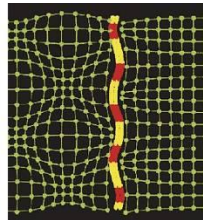
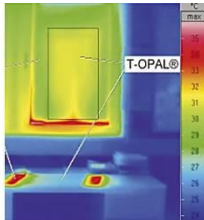


# Akustik in offenen Raumstrukturen

Horst Drotleff

Auf Wissen bauen



---

# Akustik in offenen Raumstrukturen

---

- Akustik „konventioneller“ Klassenräume
- Flexible Raumnutzung ↔ offene Lernlandschaften
- Akustische Herausforderungen in offenen Lernlandschaften
- Akustische Maße, Mittel und Methoden
- Erfolgreiche Umsetzung (?)
- Zusammenfassung

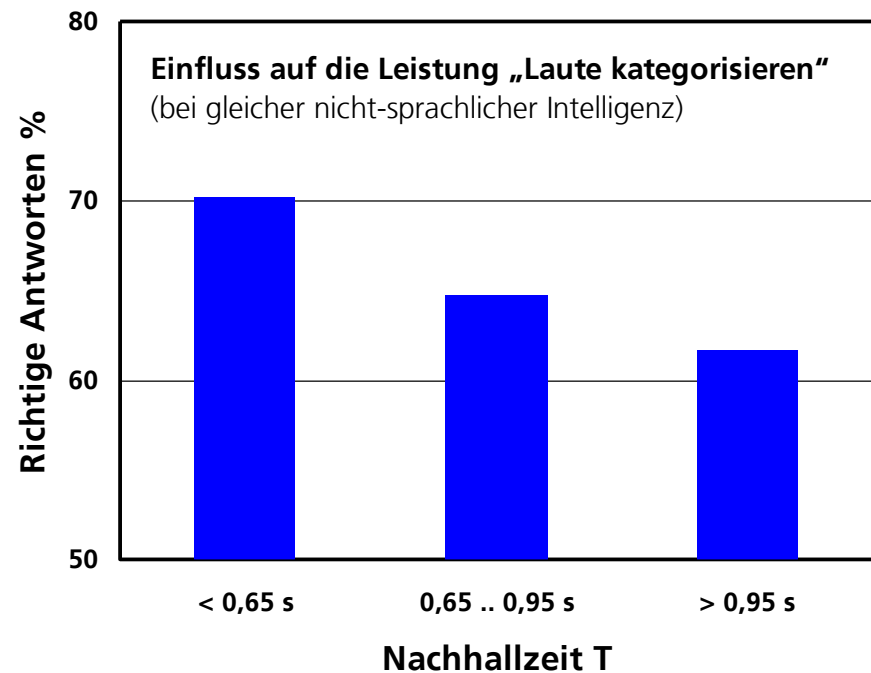
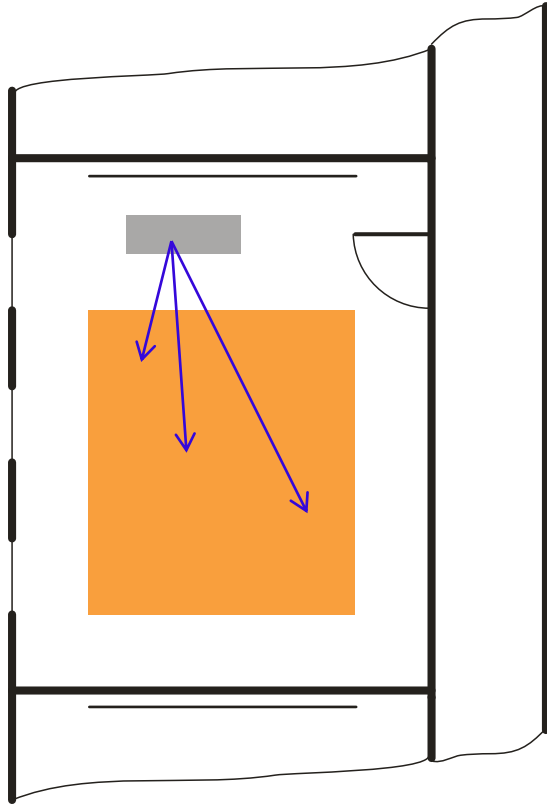
# Übliche Klassenzimmer



# Übliche Klassenzimmer



# Akustik üblicher Klassenzimmer



Quelle: Klatte, Hellbrück, Leistner, Seidel 2006

# 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.

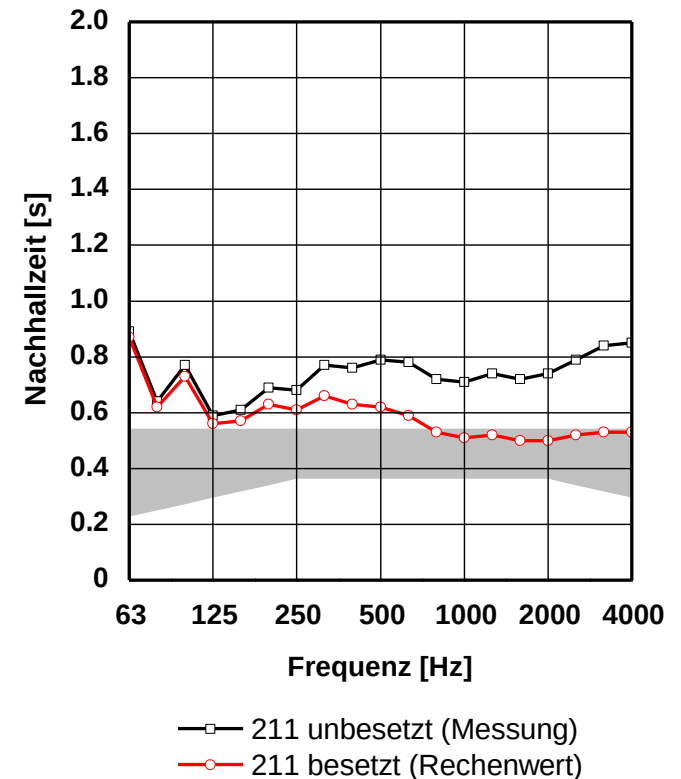
Quelle: *Umweltbundesamt „Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden“ (2008)*



