Planung von Räumen I und Fallbeispiele

Alfred Schmitz

Anselm Goertz

DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung
am 25.Sept.2012 9:00 – 12:15

IFAA - Institut für Akustik & Audiotechnik • E-Mail alfred.schmitz@ifaa-akustik.de • www.ifaa-akustik.de

Architektur mit hohem Glasflächenanteil

Geringe Möblierung

Bürolandschaften

Wohnbereich

Wandelhalle

Stadthalle

Konzertsaal Dortmund

Planungsgrundlagen

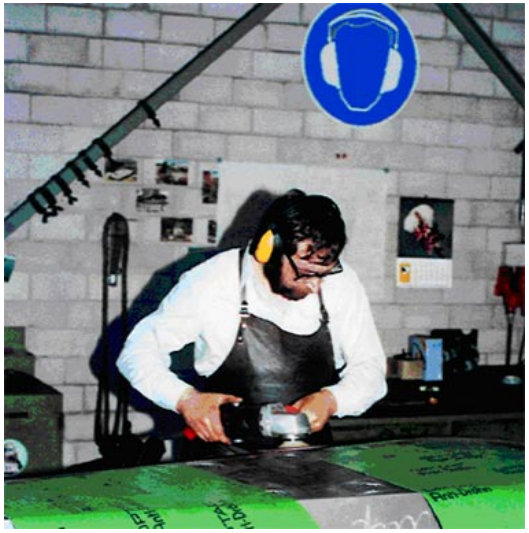
Allgemeine Problemstellung

Lärmreduktion

Allgemeine Problemstellung

Lärmreduktion

- Schutz des Gehörs, EU Richtline, Arbeitsplatzlärm



Allgemeine Problemstellung

Lärmreduktion

- Schutz des Gehörs, EU Richtline, Arbeitsplatzlärm
- Flure und Pausenräume in Schulen / Kita

Allgemeine Problemstellung

Lärmreduktion

- Schutz des Gehörs, EU Richtline, Arbeitsplatzlärm
- Flure und Pausenräume in Schulen / Kita
- Kantinen

Allgemeine Problemstellung

Kommunikation

Allgemeine Problemstellung

Kommunikation

- **Hörsäle und Schulräume**

Allgemeine Problemstellung

Kommunikation

- Hörsäle und Schulräume

Allgemeine Problemstellung

Kommunikation

- **Hörsäle und Schulräume**
- **Besprechungs-räume**

Allgemeine Problemstellung

Kommunikation

- Hörsäle und Schulräume
- Besprechungs-räume
- Theater und Mehrzweckräume

Allgemeine Problemstellung

- **Großraumbüros**

Allgemeine Problemstellung

- **Großraumbüros**
- **Sporthallen**

Allgemeine Problemstellung

- **Großraumbüros**
- **Sporthallen**
- **Funktionsräume (Feuerwehr, Callcenter o.ä.)**

Allgemeine Problemstellung

Lärmreduktion

- Schutz des Gehörs, EU Richtline, Arbeitsplatzlärm
- Flure und Pausenräume in Schulen / Kita
- Kantinen

Kommunikation

- Hörsäle und Schulräume
- Besprechungs-räume
- Theater und Mehrzweckräume

- Großraumbüros
- Sporthallen
- Funktionsräume (Feuerwehr, Callcenter o.ä.)

Planung

- DIN 18041 Mai 2004
  Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen

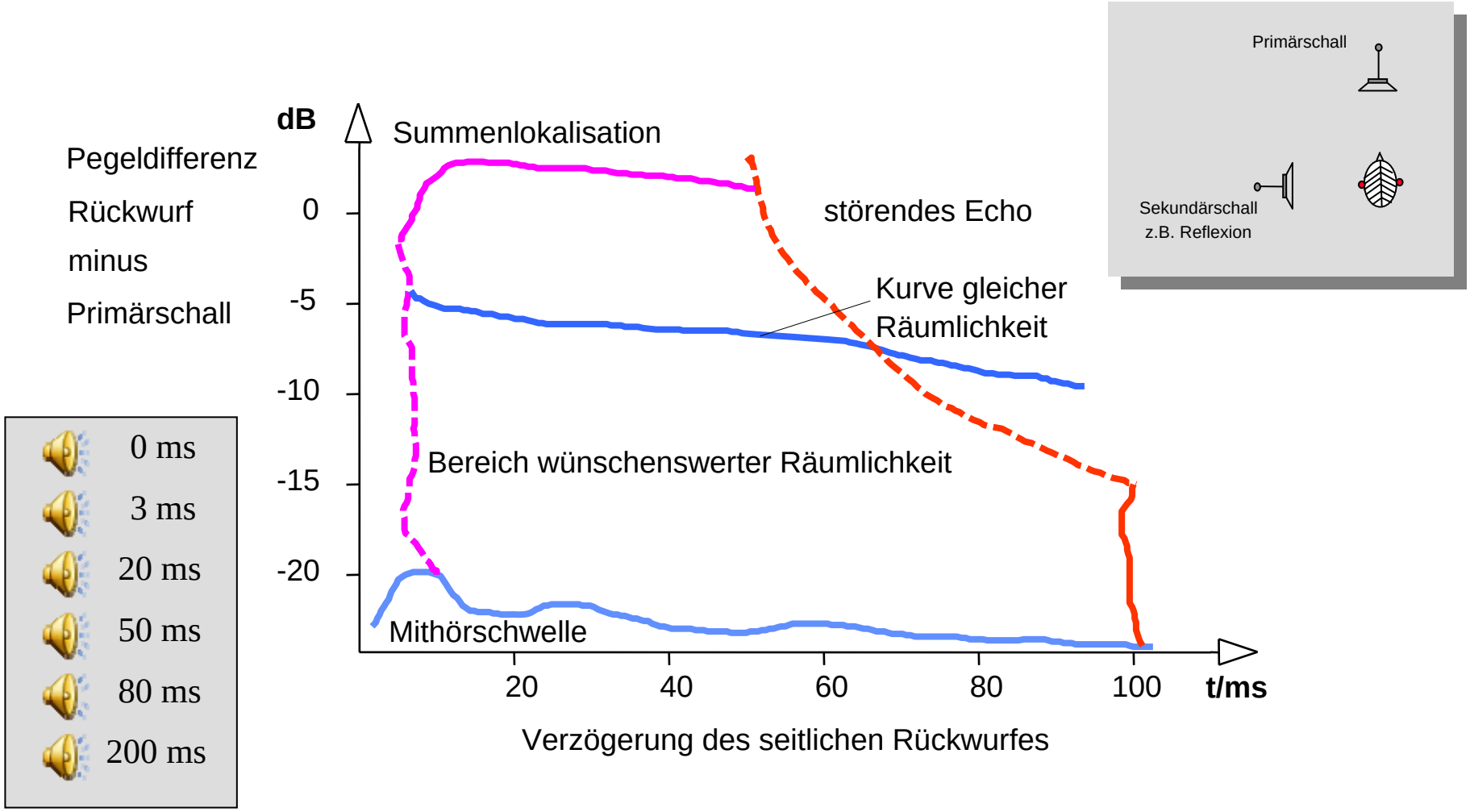
- VDI 2569
  Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro

Messung

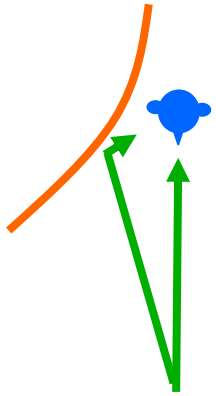
- DIN EN ISO 3382 -1
  Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter

- Entwurf DIN EN ISO 3382 -2
  Acoustics — Measurement of the reverberation time — Part 2: Ordinary rooms

