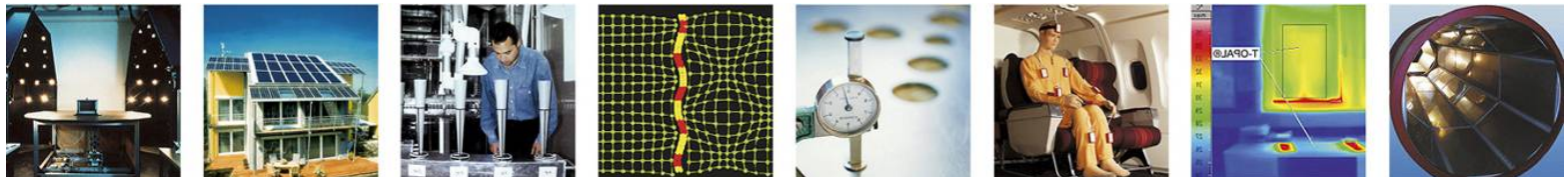

Schallabsorber in Betondecken

Horst Drotleff, Philip Leistner, Roman Wack



- **Thermisch aktive Betonbauteile**

- ✓ energetisch sinnvoll
- ✓ hohe Behaglichkeit

Glück, B.: *Thermische Bauteilaktivierung*. C.F. Müller Verlag, Heidelberg 1999
Glück, B.: *Thermische Bauteilaktivierung – Stand und Entwicklungsmöglichkeiten*.
KI Heft 3/2000

- **2005 → 3.2 Millionen m² Bürofläche**

Statistisches Bundesamt, September 2007

- **2006 → 650.000 m² thermisch aktive Decken**

Koob, C.; Leisering, F.; Lohmüller, S.: *Kühldeckenmarkt in Deutschland*. cci
Fachzeitschrift für Haus und Gebäudetechnik (12), 2007

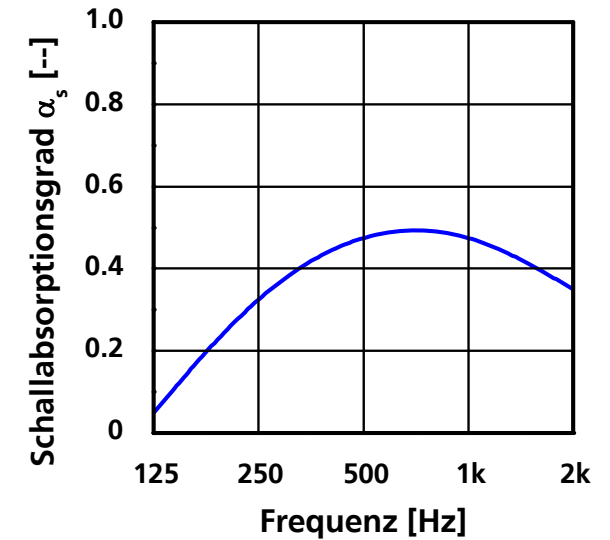
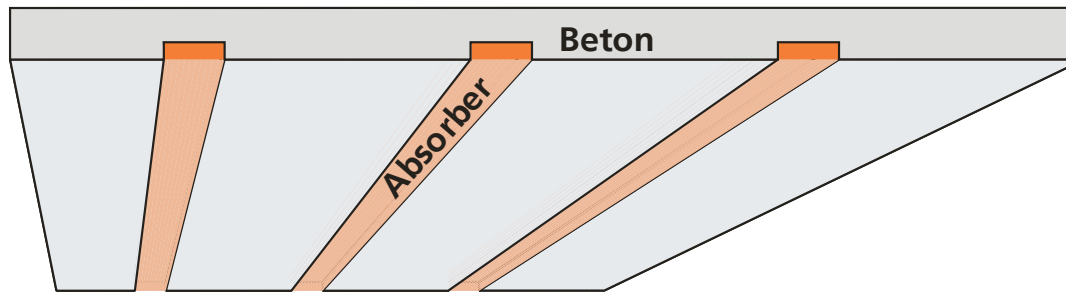
Motivation und Stand der Technik



- Gestaltung?
- Akustik?

A. Liebl, B. Jödicke, H. Baumgartner, S. Schlittmeier, J. Hellbrück, H. Drotleff,
"Efficient Office," *Proceedings of INTER-NOISE 2008*

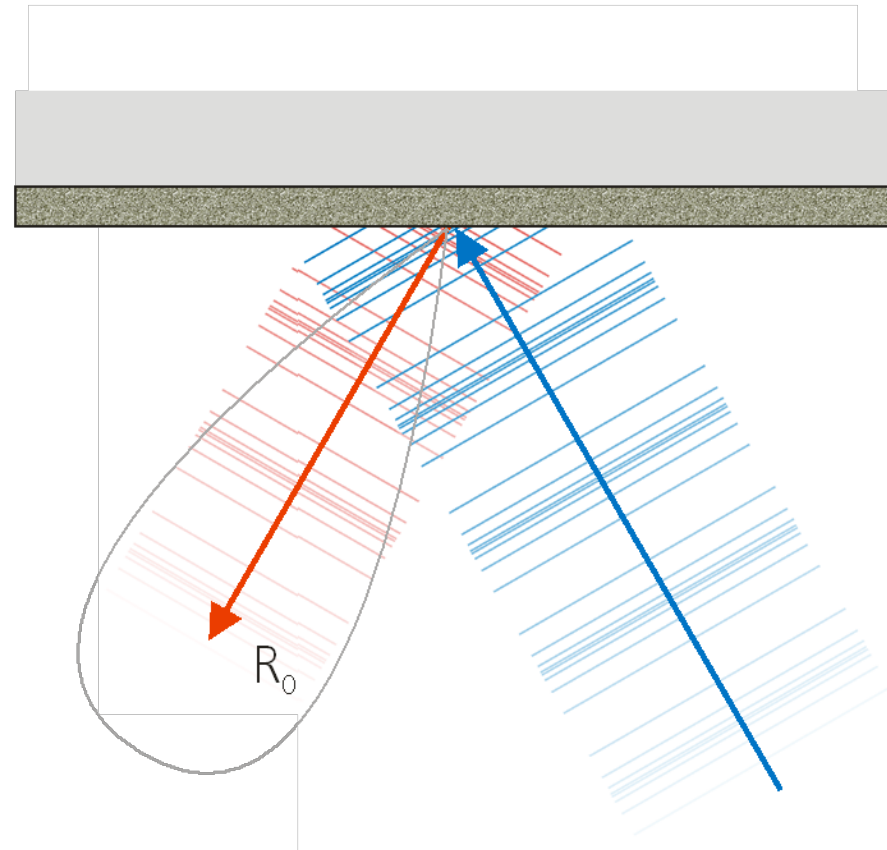
Streifenansatz



- Wie viele Absorberstreifen und welches Material?
- Thermische Wirksamkeit?
- Baupraktischer Einsatz?

