

Akustische Gestaltung in Schulen

Akustisches Kolloquium ETH Zürich
21. Mai 2008

Kurt Eggenschwiler
Abteilung Akustik, Empa Dübendorf

Inhalt

- **Einleitung; Pädagogik und Akustik**
- Akustische Anforderungen
- Räume der Schule
 - Klassenzimmer
 - Sporthalle
 - Mensa
 - Foyer/Gang
 - Aula/Saal
 - ...
- Ausblick

Folgen von Lärm und schlechter Akustik 1/3

- Schlechtere Verständlichkeit der Sprache
- Spracherwerb behindert
- Verringerte Aufmerksamkeit / Konzentration
- Kurzzeit- /Arbeitsgedächtnis überlastet
(Bsp. Irrelevant Sound Effect)
- Schlechtere kognitive Leistungsfähigkeit
- Lärm macht unsensibel und fördert Aggressionen
 - Soziales Klima schlechter
 - Lernen behindert

Folgen von Lärm und schlechter Akustik 2/3

- Beeinträchtigung der Kindern stärker als bei Erwachsenen
 - beim Sprachverstehen
 - beim Erlernen der Muttersprache
 - beim Erlernen von Fremdsprachen
 - besonders bei Kindern mit Lernbehinderungen
- Gute Akustik erforderlich für
 - Personen mit infektsbedingten Hörschäden
 - Hörbehinderte

Folgen von Lärm und schlechter Akustik 3/3

- Wesentlicher Belastungsfaktor für Lehrpersonen (80% der Lehrkräfte klagen)
 - Reden mit ständig erhobener Stimme
 - Unlust, Ärger, Unzufriedenheit
 - Häufigere Krankmeldungen, Probleme mit Hals, Kopfschmerzen
 - Behinderung des Unterrichts (Ermahnen zu ruhigem Verhalten, ...)
 - ...

Gute Akustik in Schulen:

-

Kein Luxus,
sondern
Notwendigkeit

Inhalt

- Einleitung; Pädagogik und Akustik
- **Akustische Anforderungen**
- Räume der Schule
 - Klassenzimmer
 - Sporthalle
 - Mensa
 - Foyer/Gang
 - Aula/Saal
 - ...
- Ausblick

Grundsätzliche Anforderungen

- Keine Lärm
 - von ausserhalb des Gebäudes
 - vom Gebäudeinnern
 - im Raum selber
- Sehr gute Sprachverständlichkeit
 - kein Lärm
 - wenig Hall
 - natürlich Übertragung der Sprachlaute
- Gute Musikhörsamkeit

Grundsätzliche Anforderungen

- Keine Lärm
 - von ausserhalb des Gebäudes
 - vom Gebäudeinnern
 - im Raum selber
- Sehr gute Sprachverständlichkeit
 - kein Lärm
 - wenig Hall
 - natürlich Übertragung der Sprachlaute
- Gute Musikhörbarkeit

Gute Sprachverständlichkeit

- Kein Lärm
- Kurzer Nachhall
- Keine Echos
- Keine Verzerrungen (→ Beschallung)
- Unterstützung durch Raumgeometrie

Gute Sprachverständlichkeit

- Kein Lärm
- Kurzer Nachhall
- Keine Echos
- Unterstützung durch Raumgeometrie



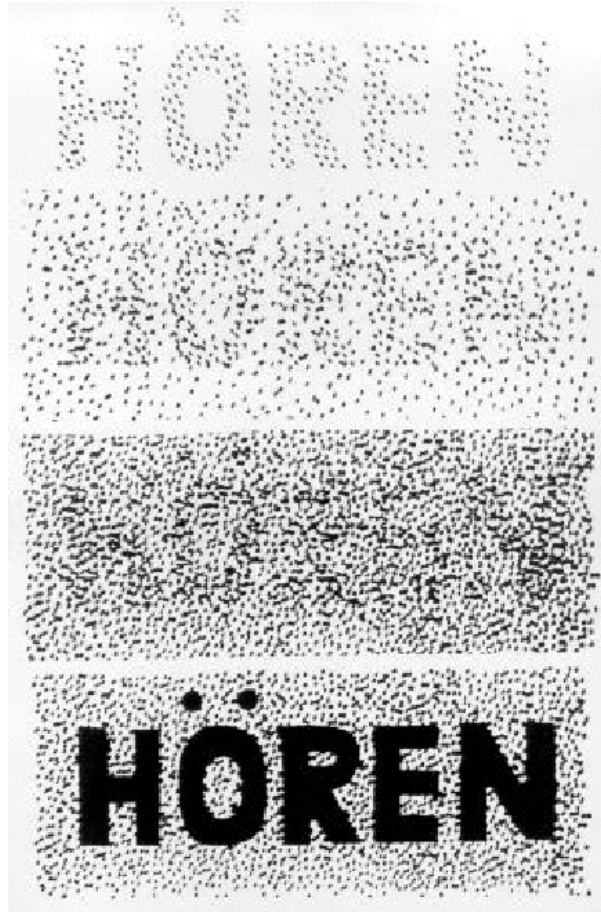
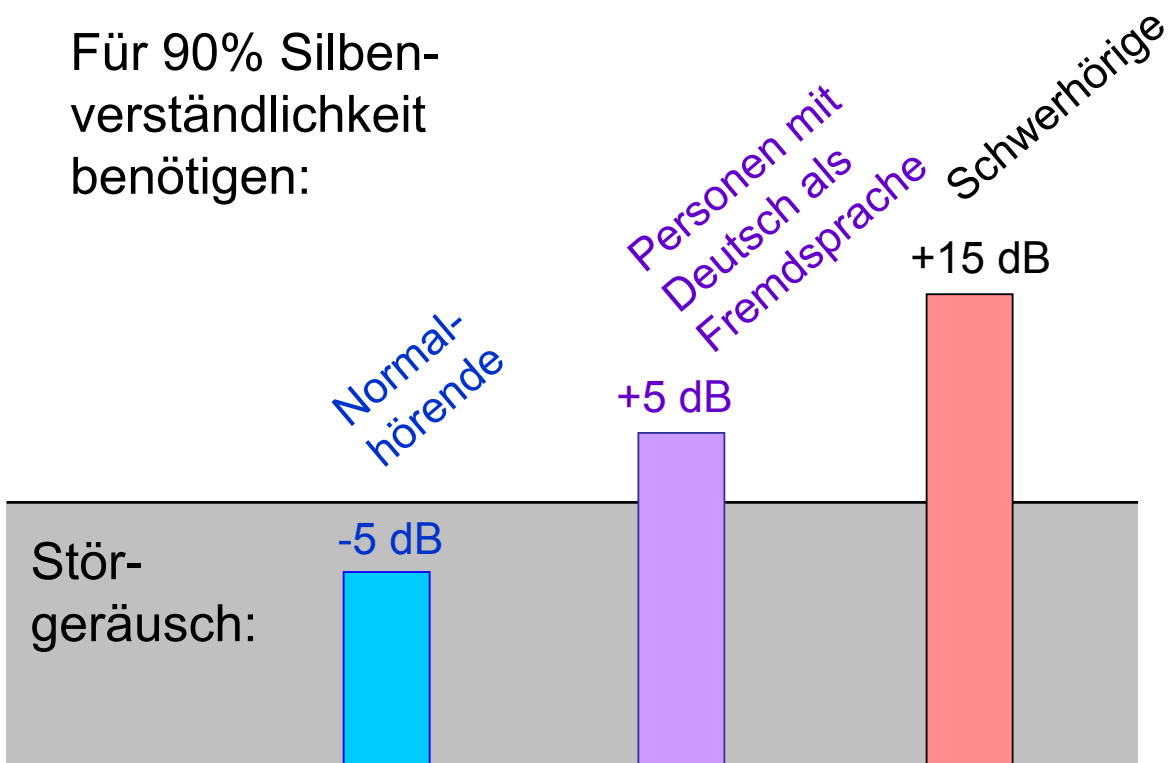


Bild: Carsten Ruhe

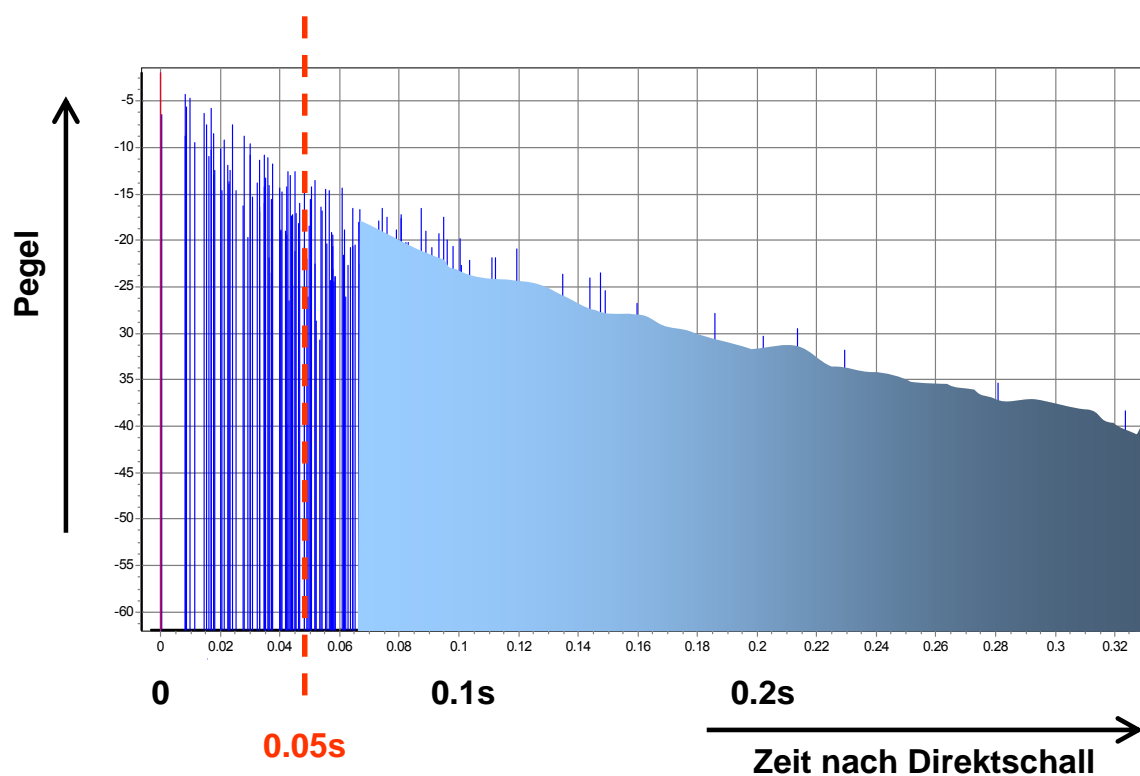
Für 90% Silben-
verständlichkeit
benötigen:



Gute Sprachverständlichkeit

- Kein Lärm
- Kurzer Nachhall
- Keine Echos
- Unterstützung durch Raumgeometrie

Reflektogramm



Gute Sprachverständlichkeit

- Kein Lärm
- Kurzer Nachhall
- Keine Echos
- Unterstützung durch Raumgeometrie

Gute Raumform

- Freie Sichtlinie
- Frühe Schallreflexionen fördern
- Späte Schallreflexionen dämpfen
- Echos und Flatterechos vermeiden
- Richtige Anordnung von Absorbern.

Inhalt

- Einleitung; Pädagogik und Akustik
- Akustische Anforderungen
- Räume der Schule
 - Klassenzimmer
 - Sporthalle
 - Mensa
 - Foyer/Gang
 - Aula/Saal
 - ...
- Ausblick

Klassenzimmer

Störschall

Nachhall

Raumform

Neue Lernformen

Störschall im Schulzimmer

Lärmquellen:

- Lärm von innerhalb und ausserhalb Gebäude
→ SIA 181
- Technische Quellen im Raum (Lüftung, Beamer)
→ SIA 181, DIN 18041
- Schülerinnen und Schüler
 - Lernformen: Gruppenarbeit, ...
 - Architektur: Offene Schulzimmer

Störschall

Anforderungen	mindest	≤ 40 dB(A)
DIN18041	mittlere	≤ 35 dB(A)
	hohe	≤ 30 dB(A)

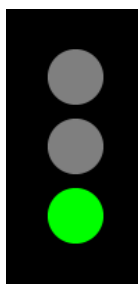
SIA 181:

3.1 Externe Quellen

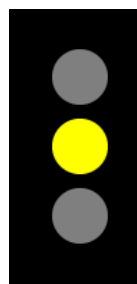
Anhang G: Empfehlungen zum Schallschutz
innerhalb von Nutzungseinheiten

R-1079

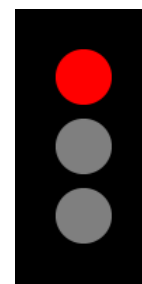
Elektronische Lärmampel im Schulzimmer?