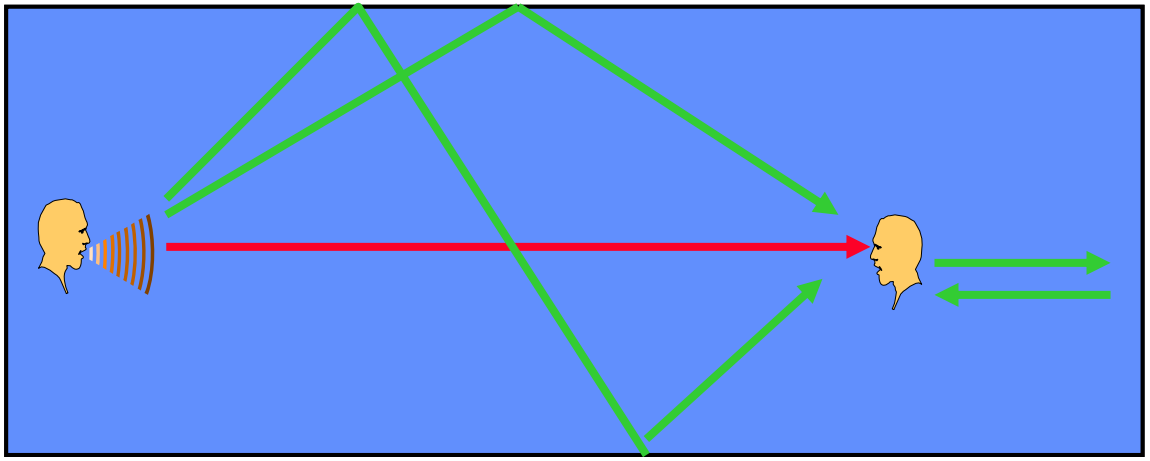
Bereichsdiagramme nach Barron

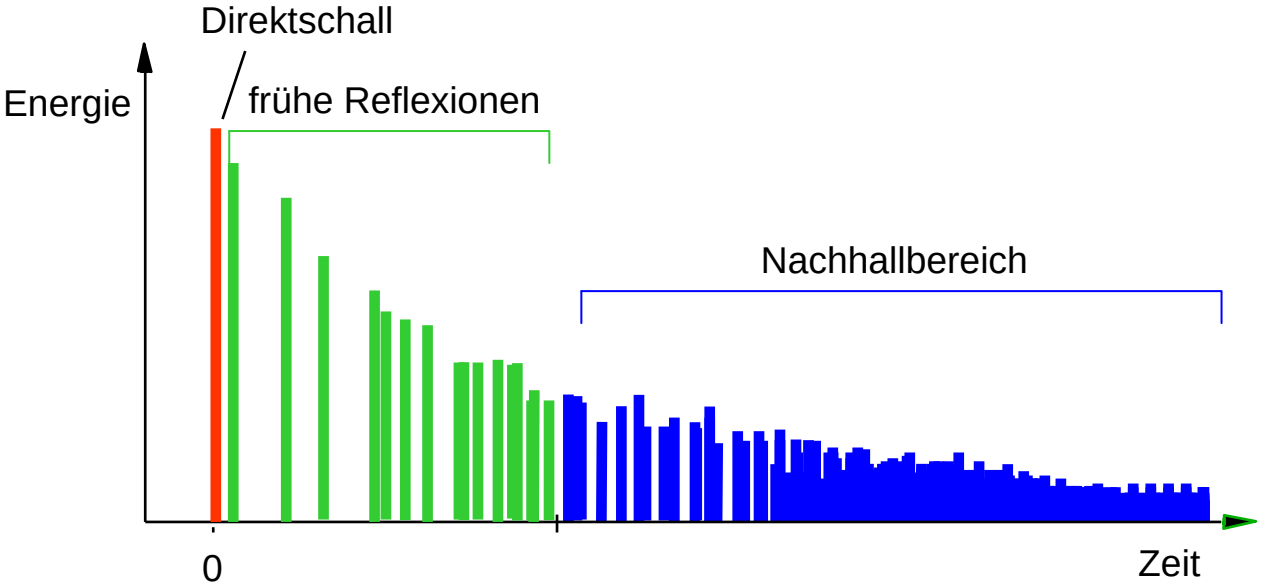


Kölner Philharmonie



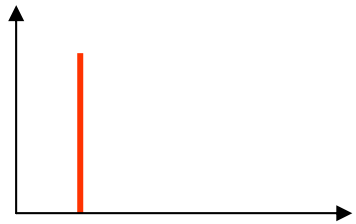
Schallausbreitung im Raum für Impulsanregung



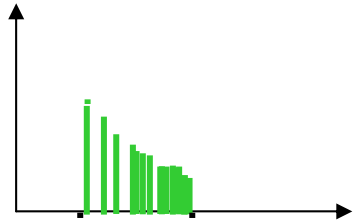


Wirkung der verschiedenen Reflexionen

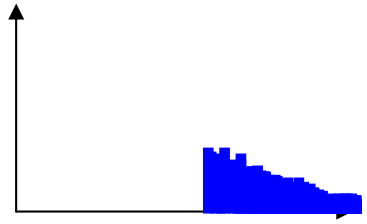
- Direktschall
  - Schalleinfallsrichtung
  - bestimmt Grundpegel
  - meist stark ortsabhängig



- frühen Reflexionen (0- 50ms oder 0-80ms)
  - Unterstützung des Direktschalls hinsichtlich Intensität
  - seitliche Reflexionen (hier wirkt bereits eine) geben Räumlichkeitseindruck
  - „akustischer Fingerabdruck des Raumes“
  - <u>stark ortsabhängig !!!</u>



- Nachhallbereich
  - bestimmt die empfundene Raumgröße („Klangvolumen“)
  - führt zur Verschmelzung von zeitlich strukturierten Signalanteilen
  - Verschlechterung der Deutlichkeit und Sprachverständlichkeit



Hörbeispiele

	Sprache	Musik
T = 0,5 s		
T = 0,8 s		
T = 1 s		
T = 1,5 s		
T = 2 s		
Kölner Dom	T > 7 s	
Straßentunnel	T > 15 s	

Designkriterien und Konstruktionsparameter

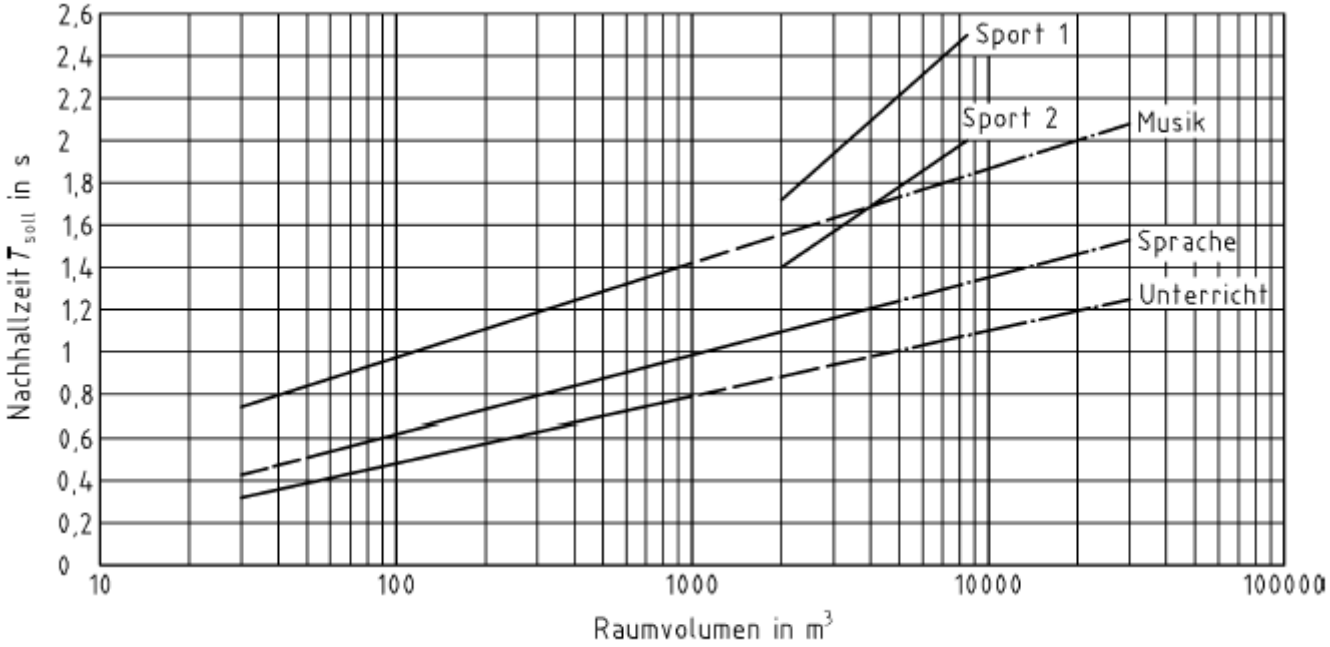
Designkriterien

- Hinreichender Direktschall
- Viele frühe Reflexionen
- Keine Flatterechos
- Angemessener Nachhall
- Hohe Diffusität im Nachhallbereich
- Keine ausgeprägten modalen Strukturen
- Gleichmäßige Akustik auf allen Plätzen
- Geringe Abhängigkeit von der Besetzung
- Niedriges Störgeräusch