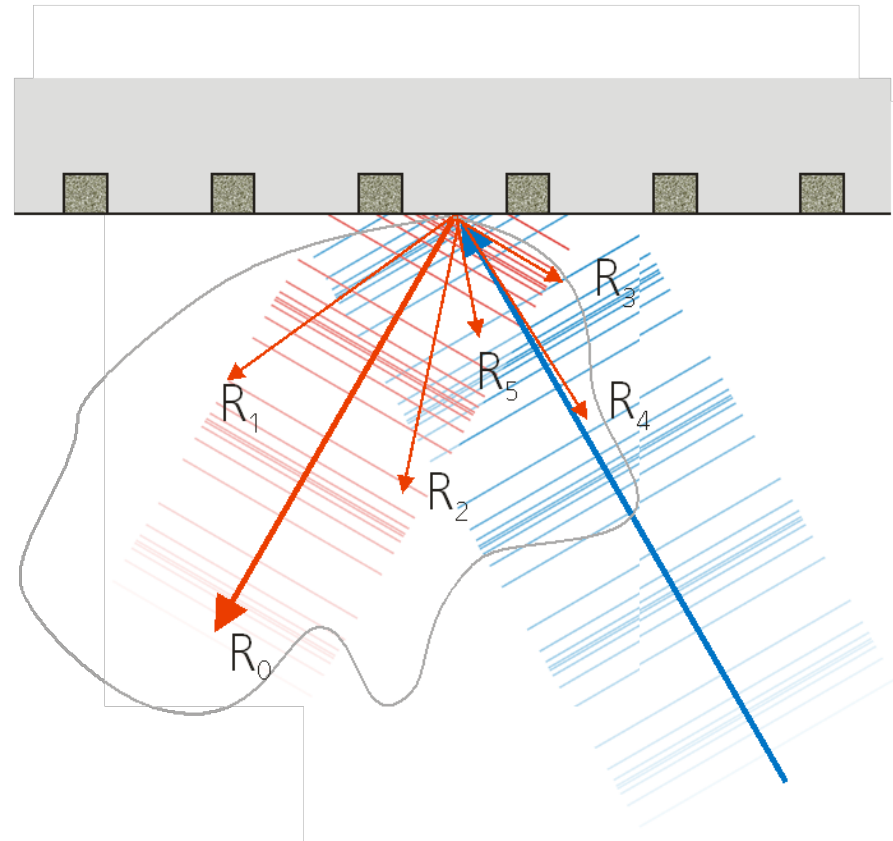
Homogene Oberfläche

- Eine reflektierte Schallwelle

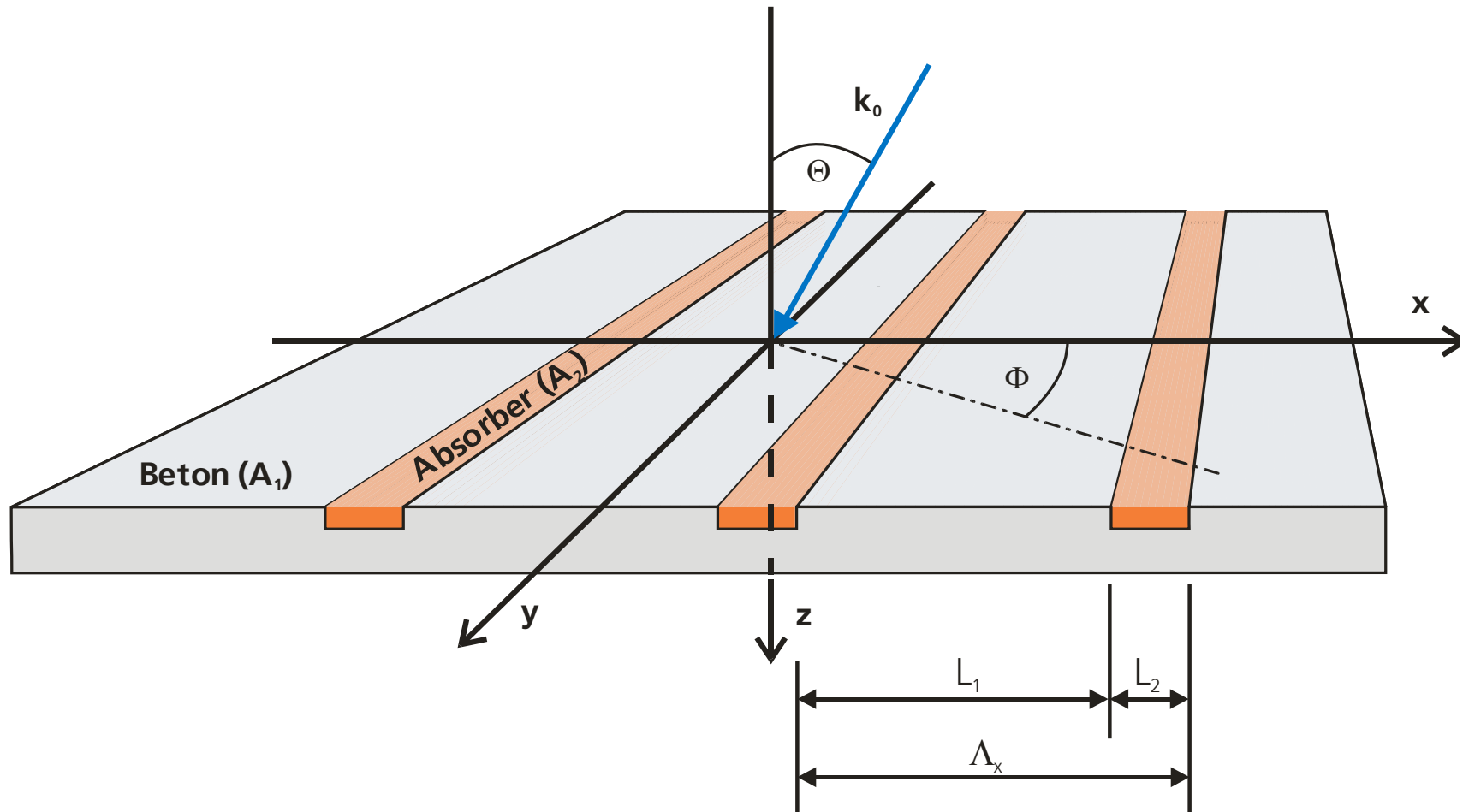


Homogene Oberfläche

- Mehrere reflektierte Schallwellen



Theoretischer Ansatz



Theoretischer Ansatz

$$\blacksquare \underbrace{p(x, y, z) = e^{j(\alpha_0 x + \beta_0 y - \gamma_0 z)}}_{\text{Incident wave}} + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \underbrace{R_m \cdot e^{j(\alpha_m x + \beta_m y + \gamma_m z)}}_{\text{Reflected waves}}$$

$$\beta_m = \beta_0$$

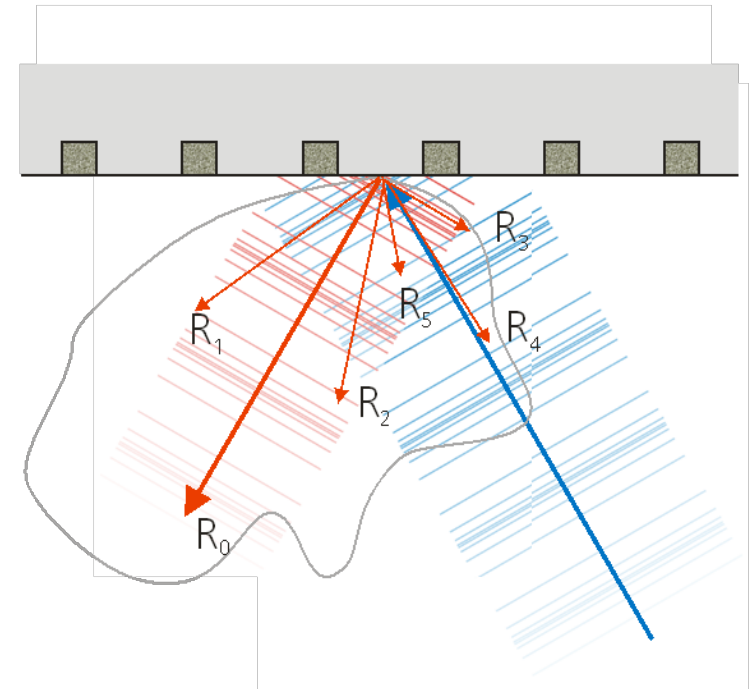
$$\alpha_m = \alpha_0 + m \frac{2\pi}{\Lambda_x} = \alpha_0 + \mathbf{k}_x$$