# Realität Akustik üblicher Klassenzimmer

Volumen 130 m<sup>3</sup>

32 Sitzplätze

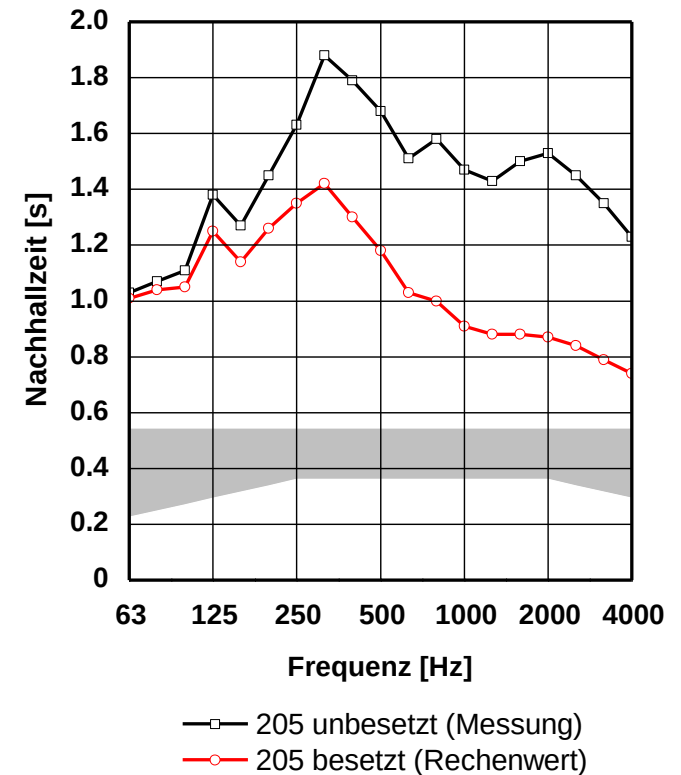




# Realität Akustik üblicher Klassenzimmer

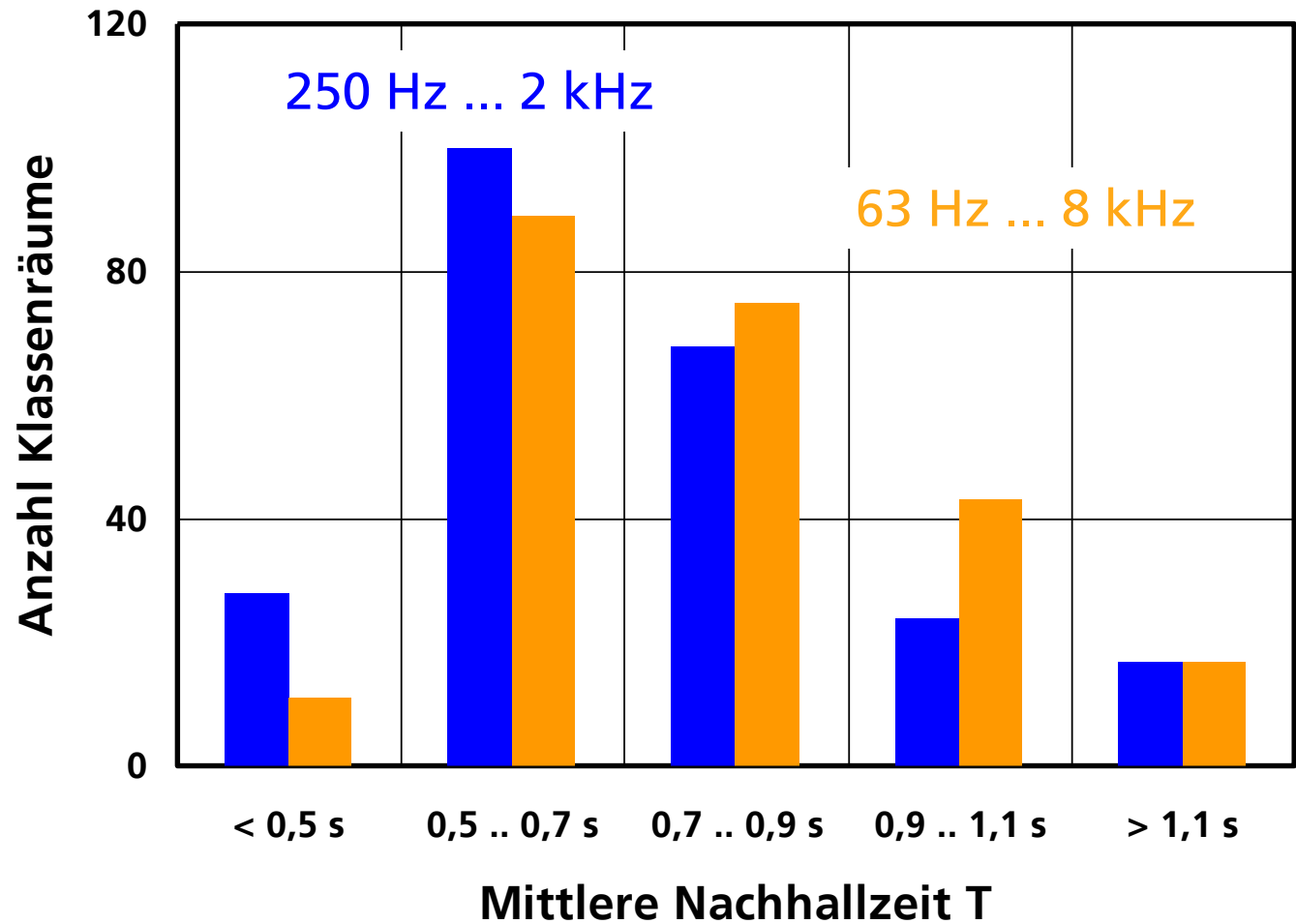
Volumen 170 m<sup>3</sup>

32 Sitzplätze



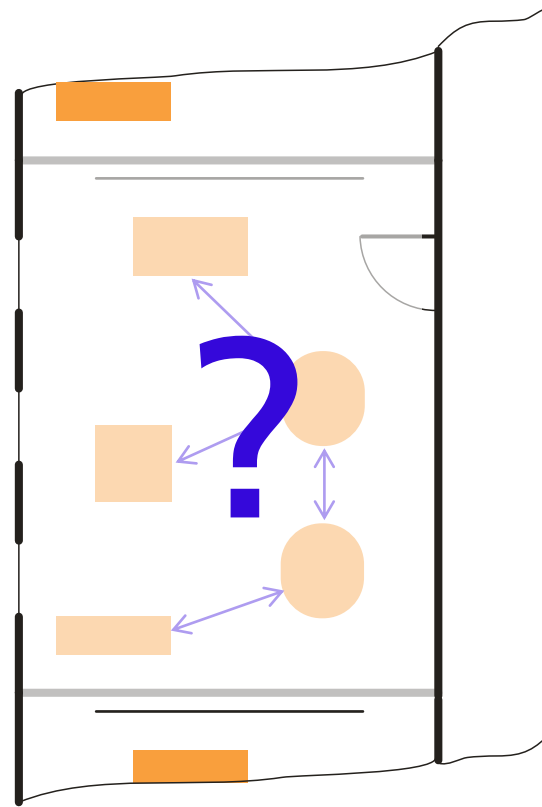
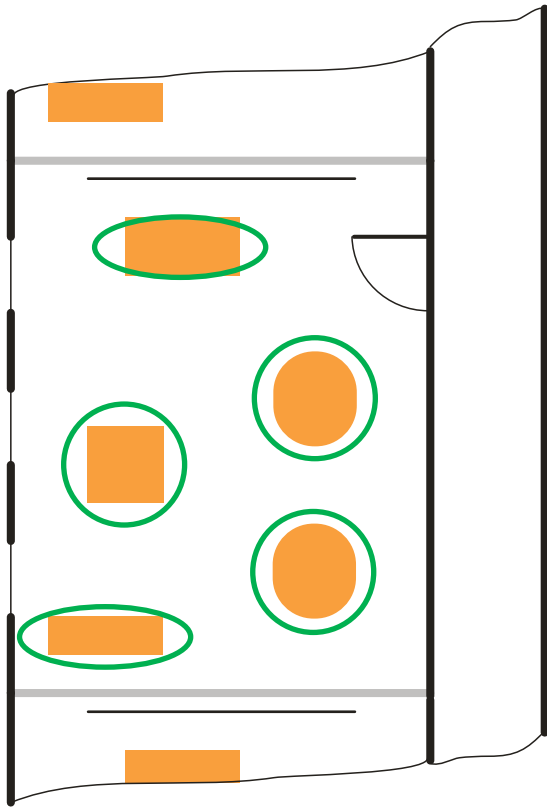
# Vergleichende Beurteilung

Märtens 2005



(> 240 Räume)

# Akustische Herausforderung offener Lernlandschaften



# Störschall in (offenen) Lernlandschaften

*Ich glaube, eines der größten Unglücke, das die Welt befallen könnte, wäre dieses, dass die Luft den Schall ungeschwächt 20 Meilen weit fortpflanzte.*