Konstruktionsparameter

- Raumvolumen
- Raumform
- Anzahl der Sitze und deren Anordnung
- **Material der Raumbegrenzungsflächen**

DIN 18041



Sollwert T_{soll} der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten im besetzten Zustand

Musik: $T_{soll} = \left(0{,}45 \lg \frac{V}{m^3} + 0{,}07\right) s$

Sprache: $T_{soll} = \left(0{,}37 \lg \frac{V}{m^3} - 0{,}14\right) s$

Unterricht: $T_{soll} = \left(0{,}32 \lg \frac{V}{m^3} - 0{,}17\right) s$

Sport 1: $T_{soll} = \left(1{,}27 \lg \frac{V}{m^3} - 2{,}49\right) s$

Sport 2: $T_{soll} = \left(0{,}95 \lg \frac{V}{m^3} - 1{,}74\right) s$

DIN 18041 Sprache

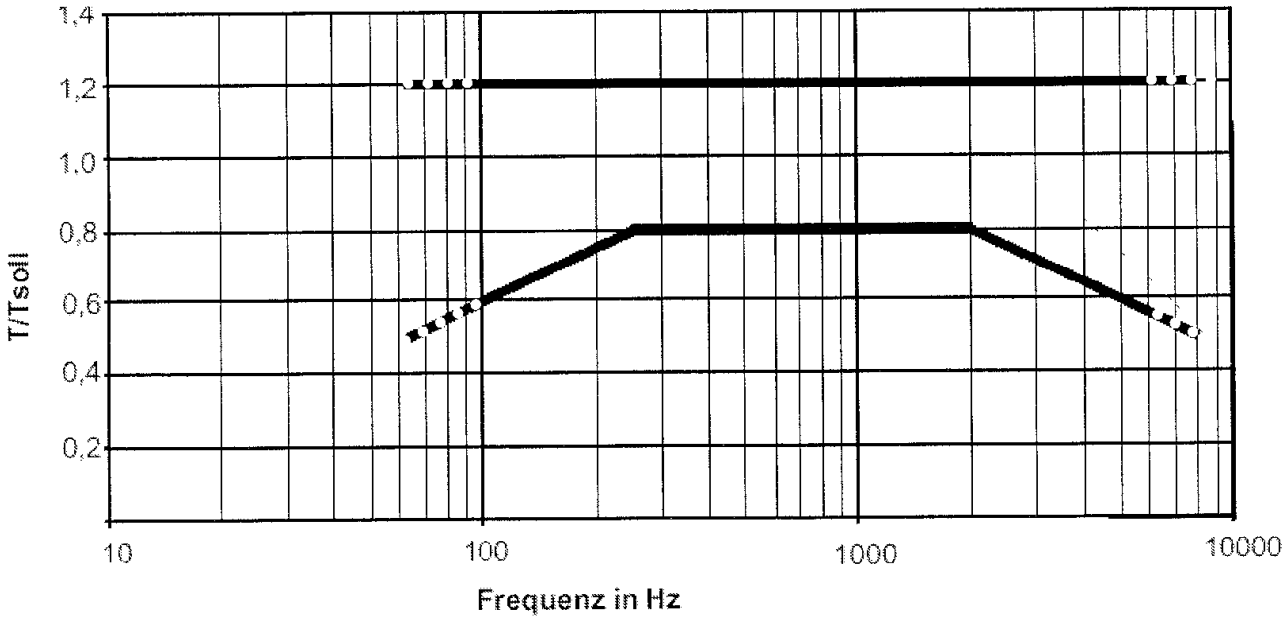


Bild 2 — Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Sprache

Für Hörgeschädigte wird eine optimale Nachhallzeit von $T = 0{,}8\ T_{soll}$ als optimal angesehen!

DIN 18041 Musik

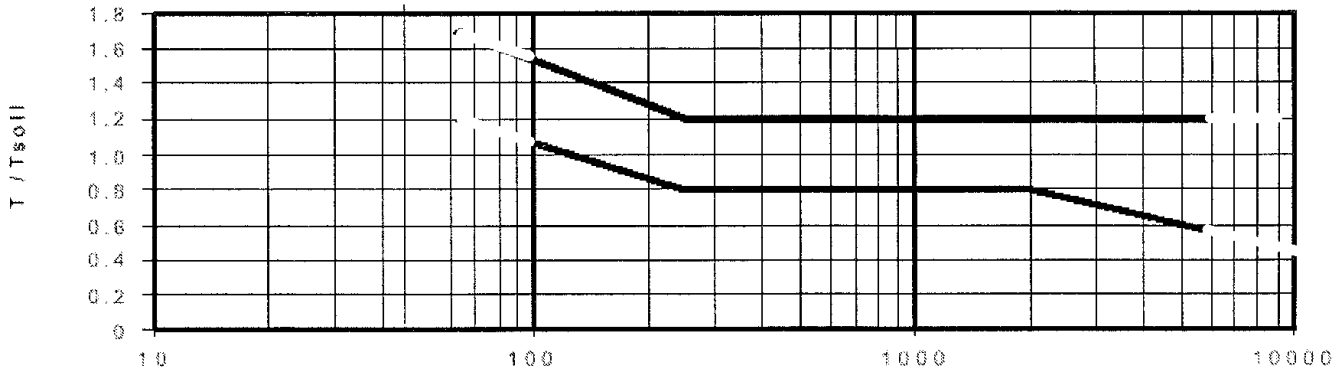


Bild 3 — Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Musik

Tabelle 3 — Zuordnung der Hauptnutzungsarten zu den Richtwertkurven der Soll-Nachhallzeiten T_{soll} nach Bild 1

Spalte Zeile	1	2	3
	Hauptnutzungsart mit Zuordnung der Kurven nach Bild 1		
	Musik	**Sprache**	**Unterricht**
1	Musikdarbietung	Sprachkommunikation; Gespräche	Sprachdarbietung Sprachverständigung (Unterricht)
2	Musikunterrichtsraum mit aktivem Musizieren und Gesang	Musikproberaum in Musikschulen o. ä.	Unterrichtsraum außer für Musik
3	Rats- und Festsaal für Musikdarbietungen	Gerichts- und Ratssaal	Musikunterrichtsraum mit audiovisueller Darbietung
4		Bürgerbüro	Gruppenräume in Kindergärten, Tagesstätten in Altenheimen
5		Lesesaal/Bibliothek	Seminarraum, Interaktionsraum
6		Gemeindesaal Versammlungsraum	Hörsaal
7		Sport- und Schwimmhalle mit Publikum	Raum für Tele-Teaching
8			Tagungsraum, Konferenzraum
9			Darbietungsraum ausschließlich für elektroakustische Nutzung (z. B. kleine Revuetheater)

Übliche Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum mit einem Raumvolumen zwischen etwa 2 000 m³ bis 8 500 m³ sollten im normalen Nutzungsbetrieb oder bei einzügiger Unterrichtsnutzung eine Soll-Nachhallzeit T_{soll} von 1,7 s bis 2,5 s, im mehrzügigen Unterrichtsbetrieb von 1,4 s bis 2,0 s aufweisen.