- Unbekannt sind \mathbf{R}_m und γ_m

$$\gamma_m = \pm \sqrt{\mathbf{k}_0^2 - \alpha_m^2 - \beta_0^2}$$

$$\text{Re}(\gamma_m) > 0$$

$$\text{Im}(\gamma_m) < 0$$



Lord Rayleigh, "On the Dynamical Theory of Gratings," Proc. R. Soc. London A **79** (532) (1907)

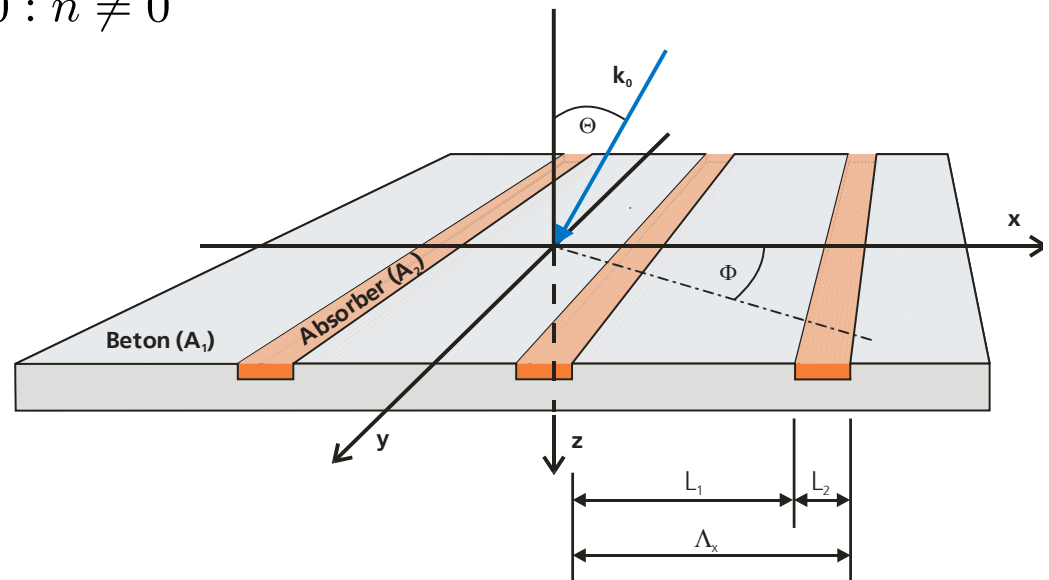
L. Brillouin, "Wave Propagation in Periodic Structures", Dover Publications, 1953

Theoretischer Ansatz

$$\bullet \sum_{m=-\infty}^{\infty} R_m (\omega \rho_0 a_{n-m} + \delta_{m,n} \gamma_m) = -\omega \rho_0 a_n + \delta_{0,n} \gamma_0$$

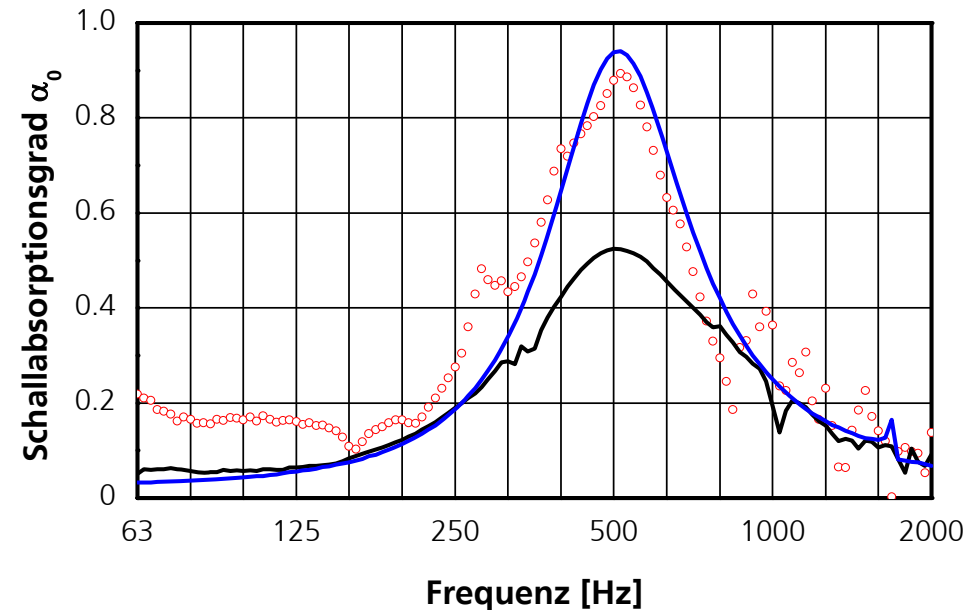
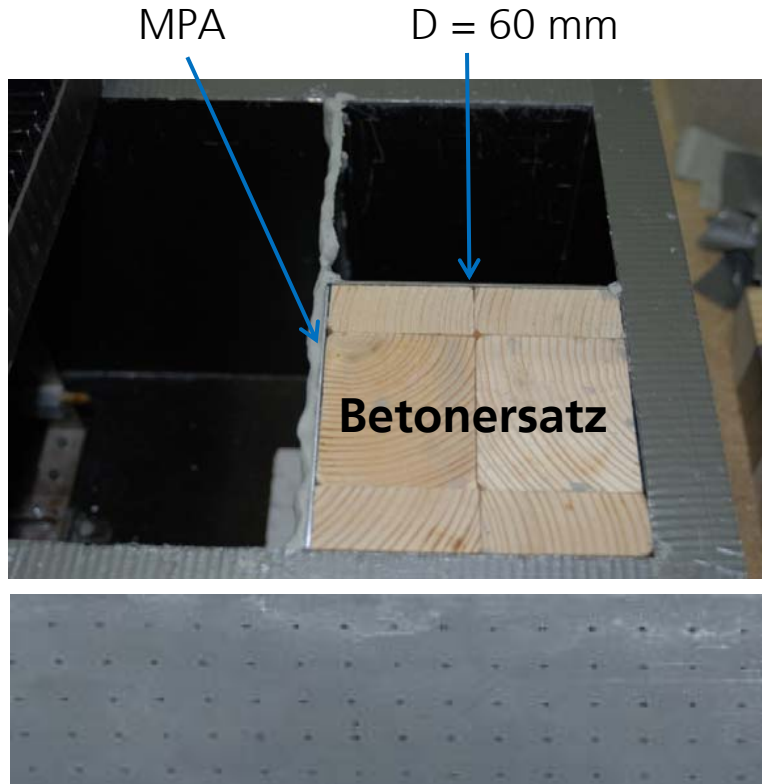
$$\delta_{m,n} = \begin{cases} 1 & : n = m \\ 0 & : n \neq m \end{cases} \quad \text{and} \quad \delta_{0,n} = \begin{cases} 1 & : n = 0 \\ 0 & : n \neq 0 \end{cases}$$

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



Experimentelle Untersuchung (senkrechter Schalleinfall)