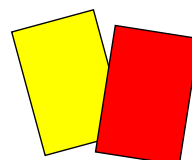
Unter
65 dB



65 -
80 dB



über
80 dB



Klassenzimmer

Störschall

Nachhall

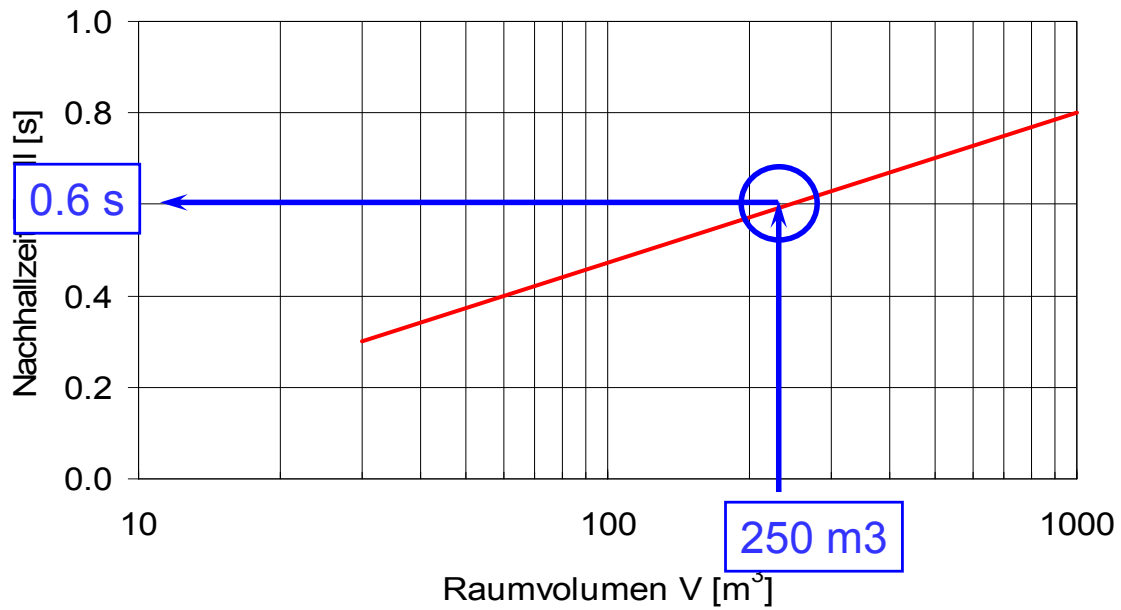
Raumform

Neue Lernformen

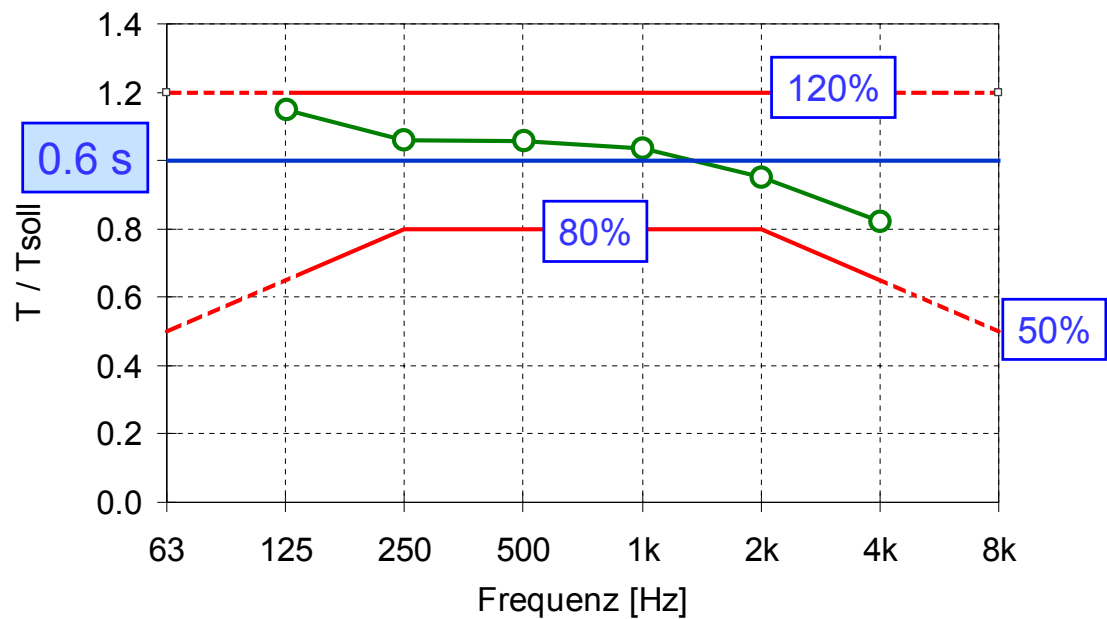
Forderung „Kurze Nachhallzeit“

- Ergebnis wissenschaftlicher Arbeiten
- Stand des Wissens in Richtlinien umgesetzt:
 - DIN 18041
 - SGA Richtlinien
 - SIA 181
- Behindertengleichstellungsgesetz
- Kein Luxus, sondern Notwendigkeit

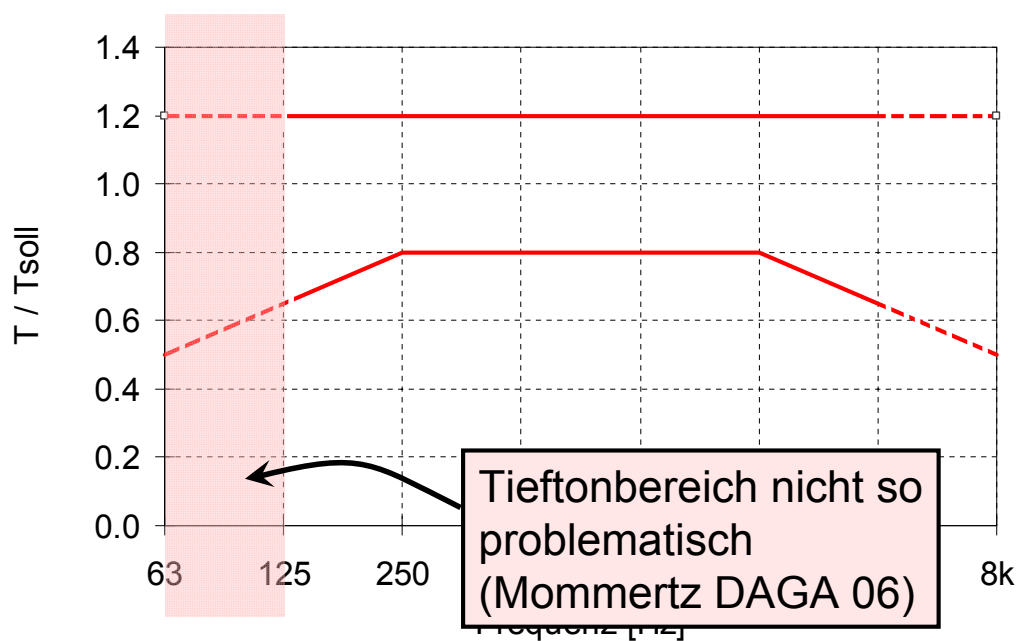
Sollwert der Nachhallzeit - Räume für Unterricht DIN 18041 / SIA 181



Toleranzbereich Nachhallzeit



Nachhallzeit im Tieftonbereich



Hinweise

- Personen mit eingeschränktem Hörvermögen, Kommunikation nicht in Muttersprache
→ Nachhallzeit 20% geringer als Normalanforderungen
- Werte gelten für besetzten Raum
- Unbesetzt nicht mehr als 0.2s länger

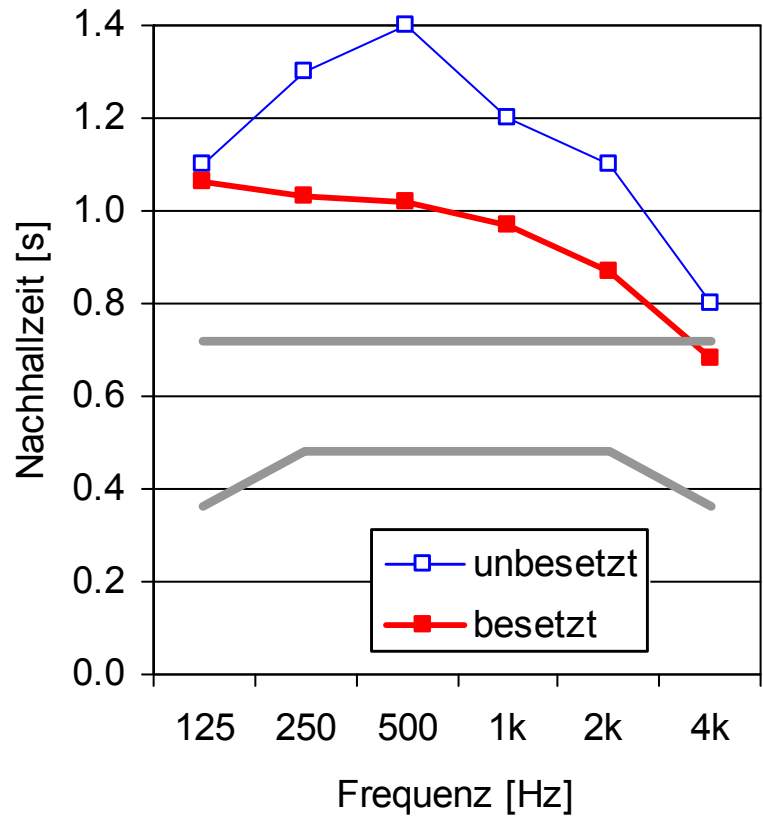
Erreichen der Anforderungen

- In der Regel: Absorbierende Decke
- Zusätzlich Absorber vorteilhaft an Rückwand
- Tieftonabsorber + Mittel-/Hochtonabsorber
- Produkte mit ausgewiesenem Schallabsorptionsgrad
- Nachhallzeitberechnung

Beispiele

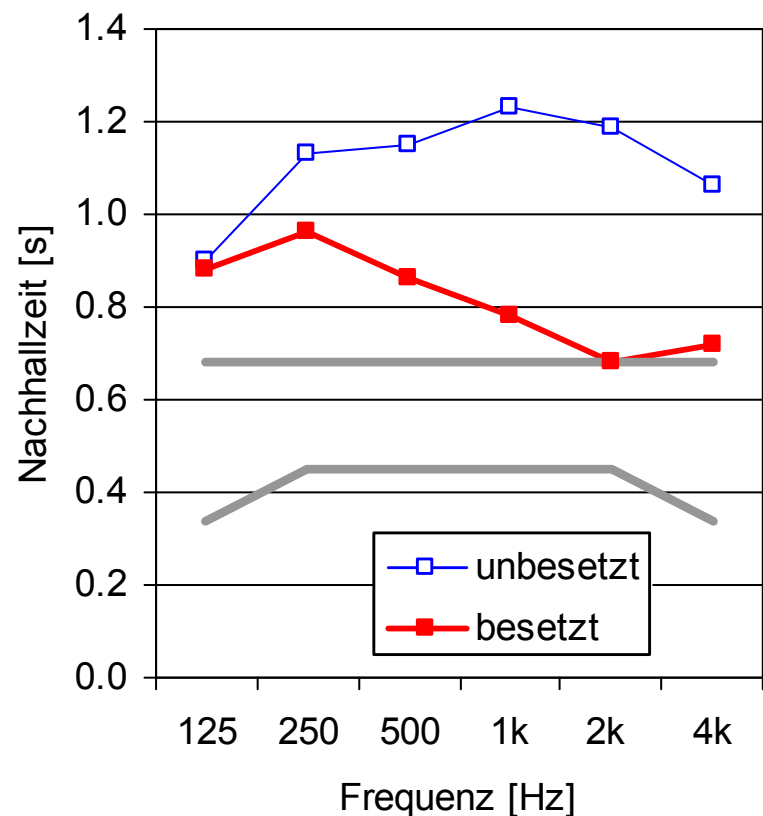
Schulzimmer A

- Schulhaus aus den 70er Jahren
- Betondecke
- Zwei Wände mit Fenstern
- Eine Wand mit Holzschränken
- Spannteppich



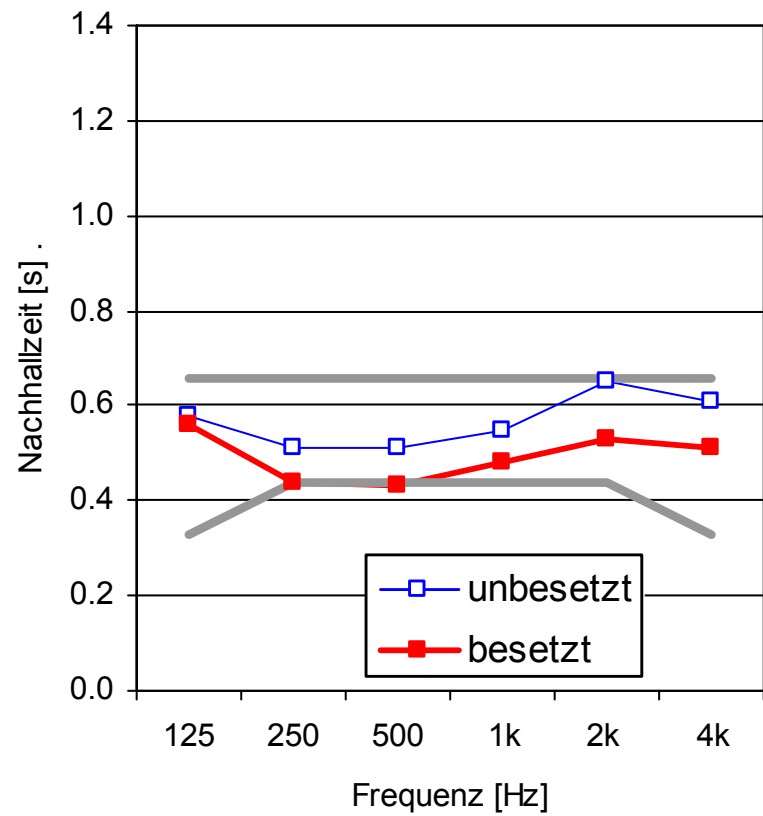
Schulzimmer B

- Ausgezeichnete Architektur
- Betondecke
- Holzverkleidungen
- Steinboden

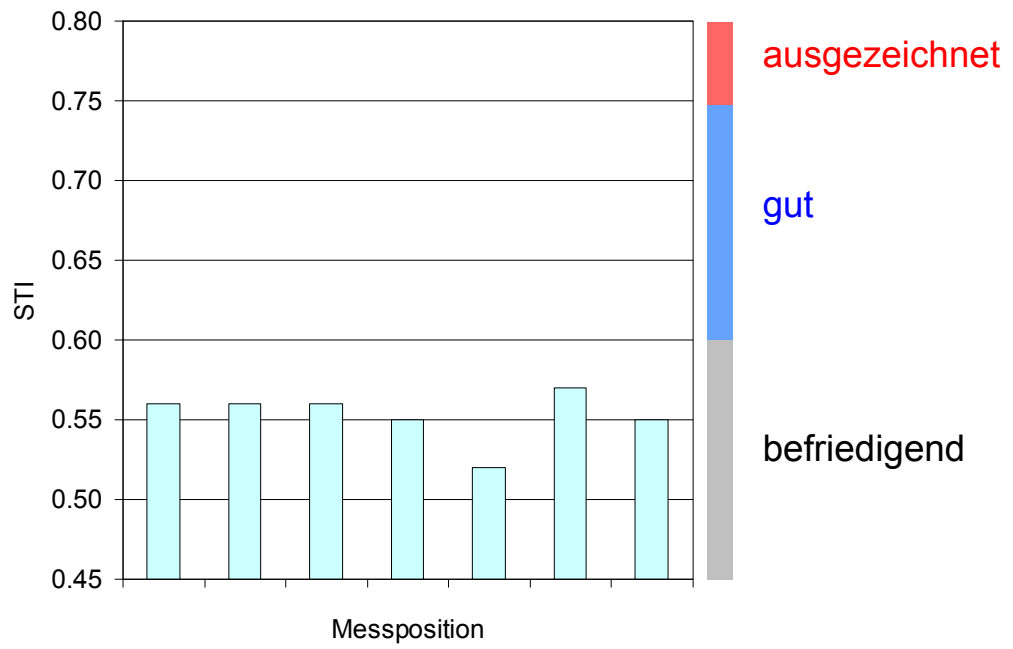


Schulzimmer C

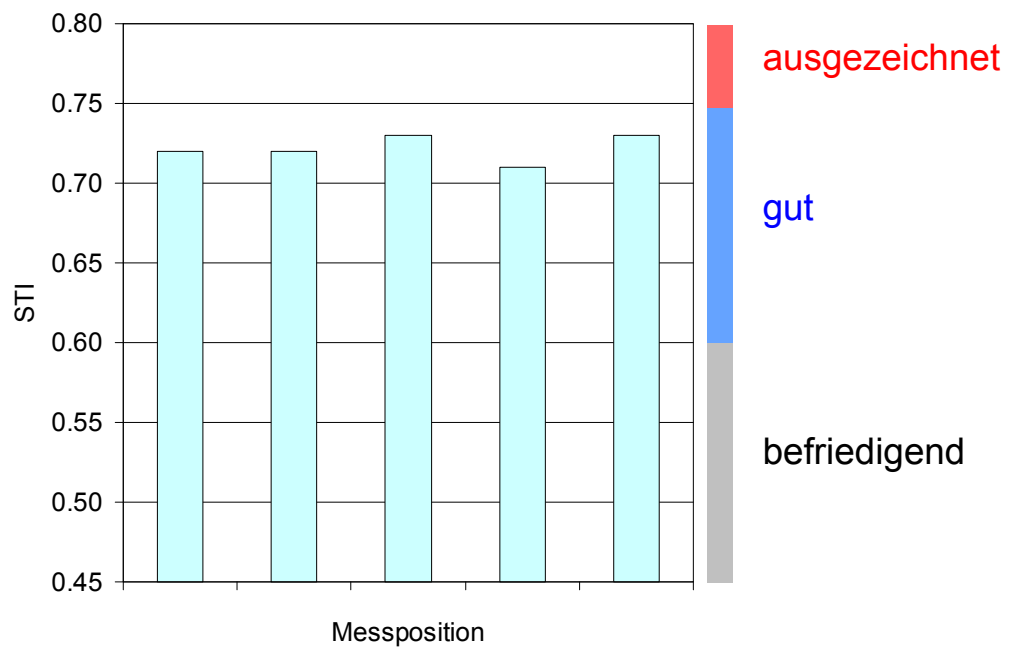
- Unregelmäßiger Grundriss
- Decke: 3 – 5 m
- Decke als Absorber ausgebildet