DIN 18041

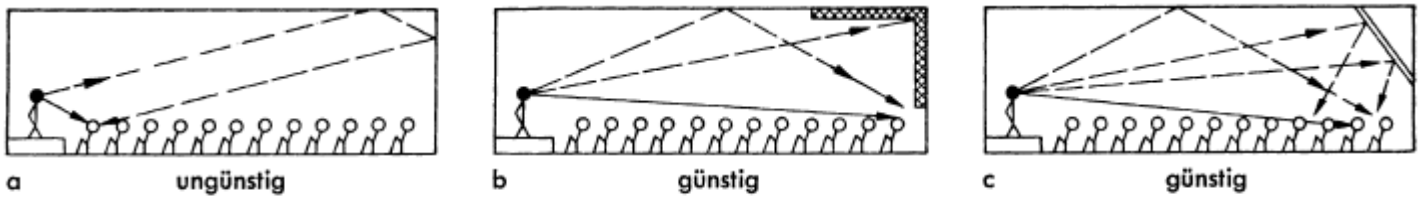


Bild 6 — Rückwandreflexion

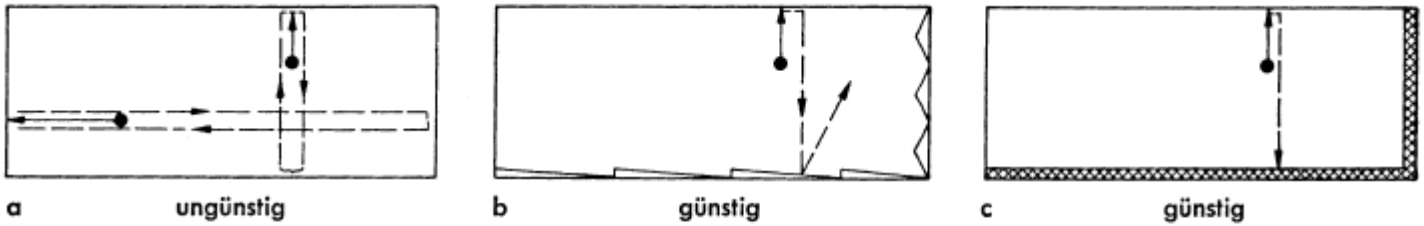
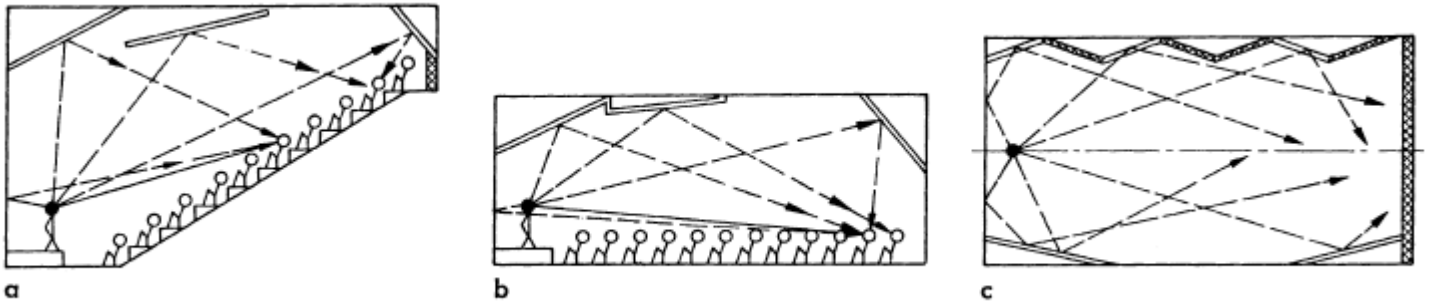


Bild 7 — Parallele Wände

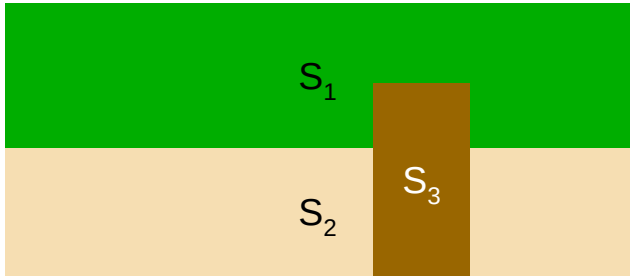


- Sabine´sche Nachhallzeit (nur für diffuses Schallfeld)

$$T = 0{,}163 \frac{V}{\sum S_i \alpha_i} = 0{,}163 \frac{V}{A}$$

V = Volumen
S_i = Teilflächen
α_i = Absorptionsgrad der Teilflächen
A = Äquivalente Absorptionsfläche

- Äquivalente Absorptionsfläche



=

S= 105
α = 1

S_1 = 100 m² α_1 = 0,9
S_2 = 100 m² α_2 = 0,1
S_3 = 10 m² α_3 = 0,5

A = 105 m²

Beispielrechnung

$$T = 0{,}163 \cdot \frac{V}{S \cdot \alpha} = 0{,}163 \cdot \frac{V}{A}$$

Typischer Klassenraum

V = 180 m3

S_{Decke} = 65 m²

T_{soll} = 0,55 s (± 20%) – für besetzen Zustand

$$T = 0{,}163 \frac{s}{m} \cdot \frac{180 m^3}{65 m^2 \cdot 0{,}65} \approx 0{,}7 s$$

Standard-Akustikdecke

$$T = 0{,}163 \frac{s}{m} \cdot \frac{180 m^3}{65 m^2 \cdot 0{,}8} \approx 0{,}56 s$$

höherwertige Akustikdecke

Rechnung unbesetzt

Klassenraum mit “Einrichtung”

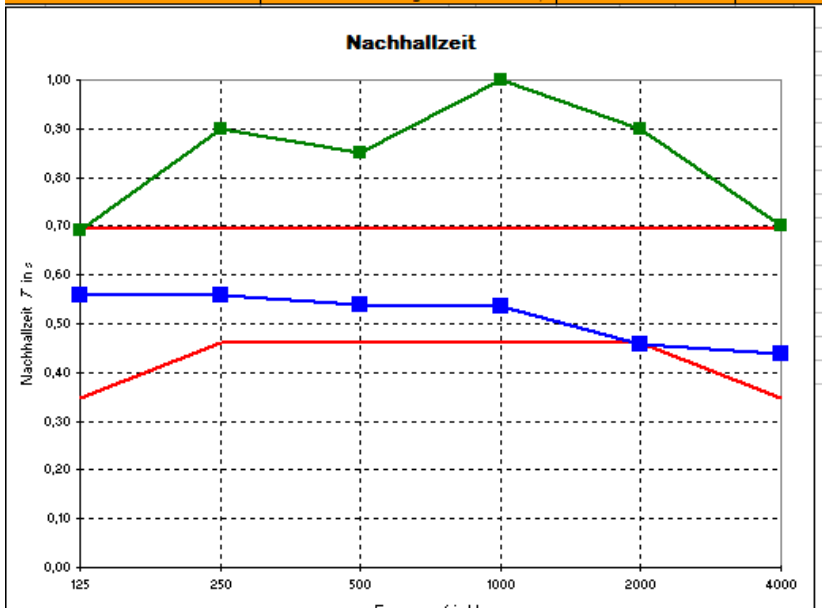
Berechnungen mit Excel

Nr.	Beschreibung	Typenbezeichnug	ein/aus	Fläche [m²]	Schallabsorptionsgrad (Sabine) 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	äquiv. Absorptionsfläche 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1.	Gemessene Nachhallzeit				0,69	0,90	0,85	1,00	0,90	0,70	51,5	39,5	41,8	35,5	39,5	50,8
2.											0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3.	Decke		x	60,0	0,20	0,40	0,40	0,50	0,60	0,40	12,0	24,0	24,0	30,0	36,0	24,0
4.											0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Luftabsorption im Raumvolumen				0,00E+0	7,50E-5	2,50E-4	7,50E-4	2,50E-3	7,50E-3	-	0,1	0,2	0,7	2,2	6,5
											12,0	24,1	24,2	30,7	38,2	30,5

