

# Raumakustik in Schulen

Horst Drotleff, Dr.-Ing. Philip Leistner

November 2009

© Fraunhofer-Gesellschaft, München



## Verknüpfte Akustik

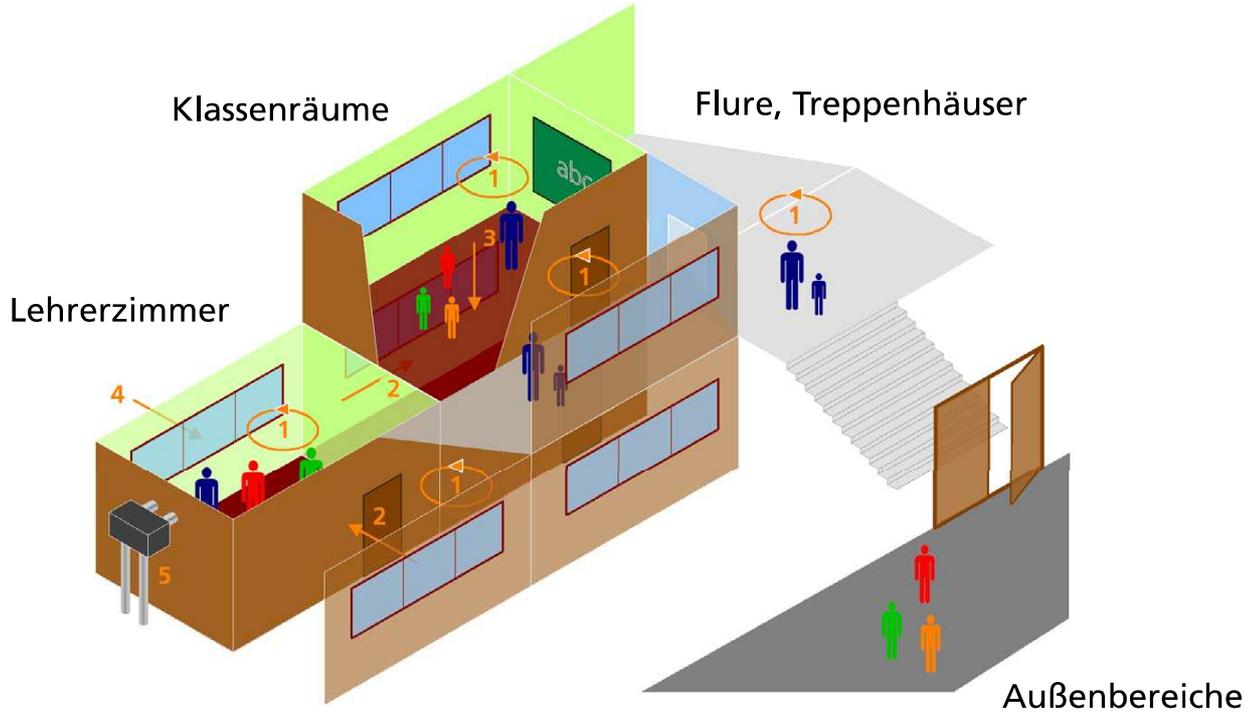
in allen Räumen

- *Klassenräume*  
einschließlich Einrichtung, auch mit Blick auf pädagogische Entwicklungen
- *Flure / Treppenhäuser*  
als Räume der Erholung und Kommunikation
- *Lehrerzimmer*  
als eine Art Mehrpersonenbüro, kommunikationsintensiv genutzt
- *Außenbereiche*  
als einladende Erholungs- und Bewegungsflächen  
ohne Lärmkollision mit den Nachbarn

© Fraunhofer-Gesellschaft, München



# Verknüpfte Akustik



... sowie Musikräume, Werkstätten, Sport- und Schwimmhallen, ...

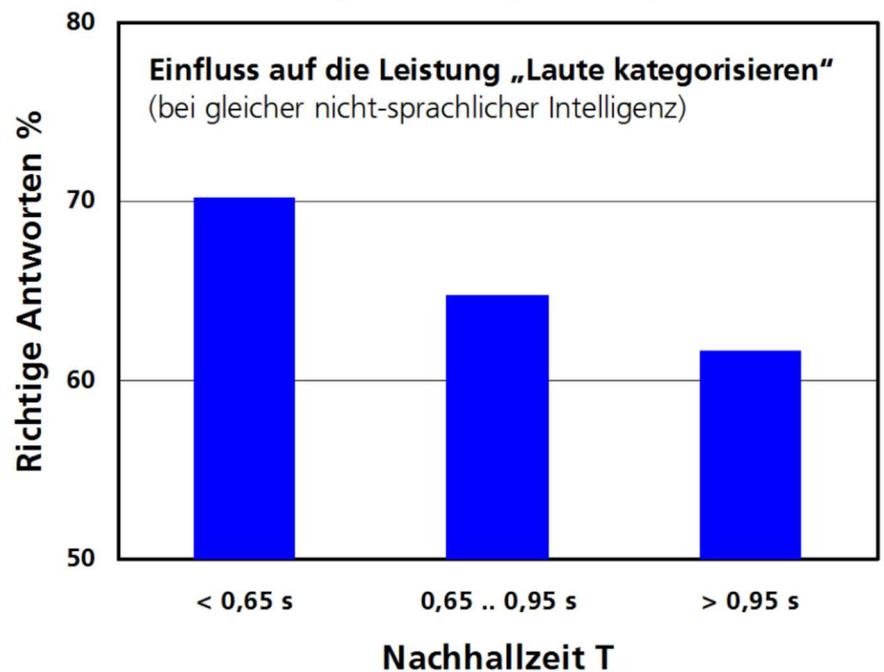
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

## Wirkung der Raumakustik

### → Klassenräume

- hoch verdichtete Räume
- akute und chronische Reaktion

*Klatte, Hellbrück, Leistner, Seidel 2006*



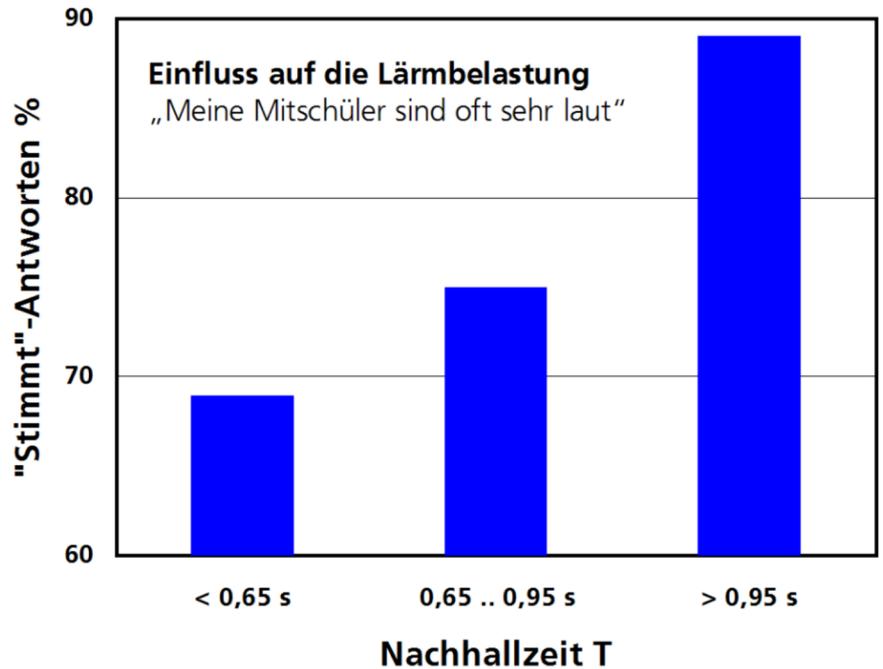
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Wirkung der Raumakustik