**Georg Christoph Lichtenberg**

(1742 - 1799)

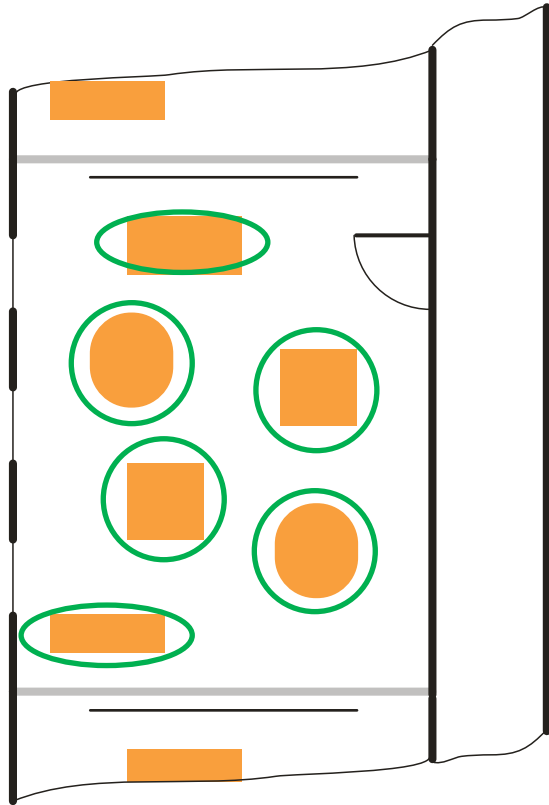
# Exkurs Mehrpersonenbüro

Arbeitsmittel **menschliche Stimme** → höchstes Störpotential

- ✓ Kommunikation ermöglichen → geringe Privatheit
- ✓ Geringe Störung durch Stimmen → hohe Privatheit

- |                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| ■ Büroform              | ■ Absorbieren       |
| ■ Zonieren / verdichten | ■ Schirmen / Dämmen |
| ■ Nutzungsbezogen       | ■ Maskieren         |

# Akustische Herausforderung offene Lernlandschaften



- Absorption Deckenränder (breitbandig)
- Reflexion Deckenmitte
- Absorption an Rückwand (hinten)



- Kurze Nachhallzeit
- Gute Sprachverständlichkeit  
(geringe Störpegel vorausgesetzt)

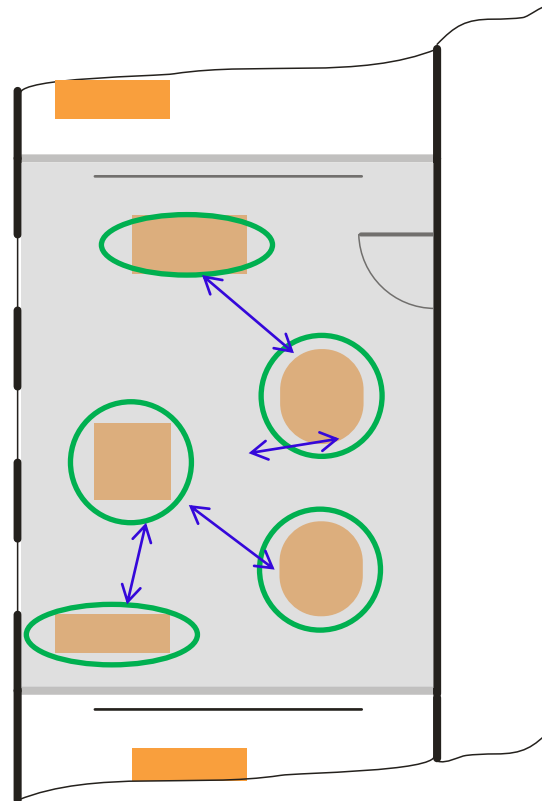
# Zurück zur Schule → Anforderungen offene Landschaft

innerhalb

- $T_{60}$  ca. 0.5 Sek.
- $STI_{\text{innerhalb}} > 0.6$

zwischen

- $\Delta L_p > 15 - 20$  dB
- $STI_{\text{außerhalb}} < 0.2$



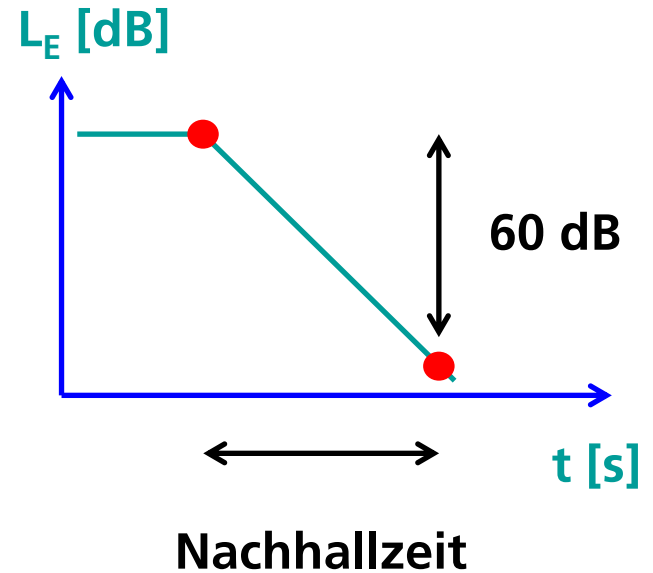
H. K. Júlíusson „Acoustics in an open-plan elementary school “, Forum Acusticum 2011



# Nachhallzeit

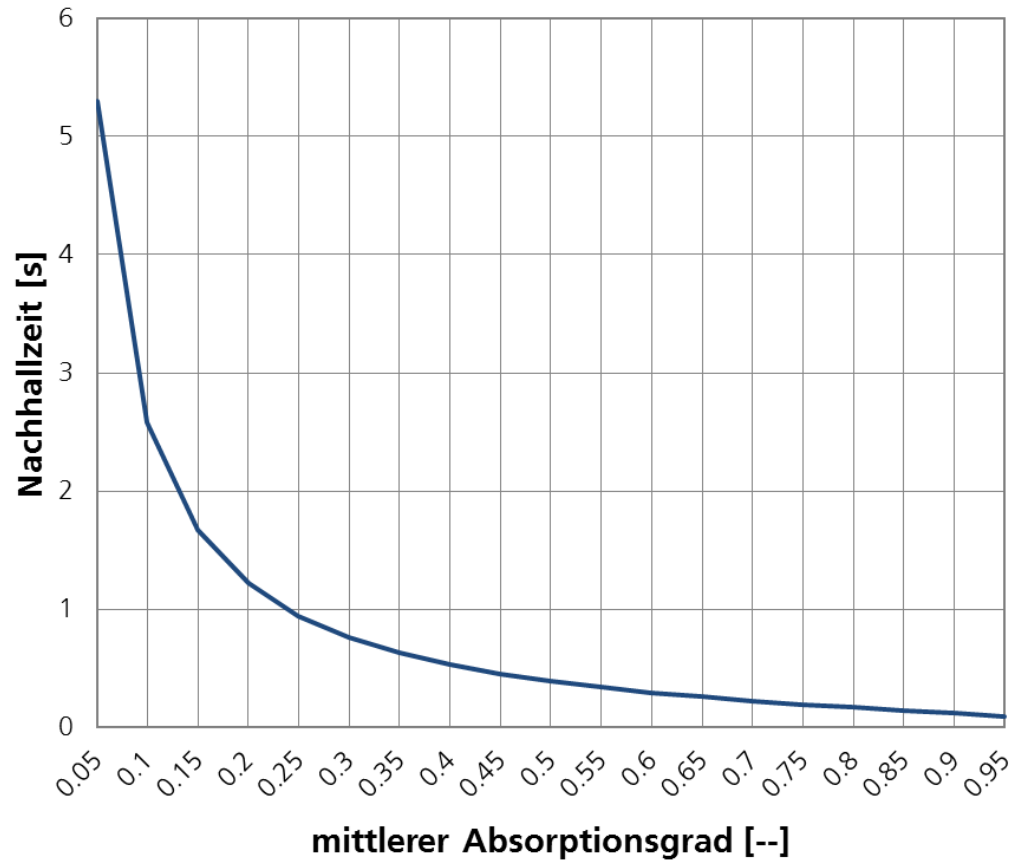

$$T_{60} = 0.163 \frac{V}{A_{\ddot{a}q}}$$

Raum



Ein Abfall des Energiepegels von 60 dB entspricht  
1 Millionstel des Anfangswertes der Schallenergie.