STI Schulzimmer B



STI Schulzimmer C



Schulzimmer C mit schallabsorbierender Decke Rudolf Steiner Schule, Wetzikon



Einfacher Absorber

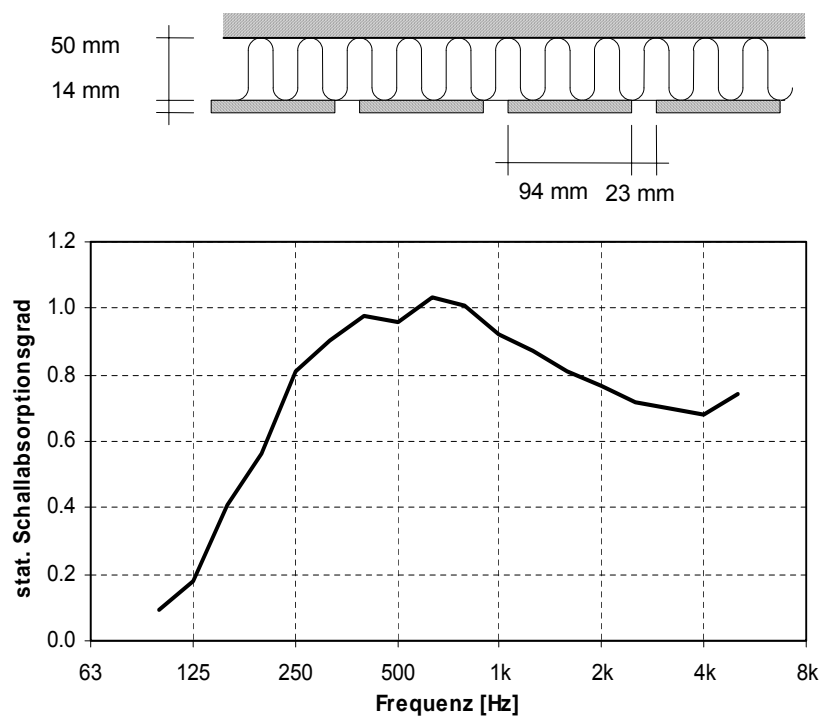




Bild: Thomas Imhof

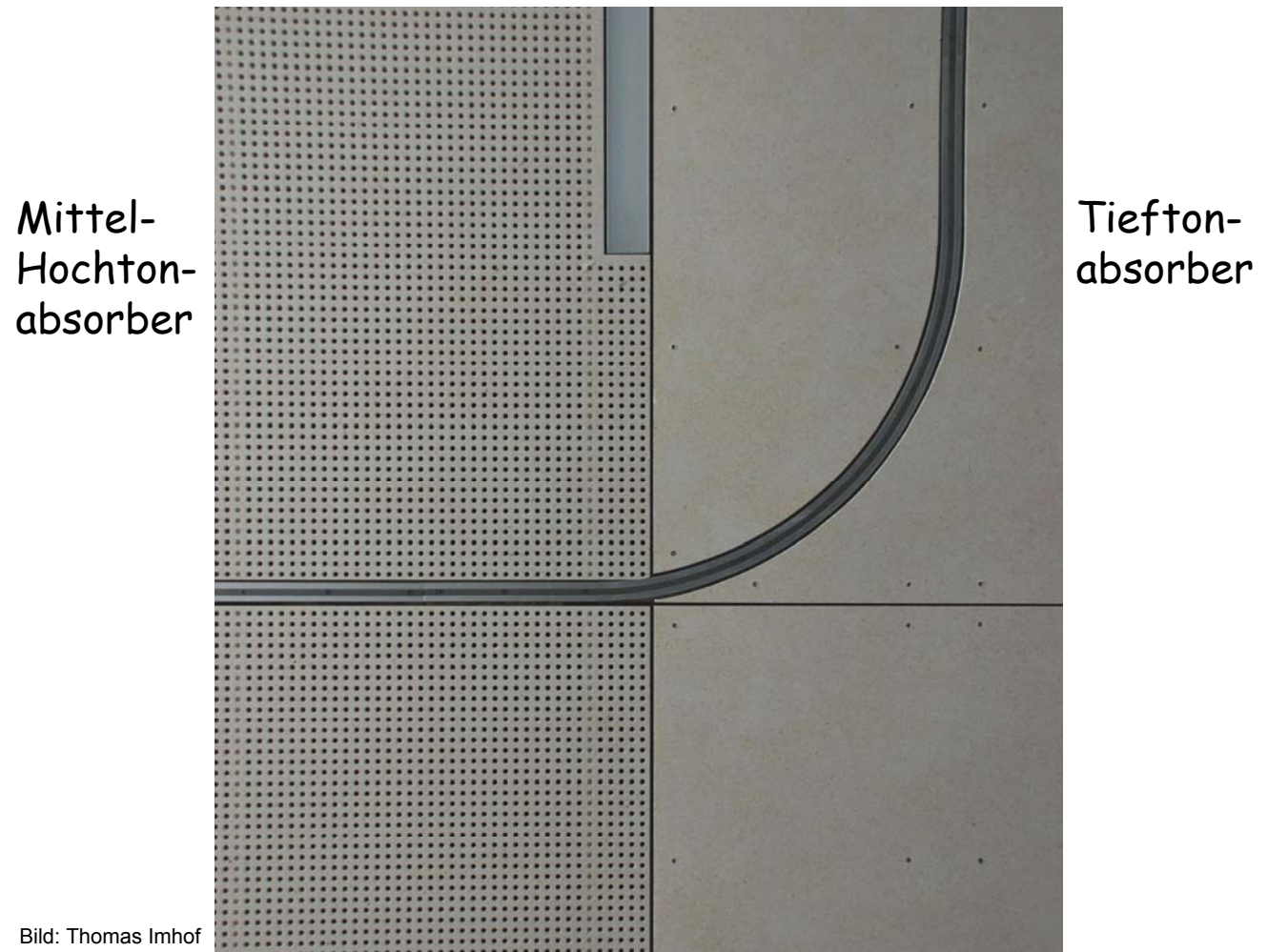


Bild: Thomas Imhof



Mittel-
Hochton-
absorber

Tiefton-
absorber



Mittel-
Hochton-
absorber

Tiefton-
absorber

Möbel, Vorhänge, Teppiche, ...?



- Erwünschte Zusatzabsorption
- Ersetzt Deckenverkleidung nicht

Bild: Dreier, Grundschulen planen, bauen, neu gestalten, Arbeitskreis Grundschule e.V., Frankfurt 1999

Kurze Nachhallzeit → Raum überdämpft?

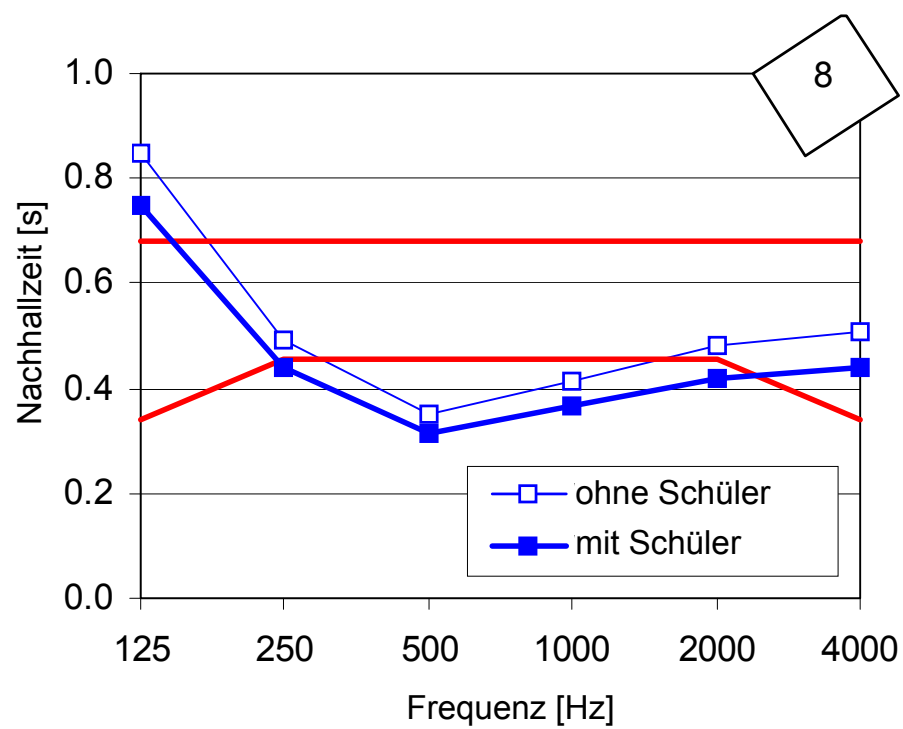
- Vorteil für Hörbehinderte und Fremdsprachen
- Diplomwahlfacharbeit ETH + kleine Studie Empa: RSSZO, Wetzikon
 - Messungen
 - sehr gut Werte STI (Sprachverständlichkeit)
 - kurze Nachhallzeiten z.T. unterhalb Toleranzbereich

8. Klasse



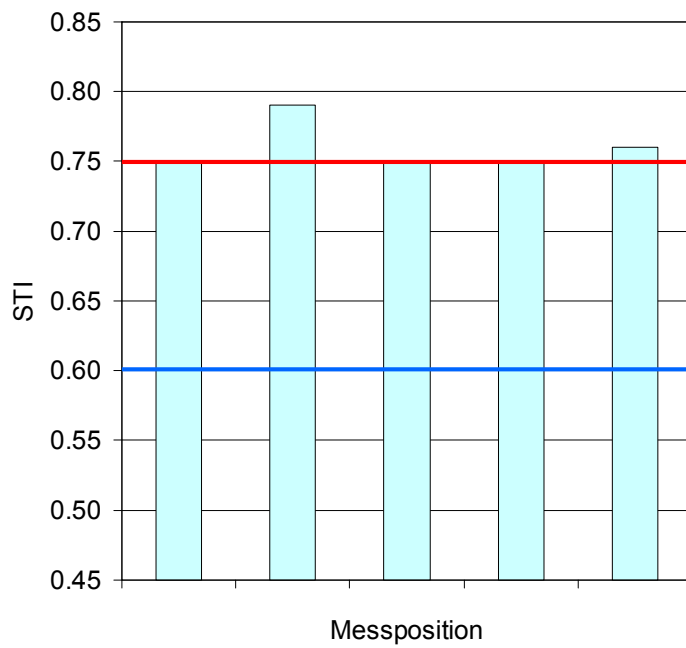
Nachhallzeit 8. Klasse

$V = 200 \text{ m}^3$



Sprachübertragungsindex STI

8. Klasse



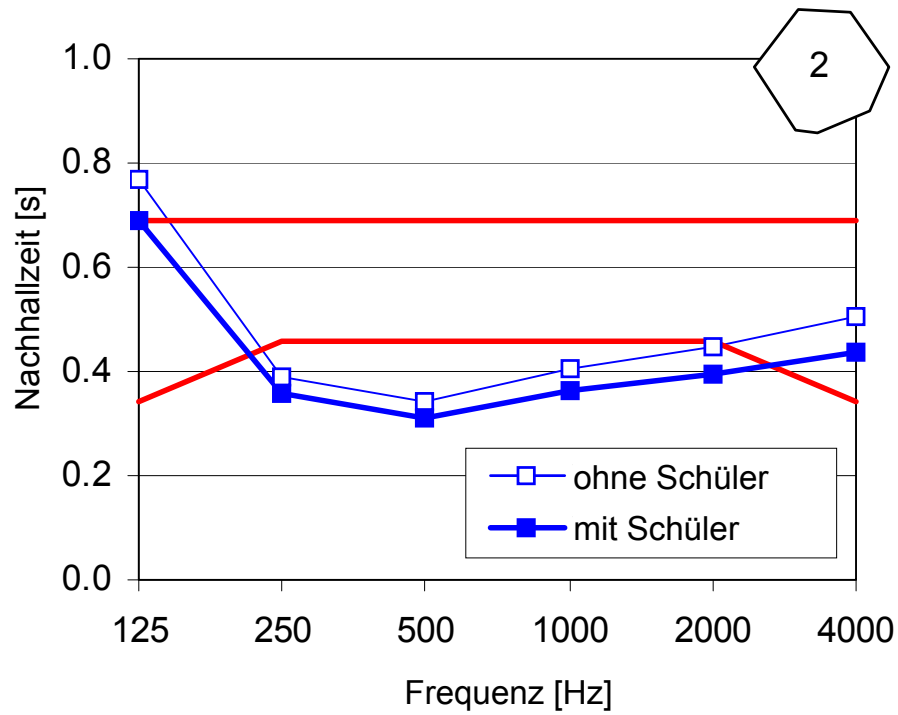
	STI
sehr gut	0.75 – 1.00
gut	0.60 – 0.75
befriedigend	0.45 – 0.60
schlecht	0.30 – 0.45
sehr schlecht	0.00 – 0.30

Omni-direktionaler Lautsprecher!

