



# Grundlagen der Schallabsorption im Hallraum

Prüfwerte nach EN ISO 20 354

## Grundlagen Schallabsorption

<b>1. Anwendungsbereiche</b> .....	<b>2</b>
Raumakustische Gestaltung	
Lärmminderung	
Nachhallzeitregulierung	
<b>2. Tonhöhe (Frequenz)</b> .....	<b>3</b>
Schallgeschwindigkeit	
<b>3. Schallabsorption</b> .....	<b>3</b>
Äquivalente Schallabsorption	
<b>4. Nachhallzeit</b> .....	<b>4</b>
Nachhallzeit nach Sabine	
<b>5. Nachhallzeit – Schallabsorption</b> .....	<b>4</b>
Raumakustische Anforderungen	
<b>6. Einzahlangaben</b> .....	<b>5</b>
Arithmetische Mittelwert $\alpha_{i,M}$	
Noise Reduction Coefficient NRC	
Bewerteter Schallabsorptionsgrad $\alpha_w$	
<b>7. Ermittlung der Schallabsorption im Labor</b> .....	<b>6</b>
Schallabsorption nach EN ISO 20354	
<b>8. Ermittlung der Schallabsorption am Bau</b> .....	<b>6</b>
Nachhallzeit nach EN ISO 3382	
<b>9. Produktübersicht/Prüfwerte</b> .....	<b>7</b>

## 1. Anwendungsbereiche

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 genormten Anforderungen an die Absorption einzelner Oberflächen.

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:

### 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.

### Lärmminderung

Schallquelle und Schallabsorption bestimmen die Lautstärke im Raum. Bei unerwünschter Lärmbelästigung, 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.

### 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 ergibt 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 Decken-Verkleidungen 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.

## 2. Tonhöhe (Frequenz)

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

### Schallgeschwindigkeit in Luft $c$

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

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

### 18 Terzen (6 Oktaven) der Raumakustik

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

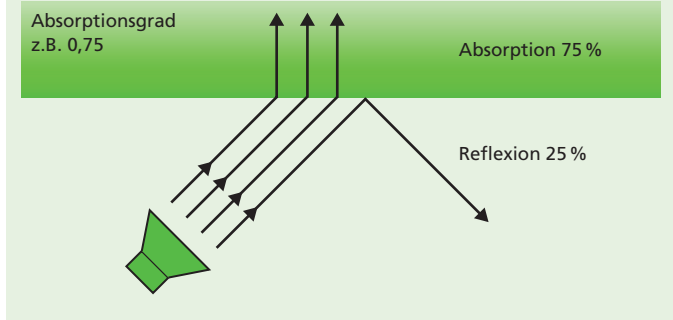
Alle akustischen Vorgänge sind stark abhängig von der Frequenz. Wenn Berechnungen früher nur bei 500 oder 1000 Hz durchgeführt wurden, so liegt dies an einem unverhältnismäßig großen Rechenaufwand einer frequenzabhängigen Betrachtung, nicht aber an einer gewünschten Gewichtung. Heute ermöglichen Computerprogramme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

### 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

## 3. Schallabsorption

### Absorption und Reflexion einer Oberfläche



Trifft eine Schallwelle auf eine Oberfläche, so wird ein Teil der Energie reflektiert, der andere Teil absorbiert (in Wärme umgewandelt). Dieser Verlust an Energie wird als Schallabsorption bezeichnet.

Der Absorptionsgrad gibt das Verhältnis von absorbierte zu auftreffender Energie an, ein Wert von 0 entspricht einer totalen Reflexion, ein Wert von 1 einer totalen Absorption.

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

### Äquivalente Absorptionsfläche $A$

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

Objekte, die keine eindeutig definierte Oberfläche besitzen (Einrichtung, Personen), werden durch ihre äquivalente Absorptionsfläche gekennzeichnet.

Die gesamte im Raum befindliche Absorption  $A_{\text{ges}}$  addiert sich aus der Absorption der Oberflächen (Wand  $W$ , Boden  $B$ , Decke  $D$ ) sowie der Absorption von Einrichtung  $A_E$ , Personen  $A_P$  und Luft  $A_L$ :

### Gesamte äquivalente Absorptionsfläche $A_{\text{ges}}$

$$A_{\text{ges}} = S_W \cdot \alpha_W + S_B \cdot \alpha_B + S_D \cdot \alpha_D + A_E + A_P + A_L \quad [\text{m}^2]$$

Die gesamte Absorption  $A_{\text{ges}}$  geteilt durch die gesamte Oberfläche  $S_{\text{ges}}$  ergibt den mittleren Schallabsorptionsgrad  $\bar{\alpha}$ :