## → Klassenräume

- hoch verdichtete Räume
- akute und chronische Reaktion

Klatte, Hellbrück, Leistner, Seidel 2006

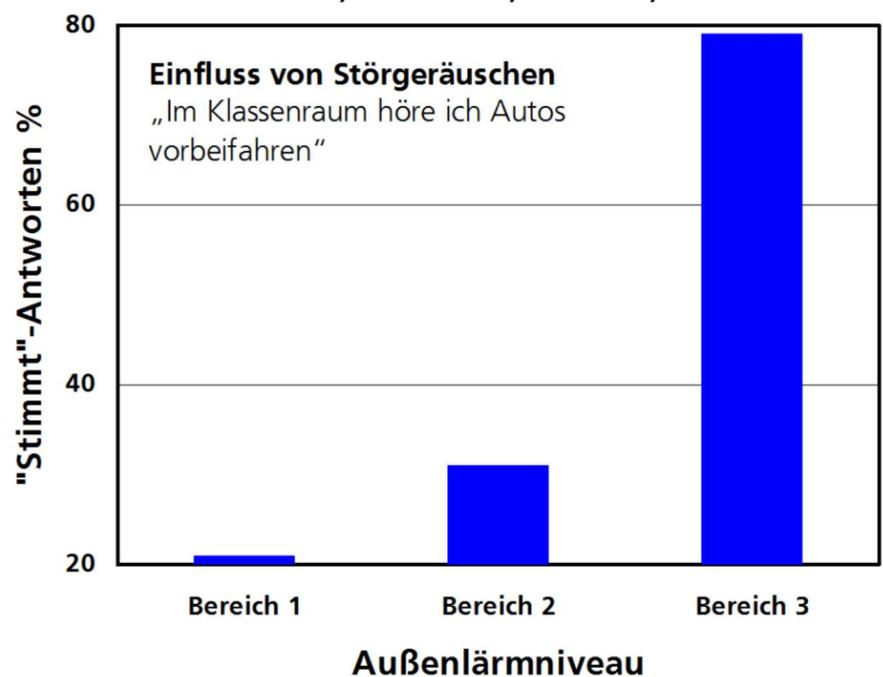


# Wirkung der Raumakustik

## → Klassenräume

- hoch verdichtete Räume
- akute und chronische Reaktion
- (fremde) Störgeräusche

Klatte, Hellbrück, Leistner, Seidel 2006

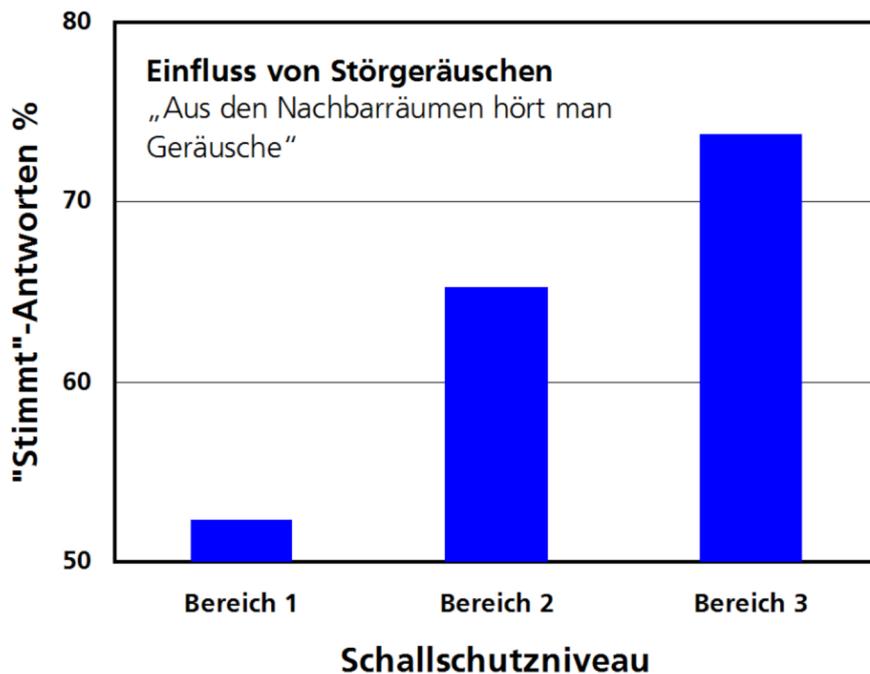


# Wirkung der Raumakustik

## → Klassenräume

- hoch verdichtete Räume
- akute und chronische Reaktion
- (fremde) Störgeräusche

Klatte, Hellbrück, Leistner, Seidel 2006



[http://www.zukunftsraum-schule.de/pdf/Schulakustik\\_und\\_Leistung.pdf](http://www.zukunftsraum-schule.de/pdf/Schulakustik_und_Leistung.pdf)

## Planungshinweise

### B) Raumakustik

Die traditionell am besten bekannte Kenngröße zur Beschreibung der akustischen Eigenschaften von Innenräumen ist die Nachhallzeit. Die raumabhängig einzuhaltenden Werte, zutreffend für den unbesetzten Raum, sind in Tab. 12 zusammengefasst. Die Werte gelten für den üblichen Hörfrequenzbereich, d. h. für die Oktavbänder von 63 Hz bis ca. 8 KHz (Mittenfrequenzen)

**Tabelle 12: Empfohlene Nachhallzeit-Werte einschließlich Toleranz in Räumen von Schulgebäuden**

| Raumart  | Nachhallzeit T in s  |
|--|--|
| Unterrichtsräume<br>(mit einem Volumen unter 300 m <sup>3</sup> )              | <u>empfohlen 0,5 ± 0,05 s</u>                                  |
| Unterrichtsräume,<br>Sport-, Turn- und Schwimmhallen<br>(abhängig vom Volumen) | nach DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ |

Quelle: Umweltbundesamt „Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden“ 2008

# Planungshinweise

Eine hohe Sprachverständlichkeit ist in Schulen wichtig. Die in Tabelle 12 genannten Nachhallzeiten weichen daher geringfügig von den in der DIN 18041 genannten ab. Zur Einstellung der Nachhallzeit sollten nicht nur hoch schallabsorbierende Decken verwendet werden. Eine geeignete Ergänzung stellt der rückseitige Wandbereich unter der Decke dar.

Quelle:  
Umweltbundesamt

„Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden“

2008

Bei größeren Sporthallen und ähnlich genutzten großen Räumen sollte in jedem Fall eine fachgerecht festgelegte Nachhallzeit eingehalten werden, welche die oftmals vielgestaltigen Nutzungsarten der Halle berücksichtigt. Für besondere Veranstaltungs- und Musikräume, z.B. Aulen, wird eine gesonderte Betrachtung und Behandlung der Raumakustik empfohlen.

Empfehlungen für weitere Räume in Schulgebäuden sind Tab. 13 zu entnehmen. Sie zielen weniger auf gute Sprachverständlichkeit, sondern vielmehr auf eine Bedämpfung der dort mitunter sehr lauten Geräusche.

Tabelle 13: Empfohlene Nachhallzeit-Werte einschließlich Toleranz in Räumen von Schulgebäuden (vgl. auch Bilder 2 und 3)

| Raumart              | Nachhallzeit T in s              |
|----------------------|----------------------------------|
| Flure, Treppenhäuser | $T = V / 1000 \text{ m}^3 + 0,8$ |