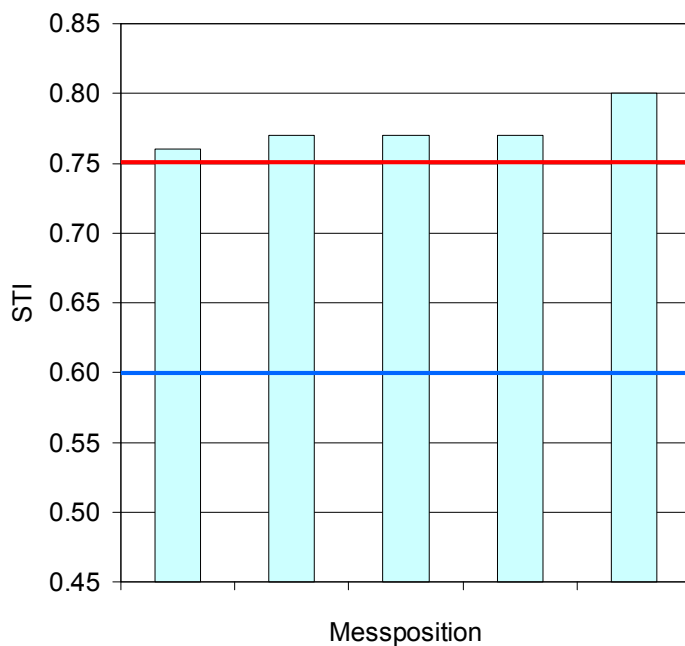


Nachhallzeit 2. Klasse

$V = 210 \text{ m}^3$



Sprachübertragungsindex STI 2. Klasse $V = 210 \text{ m}^3$



	STI
sehr gut	0.75 – 1.00
gut	0.60 – 0.75
befriedigend	0.45 – 0.60
schlecht	0.30 – 0.45
sehr schlecht	0.00 – 0.30

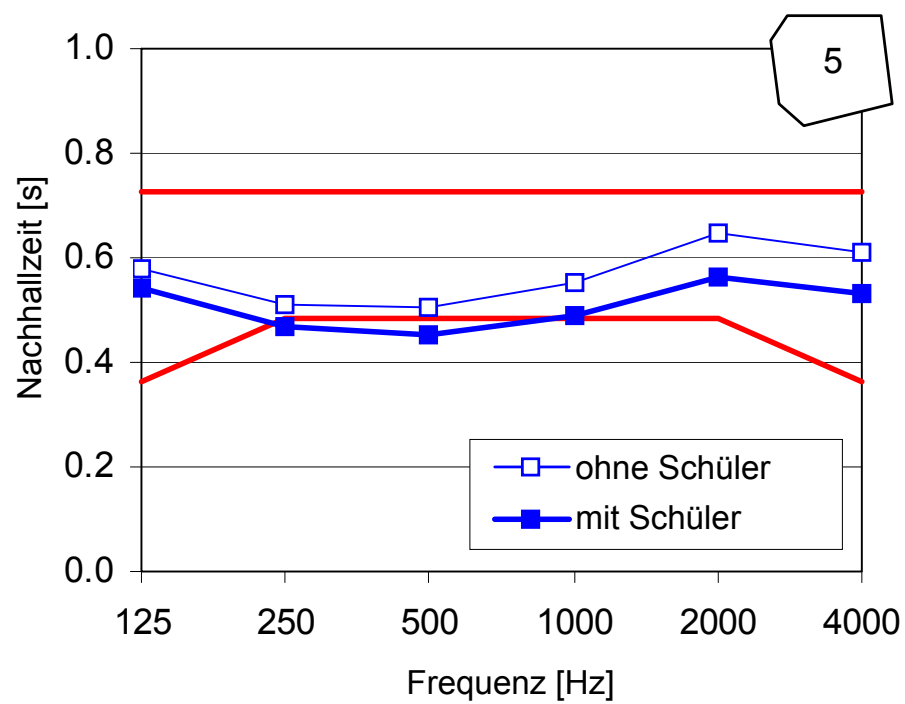
Omni-direktionaler Lautsprecher!

5. Klasse



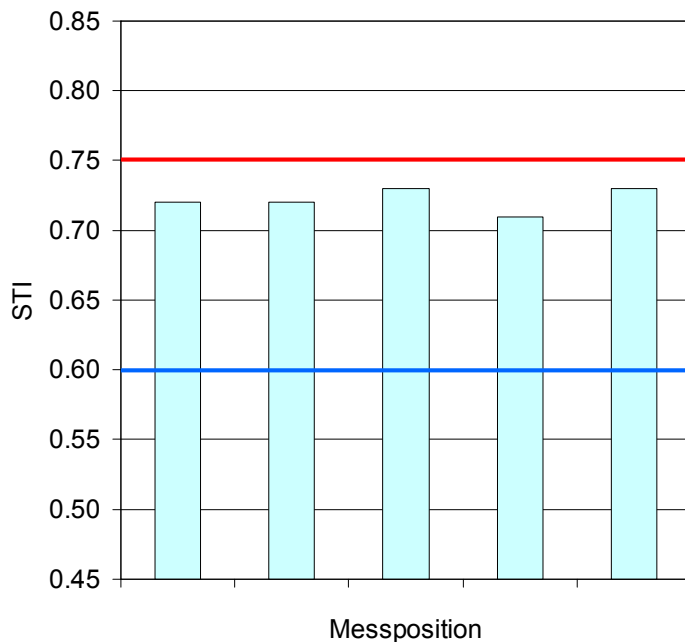
Nachhallzeit 5. Klasse

$V = 265 \text{ m}^3$



Sprachübertragungsindex STI

5. Klasse $V = 265 \text{ m}^3$



	STI
sehr gut	0.75 – 1.00
gut	0.60 – 0.75
befriedigend	0.45 – 0.60
schlecht	0.30 – 0.45
sehr schlecht	0.00 – 0.30

Omni-direktionaler Lautsprecher!

Kurze Nachhallzeit → Raum überdämpft?

- Vorteil für Hörbehinderte und Fremdsprachen
- Diplomwahlfacharbeit ETH + kleine Studie Empa: RSSZO, Wetzikon:
 - Messungen
 - sehr gut Werte STI (Sprachverständlichkeit)
 - kurze Nachhallzeiten z.T. unterhalb Toleranzbereich
 - Befragung Lehrerschaft
 - empfinden Akustik als nicht anstrengend, mühelos und angenehm
 - i.O. für Musik
- Einfluss nicht gemessener akustischer Parameter?
- Einfluss der guten architektonische Gestaltung?

Klassenzimmer

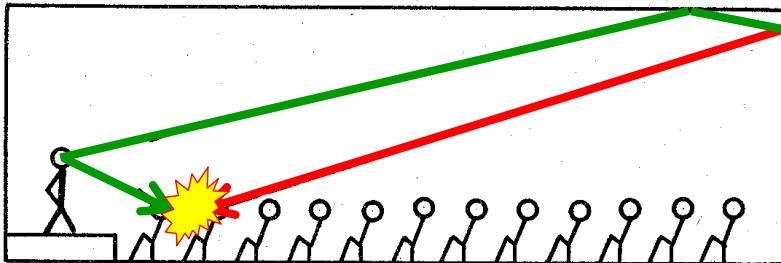
Störschall

Nachhall

Raumform

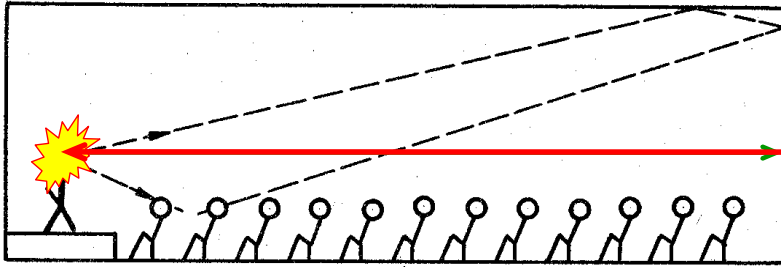
Neue Lernformen

DIN 18041



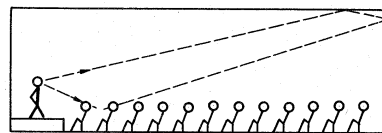
UNGÜNSTIG

DIN 18041

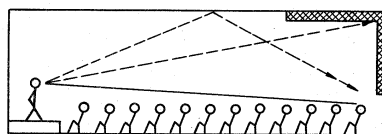


UNGÜNSTIG

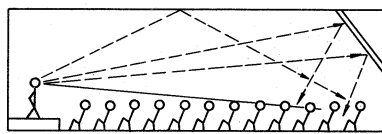
DIN 18041



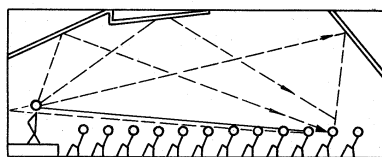
UNGÜNSTIG



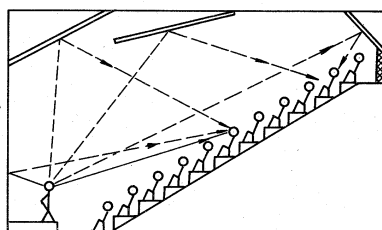
BESSER



BESSER

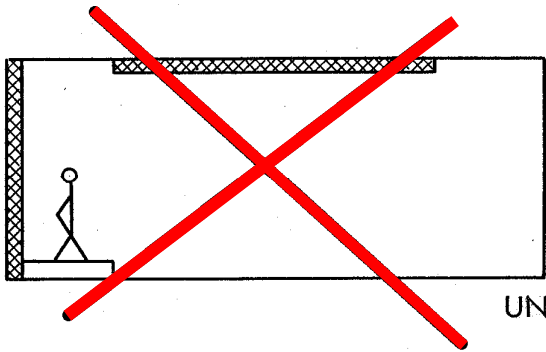


GÜNSTIG

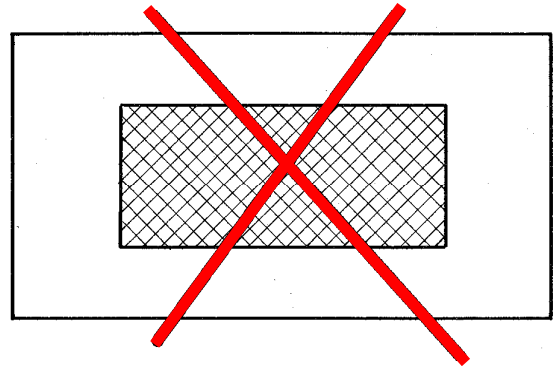


GÜNSTIGER

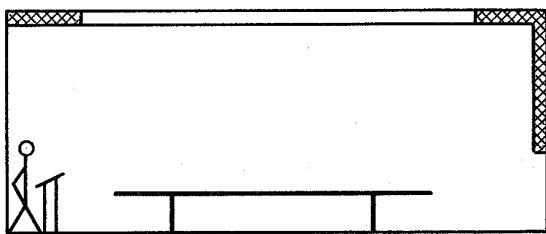
DIN 18041



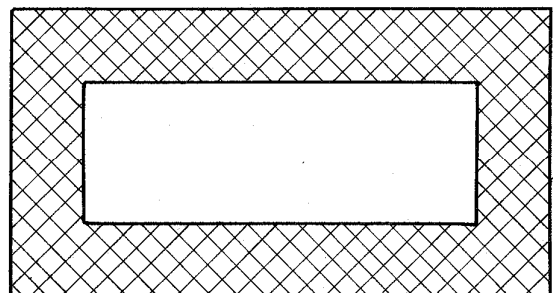
UNGÜNSTIG

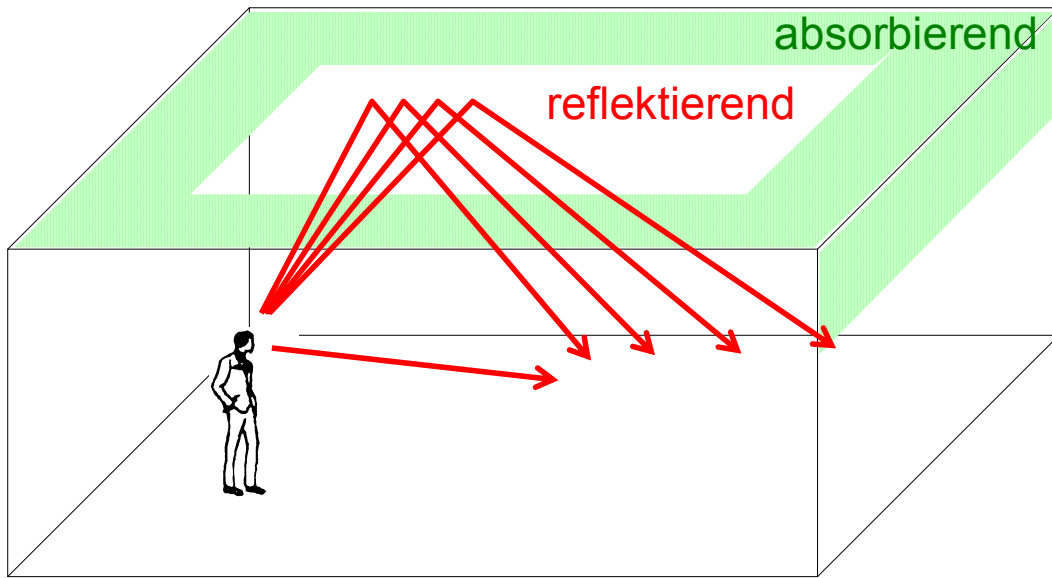


DIN 18041



BESSER

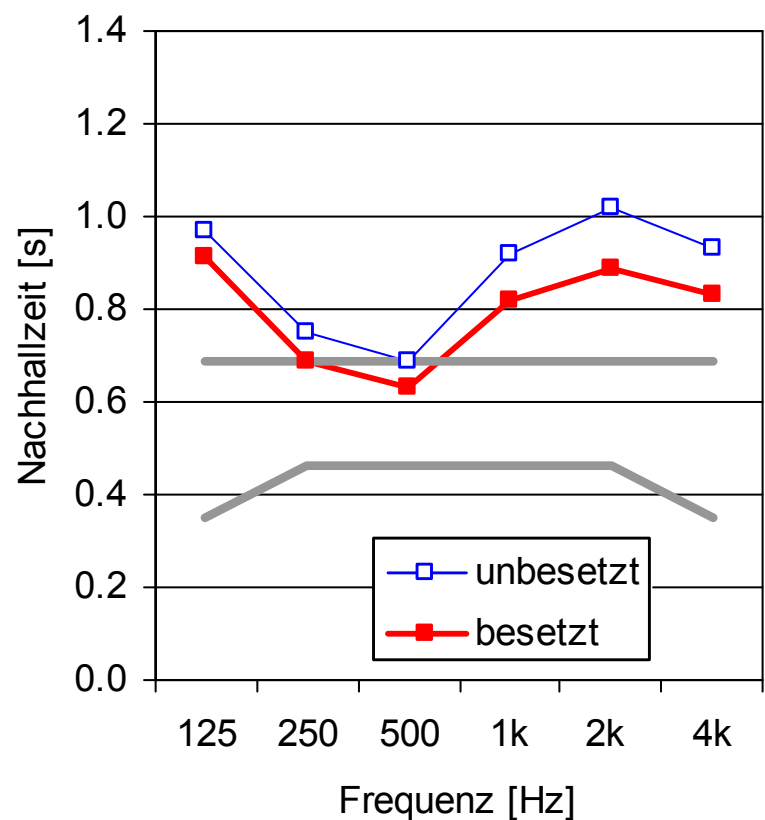






Schulzimmer D

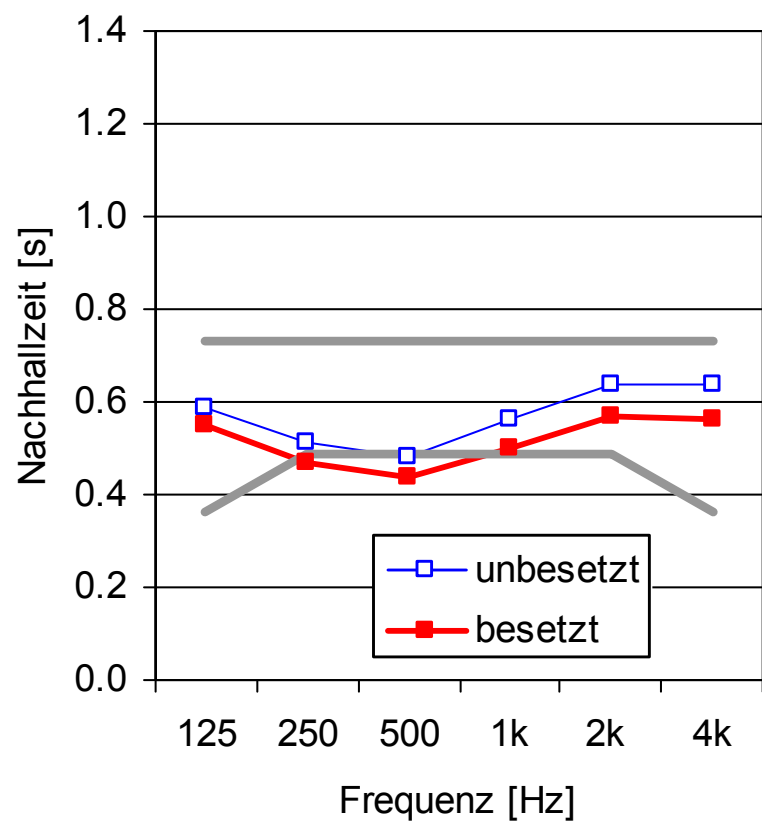
- Decke nur am Rand absorbierend verkleidet („Deckenspiegel“)
- Absorber: Holzriemenabsorber
- Keine Absorption an Wänden



