhallzeit eingebautem Prüfkörper
- Berechnung der Absorption aus Differenz der Nachhallzeiten

Die Ermittlung der Schallabsorption erfolgt aufgrund der Gleichung nach Sabine. Da eine optimale Diffusität gegeben ist und die Änderung der Nachhallzeit nur durch den Prüfkörper erfolgt, kann die Absorption exakt bestimmen werden.

Hinweis: Der Prüfkörper liegt immer auf dem Boden, egal ob es sich um eine Wand- bzw. Deckenverkleidung oder einen Bodenbelag handelt. Dies erleichtert die Montage und hat keinen Einfluss auf den Messwert.



Prüfkörper umlaufend abgedichtet



Diffusoren sorgen für nötige Streuung



Großer Hallraum am Institut für Bauphysik (IBP) in Stuttgart

## Ermittlung der Schallabsorption am Bau

Die Messung der Nachhallzeit erfolgt nach DIN EN ISO 3382, Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter. Aus dem gemessenen Nachhall kann die Gesamtabsorption im Raum berechnet werden.

Der Absorptionsgrad der einzelnen Teilflächen kann jedoch nur grob abgeschätzt werden. Die Genauigkeit kann sehr unterschiedlich ausfallen, hier für gibt es drei Gründe:

- Im Raum befinden sich viele unterschiedliche Oberflächen, d.h. die Bestimmung der Absorption einer bestimmten Fläche setzt voraus, dass die Absorption der anderen Oberflächen entweder vernachlässigbar gering oder relativ genau bekannt ist (was in der Praxis sogar oft der Fall ist!).
- Das Schallfeld ist nicht ausreichend diffus (siehe Nachhallzeit). Meist ist eine Raumrichtung (Decke - Boden) viel stärker bedämpft als die Anderen, d.h. eine gleichmäßige Verteilung der Absorption ist nicht gewährleistet. Hieraus kam sich eine fast beliebig große Ungenauigkeit ergeben.
- Die Nachhallzeit wird nach DIN EN ISO 3382 im gebrauchsfertigen Zustand (mit oder ohne Personen) gemessen. Die Absorption der Einrichtung ist jedoch meist weder vernachlässigbar gering noch ausreichend bekannt. Erfolgt die Messung im (fast) leeren Raum (dies ist in der Praxis häufig der Fall) so ist meist unzureichende Diffusität das Problem (siehe Punkt 2).

## Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist das älteste und bekannteste raumakustische Kriterium. Sie definiert sich als jene Zeitspanne, in welcher der Schalldruckpegel nach Abschalten der Schallquelle um 60 dB abnimmt. Bereits 1920 veröffentlichte W. C. Sabine einen Artikel über den elementaren Zusammenhang von Nachhallzeit **T**, Raumvolumen **V** und äquivalenter Absorptionsfläche **A**:

$$T = 0,163 \frac{V}{A} = 0,163 \frac{V}{\bar{\alpha} \times S_{\text{ges}}}$$

Heute gibt es komplexe Computerprogramme zur genauen Simulation akustischer Vorgänge. Solche Programme sind jedoch sehr aufwendig und werden in der Regel nur bei großen Räumen mit komplexer Akustik angewendet (Oper, Theater, Auditorien, ...). Ansonsten ist es diese einfache Gleichung, welche die Grundlage der Auslegung bildet. Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Gleichung ist ein diffuses Schallfeld, d.h. eine gleichmäßige Verteilung der Schallenergie im Raum. Dies ist gegeben wenn:

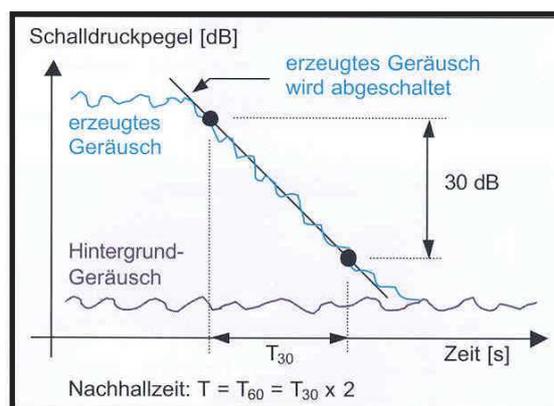
- die Schallabsorption relativ gleichmäßig auf allen Oberflächen verteilt ist
- keine zu hohe mittlerer Schallabsorption vorhanden ist ( $\bar{\alpha} \leq 0,25$ )
- die Abweichung von einer kubischen Raumform nicht zu groß ist
- das Raumvolumen kleiner 2000 m<sup>3</sup> ist

## Nachhallzeit - Schallabsorption

Die Nachhallzeit ist ein Pauschalmaß für die akustische Qualität eines Raumes, denn Sie lässt auch Rückschlüsse auf Lautstärke und Klangfarbe, Deutlichkeit und Durchsichtigkeit, Halligkeit und Raumeindruck zu. Für jeden Raum gibt es entsprechend seiner Nutzung und seines Volumens eine anzustrebende Nachhallzeit. Aus dem Zusammenhang zwischen Nachhallzeit und äquivalenter Absorptionsfläche ergibt sich die Anforderung an die Absorption. Fazit: Ein hoher Schallabsorptionsgrad führt nicht zwangsläufig zu einer besseren Akustik bzw. Verständlichkeit. Vielmehr muss die Absorption der einzelnen Oberflächen auf die anzustrebende Nachhallzeit sowie Einrichtung und Personenanzahl abgestimmt sein.