# Nachhallzeit vs. äquivalente Absorptionsfläche

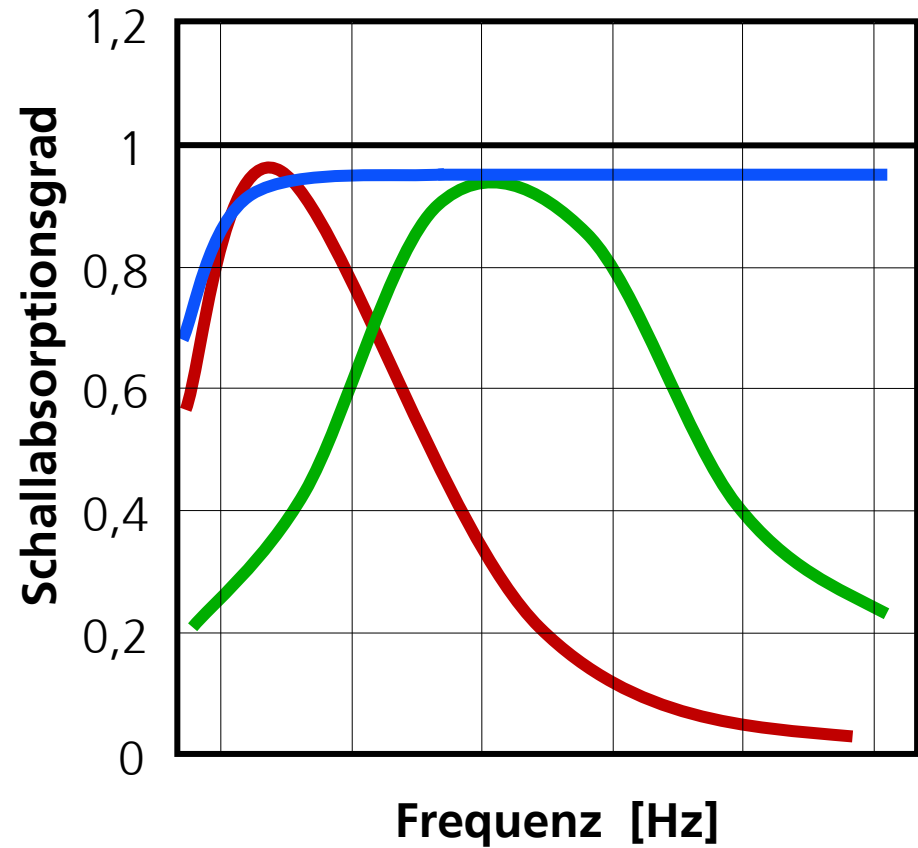


# Nachhallzeit

$T_{60}$  ca. 0.5 Sek.

$$\frac{A}{V} = 0.33 \left[ \frac{1}{m} \right]$$

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



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

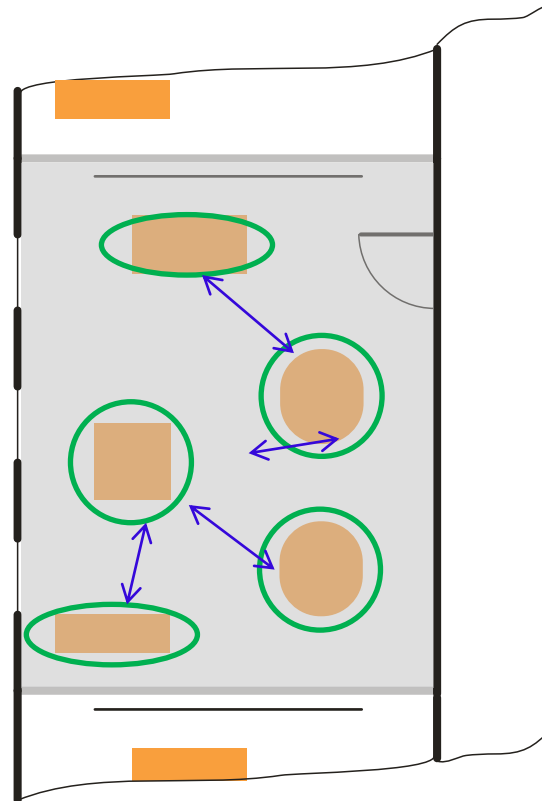
# Zurück zur Schule → Anforderungen offene Landschaft

innerhalb

- $T_{60}$  ca. 0.5 Sek.
- $STI_{\text{innerhalb}} > 0.6$

zwischen

- $\Delta L_p > 15 - 20$  dB
- $STI_{\text{außerhalb}} < 0.2$



H. K. Júlíusson „Acoustics in an open-plan elementary school “, Forum Acusticum 2011

# Speech Transmission Index, STI, als Verständlichkeitsmaß

- Absorbieren
- Schirmen / Dämmen
- Maskieren

bestimmen die Qualität der Sprachverständlichkeit  
zwischen zwei Punkten im Raum