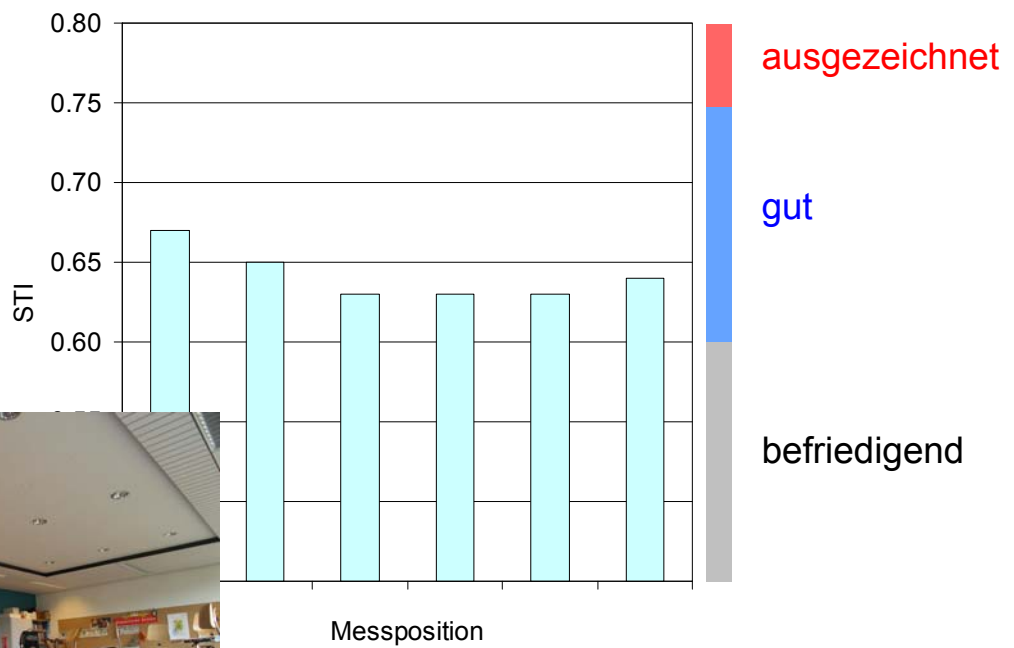


Schulzimmer E

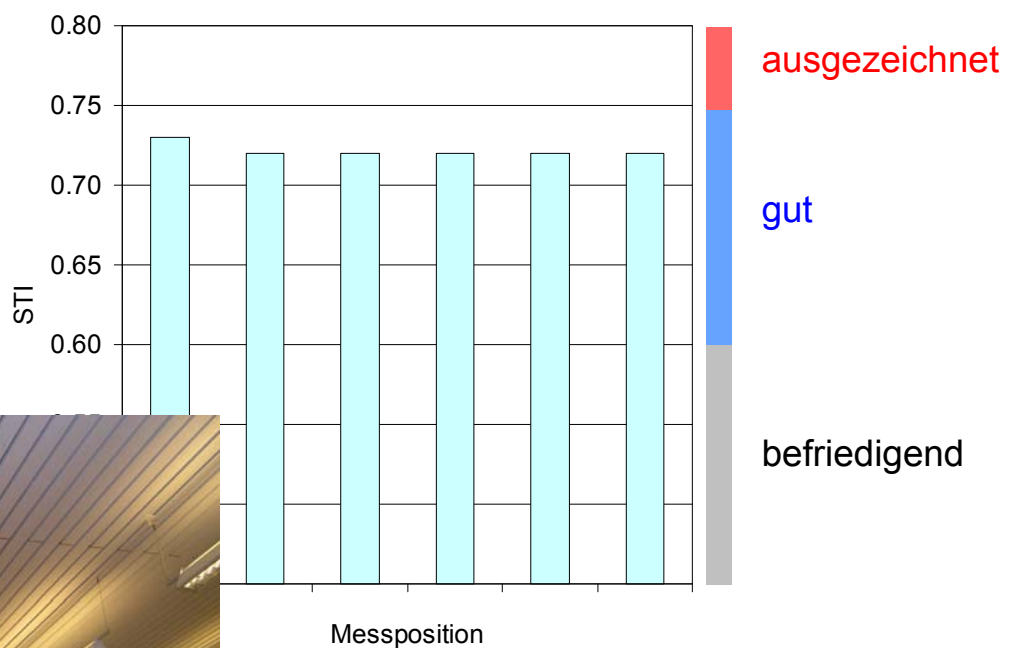
- Schulzimmer D in gleichem Schulhaus wie E
- Ganze Decke verkleidet mit Holzriemabsorber



STI Schulzimmer D



STI Schulzimmer E



Gegenbeispiel

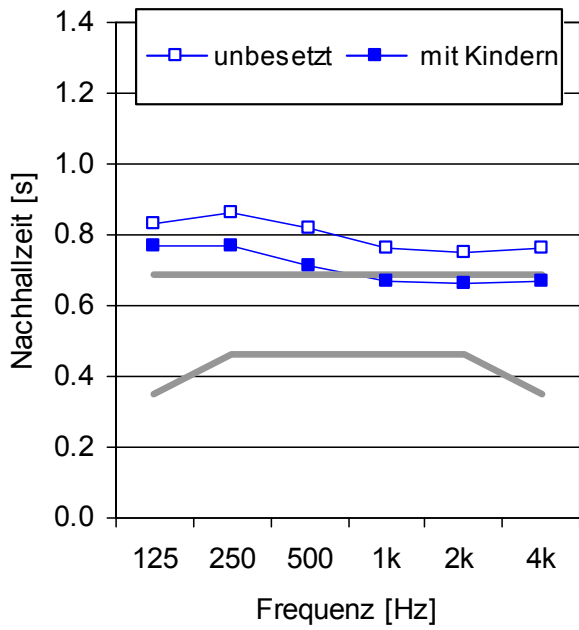
- Sanierung Klassenzimmer mit richtigem Material
 - Einfache und günstige Lösung
 - Hilfe zur Selbsthilfe
 - ...

Diplomarbeit: [Schulraumakustik – bewusst wahrnehmen und verbessern](#)

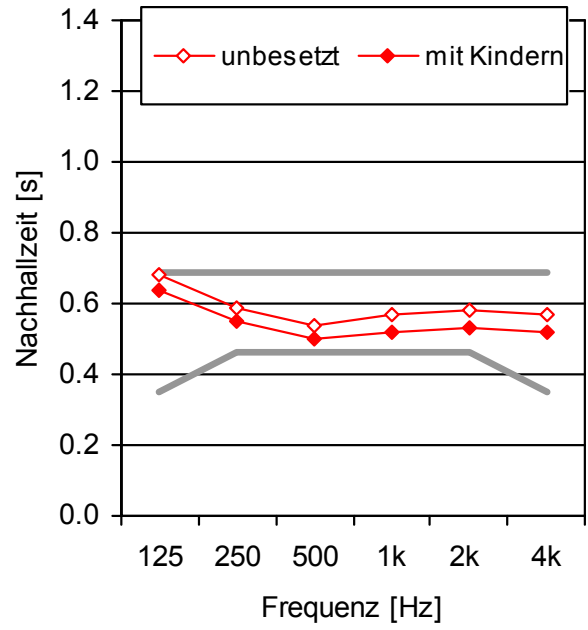
Simon Baumann, Thomas Fischer
Pädagogische Hochschule, FHNW, Aarau
Betreuer: Markus Cslovjecsek



Vor Sanierung

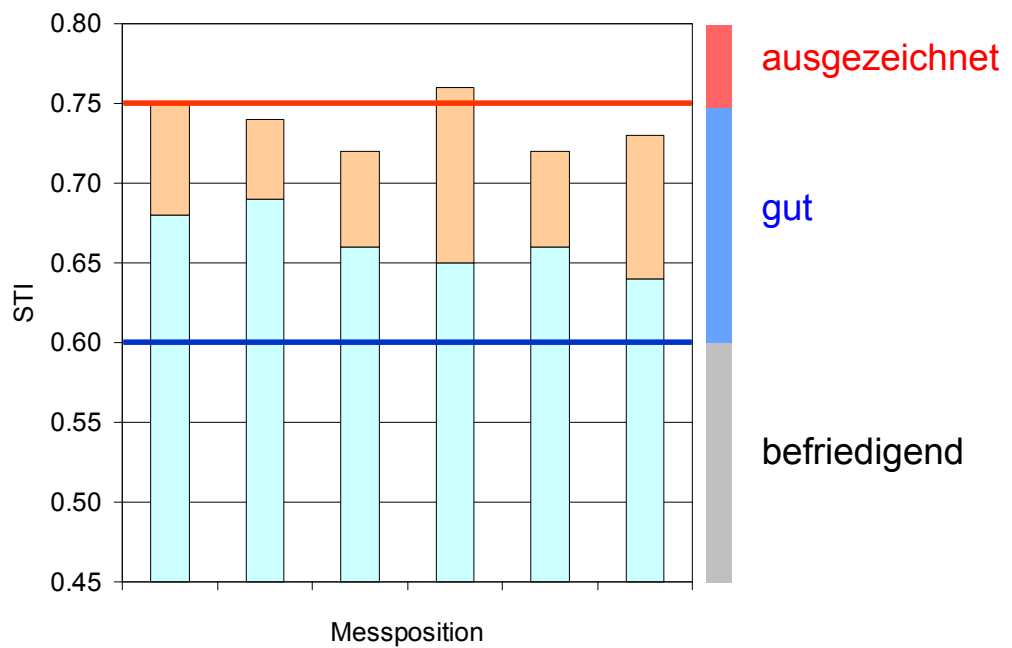


Nach Sanierung



Messungen: Empa

STI vor und nach der Sanierung



Raumform

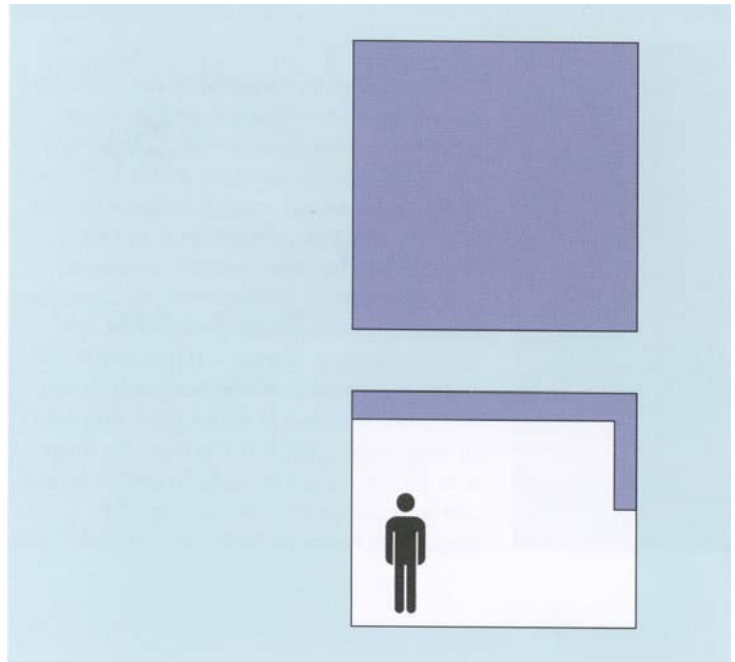
- Klassenzimmer (Studie Mommertz, DAGA 02)
 - 1. Priorität: Nachhallzeit o.k.
 - 2. Priorität: Anordnung Absorber / Raumgeometrie
- Mittlere Auditorien
 - Nachhallzeit und Raumgeometrie
- Grosse Auditorien
 - Nachhallzeit und Raumgeometrie
 - Elektroakustische Beschallung

Vorschläge Broschüre „Lärm von Bildungsstätten.“



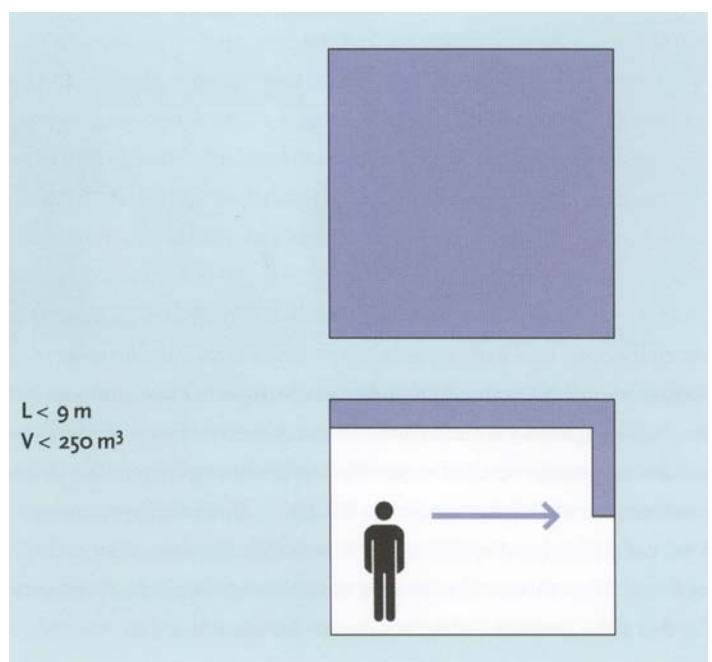
Vorschläge Broschüre „Lärm von Bildungsstätten.“

- Höchstabsorbierende Ausstattung der Deckenfläche
- Wenig Frontalunterricht
- Gruppen, Projekte



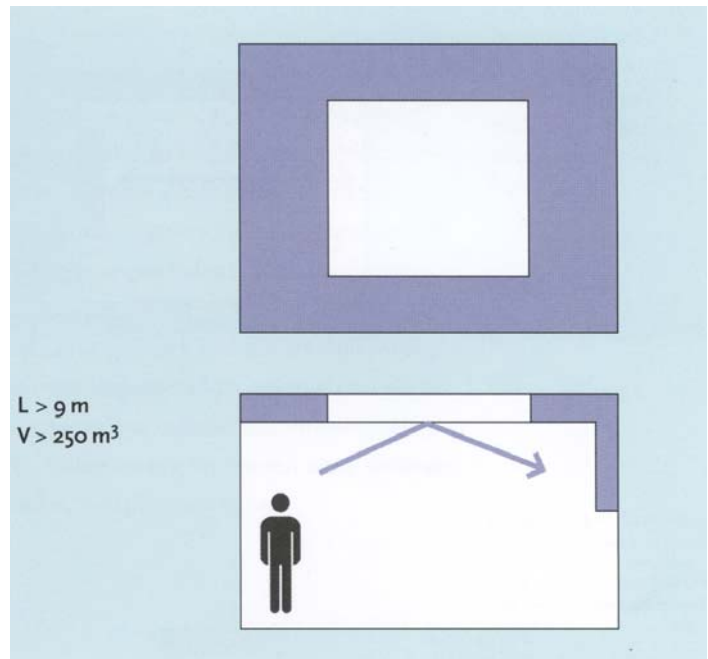
Vorschläge Broschüre „Lärm von Bildungsstätten.“