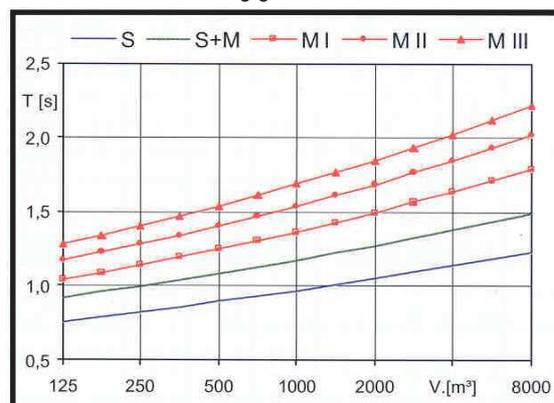
Anders ausgedrückt: Eine Abnahme um 60 dB bedeutet eine Reduzierung der akustischen Energie auf ein Millionstel. Demnach entspricht die Nachhallzeit in etwa der Zeitspanne in der ein lautes Katschen bis zur Unüberhörbarkeit verstummt (in leisen Räumen).

### Absorption und Reflexion einer Oberfläche



Streukörper (Diffusoren): Ist kein diffuses Schallfeld vorhanden, so können Streukörper (Diffusoren) fix ein diffuses Schallfeld sagen. In der Praxis sind es meist Einrichtung und Personen die bei genügender Anzahl für Diffusität sorgen. Ist kein diffuses Schallfeld gegeben, so kam die am Bau gemessene Nachhallzeit deutlich von der Berechnung abweichen.

### Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen



S: Sprache, S+M: Sprache und Musik, M I: Solo- und Kammermusik, M II: sinfonische Musik, M III: Orgel

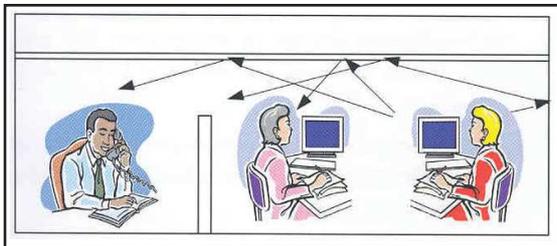
## Schallabsorption - Einsatzbereiche

Schallabsorption ist das wichtigste Hilfsmittel bei der akustischen Gestaltung von Räumen. Absorbierende und reflektierende Flächen bestimmen das akustische Verhalten eines Raumes. Gute oder schlechte Absorption an sich gibt es nicht, deshalb existieren auch keine genormte Anforderungen an die Absorption einzelner Oberflächen.

### Raumakustische Gestaltung

Bei der Gestaltung großer Räume mit sehr anspruchsvoller Akustik (Oper, Konzertsaal, Theater, Auditorien, ...), ist neben der geeigneten Menge an Absorption vor allem die genaue Anordnung von reflektierenden und absorbierenden Flächen von großer Bedeutung. Der Raumeindruck wird nicht nur vom Direktschall, sondern ganz wesentlich vom Verhältnis zwischen frühen und späten Reflexionen (Klarheitsmaß) und deren Einfallsrichtung (Seitenschallgrad) bestimmt.

Pauschale Rückschlüsse auf eine 'gute' oder 'schlechte' Absorption sind nicht möglich. Jedes einzelne Objekt muss von einem Akustiker gesondert behandelt werden.  
 Weniger Lärm durch hohe Schallabsorption



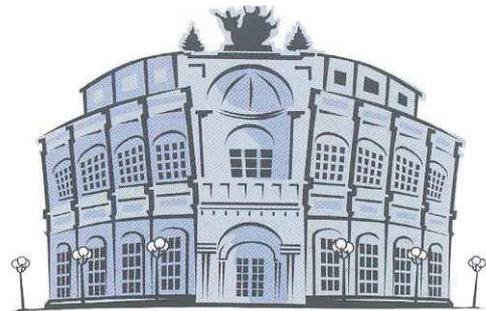
### Nachhallzeitregulierung

Musik und Sprache sollten an unserem Ohr so ankommen, wie sie von der Schallquelle (Mund, Lautsprecher) gesendet werden. Dies verlangt bei jeder Tonhöhe die gleiche Menge an Absorption. Die benötigte Gesamtmenge bestimmt sich aus Raumvolumen und Raumnutzung (Bibliothek, Büro, Klassenzimmer, ...).

In der Praxis sind die meisten Oberflächen bereits fixiert, bevor die akustische Auslegung erfolgt. Zur Ergänzung dieser bereits vorhandenen Absorption benötigt man Wand- und Deckenverkleidungen mit unterschiedlichem Absorptionsverhalten. Meist ist die vorhandene Absorption bei tiefen Frequenzen gering, jedoch bei hohen Frequenzen schon fast ausreichend, dies verlangt nach Oberflächen mit mehr Absorption bei tiefen und weniger Absorption bei hohen Frequenzen.

Erst aus den baulichen Gegebenheiten, der Einrichtung, dem Raumvolumen und der geplanten Nutzung ergibt sich die richtige Schallabsorption. Aufgrund unterschiedlicher Zielsetzung ergeben sich 3 Einsatzbereiche für absorbierende Materialien:

### Perfekte Raumakustik



### Lärminderung

Schallquelle und Schallabsorption bestimmen die Lautstärke im Raum. Bei unerwünschter Lärmbelastung, z.B. in Fabrikhallen oder Großraumbüros, benötigt man eine möglichst hohe Absorption.

Die geeignete Absorption hängt von der Art des störenden Geräusches ab, die sinnvolle Menge bestimmt sich in der Regel durch eine Kosten-Nutzen-Abschätzung.

### Optimale Sprachverständlichkeit