- Mikroperforierter Metallabsorber (MPA) $L_1 = L_2 = 100$ mm

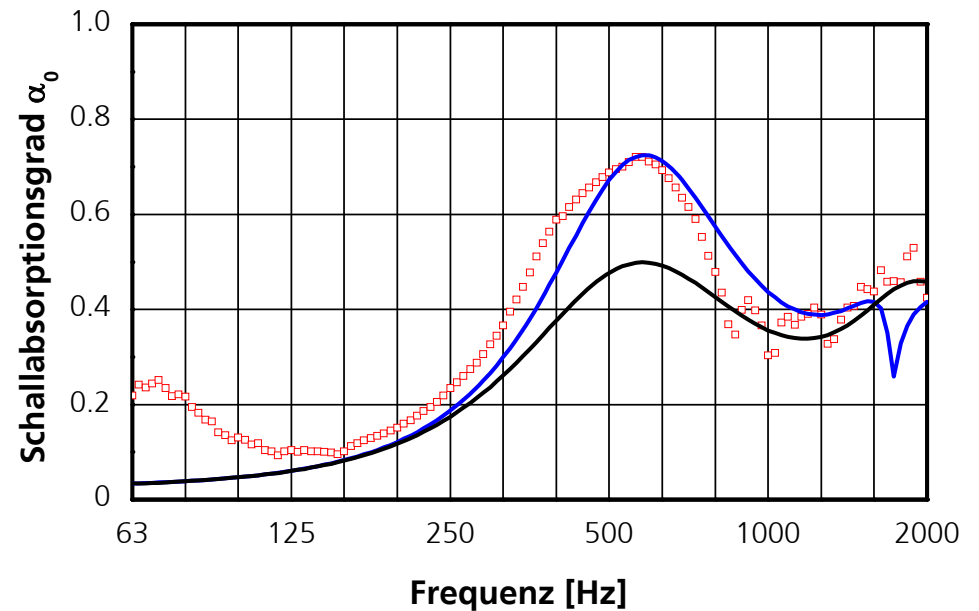


(\circ), (—) 50 % MPA mit $D = 60$ mm und 50% Holz
— Flächengemittelter Absorptionsgrad

Experimentelle Untersuchung (senkrechter Schalleinfall)

- Offenzelliger Glasschaum $L_1 = L_2 = 50 \text{ mm}$

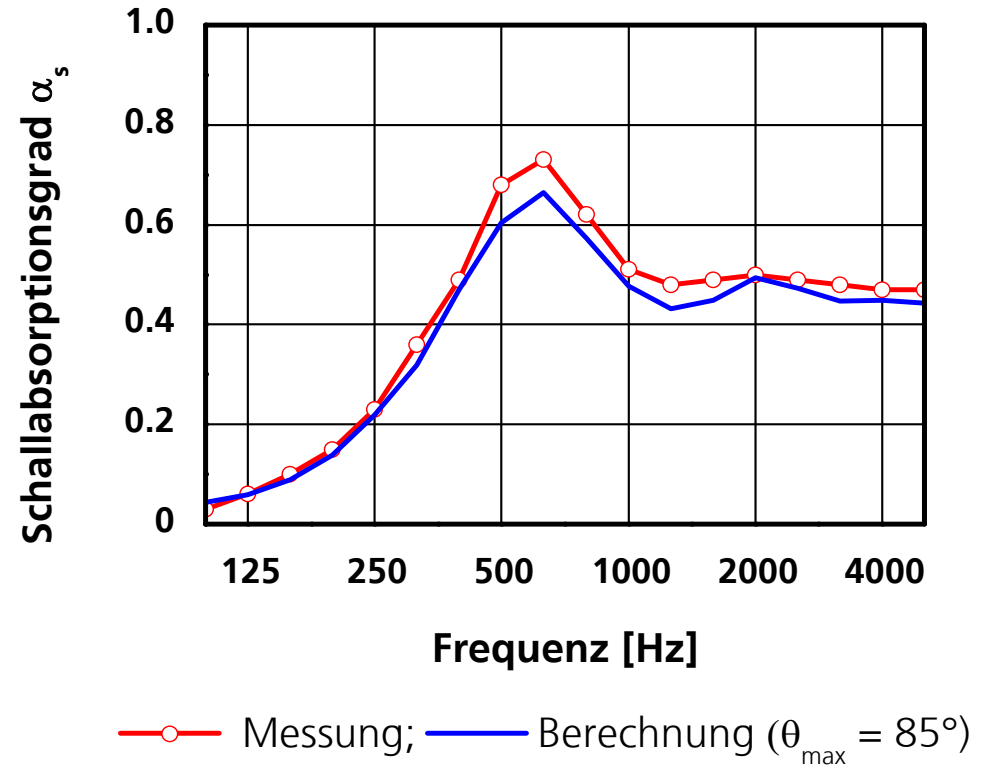
Glasschaum, $D = 50 \text{ mm}$



(\square), (—) porosierter Glasschaum mit Holz $\Lambda_x = 100 \text{ mm}$
— Flächengemittelter Absorptionsgrad

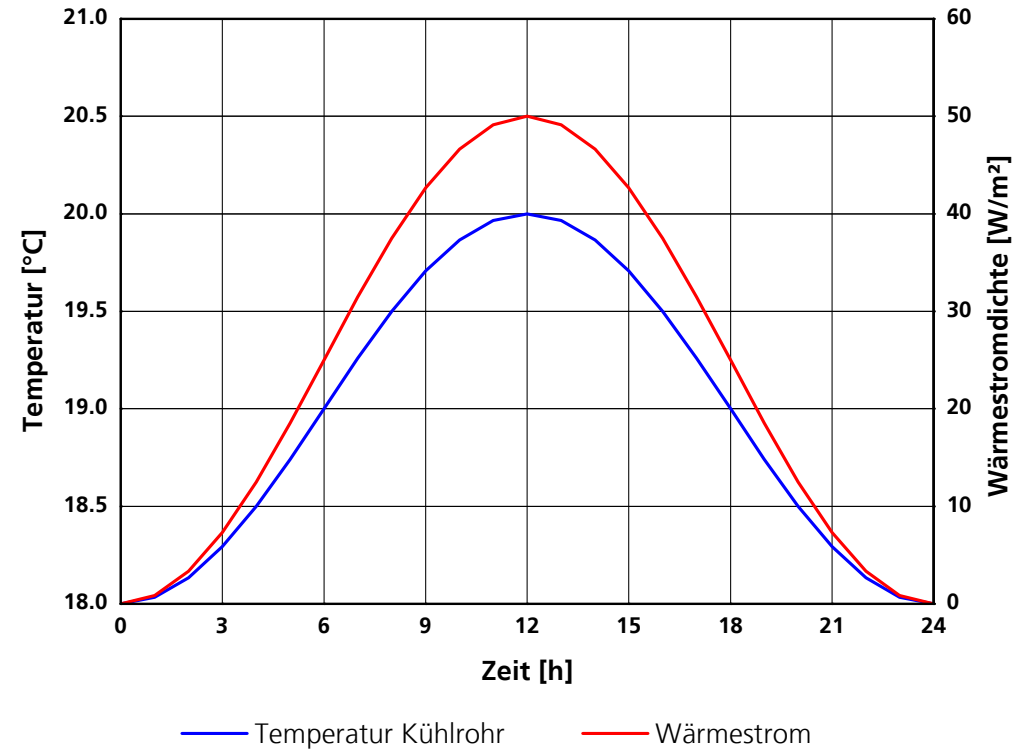
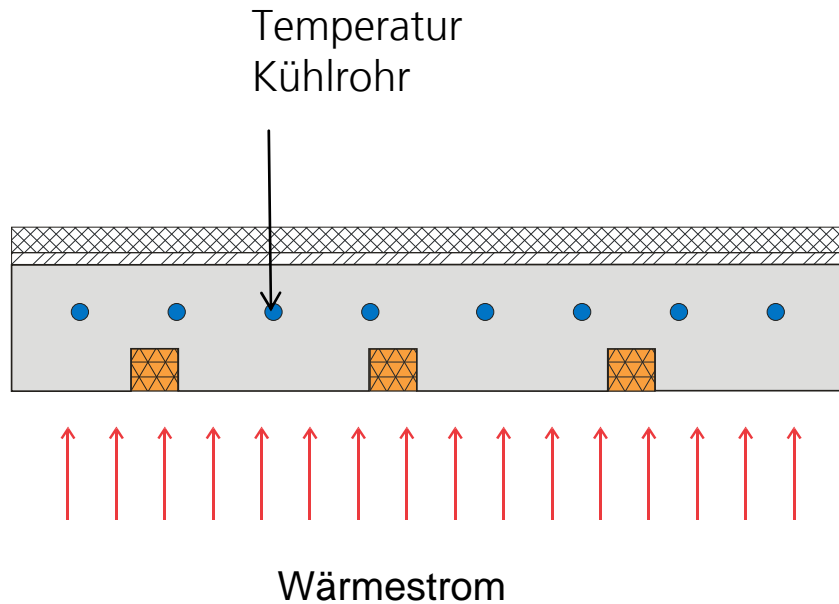
Experimentelle Untersuchung (diffuser Schalleinfall)