Raumhöhe	3,80 m
Raumvolumen	218,00 m³

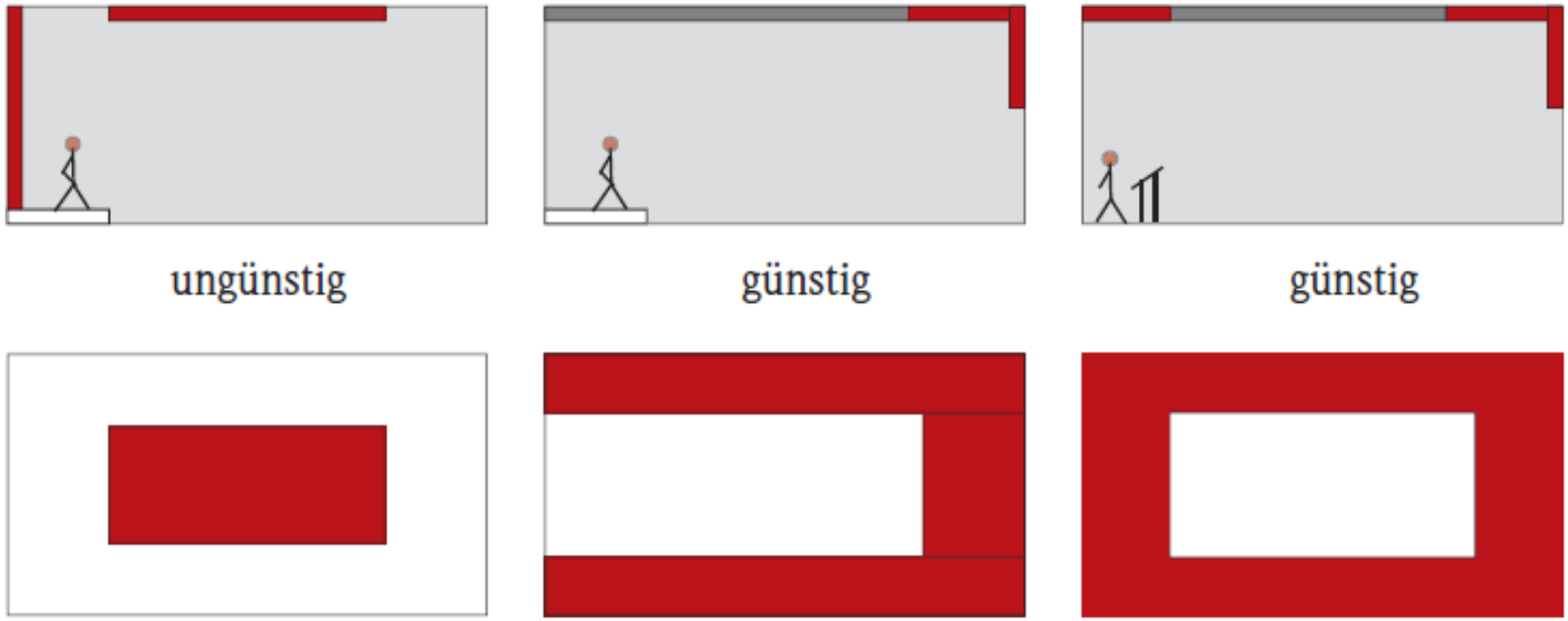
günstige obere Nachhallzeitgrenze für mittlere Frequenzen	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
rechnerische mittlere Nachhallzeit gem. Sabine $T_{N,m}$ = 0,163*V/Ages = 0,51 sek.	0,56	0,56	0,54	0,54	0,46	0,44
günstige untere Nachhallzeitgrenze für Sprache	0,35	0,46	0,46	0,46	0,46	0,35

Oberfläche ges. 60,0 erf. zus. Abs-fläche:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

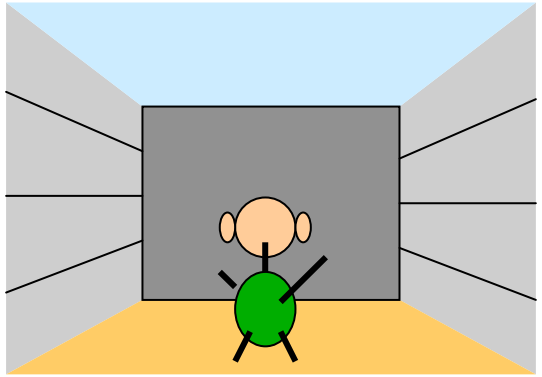


Frühe Reflexionen I

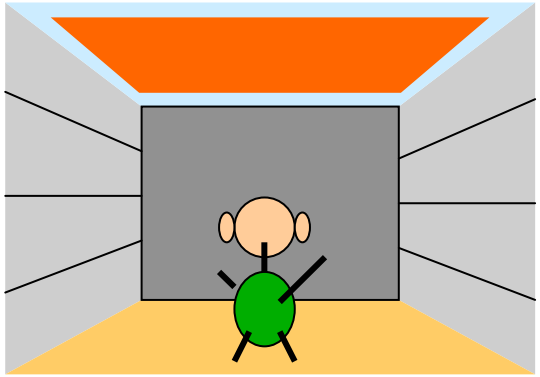
- Günstige und ungünstige Absorberanordnung in kleinen und mittelgroßen Räumen nach **DIN 18041**