© Fraunhofer-Gesellschaft, München

## Ist-Zustand

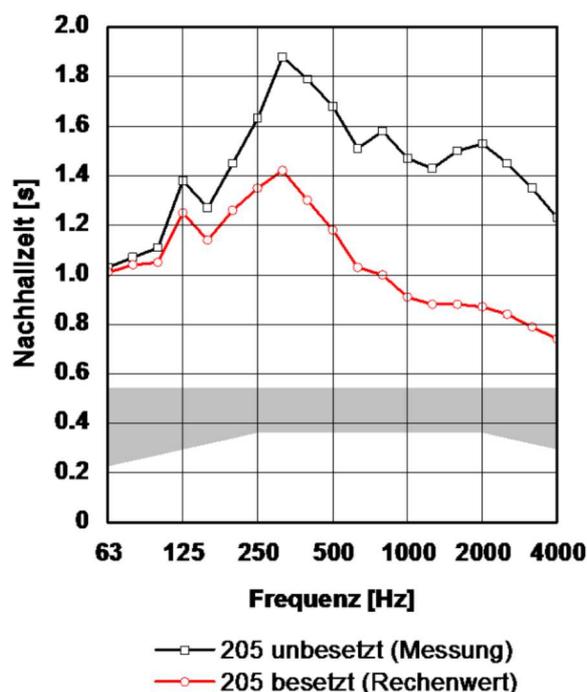
Raum 205

Volumen 170 m<sup>3</sup>

32 Sitzplätze



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

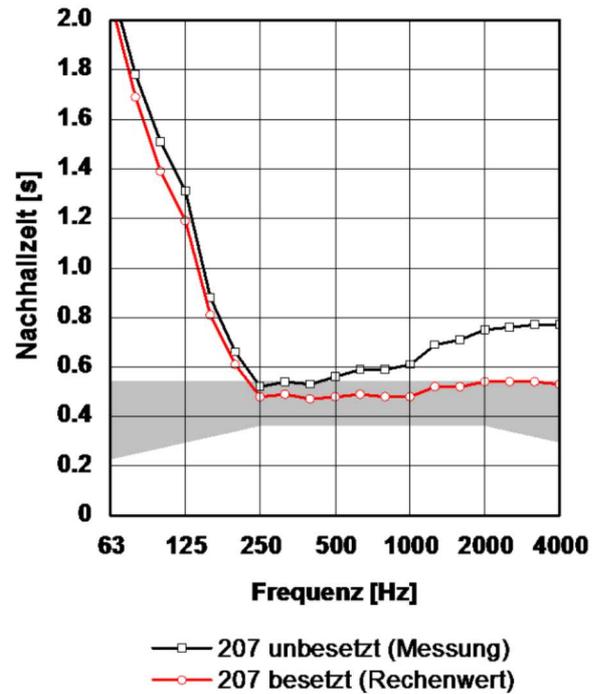


# Ist-Zustand

Raum 207

Volumen 160 m<sup>3</sup>

26 Sitzplätze

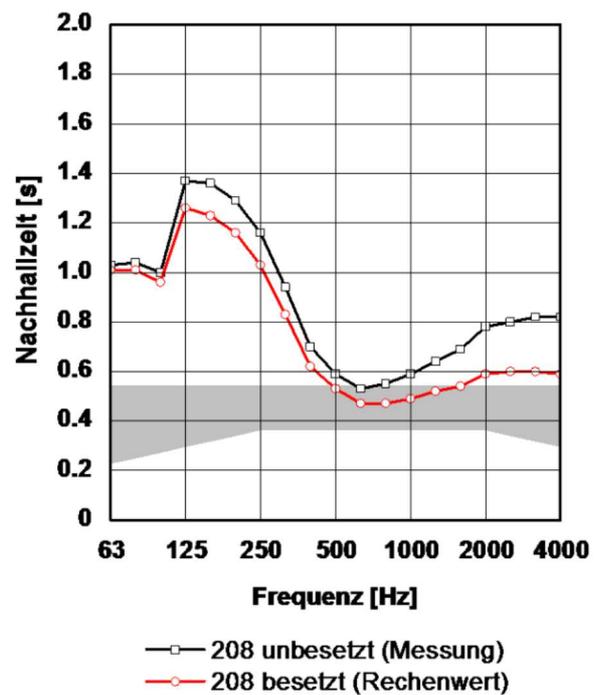


# Ist-Zustand

Raum 208

Volumen 200 m<sup>3</sup>

26 Sitzplätze



# Ist-Zustand

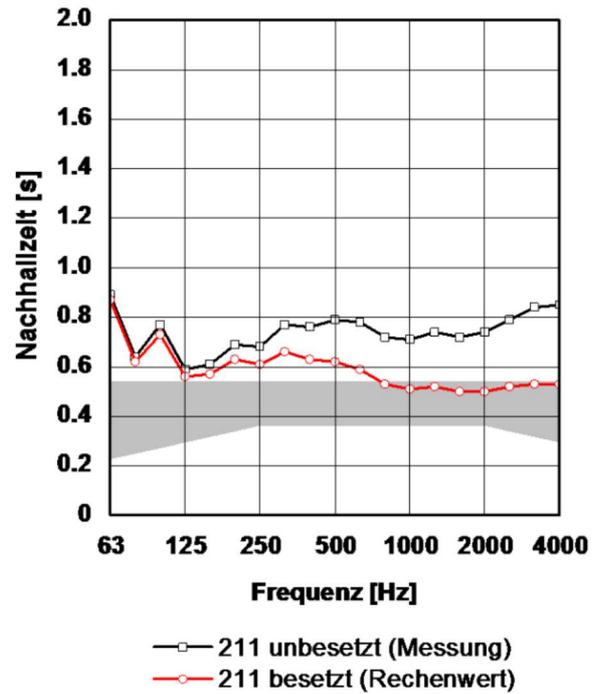
Raum 211

Volumen 130 m<sup>3</sup>

32 Sitzplätze



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

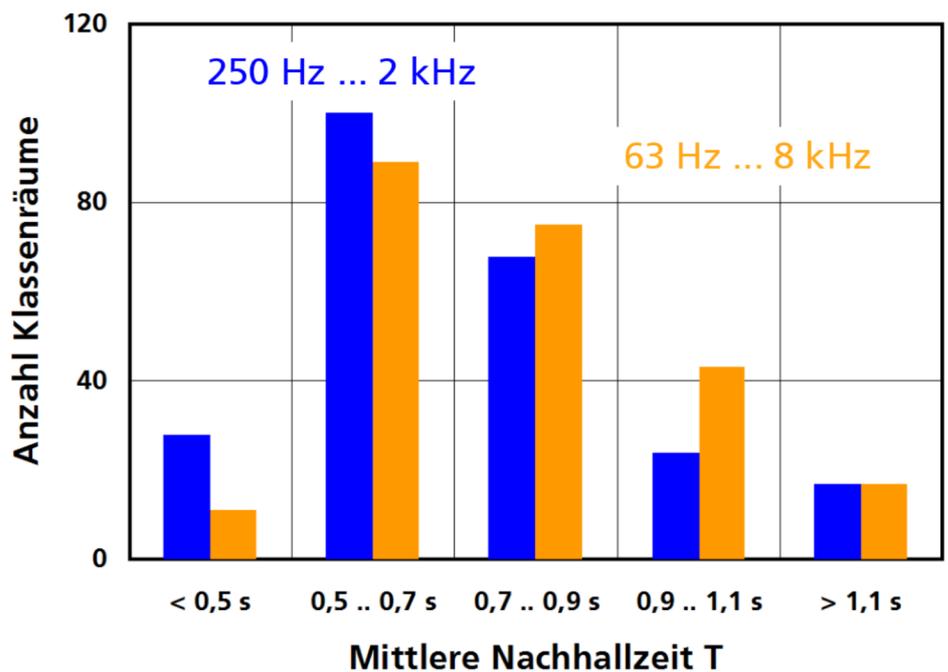


# Vergleichende Beurteilung

→ Klassenräume

(> 240 Räume)

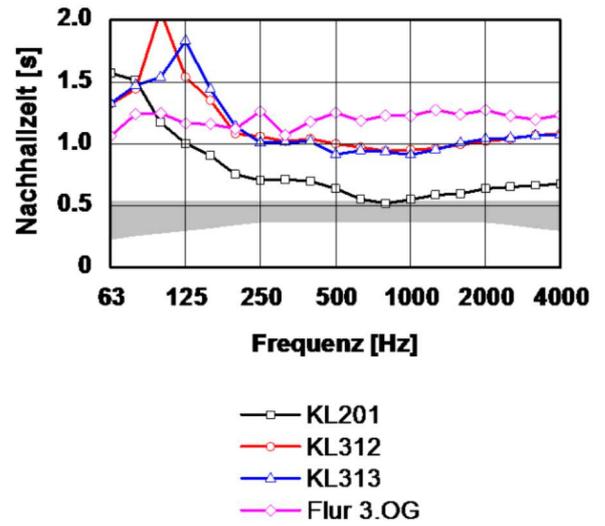
Märtens 2005



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Ist-Zustand

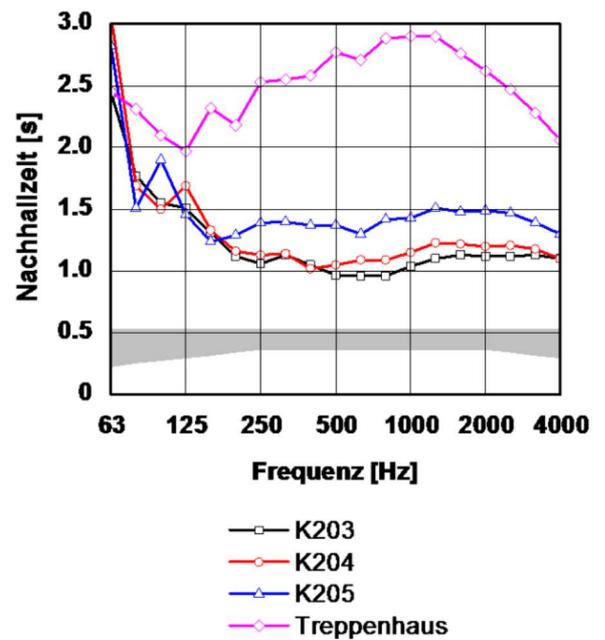
## Flur 3.OG



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Ist-Zustand

## Treppenhaus



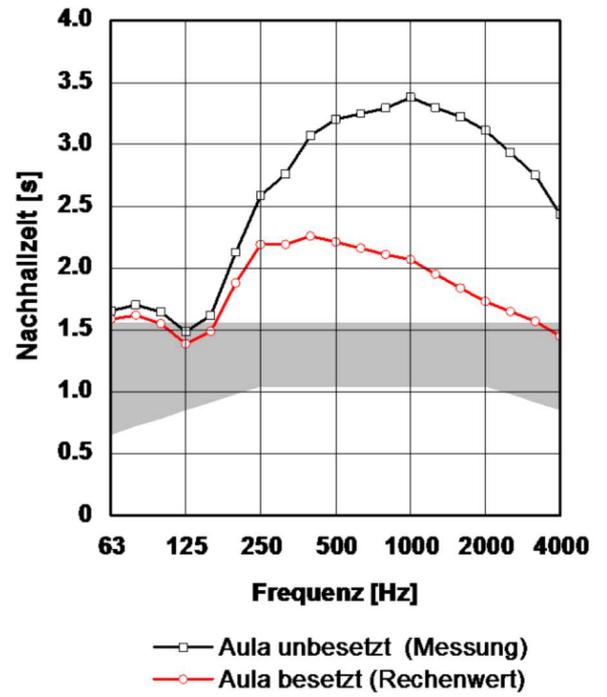
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Ist-Zustand