- Offenzelliger Glasschaum $L_2 = 50$ mm, Holz $L_1 = 200$ mm (**20%**)



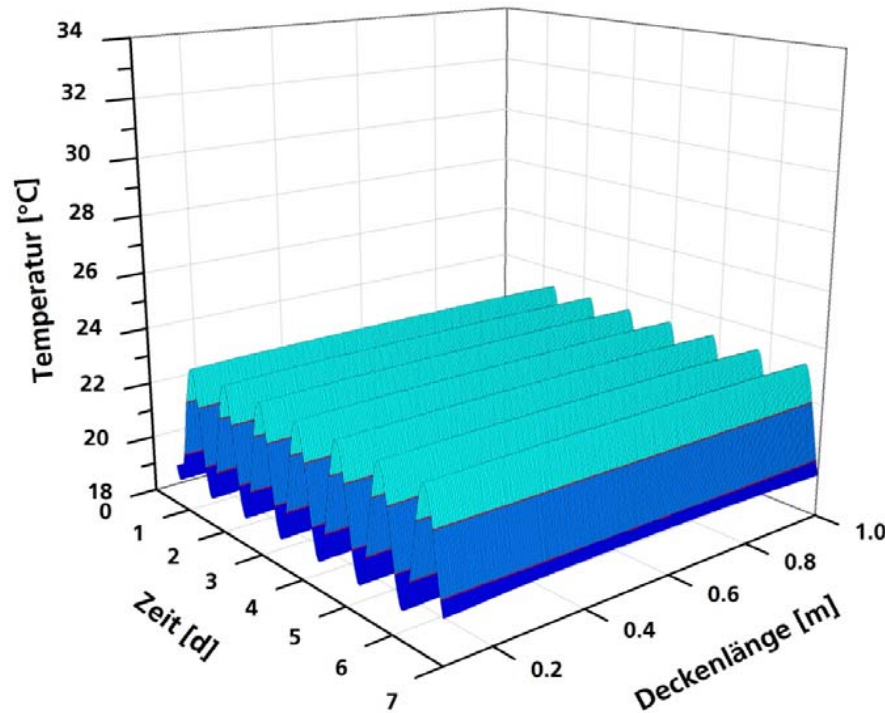
Thermische Wirksamkeit

■ Randbedingung

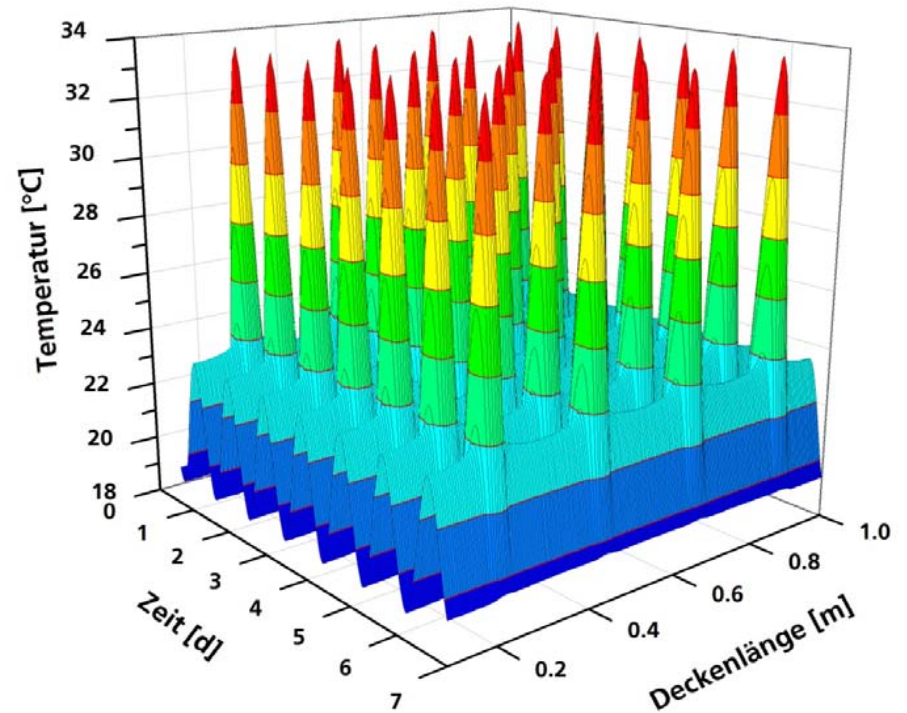


Thermische Wirksamkeit

- Zeit- und ortsabhängige Oberflächentemperaturprofile

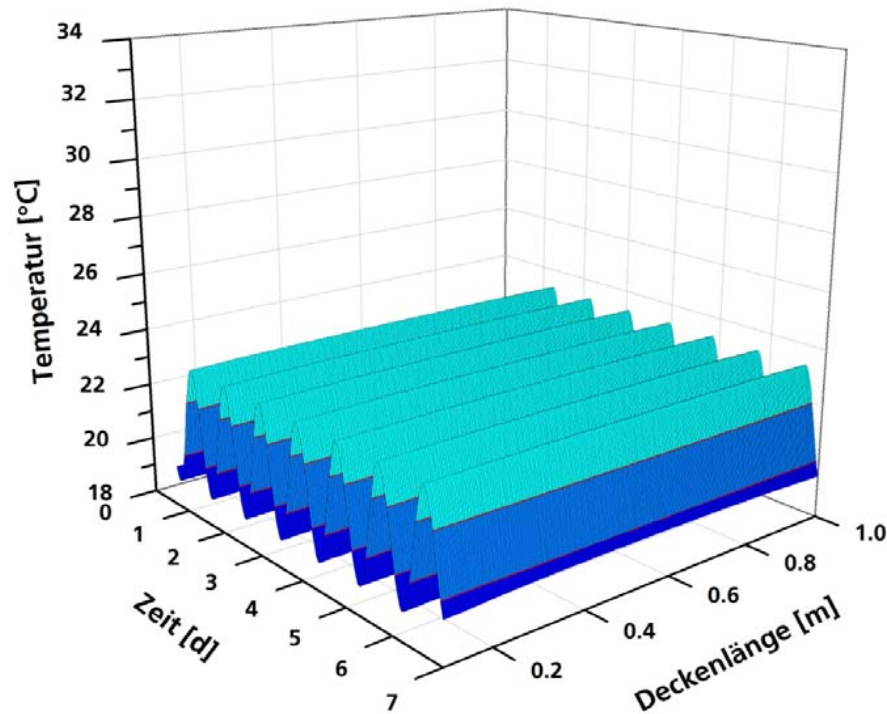


Betondecke

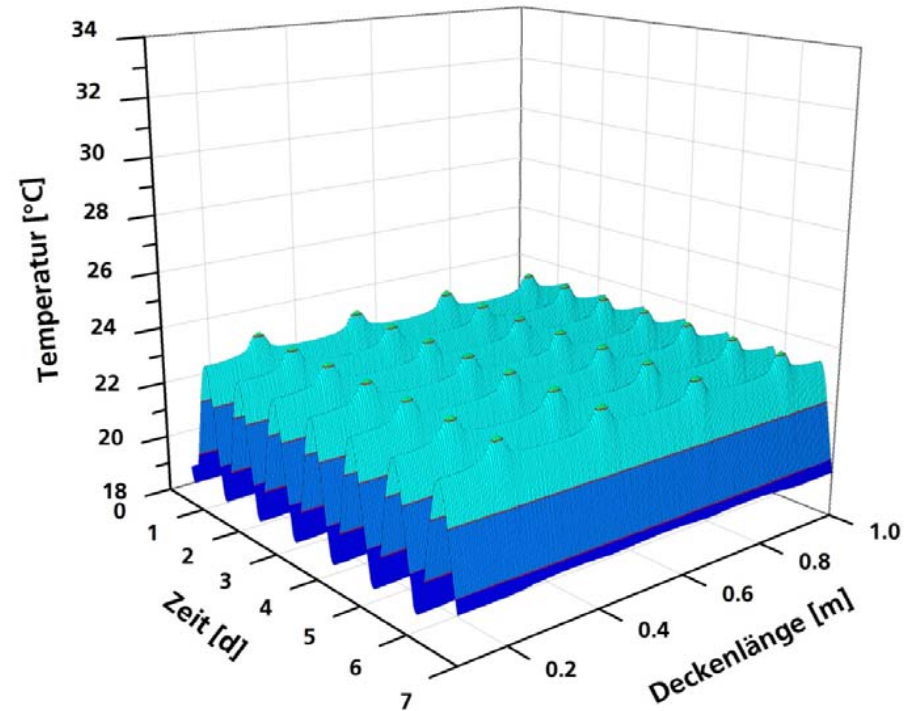


20% **porosierter Glasschaum** $L_2 = 50$ mm, Beton $L_1 = 200$ mm

- Zeit- und ortsabhängige Oberflächentemperaturprofile