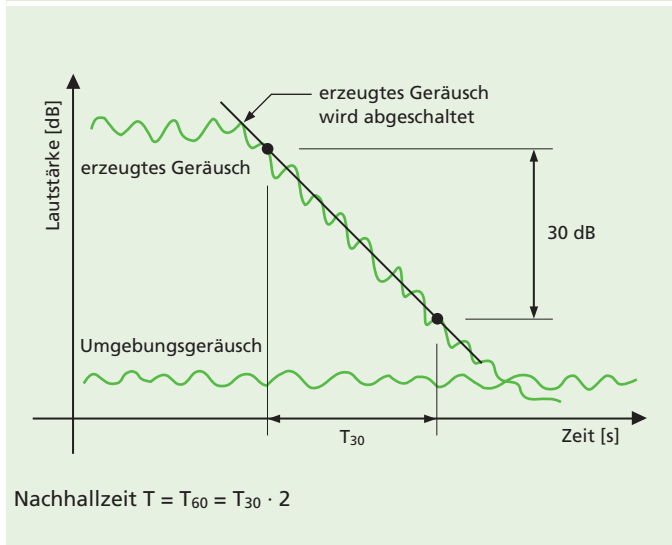
### Mittlerer Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$

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

## 4. Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist das älteste und bekannteste raumakustische Kriterium. Sie definiert sich als die Zeitspanne, in welcher der Schalldruckpegel nach Abschalten der Schallquelle um 60 dB abnimmt.

### Messung der Nachhallzeit



Bereits 1920 veröffentlichte W. C. Sabine einen Artikel über den elementaren Zusammenhang von Nachhallzeit  $T$ , Rauminhalt  $V$  und äquivalenter Absorptionsfläche  $A$ :

### Nachhallzeit $T$ (nach Sabine)

$$T = 0,163 \frac{V}{A} = 0,163 \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S_{\text{ges}}} \quad [\text{s}]$$

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

Die Sabinsche Gleichung bildet die Grundlage der raumakustischen Berechnung. 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 mittlere Schallabsorption vorhanden ist ( $\bar{\alpha} \leq 0,25$ )
- die Abweichung von einem würfelförmigen Raum nicht zu groß ist (Seitenverhältnis bis ca. 1 : 5)
- das Raumvolumen kleiner 2000 m<sup>3</sup> ist

### Streukörper (Diffusoren)

Ist kein diffuses Schallfeld vorhanden, so können Streukörper (Diffusoren) für ein diffuses Schallfeld sorgen. In der Praxis sind es meist Einrichtung und Personen, die bei genügender Anzahl für Diffusität sorgen. Ist kein ausreichend diffuses Schallfeld vorhanden, so kann die im Raum gemessene Nachhallzeit deutlich von der Berechnung abweichen.

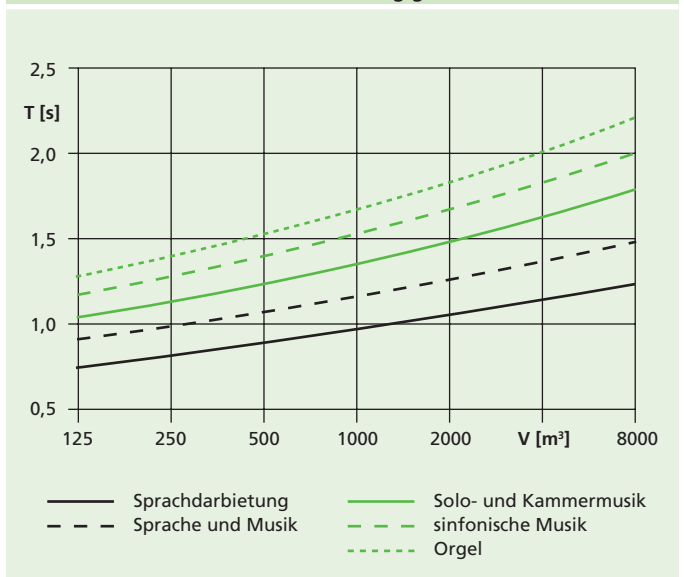
Heute gibt es komplexe Computerprogramme zur genauen Simulation akustischer Vorgänge. Solche Programme sind jedoch sehr aufwendig und werden in der Regel nur bei großen Räumen mit komplexer Akustik angewendet (Oper, Theater, Auditorien, ...).

## 5. 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.

### Anzustrebende Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen



Hinweis:

Hohe Absorption bewirkt nicht zwangsläufig eine bessere Akustik bzw. Verständlichkeit. Vielmehr muss die Absorption der einzelnen Oberflächen auf die anzustrebende Nachhallzeit sowie Einrichtung und Personenzahl abgestimmt sein.