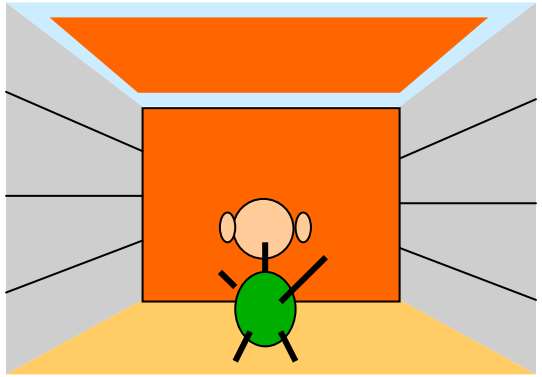
Hörbeispiel



T = 1,1 s



T = 0,7 s

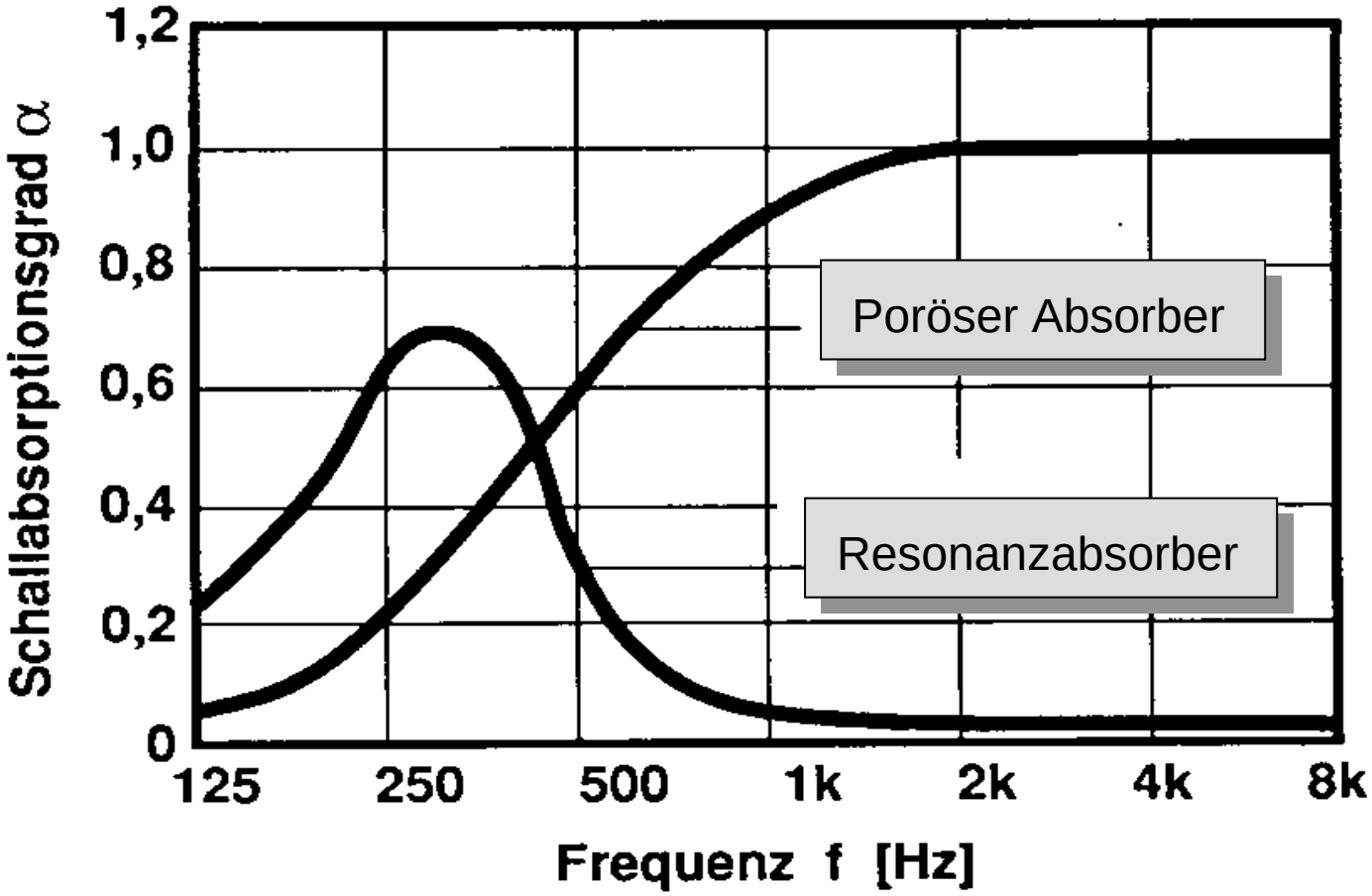


T = 0,5 s

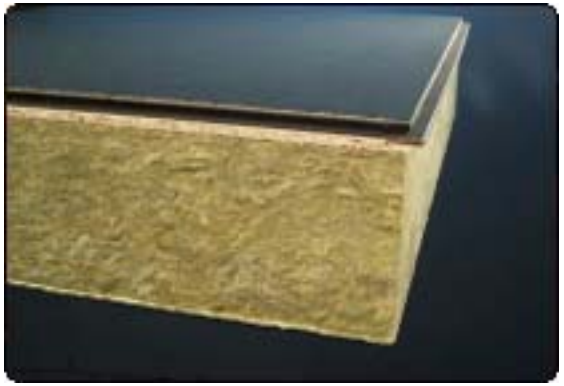
Planungsgrundlagen

Absorber

Prinzipielle Absorptionsverläufe

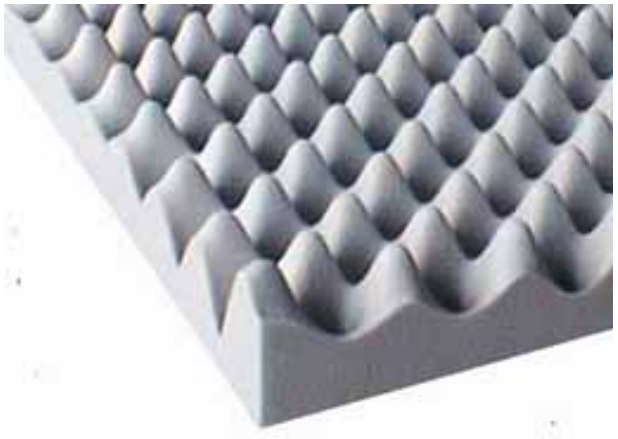


Beispiele poröser Absorber

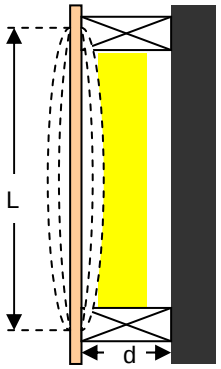


Steinwolle für raum- und bauakustische Zwecke

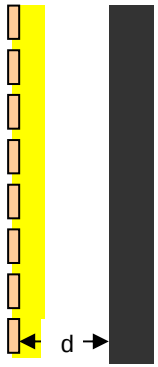
Noppenschaumstoff zur Auskleidung von Raumbereichen



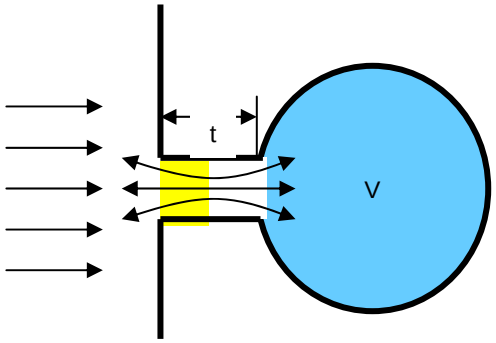
Resonanzabsorber



- **Plattenresonator**
  - Luftschicht hinter Platte wirkt als Feder
  - schwingende Platte wirkt als Masse
  - eingelegtes Dämmmaterial bewirkt die Resonanzbedämpfung

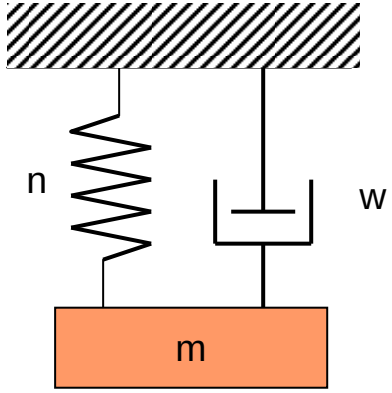


- **Loch- / Schlitzabsorber**
  - Luftschicht hinter Platte wirkt als Feder
  - Luft in den Öffnungen wirkt als Masse
  - eingelegtes Dämmmaterial oder Hinterlegung der Öffnungen mit einem Vlies bewirkt die Resonanzbedämpfung

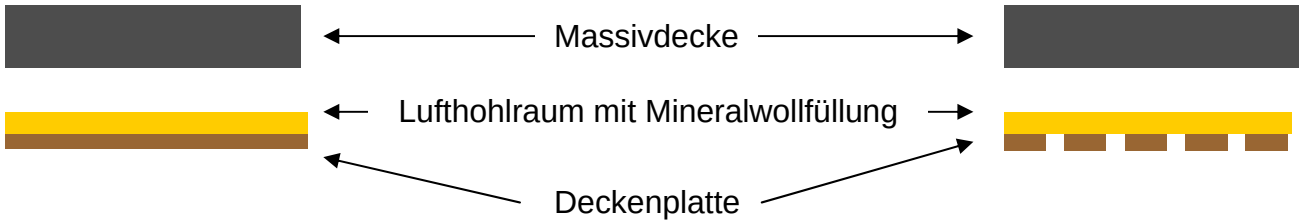


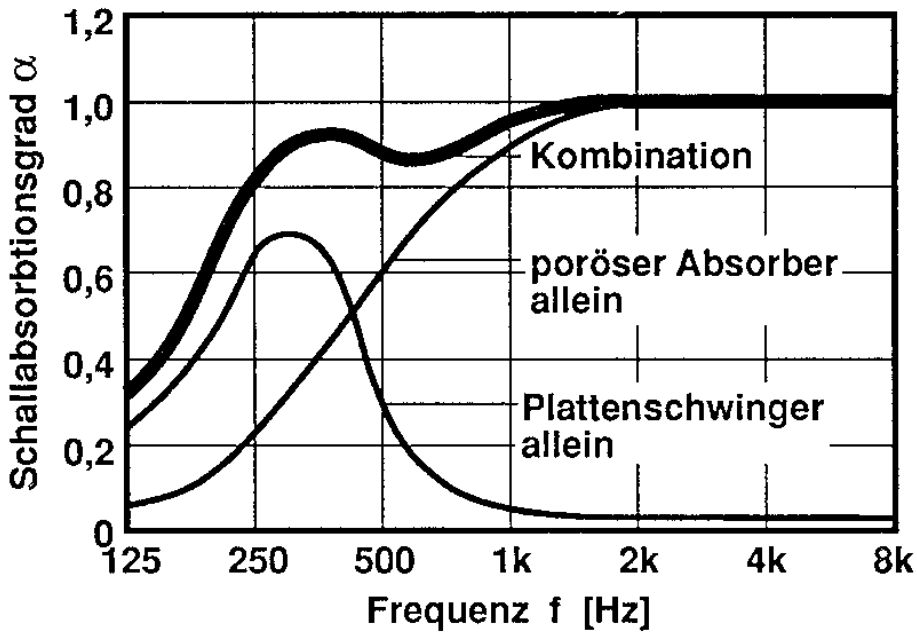
- **Helmholtz-Resonator**
  - Luft im Volumen wirkt als Feder
  - Luft in der Halsöffnung wirkt als Masse
  - Dämmmaterial oder Vlies im Resonator-Halsbereich wirkt als Resonanzdämpfung