## Aula

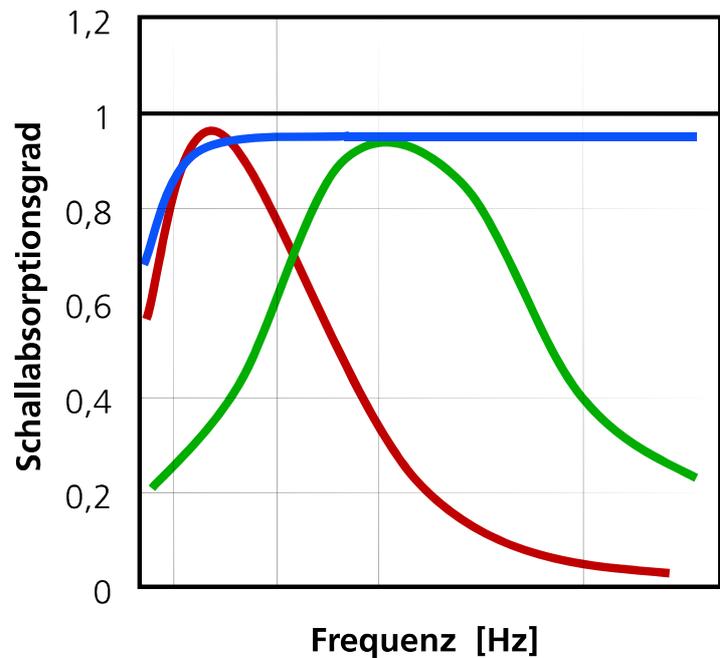


© Fraunhofer-Gesellschaft, München



# Schallabsorber

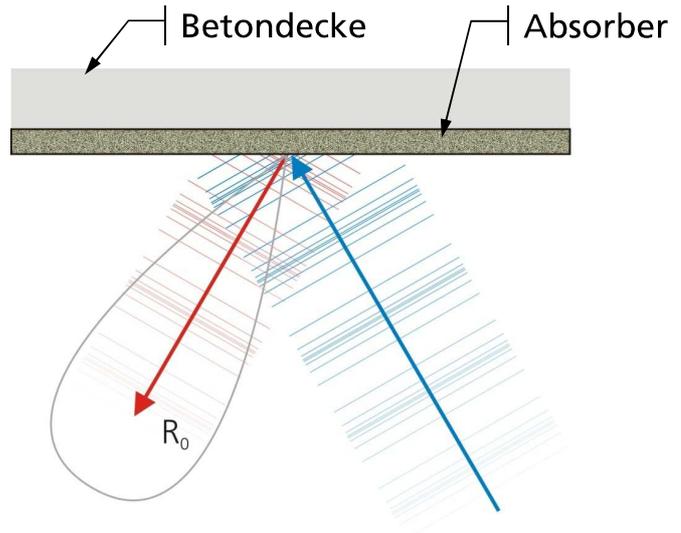
- Tiefen-Absorber
- Mitten-Absorber
- Breitband-Absorber



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

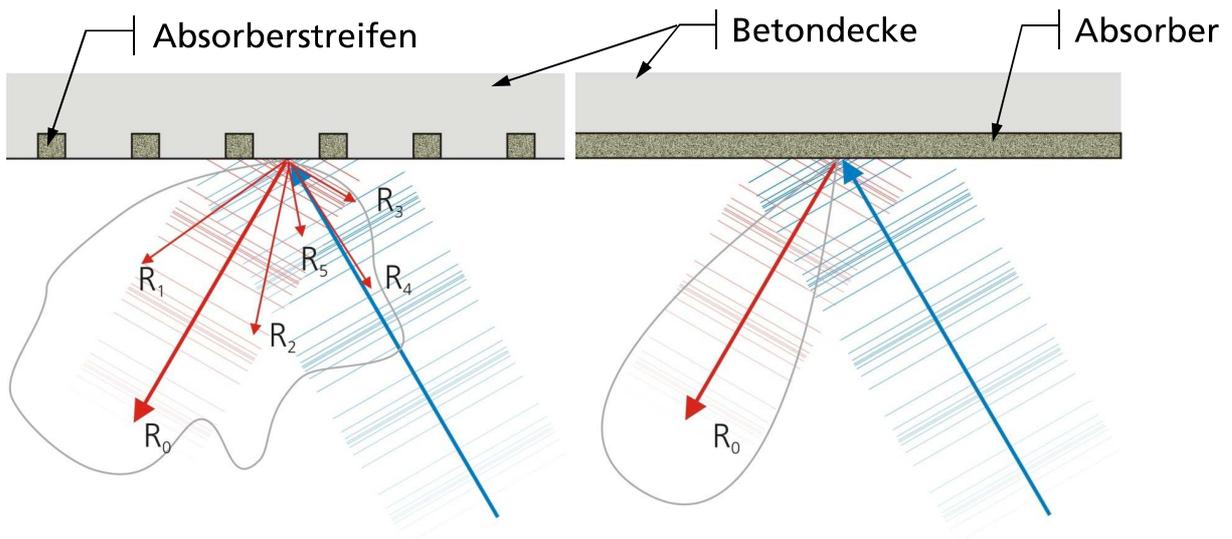
<http://www.ptb.de/de/org/1/17/173/datenbank.htm>

# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken

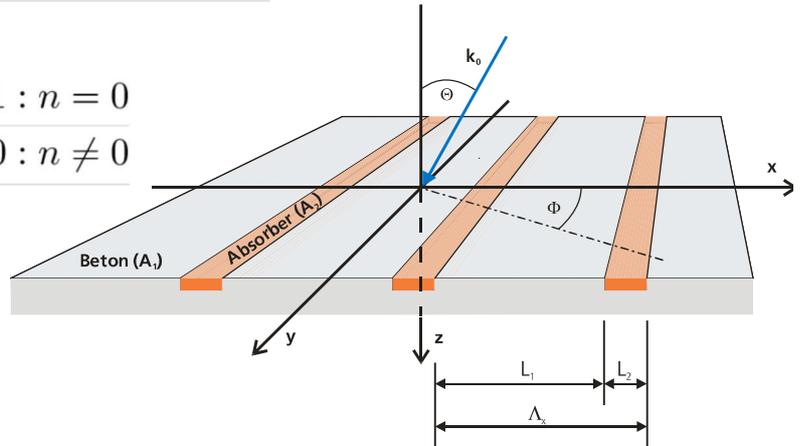


© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} R_m (\omega \varrho_0 a_{n-m} + \delta_{m,n} \gamma_m) = -\omega \varrho_0 a_n + \delta_{0,n} \gamma_0$$