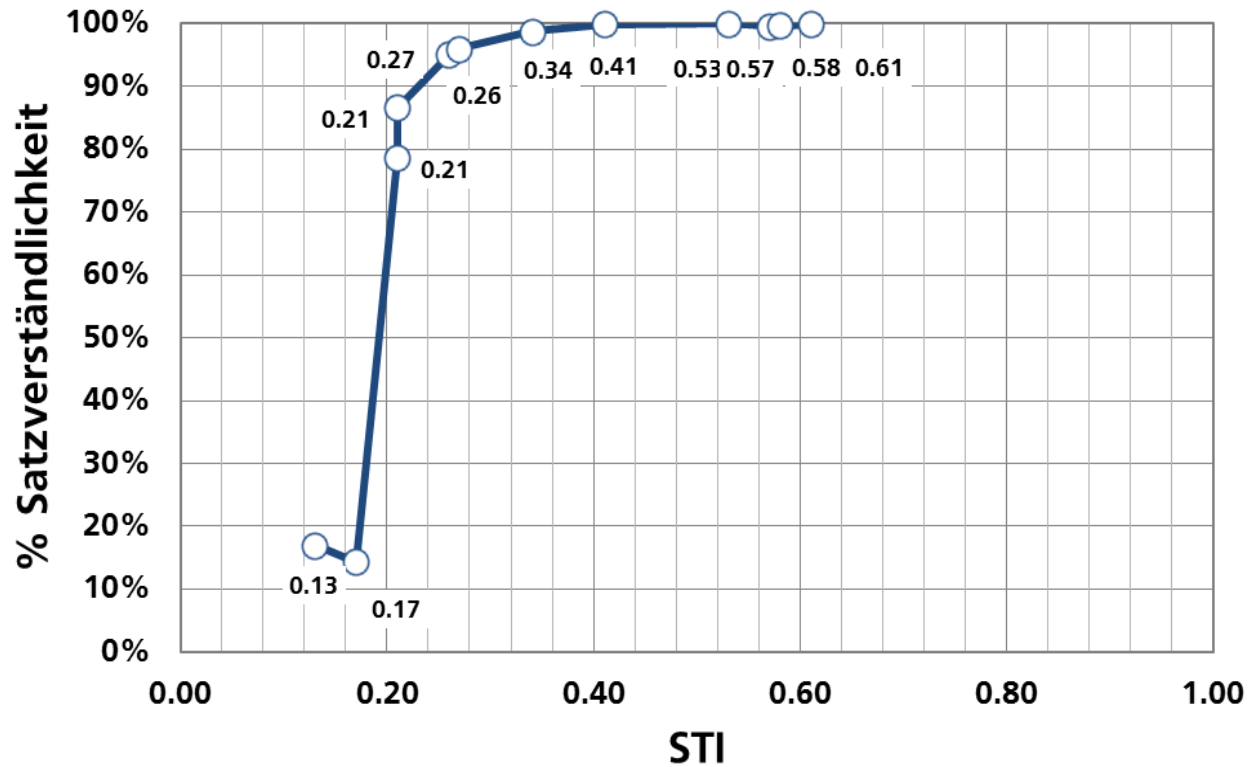
→ Sprachübertragungsindex , STI

# STI und Silbenverständlichkeit

| Silbenverständlichkeit | STI [--]     |
|------------------------|--------------|
| Schlecht               | 0 ... 0.3    |
| Schwach                | 0.3 ... 0.45 |
| Angemessen             | 0.45 ... 0.6 |
| Gut                    | 0.6 ... 0.75 |
| Ausgezeichnet          | 0.75 ... 1   |

S. Weinzierl (Ed) „Handbuch der Audiotechnik“, Springer, Berlin (2008)

# STI und Satzverständlichkeit



Fraunhofer IBP, 2010

# Beispiel gute Verständlichkeit

$$\alpha_m = \frac{0.33}{2 \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{B} + \frac{1}{H} \right)}$$

$$V = 170 \text{ m}^3$$

$$L = 10 \text{ m}$$

$$B = 5.7 \text{ m}$$

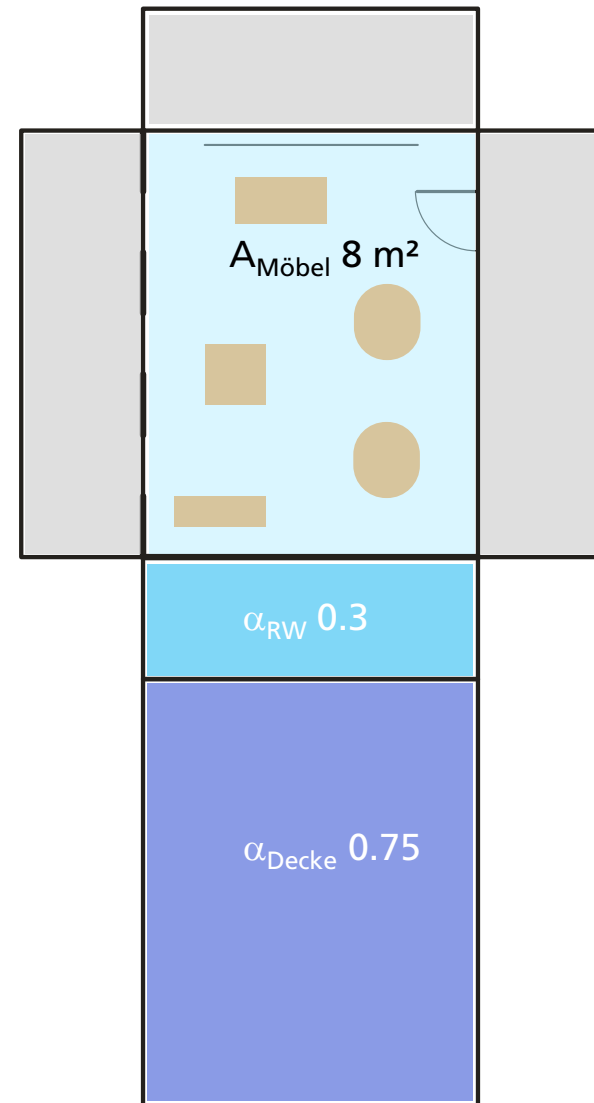
$$H = 3 \text{ m}$$

$$\alpha_m = 0.27$$

$$A_{\text{äq}} = 56 \text{ m}^2$$

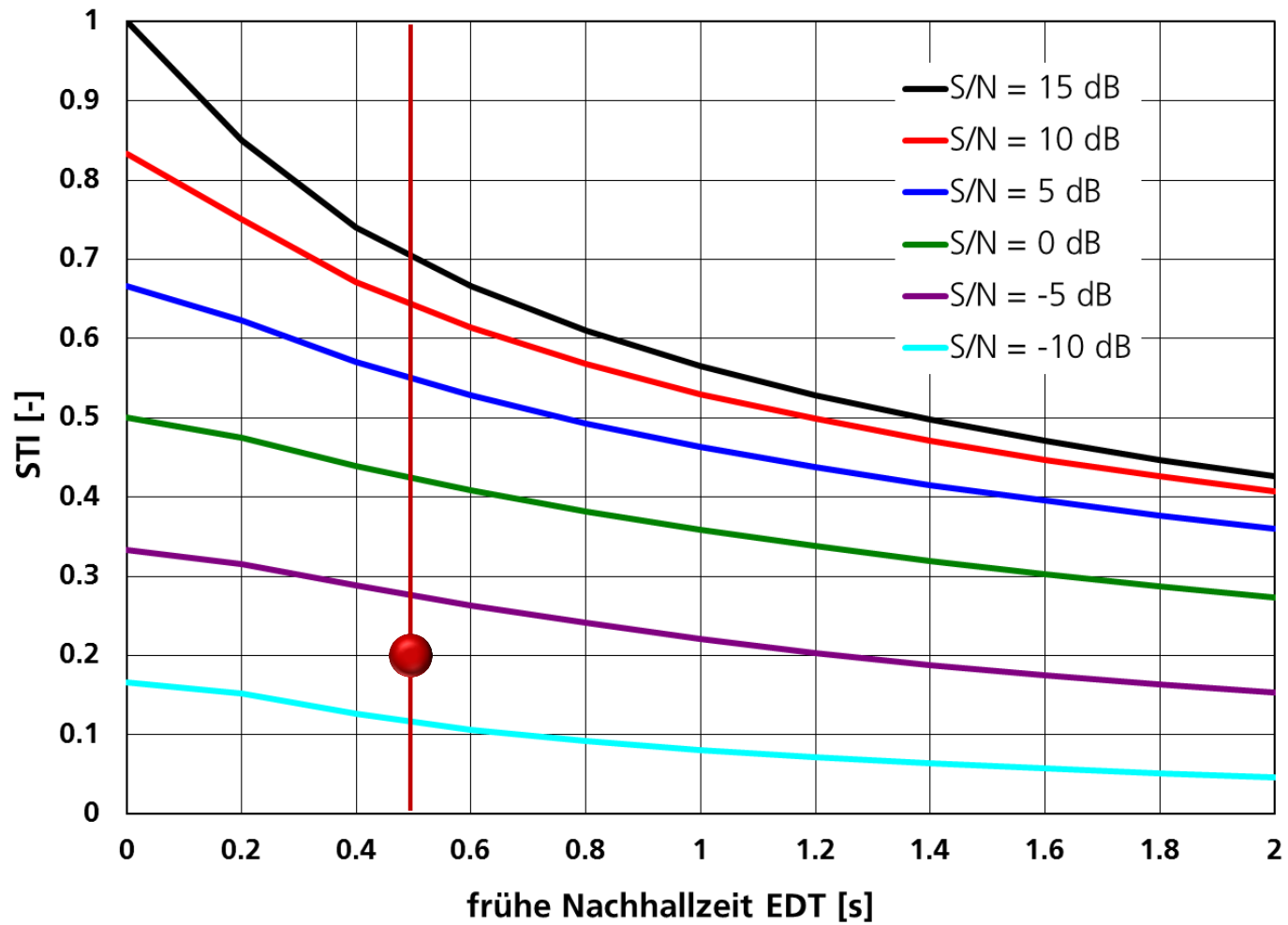
$$L_{\text{Stimme}} = 57 \text{ dB(A)}$$

| Störpegel [dB(A)] | 40   | 45   | 50   | 55   |
|-------------------|------|------|------|------|
| STI               | 0.72 | 0.67 | 0.59 | 0.48 |