Ersatzmodell



Kombinierte Absorber

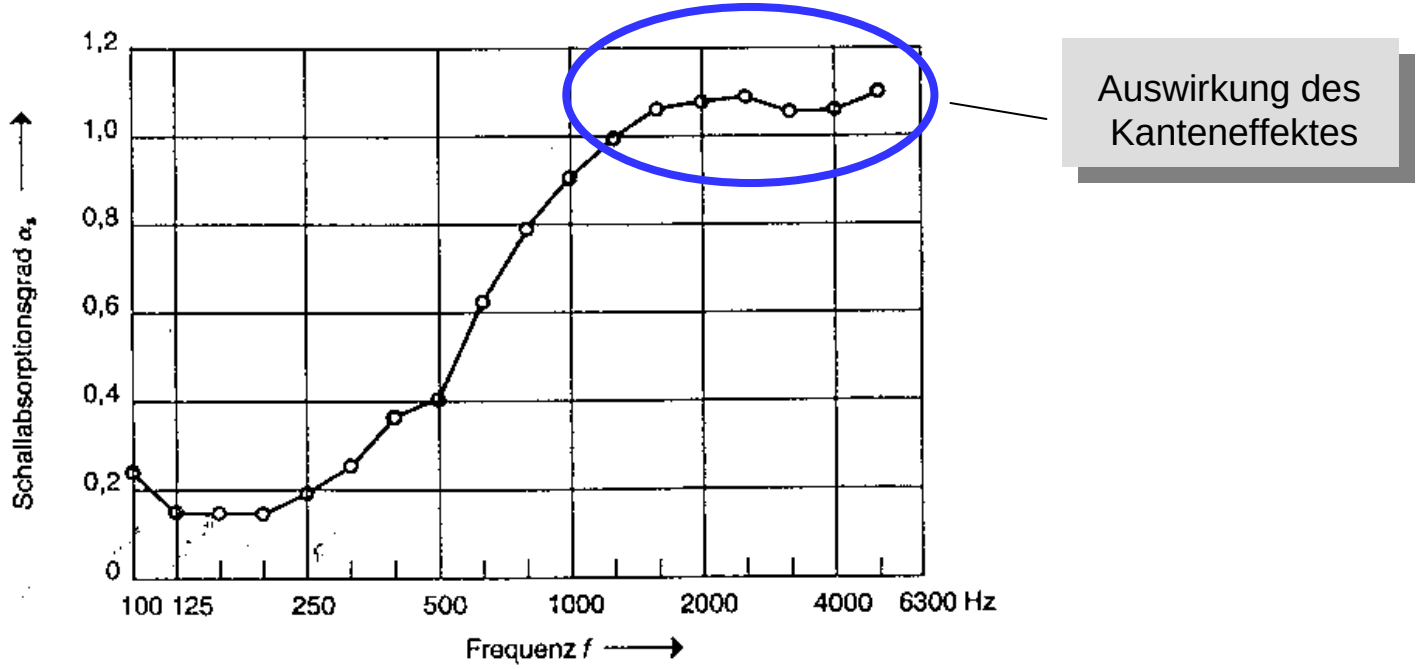




Die meisten Akustikdecken sind kombinierte Absorber

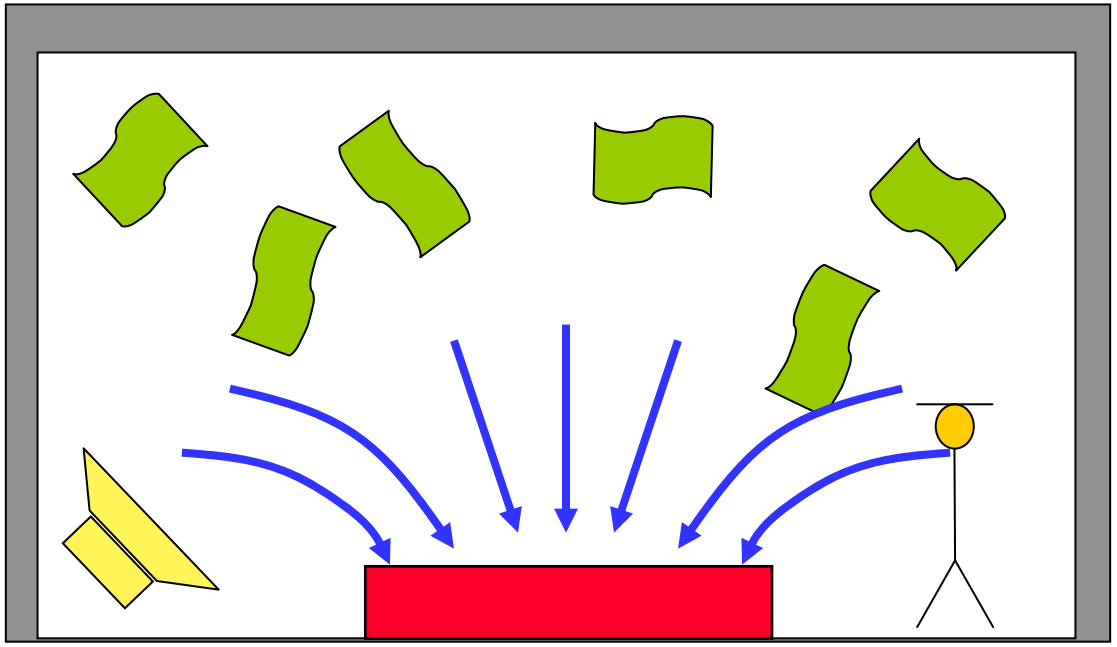
Konsequenzen des Kanteneffektes

- tritt bei allen „räumlich begrenzten“ Absorbern auf
- Absorptionsgrad ist von der Messfläche abhängig !!
- bei hoch absorbierenden Materialien kann ein Absorptionsgrad $\alpha_s > 1$ gemessen werden
- Absorptionsgrade der in Räumen verbauten Materialien können von denen im Hallraum ermittelten abweichen → bei der Planung berücksichtigen



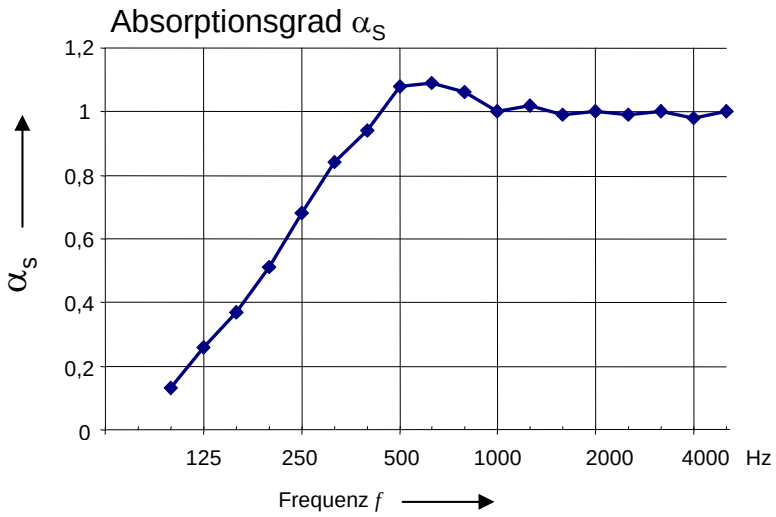
Beispiel einer im Hallraum gemessenen Absorptionskurve

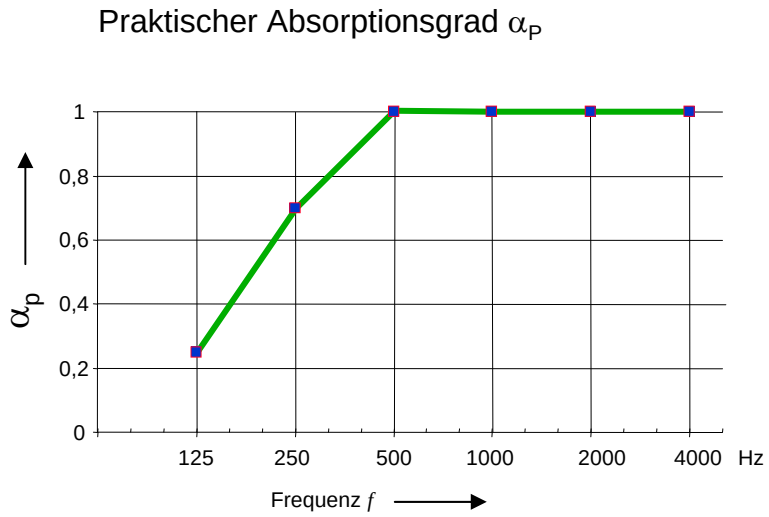
Kanteneffekt



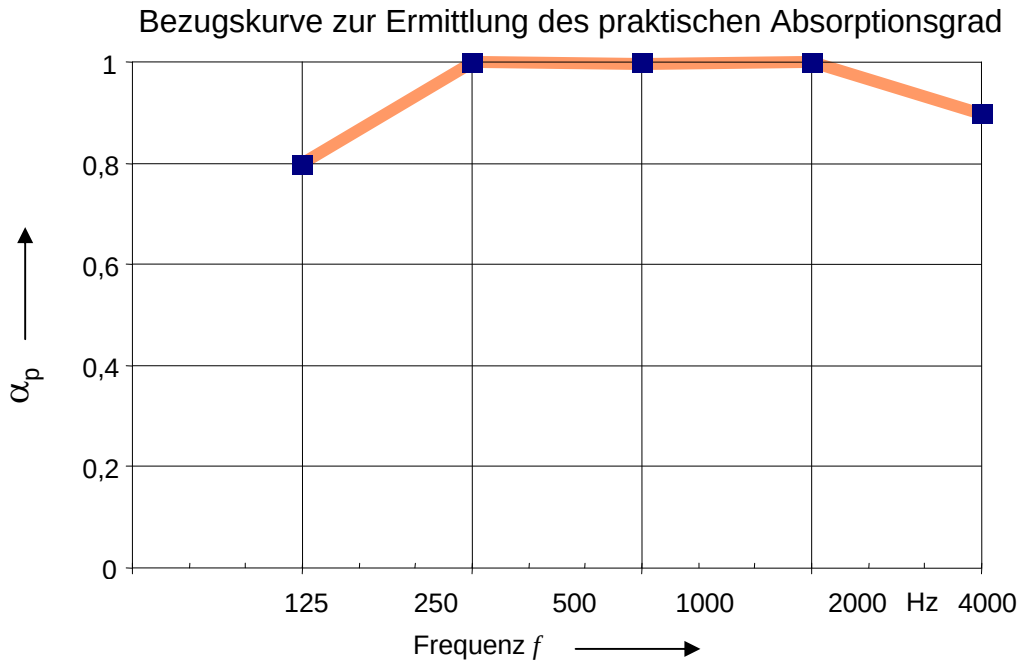
- Beugung des den Absorber umgebenden Schallfeldes in Richtung der Absorptionsfläche
- es fällt mehr Schallenergie auf den Absorber ein, als ohne Schallbeugung alleine auf Grund seiner geometrischen Ausdehnung im diffusen Schallfeld auftreffen würde