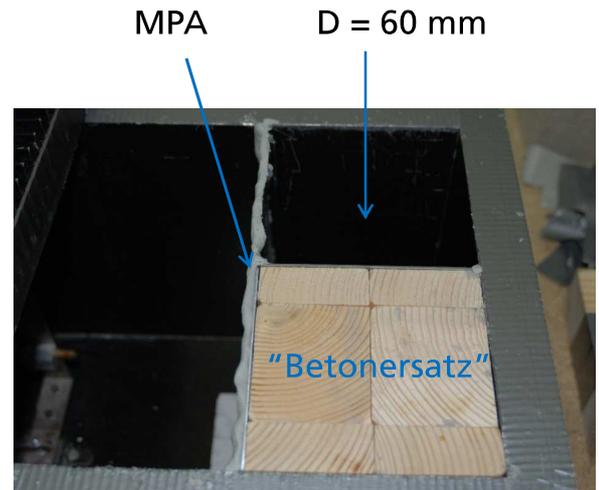
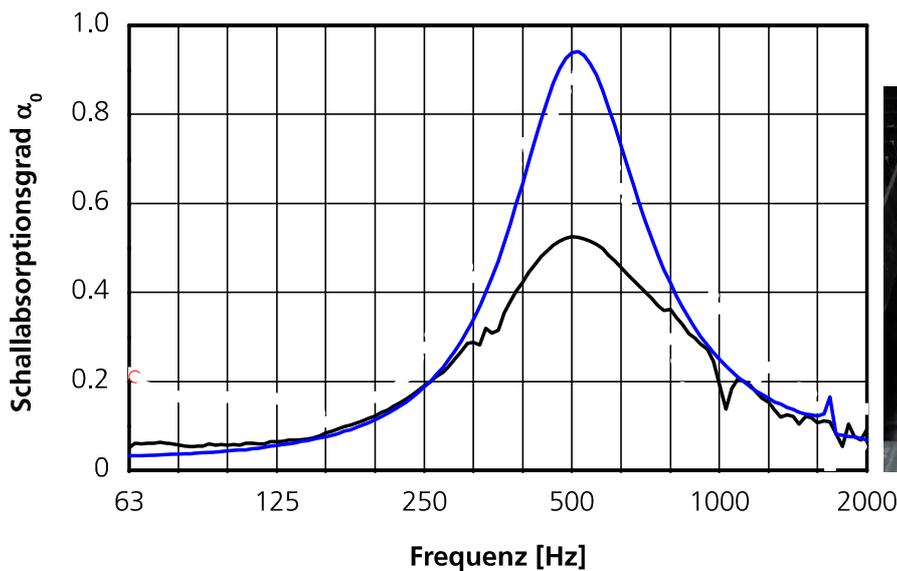
$$\delta_{m,n} = \begin{cases} 1 & : n = m \\ 0 & : n \neq m \end{cases} \text{ and } \delta_{0,n} = \begin{cases} 1 & : n = 0 \\ 0 & : n \neq 0 \end{cases}$$



$$\alpha_{\theta, \phi} = 1 - \sum_{Re(\gamma_m > 0)} |R_m|^2 \frac{\gamma_m}{\gamma_0}$$

© Fraunhofer-Gesellschaft, München

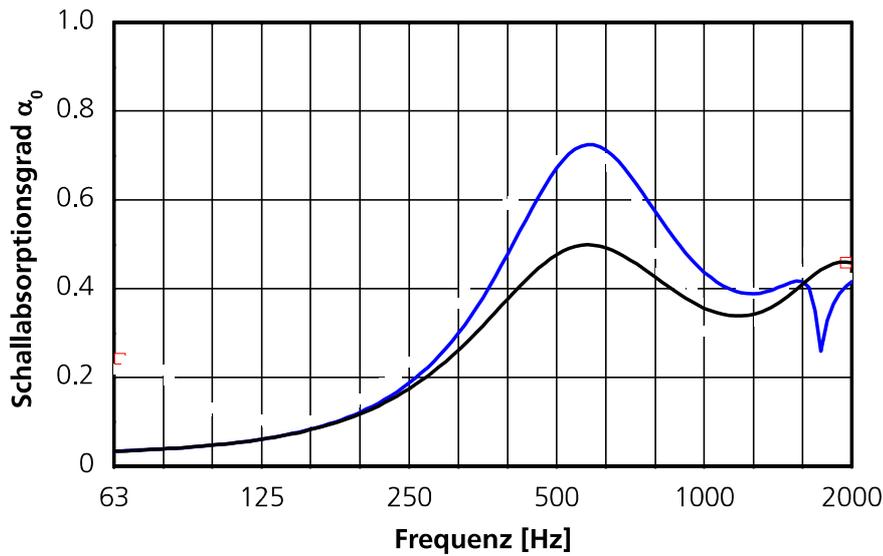
# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken



( ) (—) 50% MPA (D = 60 mm) und  
50% Holz balken  
— Flächenmittel

© Fraunhofer-Gesellschaft, München

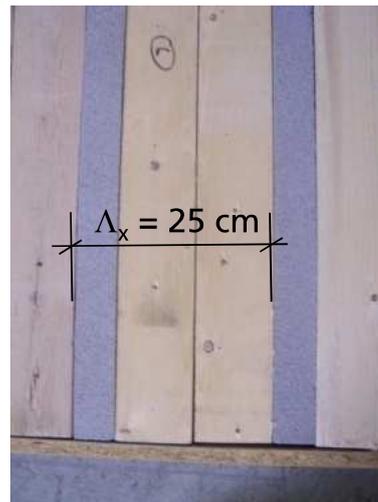
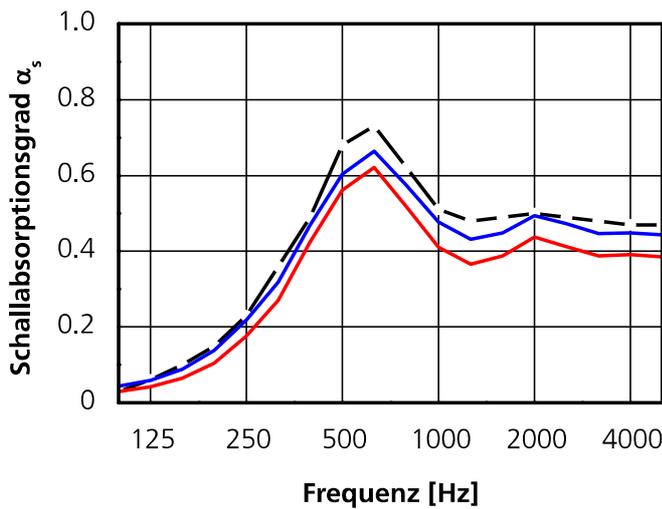
# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken



( ), (—) 50% poröses Glas, 50% Holzbalken  
 $\Lambda_x = 100 \text{ mm}$   
 — Flächenmittel

© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken



— Experiment; —  $\theta_{\text{max}} = 78^\circ$ ; —  $\theta_{\text{max}} = 85^\circ$

20% Absorberfläche

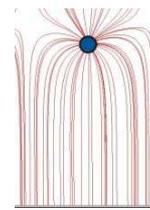
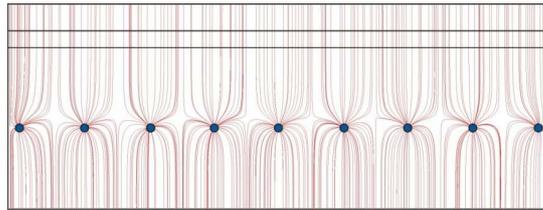
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken

## Wärmestrom durch Decke

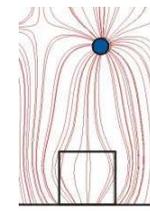
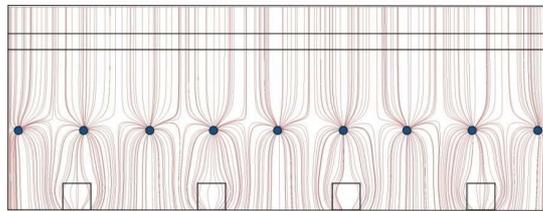
## Wirkungsgrad

Betondecke  
„ungestört“



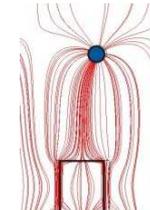
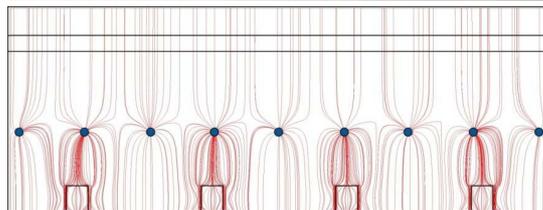
100 %

20% porosierter  
Glasschaum



96 %

20% MPA

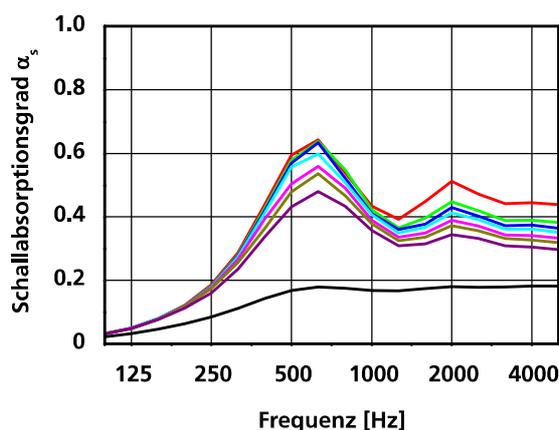


99 %

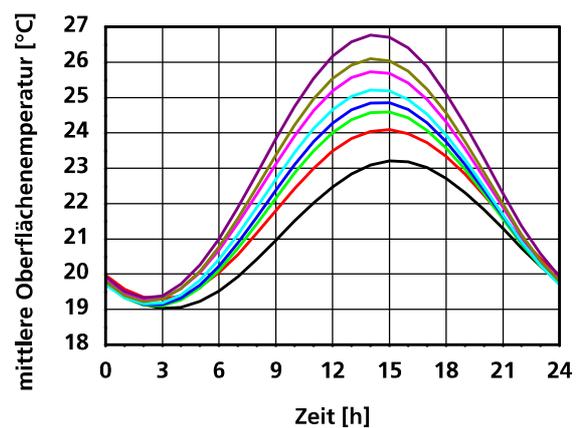
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken

## Variation der Periode bei konstantem Absorberanteil (20%)



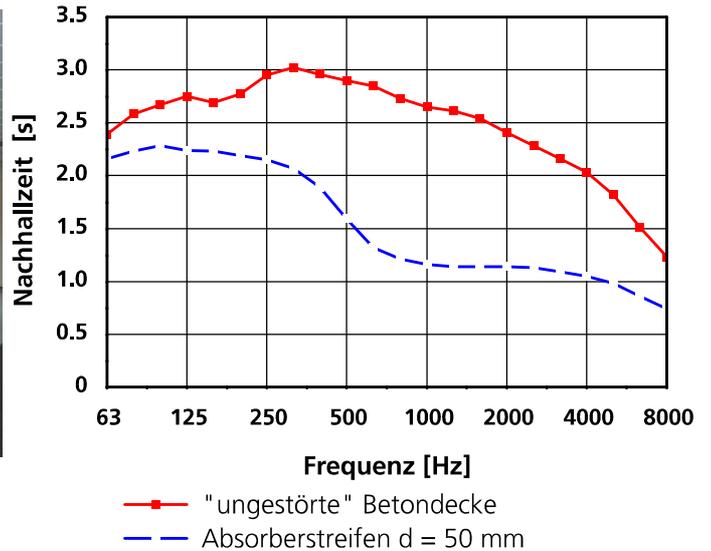
—  $\Lambda_x$  0.10 m, —  $\Lambda_x$  0.20 m, —  $\Lambda_x$  0.25 m  
—  $\Lambda_x$  0.30 m, —  $\Lambda_x$  0.40 m, —  $\Lambda_x$  0.50 m  
—  $\Lambda_x$  0.75 m, — flächengemittelt 20 %



— Beton (100%), —  $\Lambda_x$  0.10 m (97.3%),  
—  $\Lambda_x$  0.20 m (96.6%), —  $\Lambda_x$  0.25 m (96.0%),  
—  $\Lambda_x$  0.30 m (95.0%), —  $\Lambda_x$  0.40 m (93.7%),  
—  $\Lambda_x$  0.50 m (92.9%), —  $\Lambda_x$  0.75 m (91.1%)

© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Schallabsorbierende, thermisch aktive Betondecken



<http://www.inhaus-zentrum.de/>

© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen

Ohne Farbauftrag

Einfacher Farbauftrag mit „Renovierfarbe“

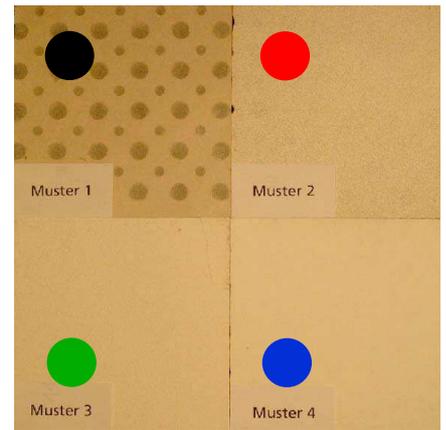
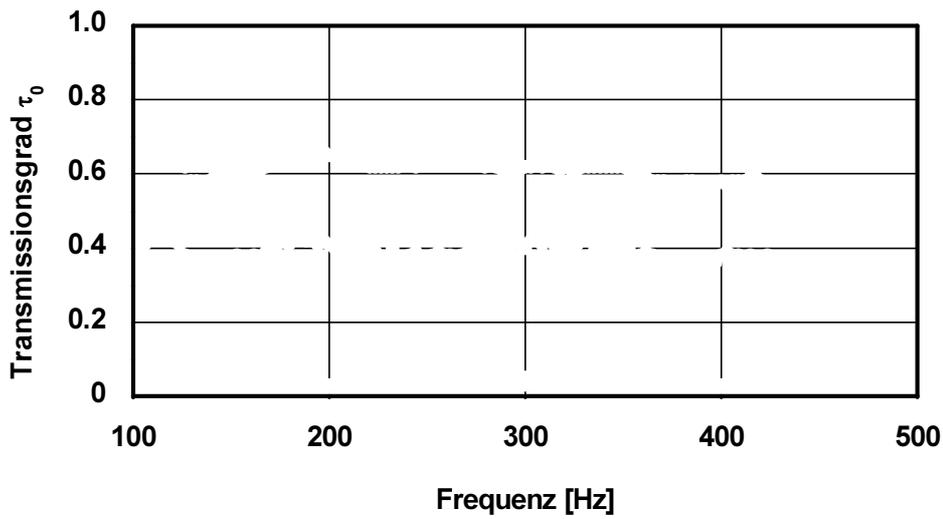


Doppelter Farbauftrag mit „Renovierfarbe“

Opak mit „Renovierfarbe“

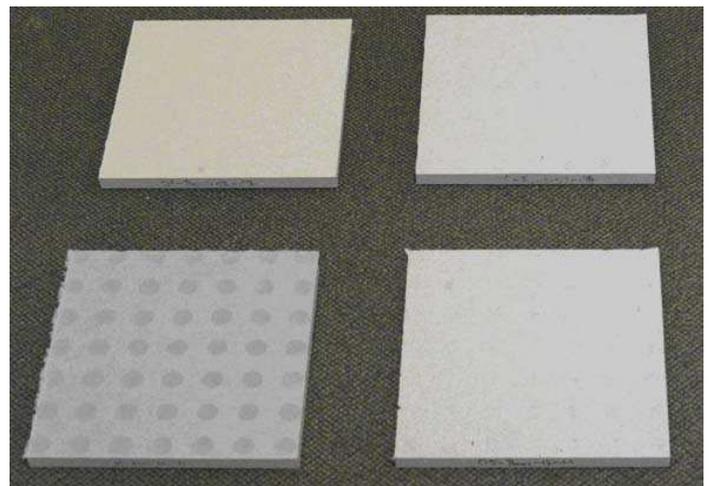
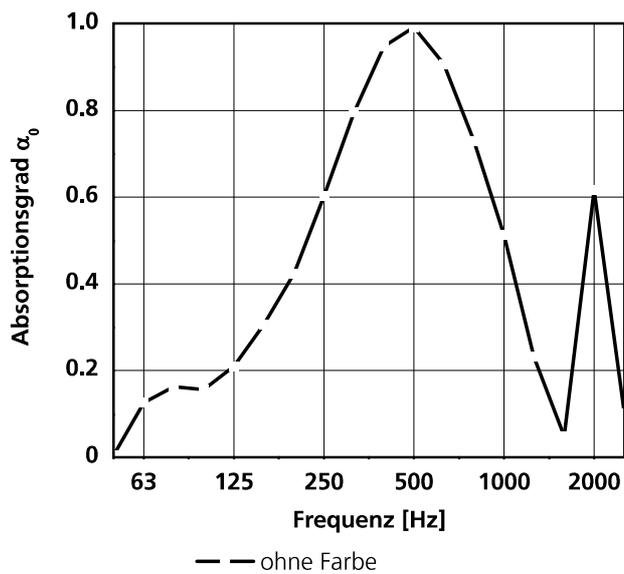
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen