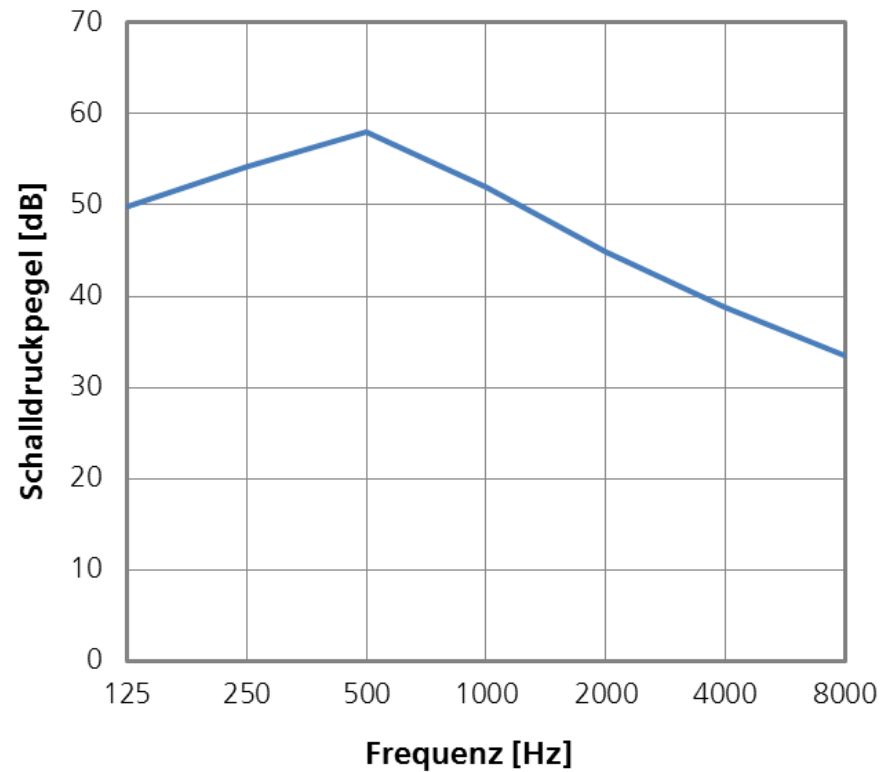




# Einflüsse auf STI



# Spektrum Stimme



# Zwei Gruppen (1)

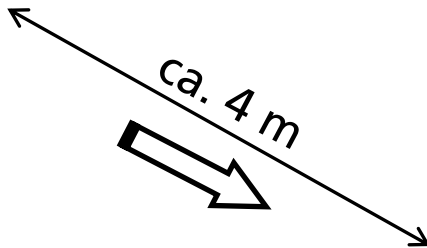
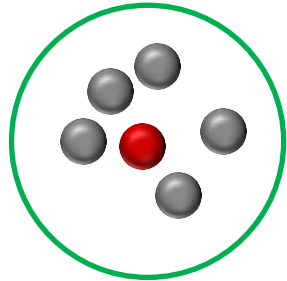
$$L_{w,1} = 68 \text{ dB(A)}$$

$$V = 170 \text{ m}^3$$

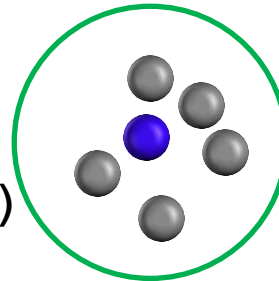
$$T_{60} \cong 0.5 \text{ Sek.}$$

$$r_0 \cong 1.05 \text{ m}$$

$$L_p(r) = L_w + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} \left( 1 + \frac{r^2}{r_0^2} \right) \right)$$



$$L_{p,1 \rightarrow 2} = 57 \text{ dB(A)}$$



$$L_{m,2} = 55 \text{ dB(A)} \leftrightarrow \text{Ruhe}$$
$$\text{STI} = 0,48$$

$$L_{m,2} = 60 \text{ dB(A)} \leftrightarrow \text{Sprechen}$$
$$\text{STI} = 0.34$$

gefragt ist  $\text{STI} \leq 0.2$

## Zwei Gruppen (2)

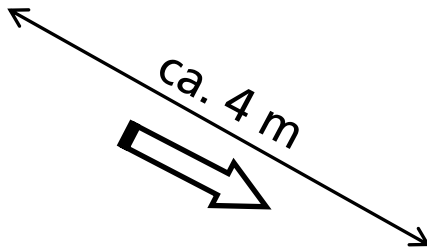
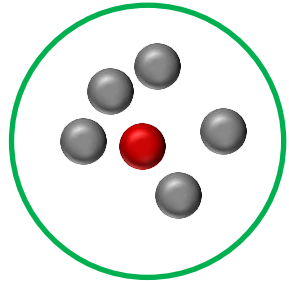
$$L_{w,1} = 68 \text{ dB(A)}$$

$$V = 170 \text{ m}^3$$

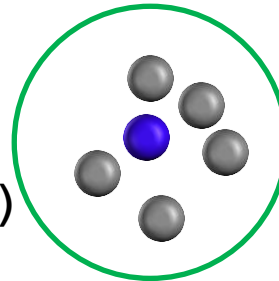
$$T_{60} \cong 0.5 \text{ Sek.}$$

$$r_0 \cong 1.05 \text{ m}$$

$$L_p(r) = L_w + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} \left( 1 + \frac{r^2}{r_0^2} \right) \right)$$