- Höchstabsorbierende Ausstattung der Deckenfläche
- Verzicht auf den klassischen Deckenreflektor
 - Kein Reflektor bei $L < 9\text{m}$ und $V < 250\text{m}^3$
- In kleinen Räumen: hintere Plätze ausreichend versorgt
- Gruppen, Projekte



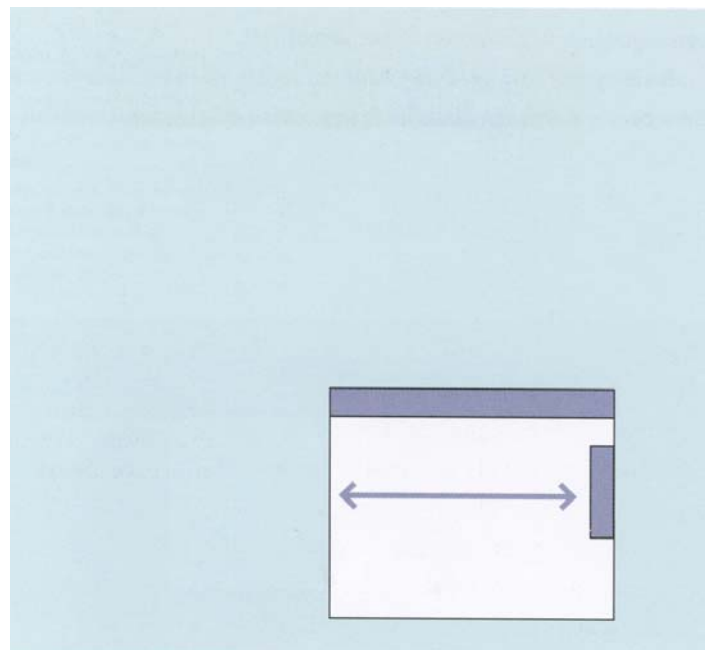
Vorschläge Broschüre „Lärm von Bildungsstätten.“

- Höchstabsorbierende Ausstattung der Deckenfläche
- Verzicht auf den klassischen Deckenreflektor
 - Kein Reflektor bei $L < 9\text{m}$ und $V < 250\text{m}^3$
 - Reflektor bei $L \geq 9\text{m}$ und $V \geq 250\text{m}^3$
- Konkrete Planung: unbedingt Akustik-Ing.-Büro



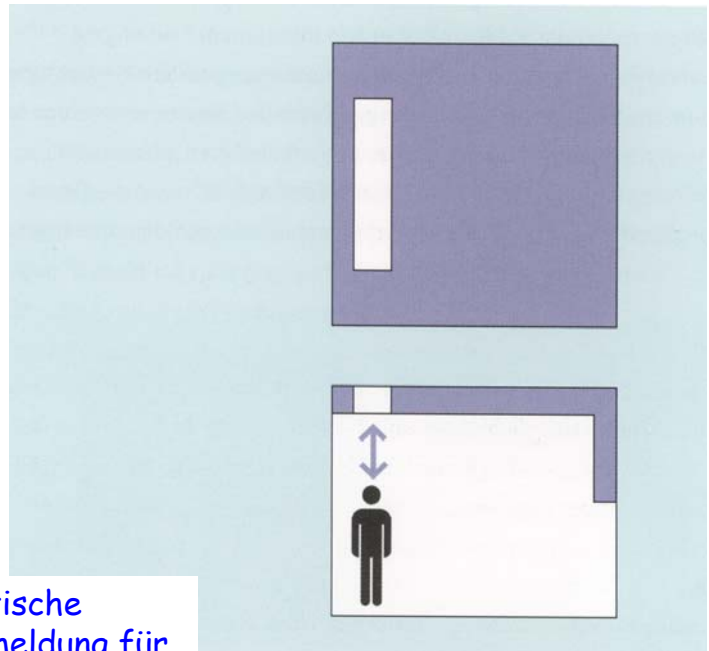
Vorschläge Broschüre „Lärm von Bildungsstätten.“

- Höchstabsorbierende Ausstattung der Deckenfläche
- Verzicht auf den klassischen Deckenreflektor
 - Kein Reflektor bei $L < 9\text{m}$ und $V < 250\text{m}^3$
 - Reflektor bei $L \geq 9\text{m}$ und $V \geq 250\text{m}^3$
- Massnahmen gegen Flatterecho



Vorschläge Broschüre „Lärm von Bildungsstätten.“

- Höchstabsorbierende Ausstattung der Deckenfläche
- Verzicht auf den klassischen Deckenreflektor
 - Kein Reflektor bei $L < 9\text{m}$ und $V < 250\text{m}^3$
 - Reflektor bei $L \geq 9\text{m}$ und $V \geq 250\text{m}^3$
- Massnahmen gegen Flatterecho
- **Ev. Reflektor über Sprecherposition**



- Akustische Rückmeldung für Lehrpersonen bei Frontalunterricht

Klassenzimmer

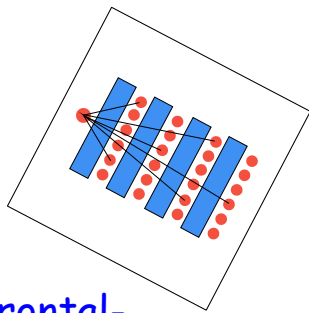
Störschall

Nachhall

Raumform

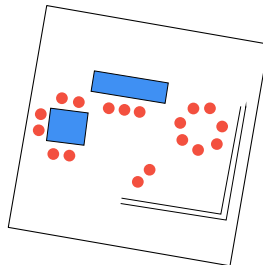
Neue Lernformen

Lern- und Lehrformen

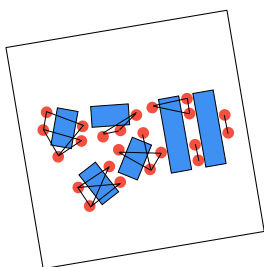


Frontal-
unterricht

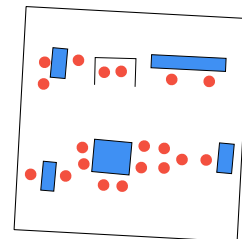
Projekt-
unterricht



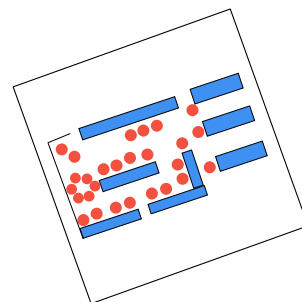
Gruppen- und
Partnerarbeit



Werkstatt-
unterricht



Wochenplanarbeit



Lern- und Lehrformen

■ Offener Unterricht

- Arbeit von Gruppen im gleichen Klassenzimmer
- Offene Klassenzimmer
- ...
- Vorschläge Arbeitsgruppe EAA TC-RBA WG3

Diplomarbeit: [Schulraumakustik im offenen Unterricht](#)

Myrtha Grieder,
Pädagogische Hochschule, FHNW, Aarau
Betreuer: Markus Cslovjecsek

Schule Birmenstorf AG

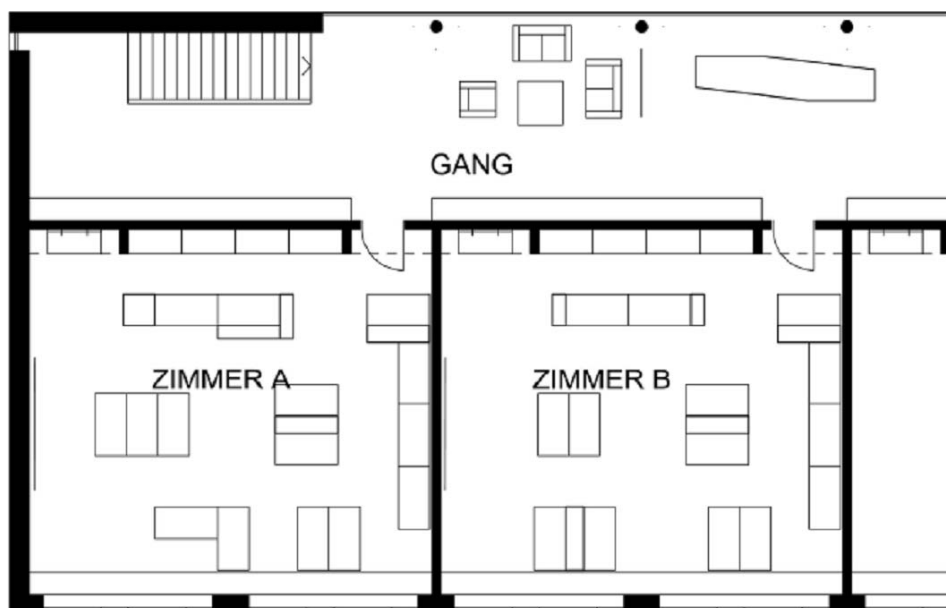




Bild: Myrta Grieder



Bild: Myrta Grieder



Bild: Myrta Grieder



Bild: Myrta Grieder



Bild: Myrta Grieder



Bild: Myrta Grieder



Bild: Myrta Grieder

Offener Unterricht

Pädagogischer Nutzen

versus

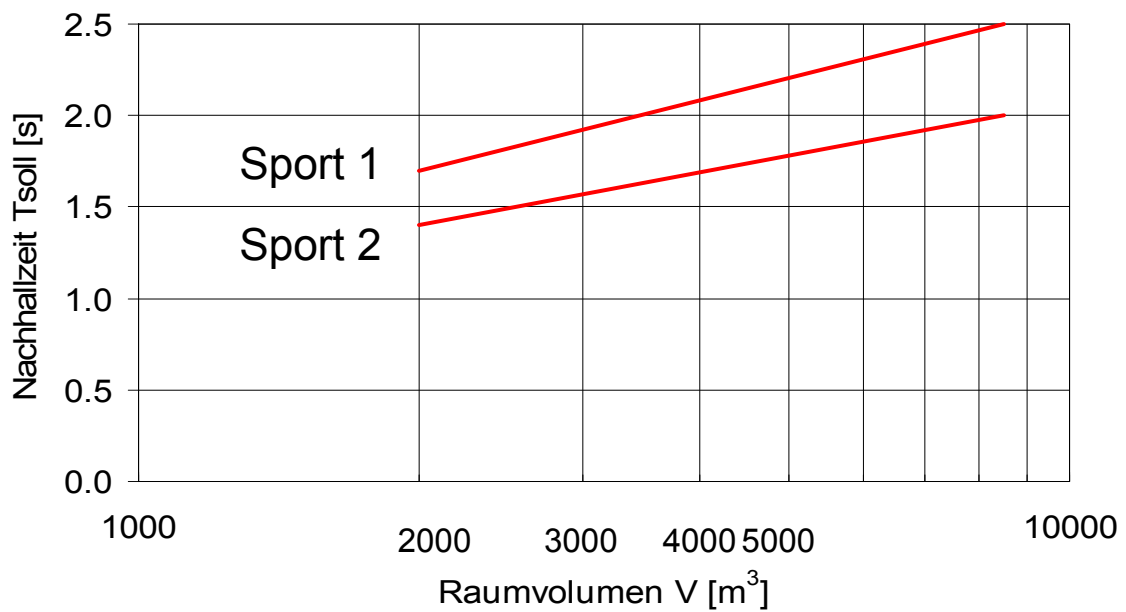
akustische Beeinträchtigungen?

- weitere Forschungsarbeit notwendig
- Zusammenarbeit Pädagogik und Akustik

K. Eggenschwiler, M. Cslovjcek,
Acoustical Requirements of Classrooms and new Concepts of Teaching
Acoustics '08, Paris, June 29 – July 4

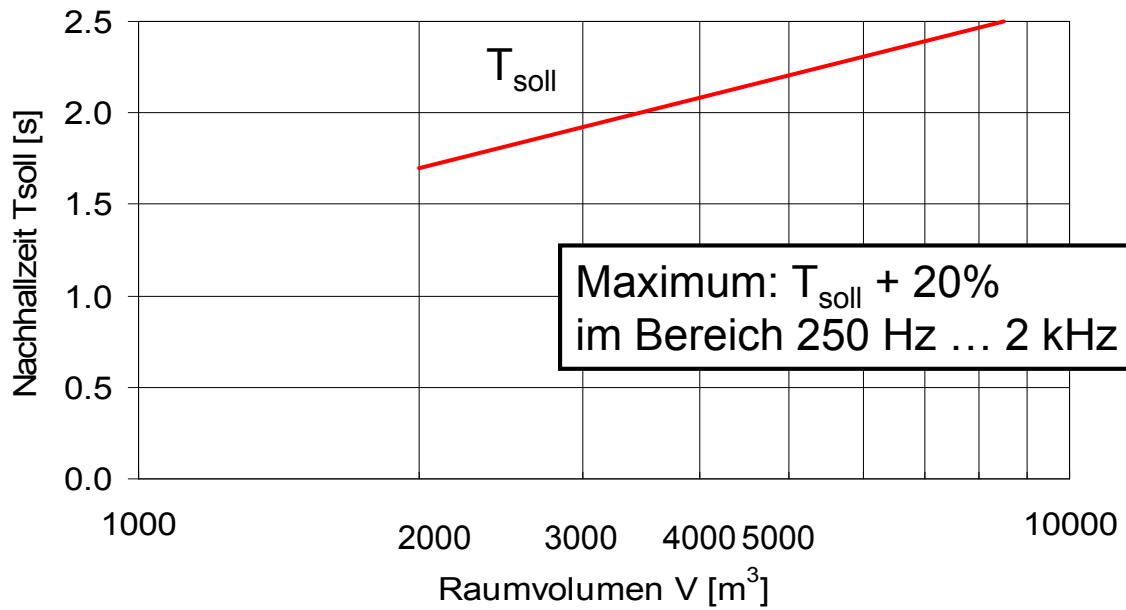
Sporthallen

Sollwert der Nachhallzeit Sporthallen DIN 18041

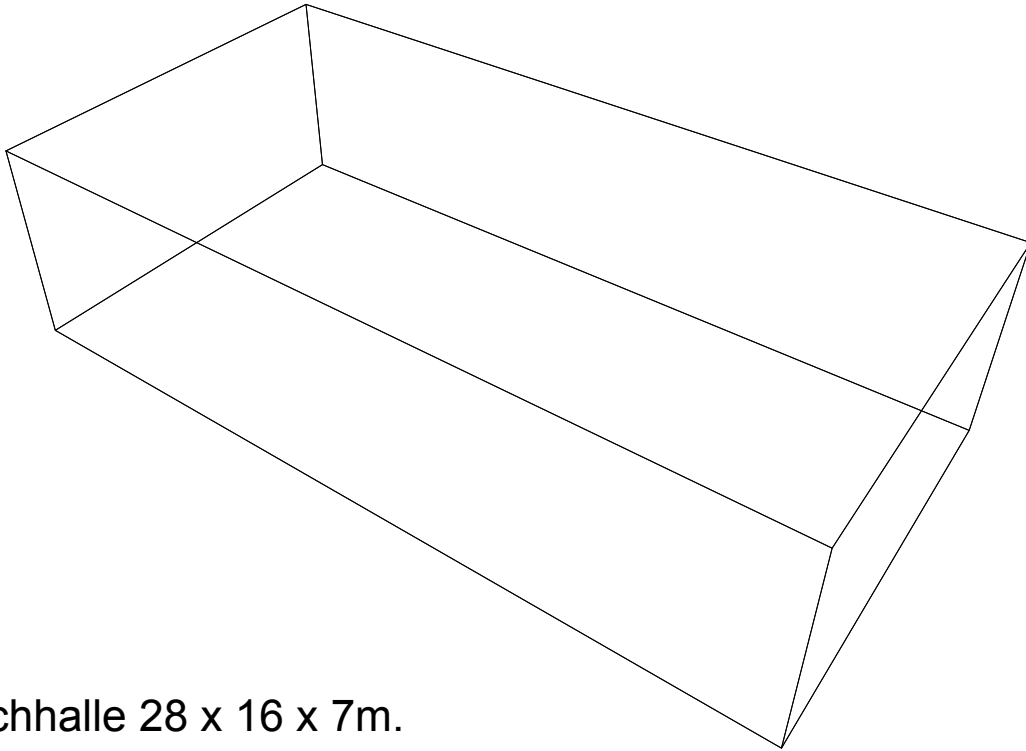


Sollwert der Nachhallzeit

Sporthallen SIA 181



Beispiel: Sporthalle 24 x 12 x 6.3 m



Einfachhalle 28 x 16 x 7m.