## 6. Einzulangaben

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

### Arithmetischer Mittelwert $\alpha_{i.M.}$

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

### 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 EN ISO 20354 *Messung der Schallabsorption im Hallraum*.

Die ASTM C 423 enthält zusätzlich die Bestimmung einer Einzulangabe: 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.

### Bewerteter Schallabsorptionsgrad $\alpha_w$

Im Gegensatz zur Amerikanischen Norm ASTM C 423 enthält die Europäische Norm EN ISO 20354 keine Einzulangabe.

Seit 1997 gibt es die EN ISO 11654 *Schallabsorption für die Anwendung in Gebäuden*, welche aus den Messwerten (nach EN ISO 20354) eine Einzulangabe 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 (in Schritten von 0,05), bis die Summe der unterhalb der Bezugskurve liegenden Werte kleinergleich 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.

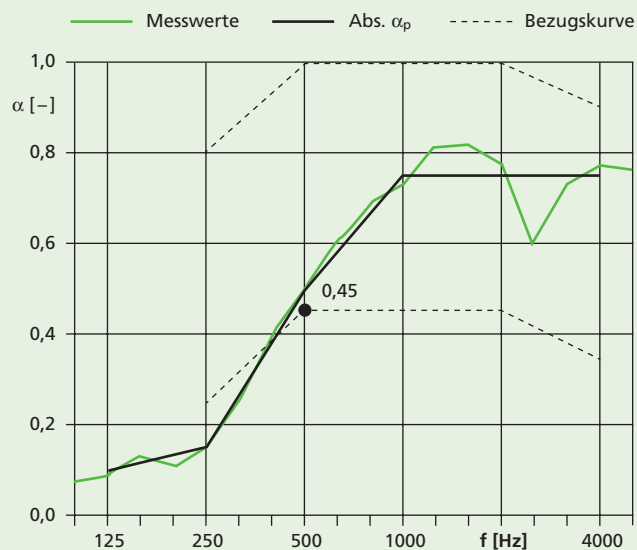
Der (informative) Anhang B der EN ISO 11654 enthält eine Klassifizierung der Einzulangabe, d. h.  $\alpha_w$  wird in Absorptionsklassen eingeteilt:

#### Klassifizierung von Absorber nach DIN EN ISO 11654

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

n. k.: nicht klassifiziert

#### Beispiel: Vorhang aus Baumwolle (gespannt), H = 70 mm



Mittelwerte:  $\alpha_{i.M.} = 0,50$  NRC = 0,55  $\alpha_w = 0,45$  (MH) Klasse D

Frequenzen [Hz]		125	250	500	1000	2000	4000
Mess- werte	Terz Unten	0,08	0,11	0,40	0,69	0,82	0,73
	Terz Mitte	0,09	0,15	0,49	0,74	0,78	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	0,45	0,45	0,45	0,35

## 7. Schallabsorption im Labor

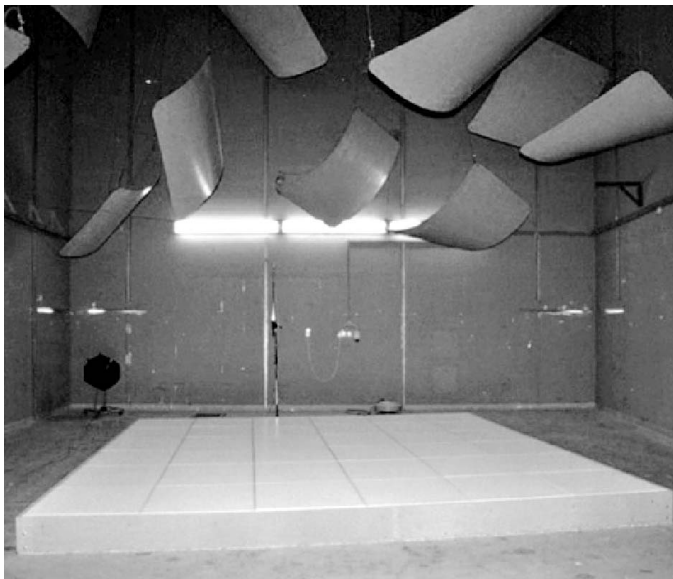
---

Die Messung erfolgt in einem sogenannten 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.