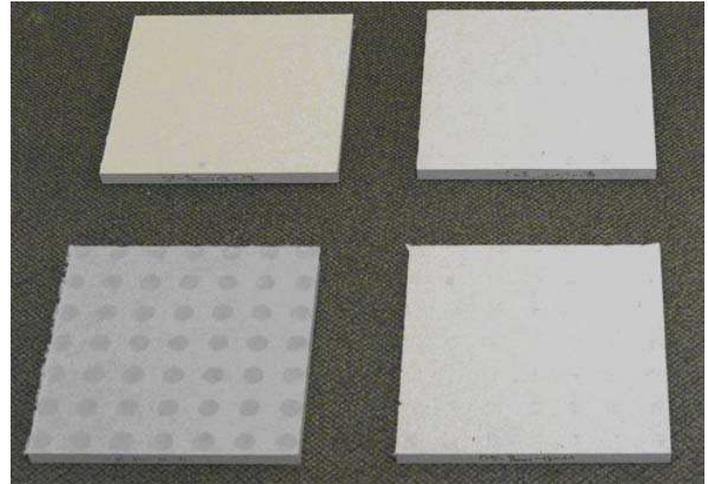
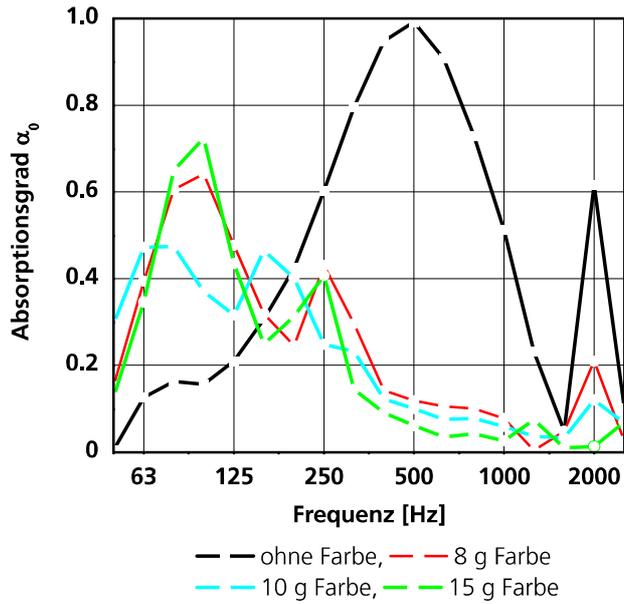
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

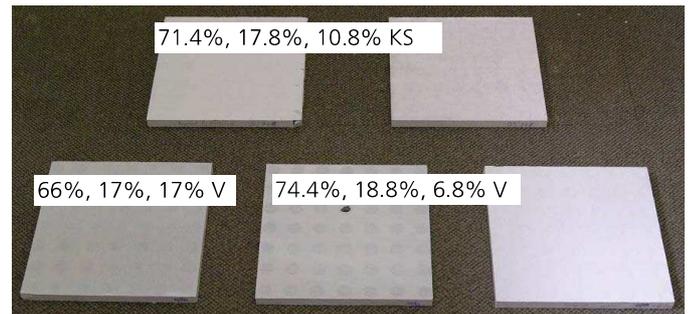
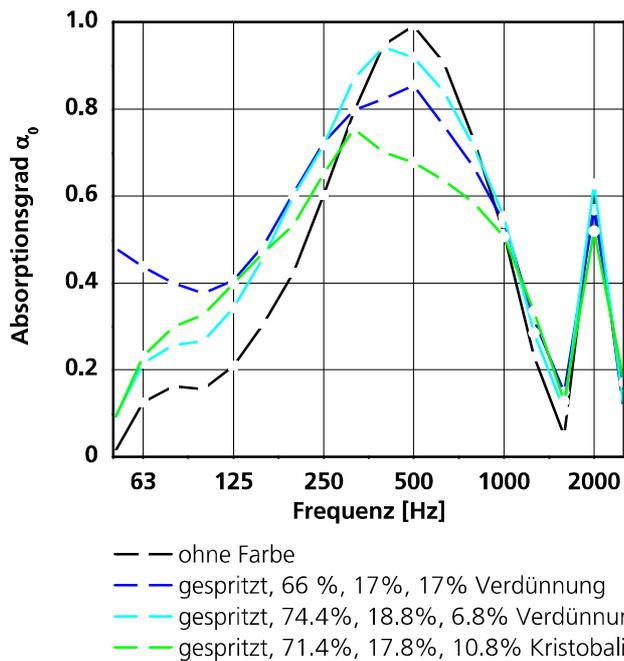
# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen



$\sigma = 20\%$   
 10 cm Luftabstand  
 Dispersionsfarbe **GEWALZT**

© Fraunhofer-Gesellschaft, München

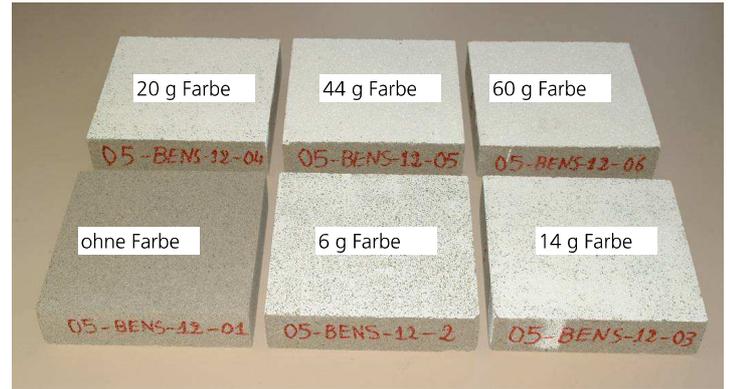
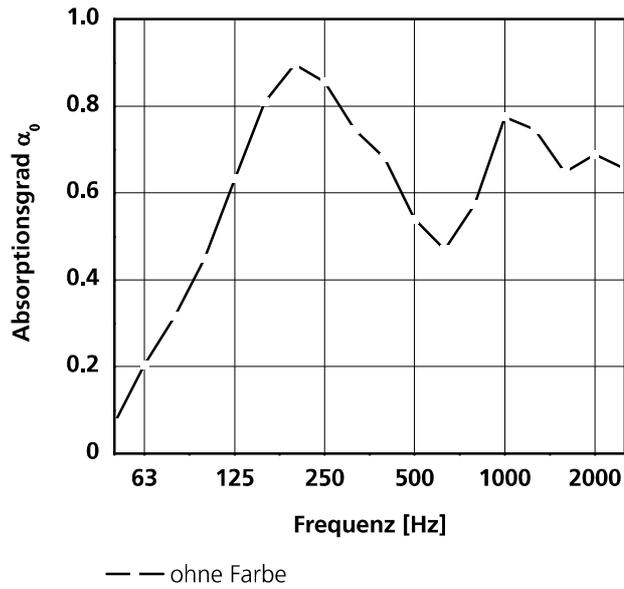
# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen



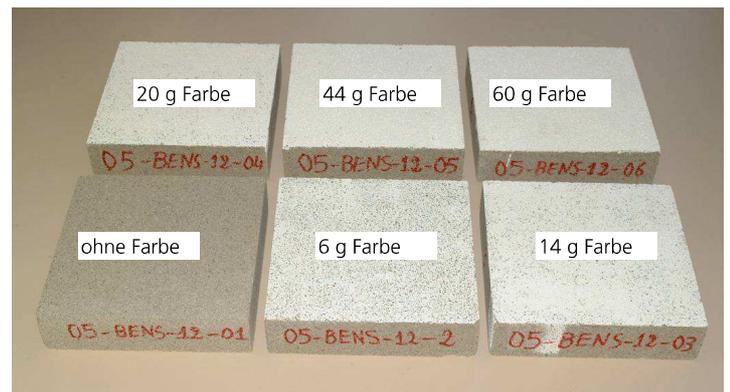
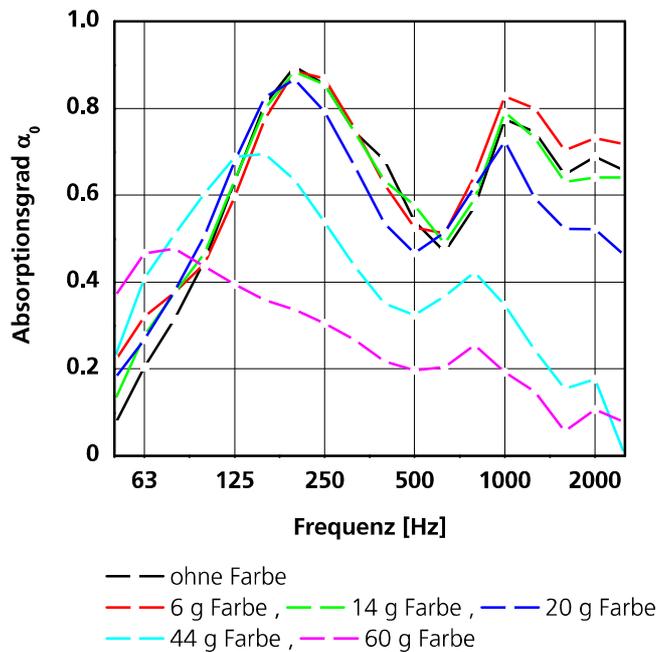
$\sigma = 20\%$   
 10 cm Luftabstand  
 Farbe **GESPRIKTZT**

© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen



# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen



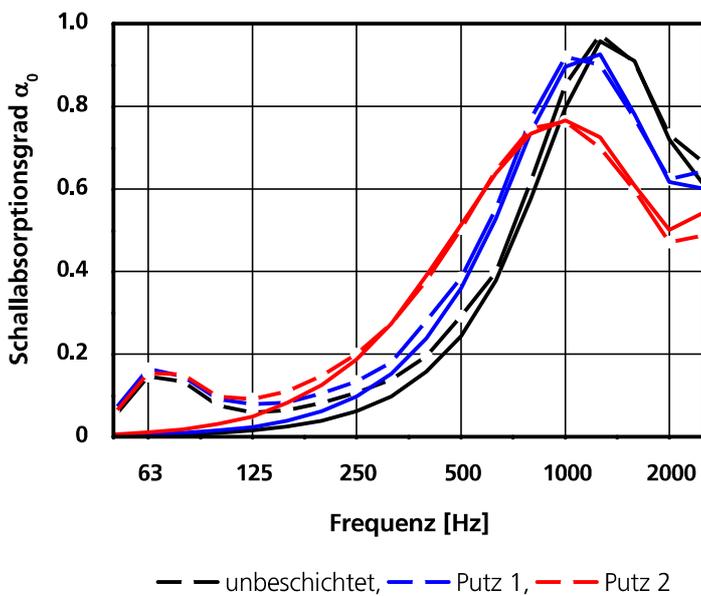
Dispersionsfarbe gewalzt  
**opak ab 44 g**

# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sanieren von akustisch wirksamen Oberflächen



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sporthallen



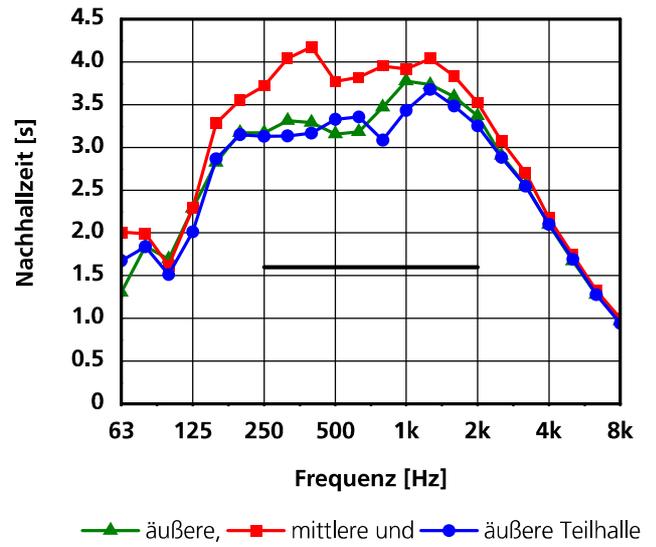
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sporthallen

| Nutzung                             | Ziel  | Anforderungen  |
|-------------------------------------|---|--|
| Sport ungeteilte Halle              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gute Sprachverständlichkeit auf mittlere Distanzen</li> <li>• angemessene Lärmpegel</li> </ul>                                 | DIN 18 032-1, DIN 18 041: Soll-Nachhallzeiten                                |
| Sport (Unterricht)<br>Teilhallen    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gute Sprachverständlichkeit auf mittlere Distanzen</li> <li>• angemessene Lärmpegel;<br/>Trennung von Nachbarhallen</li> </ul> | DIN 18 041: Soll-Nachhallzeiten<br>DIN 18 032-4: Schalldämm-Maße<br>Vorhänge |
| Veranstaltungen<br>Mehrzwecknutzung | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorraussetzung für Beschallungsanlagen</li> <li>• akustische Behaglichkeit</li> </ul>  | z.B. DIN 18 041, Fachliteratur<br>Empfehlungen an die Nachhallzeiten         |

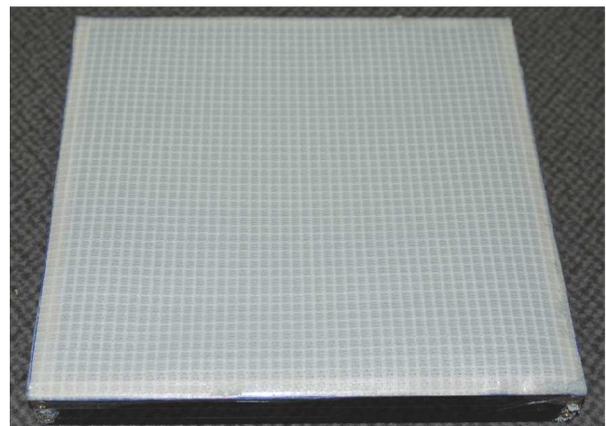
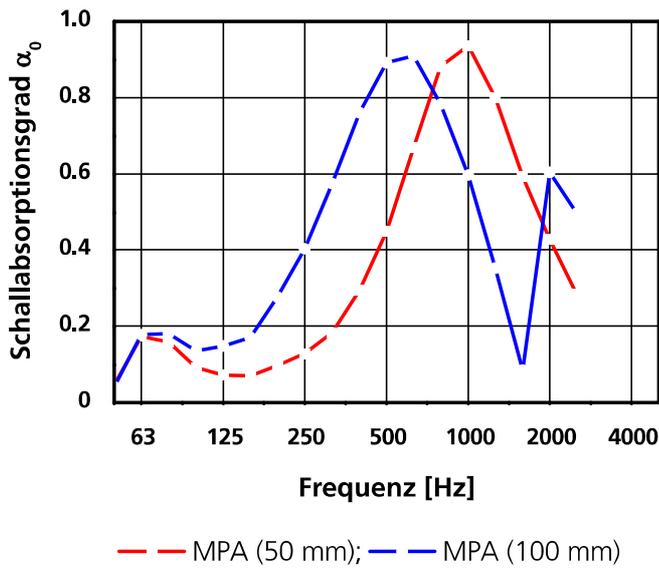
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sporthallen: Herausforderung Trennvorhang



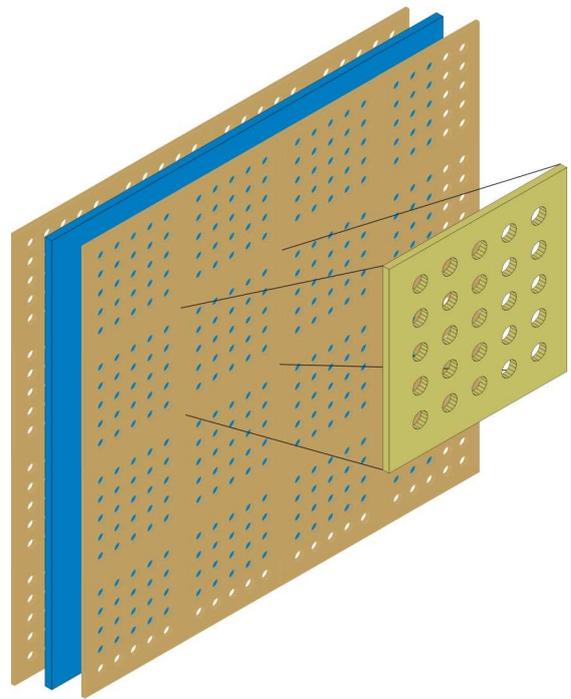
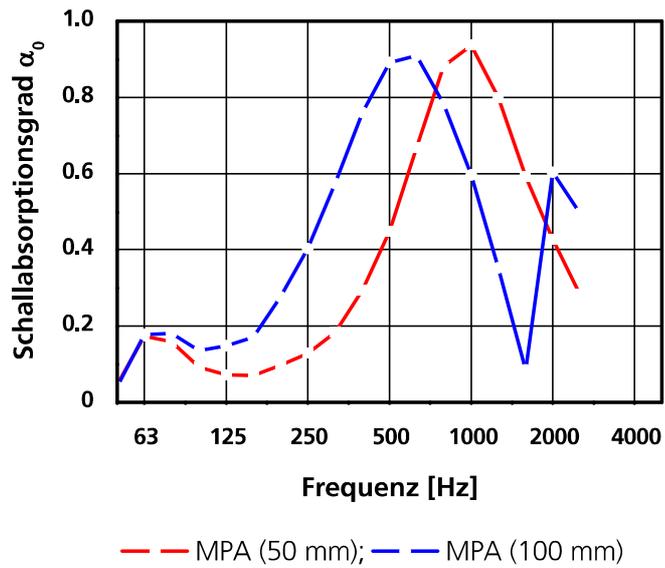
© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sporthallen: Herausforderung Trennvorhang



© Fraunhofer-Gesellschaft, München

# Sporthallen: Herausforderung Trennvorhang



© Fraunhofer-Gesellschaft, München