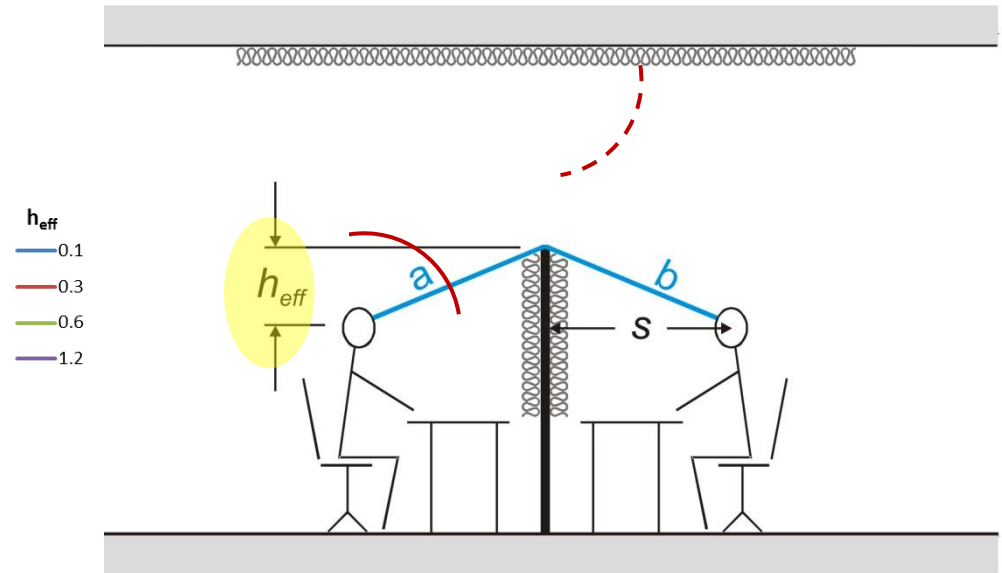
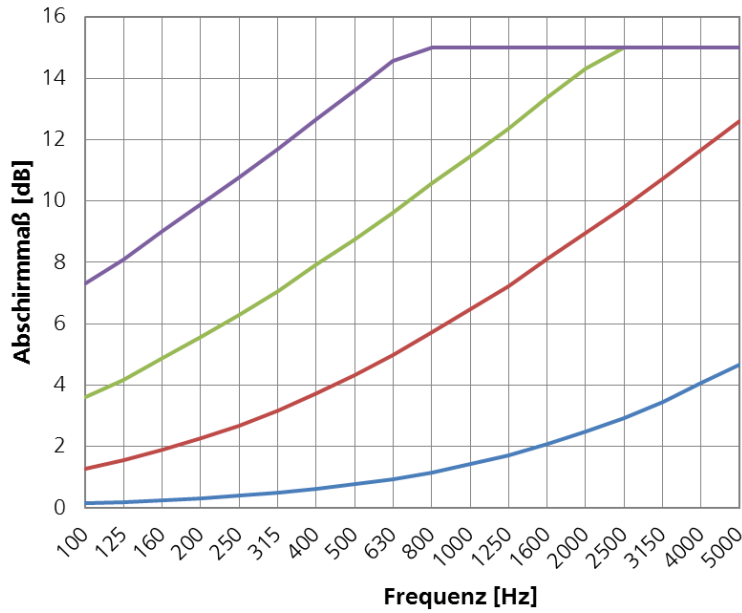
$$L_{p,1 \rightarrow 2} = 47 \text{ dB(A)}$$



$$L_{m,2} = 55 \text{ dB(A)} \leftrightarrow \text{Ruhe}$$
$$\text{STI} = 0,18$$

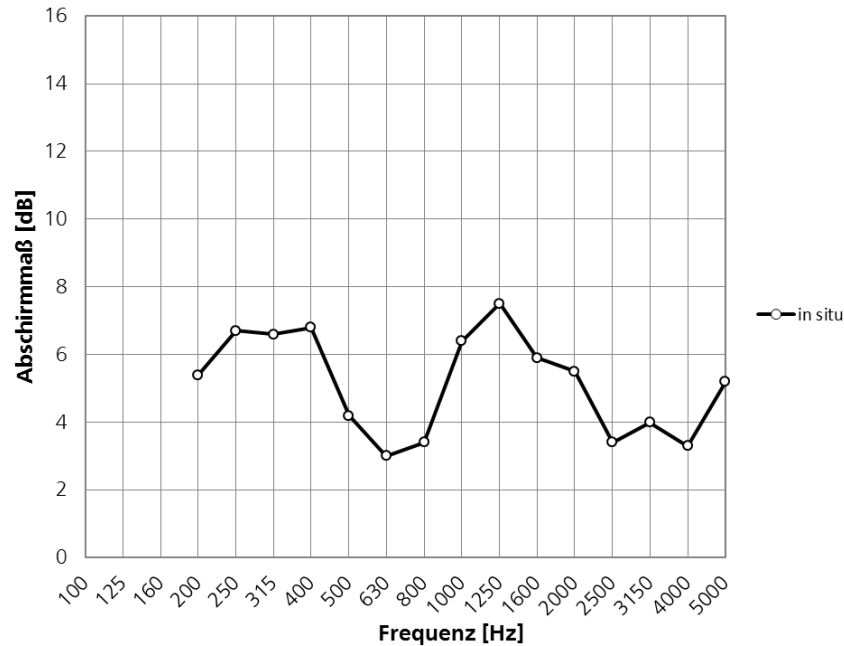
$$L_{m,2} = 60 \text{ dB(A)} \leftrightarrow \text{Sprechen}$$
$$\text{STI} = 0.03$$

# Abschirmmaß eines Schallschirms



VDI 2720 Blatt 2. Schallschutz durch Abschirmung in Räumen. Ausgabe: 1983  
F.P. Mechel. Schallabsorber Band III, S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1998 (S. 715 ff)

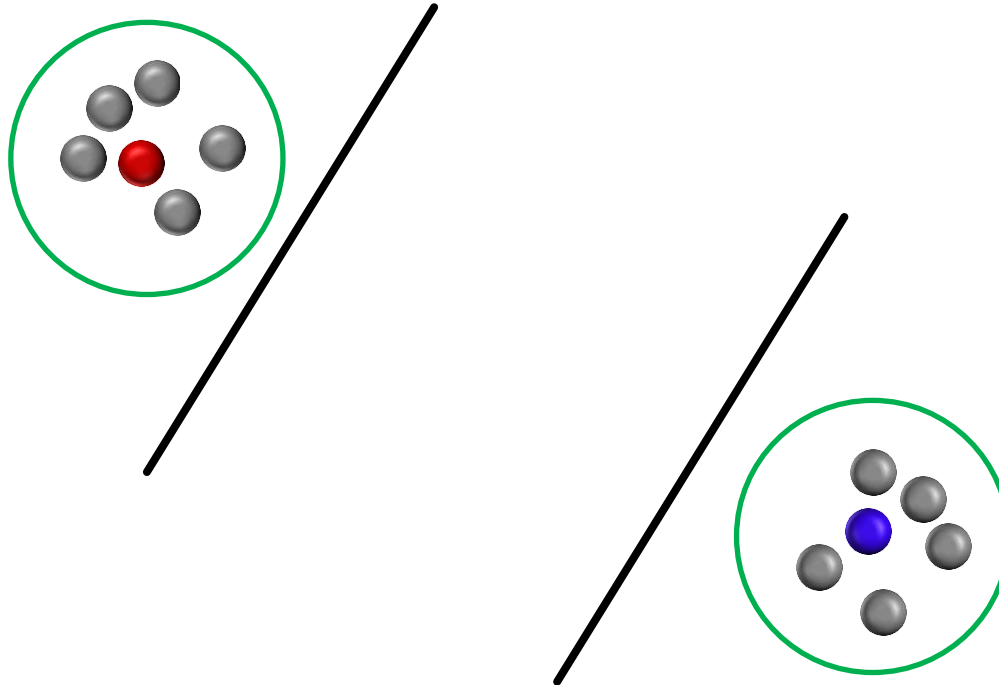
# Einfügungsdämmmaß in situ



B. Rabenstein „Akustische Bewertung transparenter mikroperforierter Stellwände“  
Bachelorarbeit, Hochschule für Technik Stuttgart (2011)