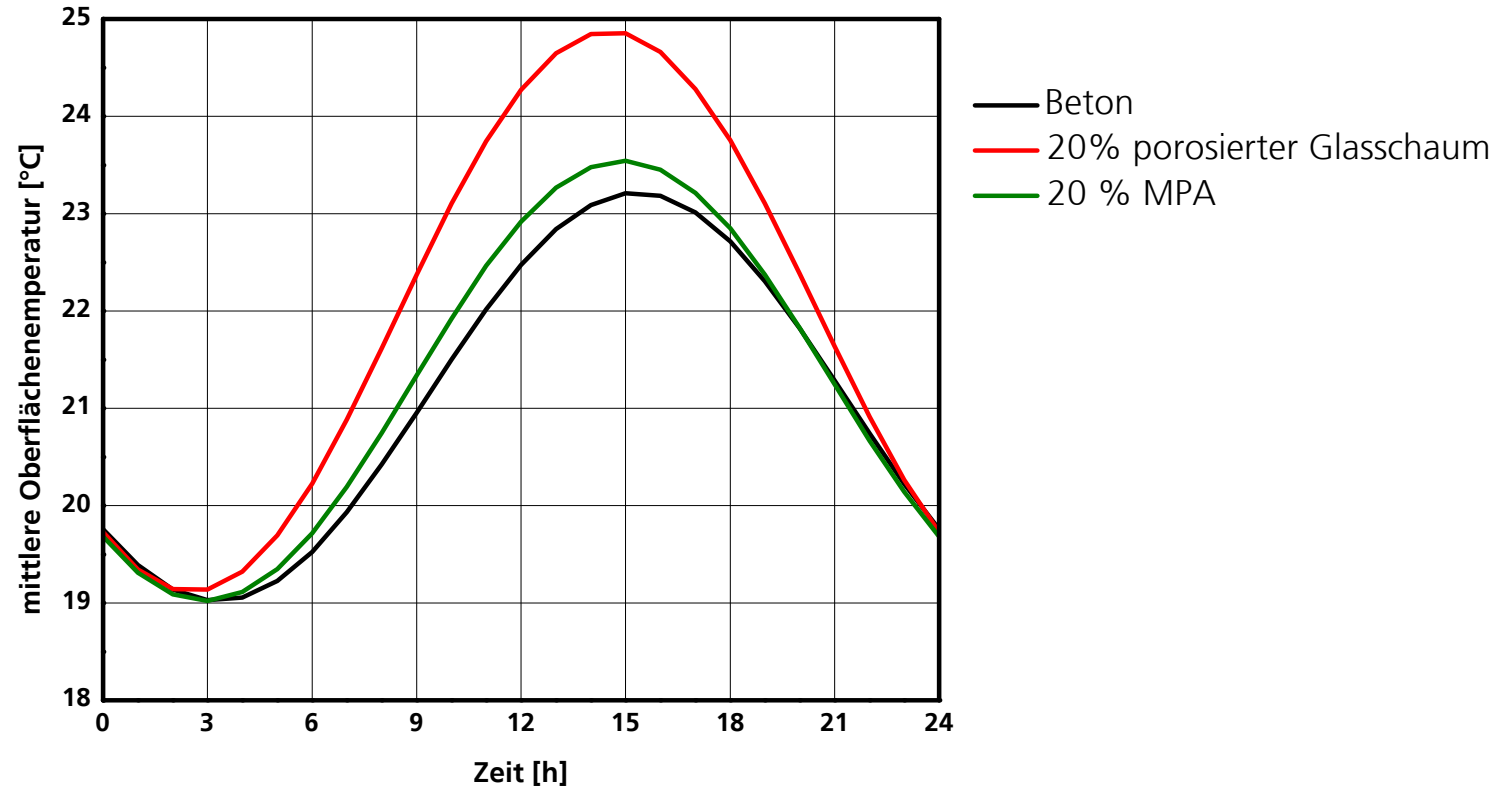


Betondecke



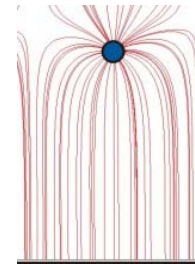
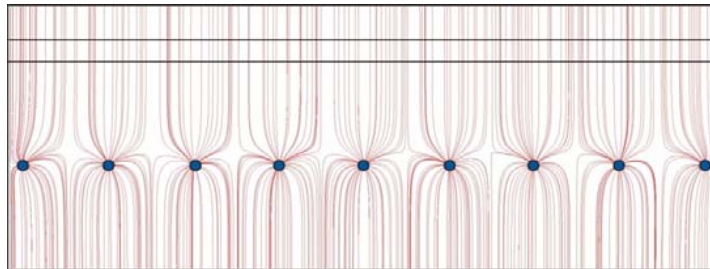
20% MPA $L_2 = 50$ mm, Beton $L_1 = 200$ mm

- Zeitabhängiges Oberflächentemperaturprofil



- Wärmestrom durch Decke

Betondecke
„ungestört“



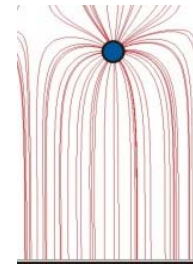
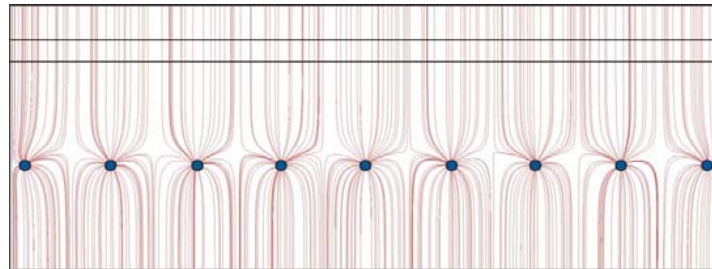
Wirkungsgrad

100 %

Thermische Wirksamkeit

- Wärmestrom durch Decke

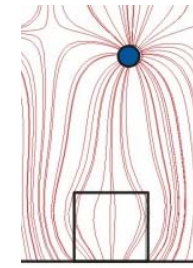
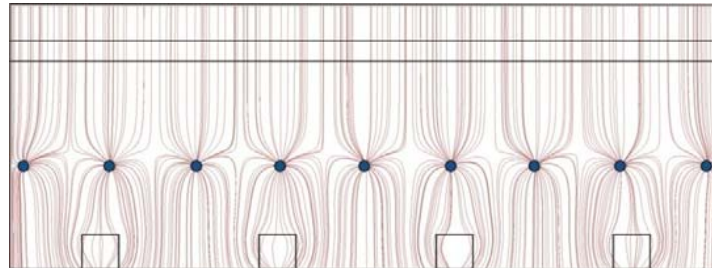
Betondecke
„ungestört“