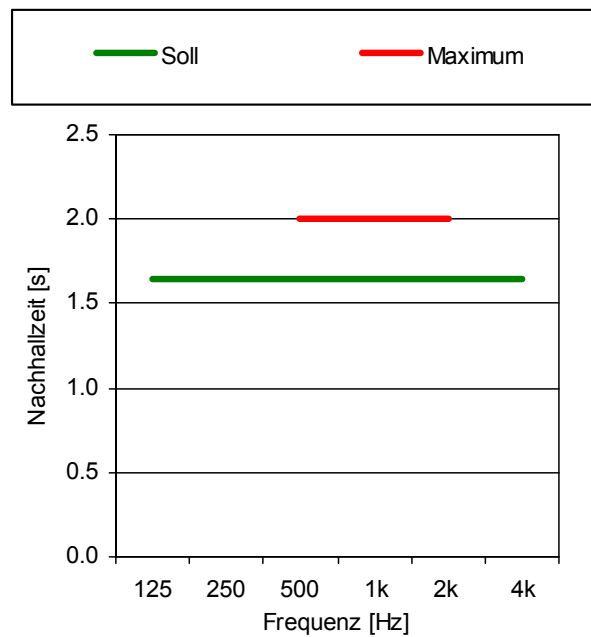
Anforderungen

Volumen = 1800 m³

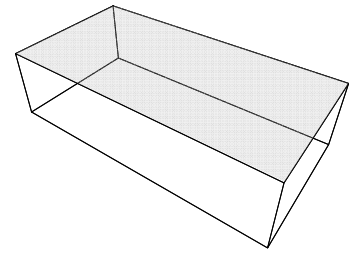
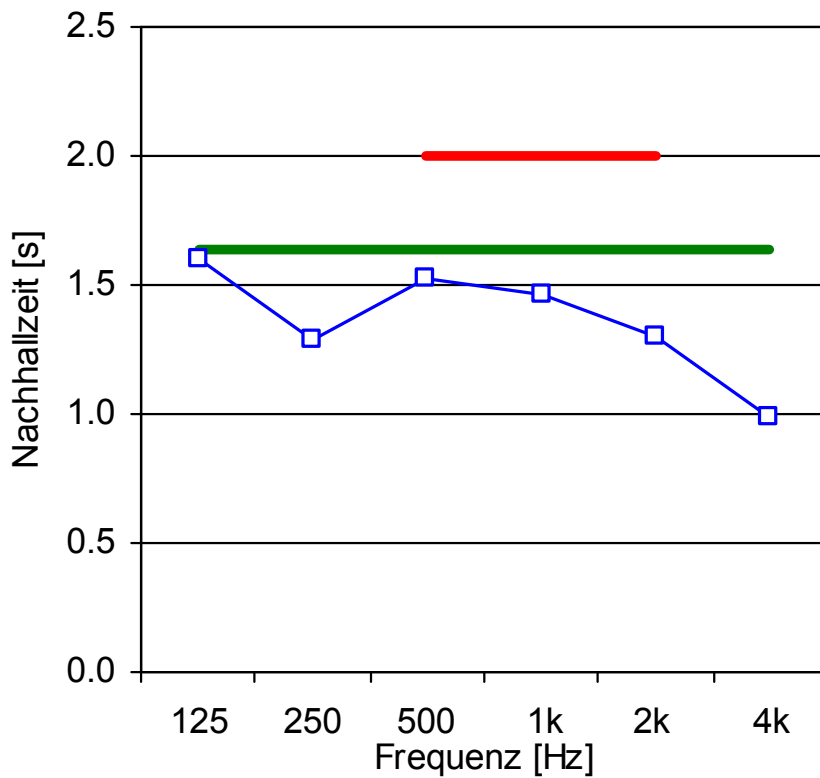
(T_{soll} = 1.6 s)

(T_{max} = 2 s)

SIA: ab 2000 m³

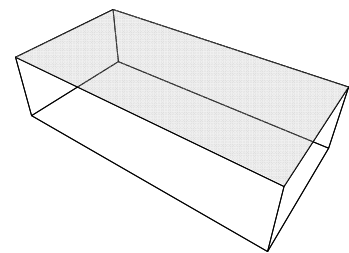
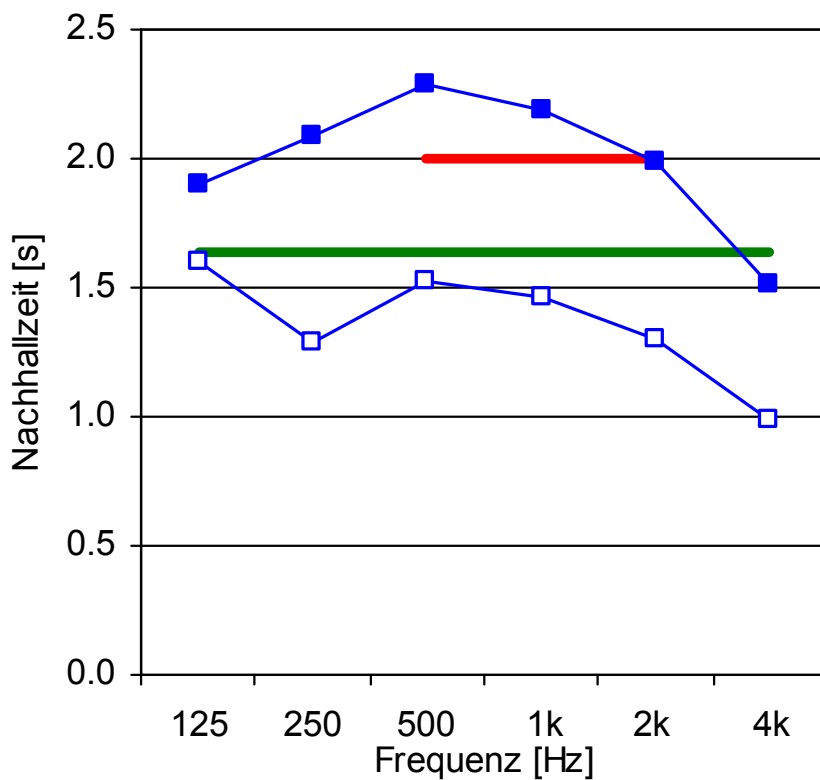


Decke schallabsorbierend,
Mitteltonbereich; $\alpha_s \approx 0.55$



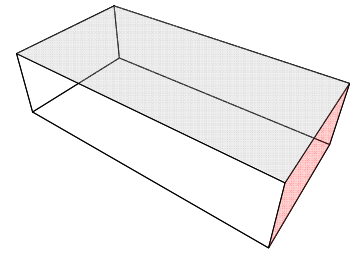
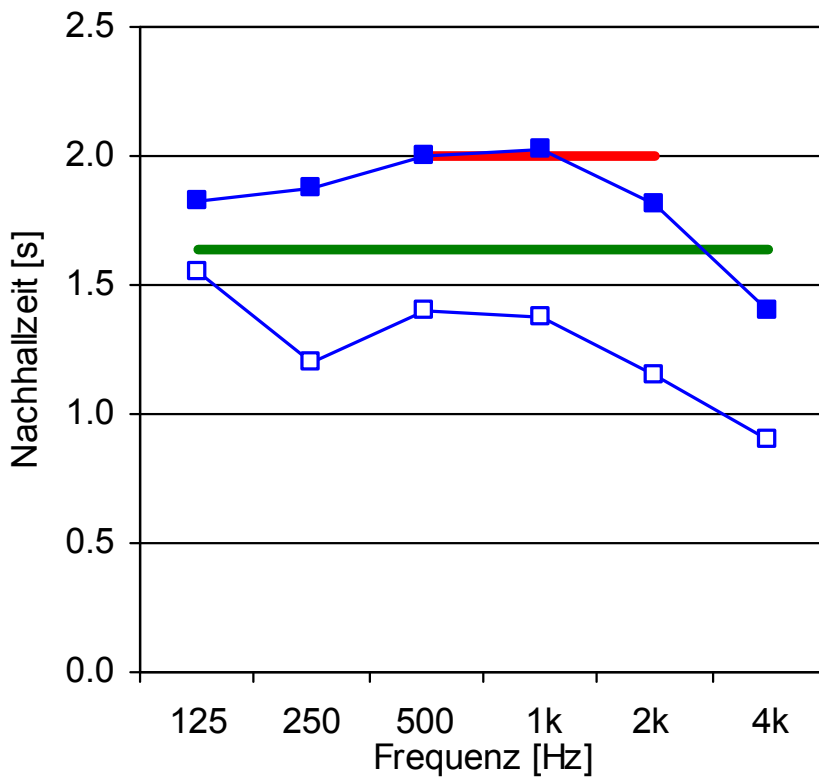
□ Berechnung
mit Formel
von Sabine

Decke schallabsorbierend,
Mitteltonbereich; $\alpha_s \approx 0.55$



■ Berechnung
mit Simulation
(≅ Messung)
□ Berechnung
mit Formel
von Sabine

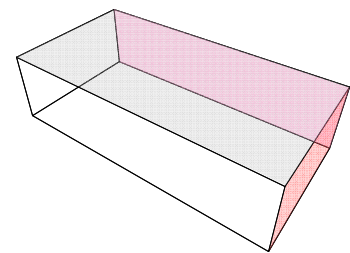
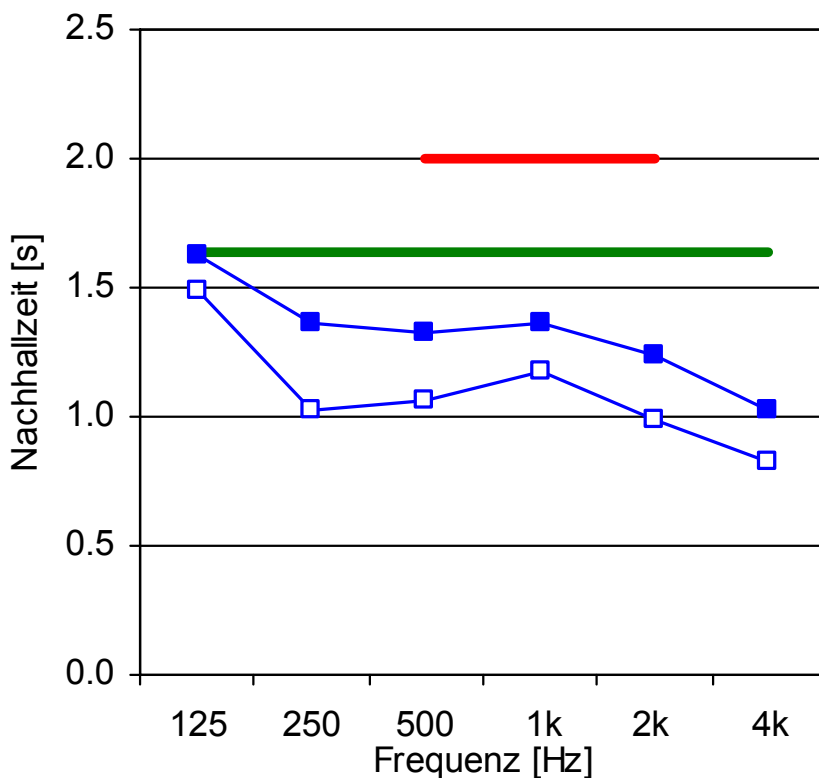
Decke + eine Stirnwand
schallabsorbierend



■ Berechnung mit Simulation

□ Berechnung mit Formel von Sabine

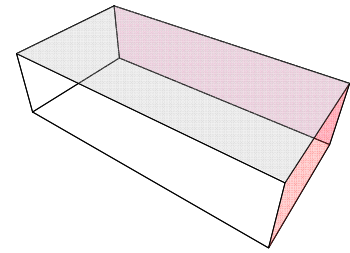
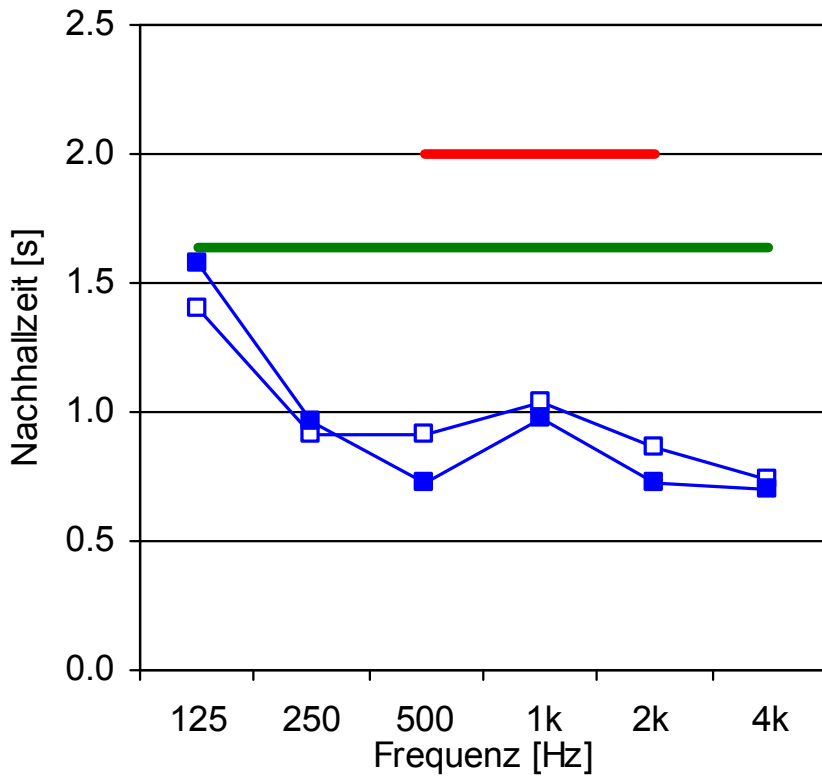
Decke + eine Seitenwand
schallabsorbierend