# Akustische Trennung: Schallschirme

$$\Delta L_p = 4 - 8 \text{ dB}$$

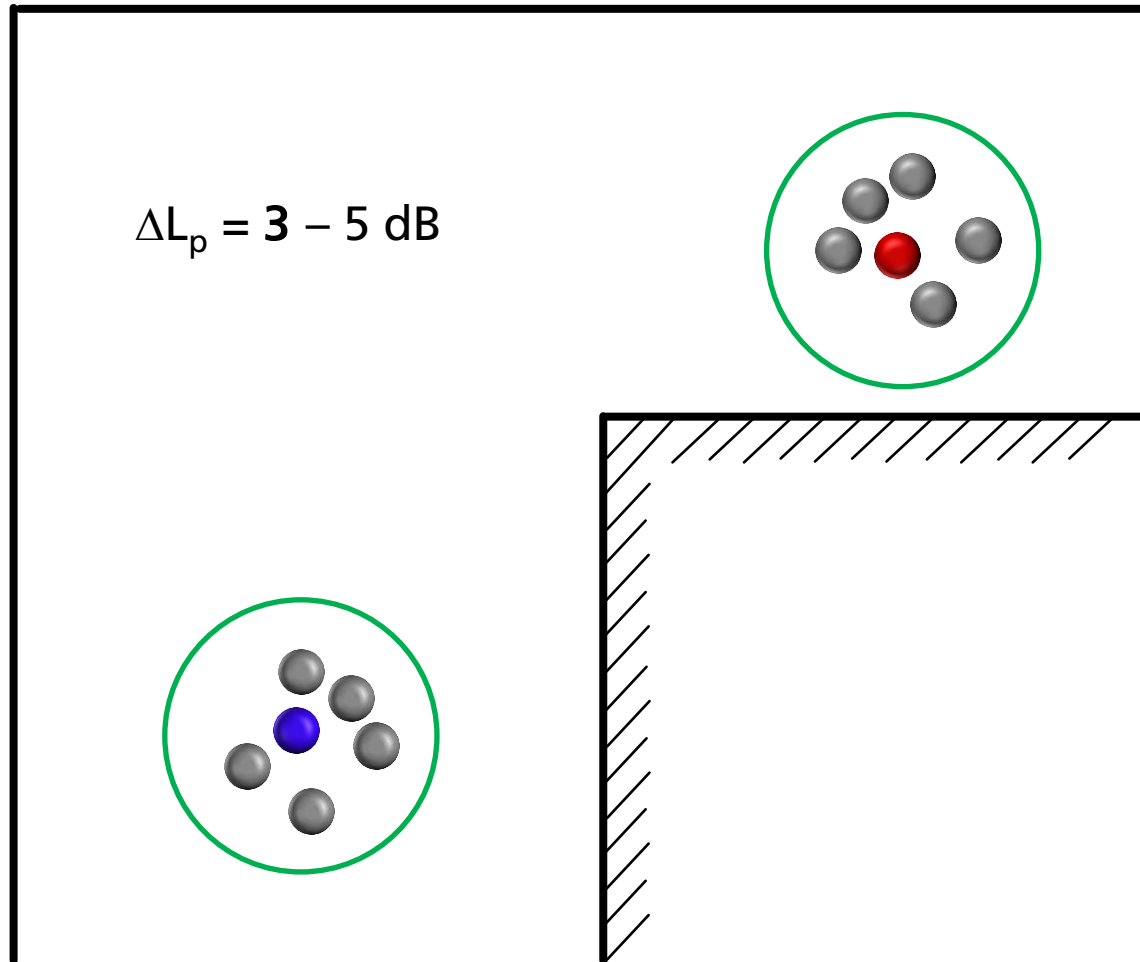


# Schallschirme in Praxis

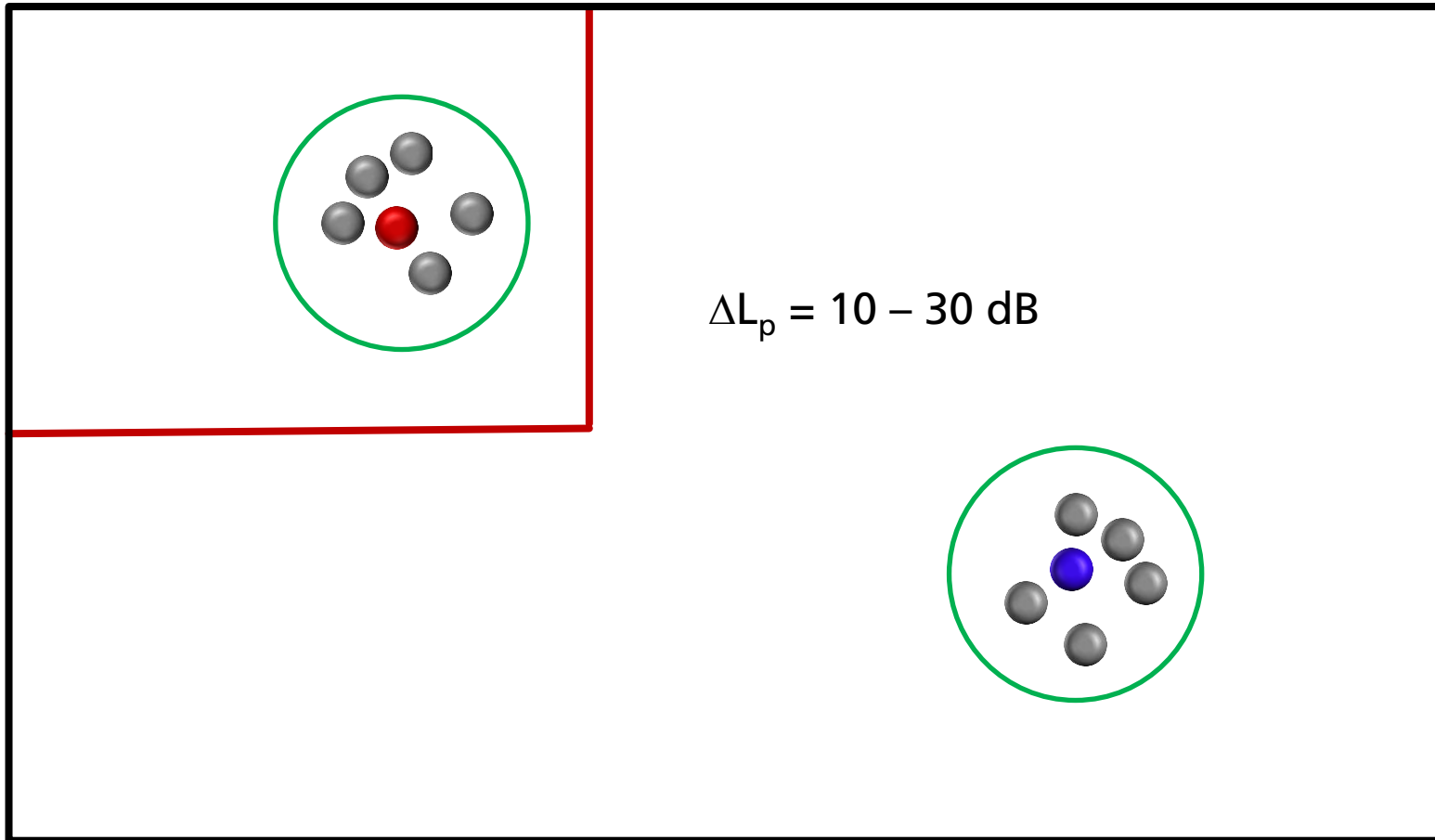
- je höher der Schirm im Vergleich zur Raumhöhe ist
- je besser die Absorption der Decke ist
- je größer die zusammenhängende Schirmfläche ist
- je besser der Schirm an Wände und Fenster angeschlossen ist
- je kleiner der Abstand zum Sender und Empfänger
- je höher die Absorption des Schirms



# Akustische Trennung: „Ecke“



# Akustische Trennung: mobile Trennwand / Kabine



# Zusammenfassung

- „Konventioneller“ Klassenraum → Nachhallzeit
- Offene Lernlandschaften → Herausforderung Verständlichkeit
  - Kommunikation auf kurze Distanzen → 
  - Kommunikation auf größere Distanzen → 
- Pegelminderung zwischen Gruppen → mind. 10 dB(A)
  - Schallschirme, Ecken → 
  - Kapseln und mobile Trennwände → 