Wirkungsgrad

100 %

20% porosierter
Glasschaum

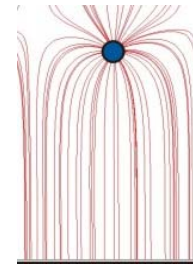
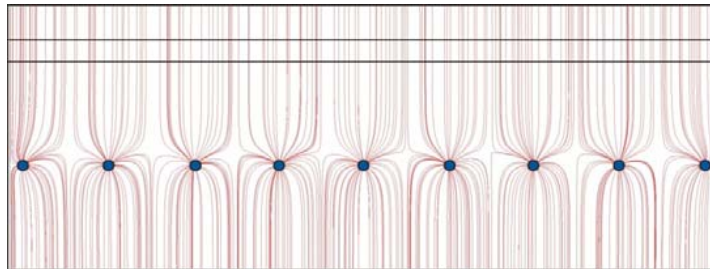


96 %

Thermische Wirksamkeit

■ Wärmestrom durch Decke

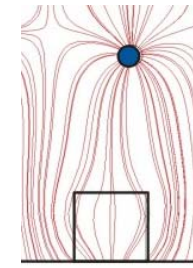
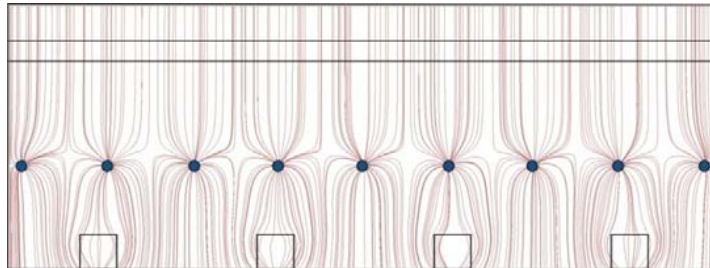
Betondecke
„ungestört“



Wirkungsgrad

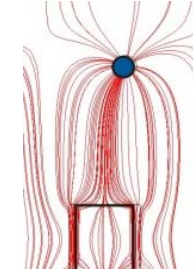
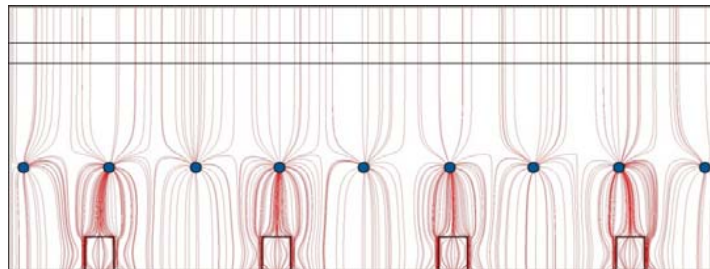
100 %

20% porosierter
Glasschaum



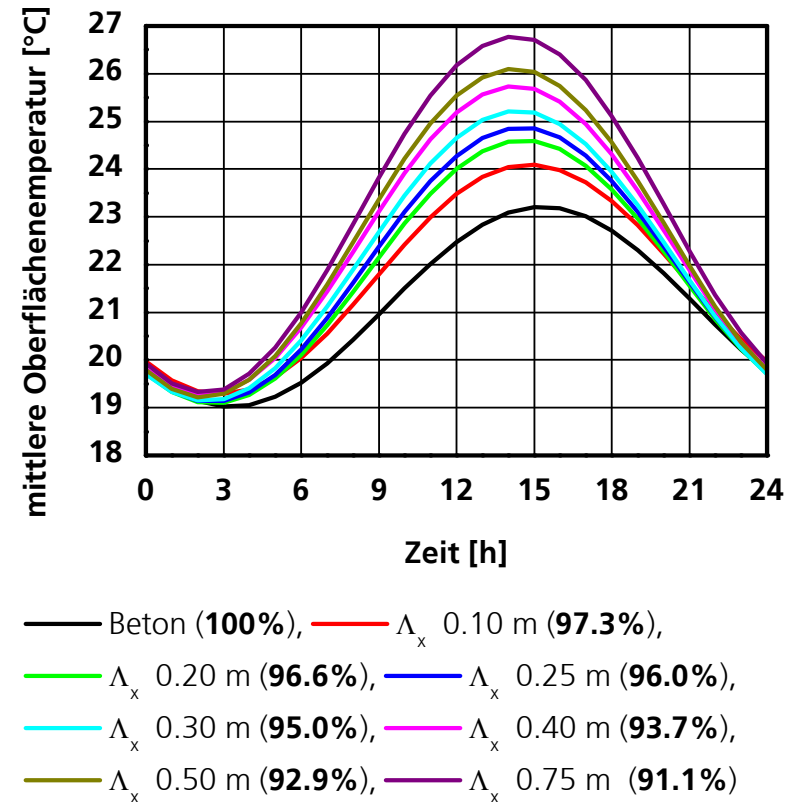
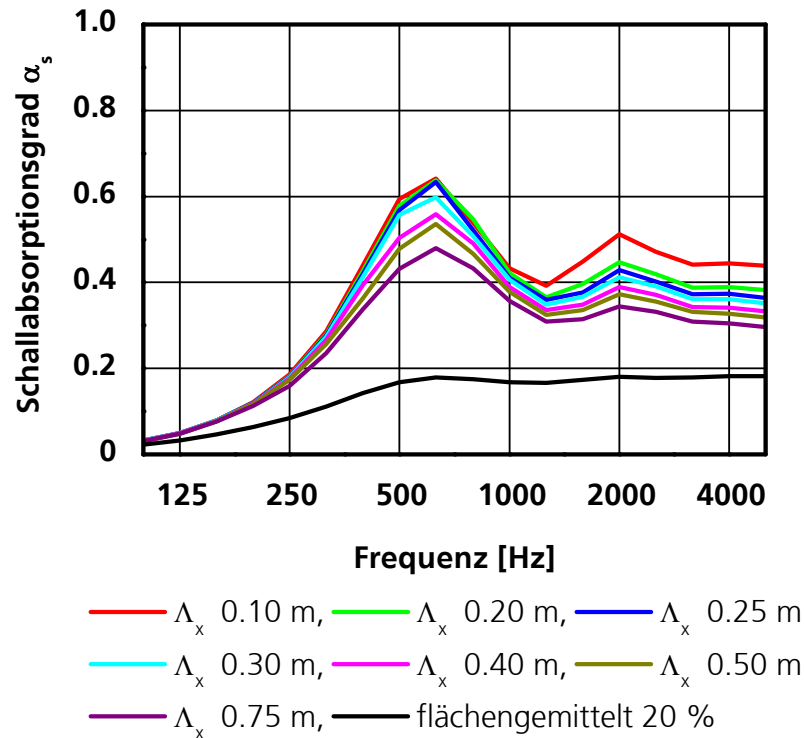
96 %

20% MPA



99 %

- Variation der Periode bei konstantem Absorberanteil (**20%**)