■ Berechnung mit Simulation

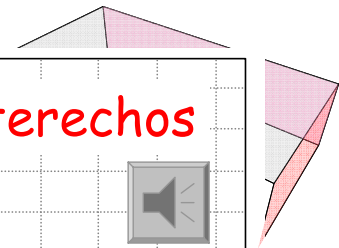
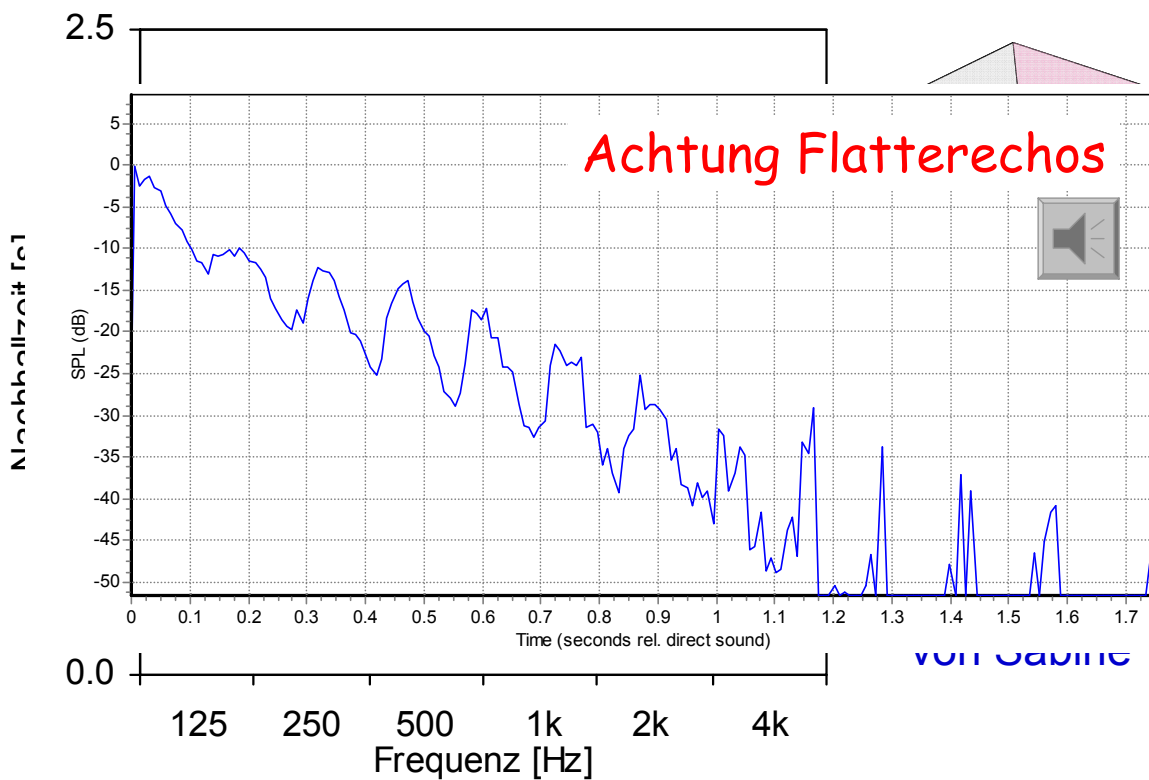
□ Berechnung mit Formel von Sabine

Decke + eine Stirnwand + eine Seitenwand
schallabsorbierend



- Berechnung mit Simulation
- Berechnung mit Formel von Sabine

Decke + eine Seitenwand
schallabsorbierend

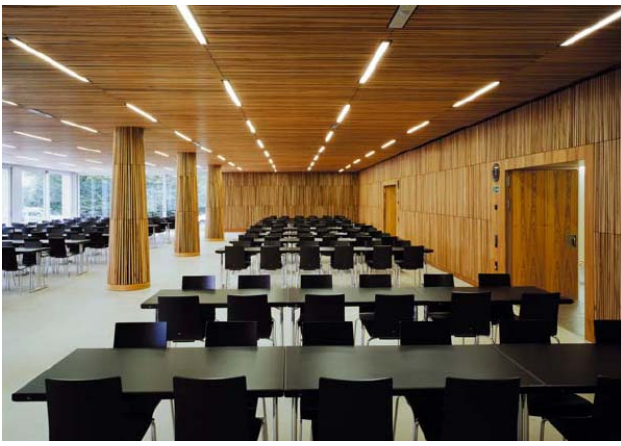


Achtung Flatterechos

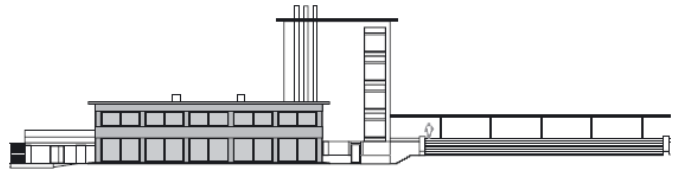
Mensa



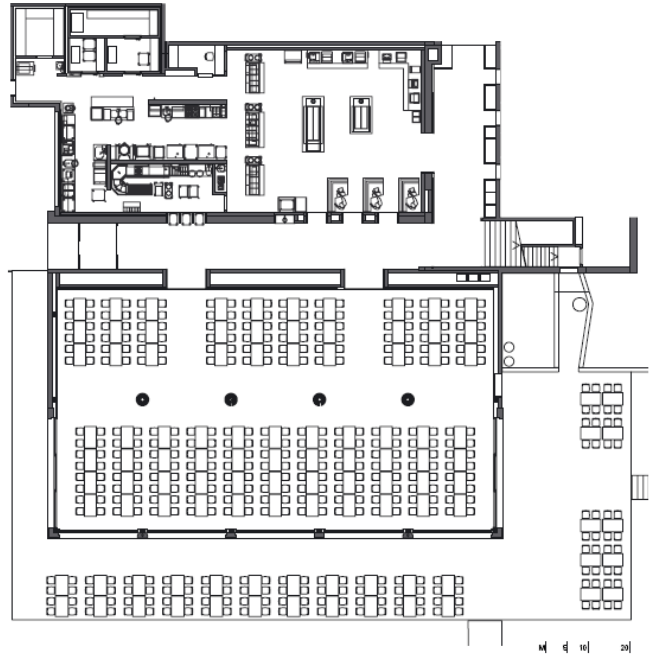
Mensa
Kantonsschule Zürcher
Oberland, Wetzikon



Fassade

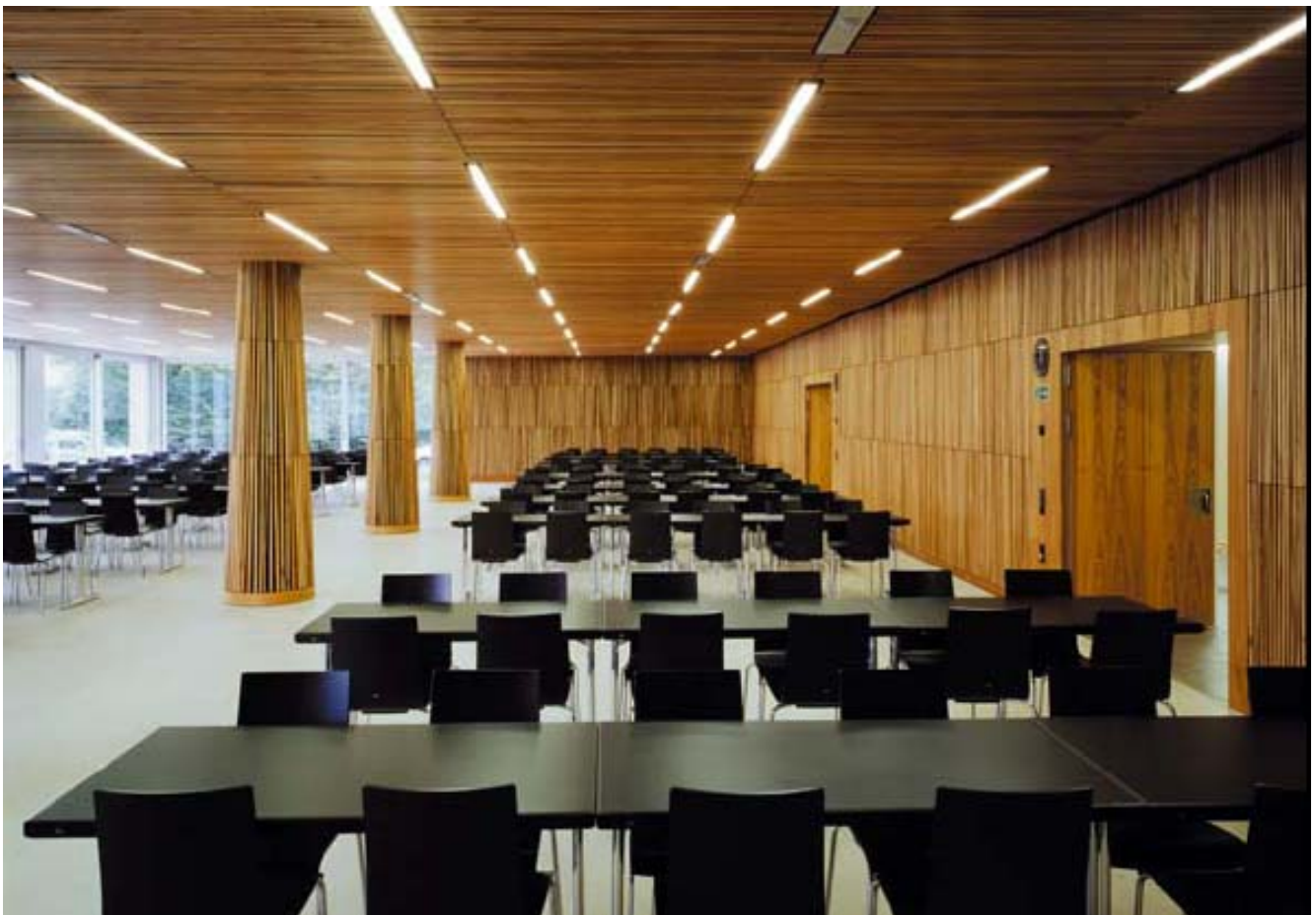


Mensa, Preflow, Küche



Leuppi & Schafroth Architekten AG, Zürich
 Akustik: Ramser Bauphysik, Wetzikon

Bildquelle:
 Kantonsschule Zürcher Oberland, Wetzikon. Erweiterung
 der Mensa. Bauwerksdokumentation.
 Hochbauamt Kt. Zürich



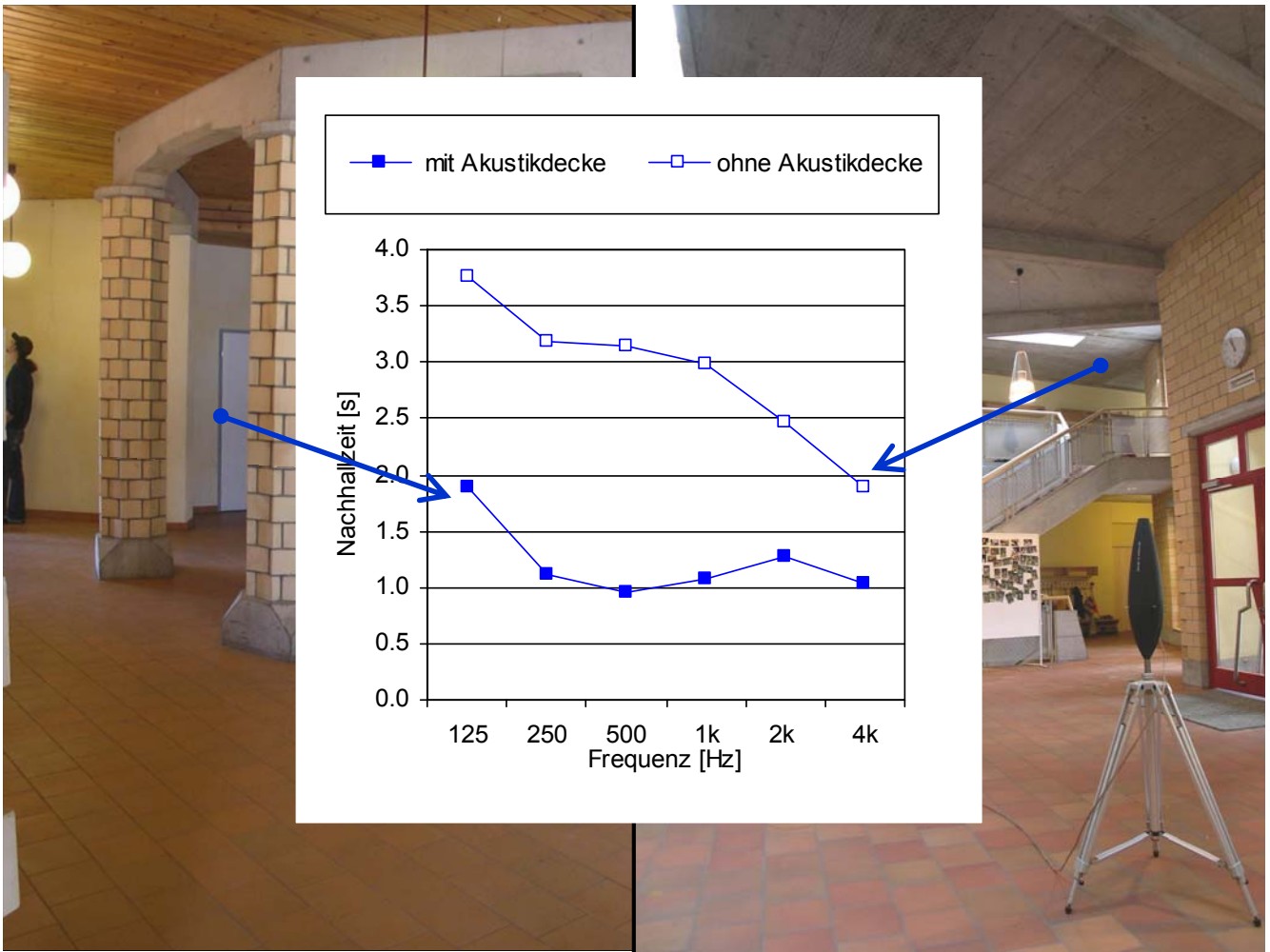
Kindergarten, Kinderhort



Foyer, Gang







Lehrerzimmer, Schulsekretariat



Aula, Mehrzwecksaal

Anforderungen diverse Räume:

Mensa, Foyer, Büro etc.

➤ Einfache Tabelle aus DIN 18041

Mehrzwecksaal, Aula, Musikräume

➤ DIN 18041, Fachbücher

➤ Beratung dipl. Akustiker (-in) SGA

Inhalt

- Einleitung; Pädagogik und Akustik
- Räume der Schule
- Beispiele
 - Klassenzimmer
 - Sporthalle
 - Mensa
 - Foyer/Gang
 - Aula/Saal
 - ...
- **Ausblick**



Bild: RSSZO



Aussenraum



Bild: Zürcher Landzeitung
Ton: www.hoerspielbox.de



Bild: RSSZO

Ton: www.hoerspielbox.de



Bild: Dreier, Grundschulen planen, bauen, neu gestalten, Arbeitskreis Grundschule e.V., Frankfurt 1999
Ton: www.hoerspielbox.de



Bild: Dreier, Grundschulen planen, bauen, neu gestalten, Arbeitskreis Grundschule e.V., Frankfurt 1999

Dank

- Diplomarbeiten, Pädagogische Hochschule FHNW, Aarau;
 - Prof. Markus Cslovjecssek
 - Simon Baumann
 - Thomas Fischer
 - Myrta Grieder
- Diplomwahlfacharbeit ETH Zürich, Departement Architektur
 - Oliver Offerman
- Praktikant an der Empa, Abteilung Akustik
 - Klaudius Hengst
- Arbeitsgruppe "Raumakustik in Schulzimmern" der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik SGA
- Karl Baschnagel



Materials Science & Technology

Diverse Publikationen
K. Eggenschwiler

www.arch.ethz.ch/eggenschwiler