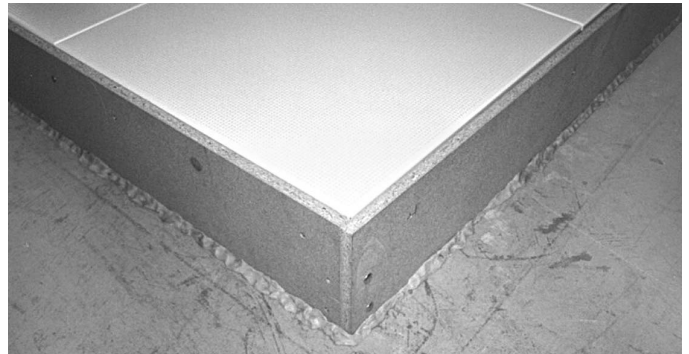
Messverfahren und Raumcharakteristik sind europaweit nach EN ISO 20354 genormt. Die Bestimmung der Schallabsorption erfolgt in drei Schritten:

1. Messung der Nachhallzeit im leeren Raum
2. Messung der Nachhallzeit mit Prüfkörper
3. Berechnung der Absorption aus der Differenz der beiden Messungen

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



Großer Hallraum am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Stuttgart



Der Prüfkörper wird im Labor umlaufend abgedichtet.

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

## 8. Schallabsorption am Bau

---

Die Messung der Nachhallzeit erfolgt nach 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, hierfür gibt es drei Gründe:

1. 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 ausreichend genau bekannt ist (trifft in der Praxis sogar häufig zu).
2. 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 kann sich eine fast beliebig große Ungenauigkeit ergeben.
3. Die Nachhallzeit wird nach EN ISO 3382 im gebrauchsfertigen Zustand (mit oder ohne Personen) gemessen. Die Absorption der Einrichtung ist jedoch in der Regel weder vernachlässigbar gering noch ausreichend bekannt. Erfolgt die Messung im (fast) leeren Raum (ist in der Praxis häufig der Fall), so ist meist unzureichende Diffusität das Problem.

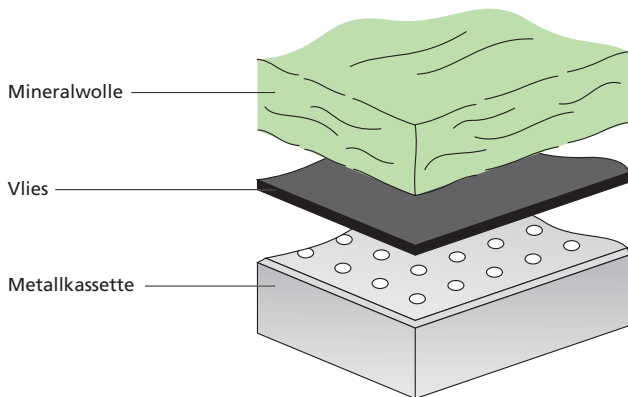
## 9. Produktübersicht / Prüfwerte

Mineralwolle sorgt für annähernd beliebig hohe Schallabsorption. Wird Mineralwolle in Folie eingeschweißt, so verringert sich die Schallabsorption mehr oder weniger deutlich – je nach Qualität der Folie.

Unsere Folien sind akustisch geprüft, das Ergebnis: *Bailer SDE* bzw. *Bailer SDE Akustikfolie* haben nur geringen bzw. praktisch keinen Einfluss auf die Schallabsorption.

### Aufbau

Metallkassette:	2516
Lochanteil:	16 %
Lochdurchmesser:	2,5 mm
Auflage:	30 mm Mineralwolle, 45 kg/m <sup>3</sup>
Höhe (Gesamtaufbau):	200 mm



### Ausführungen

Ausführung	Klasse	$\alpha_{i.M.}$	NRC	$\alpha_w$
1 ohne Vlies	A	0,84	0,95	1,00
2 mit Vlies	A	0,83	0,95	0,95
3 mit Vlies und eingeschweißt in Bailer SDE	B	0,75	0,85	0,85
4 mit Vlies und eingeschweißt in Bailer SDE Akustikfolie	A	0,79	0,85	0,90

Unser anwendungstechnischer Beratungsdienst steht Ihnen jederzeit zur Verfügung.

Unsere Angaben beruhen auf unseren bisherigen Erfahrungen und sind keine Eigenschaftszusicherungen im Sinne der BGH-Rechtsprechung. Prüfen Sie selbst, ob sich unser Produkt für Ihre Zwecke eignet. Eine Haftung, die über den Wert unseres Produktes hinausgeht, kann aus den vorliegenden Ausführungen nicht hergeleitet werden, auch nicht aus der Inanspruchnahme unseres kostenlos und unverbindlich zur Verfügung gestellten Beratungsdienstes.

# bailer

Lessingstraße 16  
72663 Großbettlingen  
[www.bailer-daemmstoffe.de](http://www.bailer-daemmstoffe.de)  
Tel. 0 70 22 · 24 30-0  
Fax 0 70 22 · 24 30-30  
[info@bailer-daemmstoffe.de](mailto:info@bailer-daemmstoffe.de)