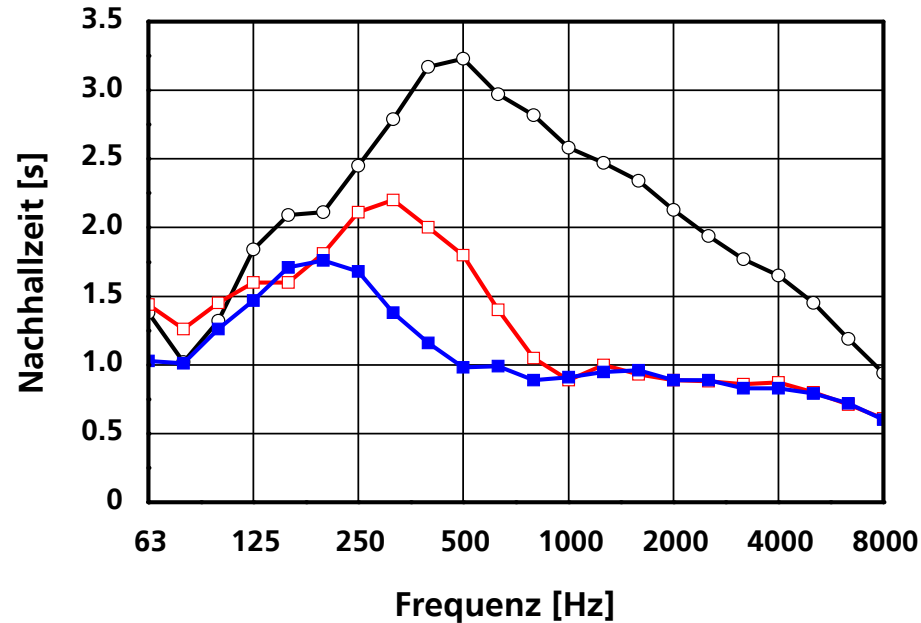
Demonstration in situ

- Offenzelliger Glasschaum in thermisch aktiver Betondecke

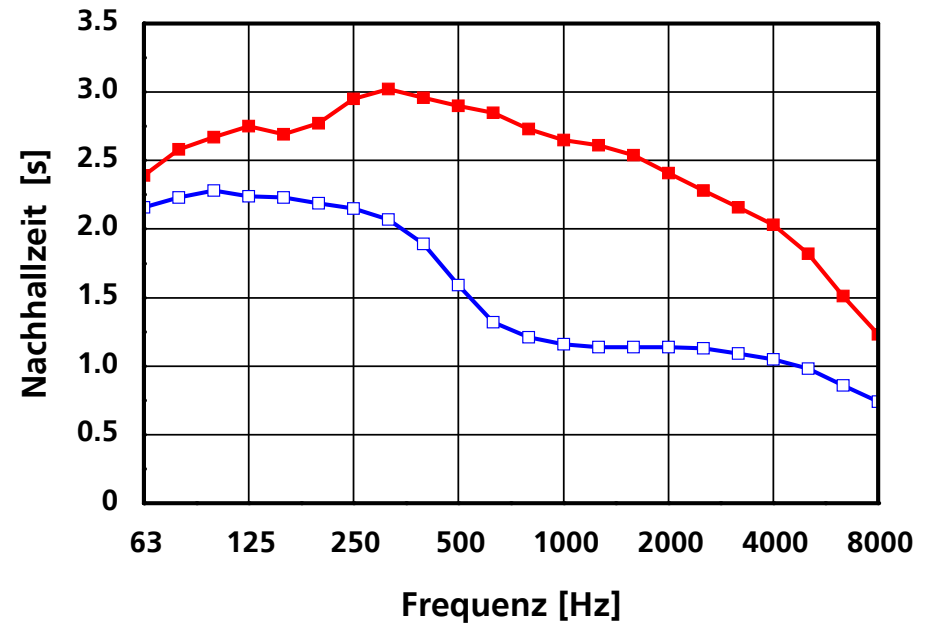


<http://www.inhaus-zentrum.de/>

- Einzelbüro (links) und Mehrpersonenbüro (rechts)



- "ungestörte" Betondecke
- Absorberstreifen d = 25 mm
- Absorberstreifen d = 50 mm



- "ungestörte" Betondecke
- Absorberstreifen d = 25 mm
- Absorberstreifen d = 50 mm

Herausforderung Bau



Herausforderung Bau



Herausforderung Bau



<http://www.hoppe-akustik.de>



Herausforderung Putz

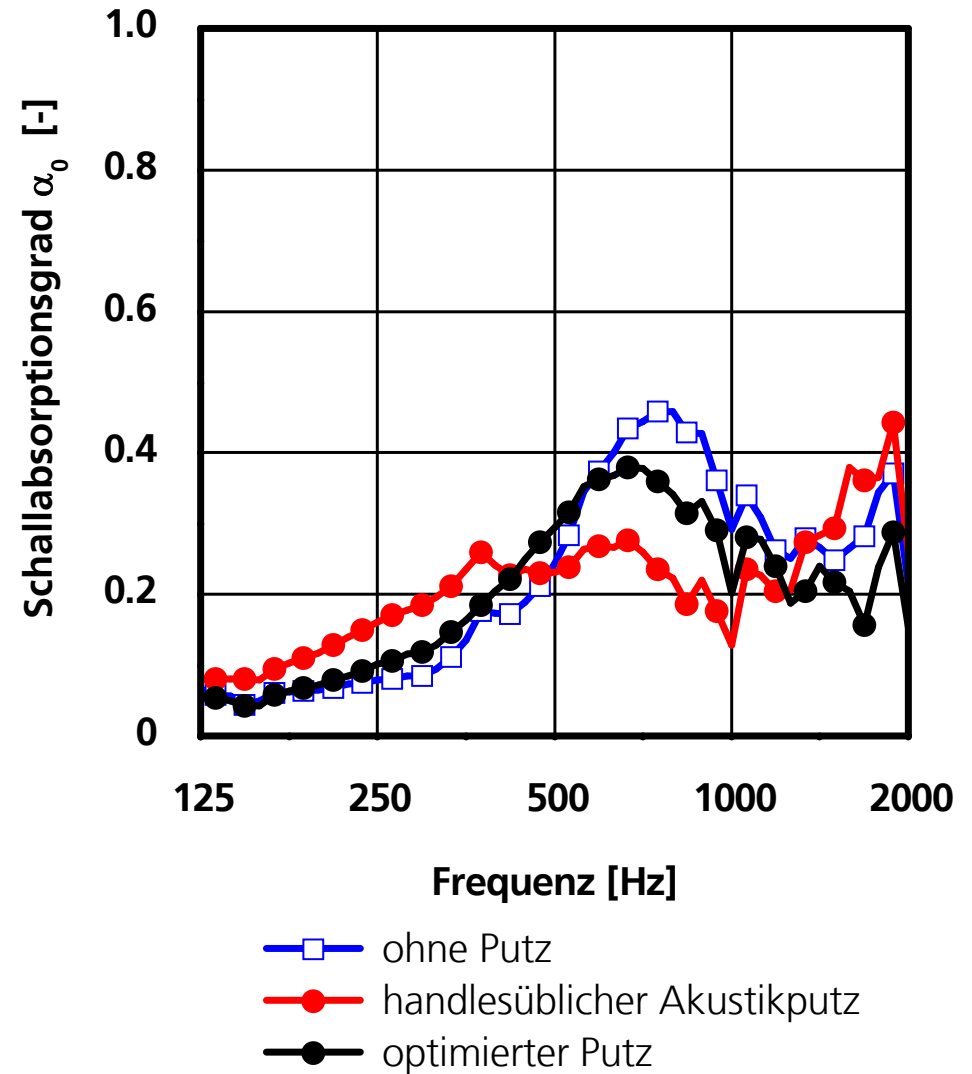
- Offenzelliger Glasschaum
 $L_2 = 50 \text{ mm}$, $d_A = 30 \text{ mm}$

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



Herausforderung Putz

- Offenzelliger Glasschaum
 $L_2 = 50 \text{ mm}$, $d_A = 30 \text{ mm}$



Absorberstreifen in thermisch aktiven Betondecken

- Akustische Wirksamkeit ✓
- Thermische Wirksamkeit ✓
- Baustellenpraxis ✗ (✓)
- Oberflächenbehandlung ✗
- Gestaltung ?