- Praktische Absorptionsgrade α_p
  - Mittelung des Absorptionsgrades der drei zu der Oktave gehörenden Terzen
  - Angabe auf 2 Dezimale
  - Runden auf 0,05
  - Maximales α_p ist auf 1 begrenzt

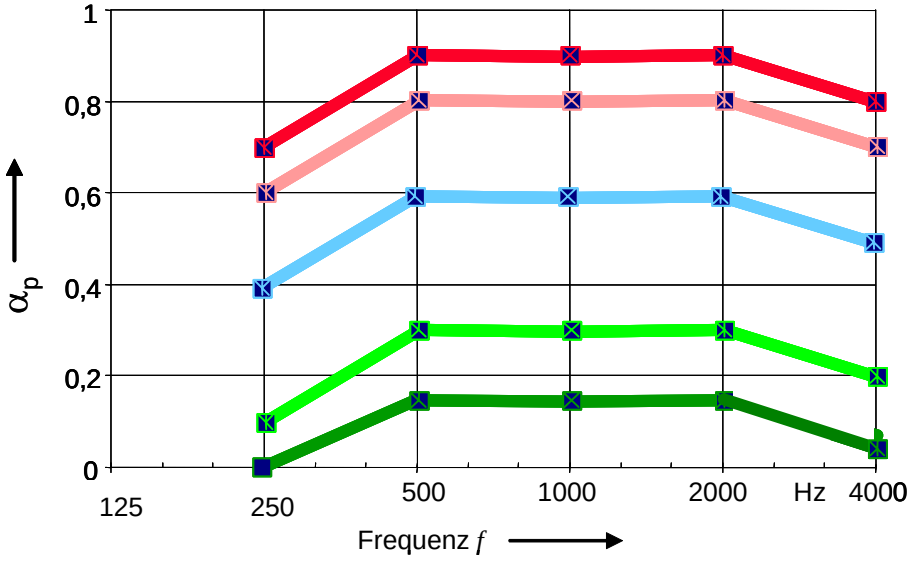




- Bewerteter Absorptionsgrad α_W
  - Anwendung des Bezugskurvenverfahrens
  - Verschieben der Bezugskurve in Richtung der Messwerte in Schritten von 0,05
  - Maximale Summe der ungünstigen Abweichungen $\leq$ 0,1
  - Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz ist α_w



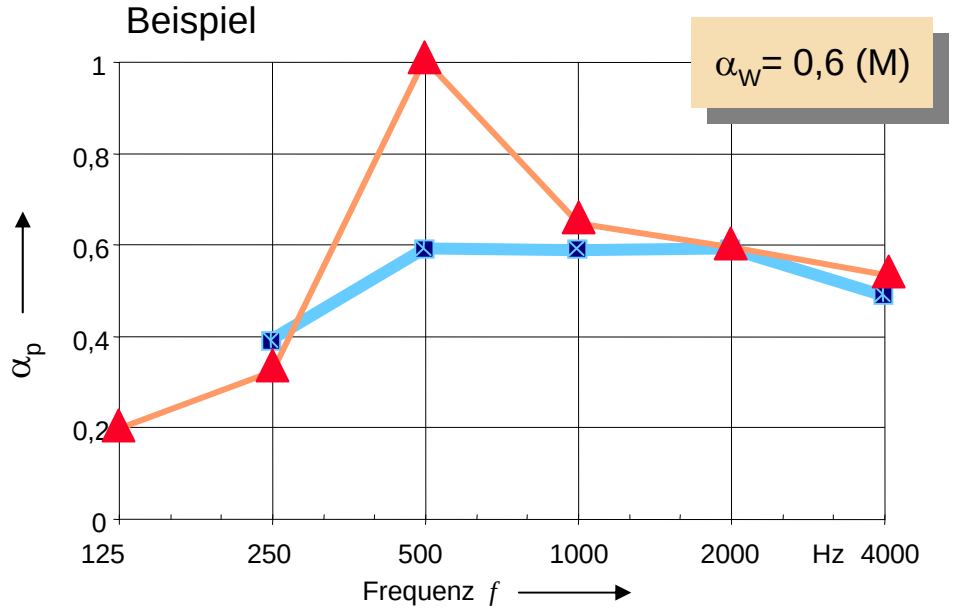
- Klassifizierung α_W
  - Anwendung des Bezugskurvenverfahrens
  - Verschieben der Bezugskurve in Richtung der Messwerte in Schritten von 0,05
  - Maximale Summe der ungünstigen Abweichungen $\leq$ 0,1
  - Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz ist α_w



Schallabsorberklasse	α_W-Werte
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,15; 0,20; 0,25
nicht klassifiziert	0,00; 0,05; 0,1

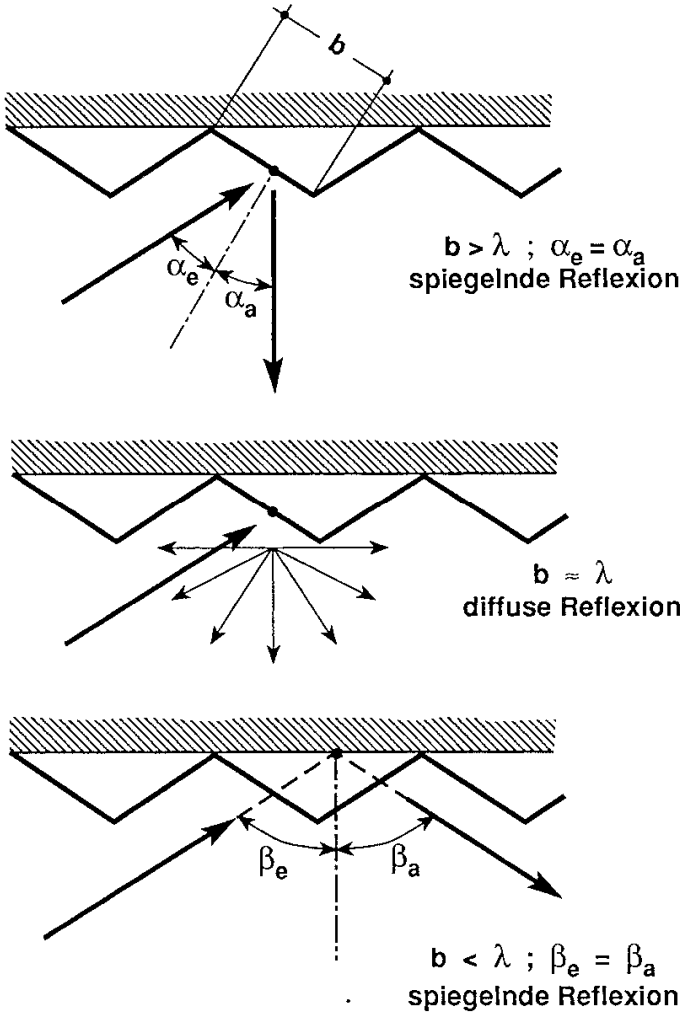
- Formindikatoren
  - wenn der praktische Absorptionsgrad eines Oktavbandes den Wert der verschobenen Bezugskurve um 0,25 oder mehr überschreitet, müssen zusätzlich Formindikatoren angegeben werden
  - 250 Hz → L
  - 500 Hz, 1000 Hz → M
  - 2000 Hz, 4000 Hz → H

Beispiel



Frequenz in Hz	Bezugskurve	Absorber
125		0,2
250	0,4	0,35
500	0,6	1
1000	0,6	0,65
2000	0,6	0,6
4000	0,5	0,55

Spiegelnde Reflexion und Streuung



- Streugrad = Verhältnis der diffus gestreuten Energie zur Gesamtenergie

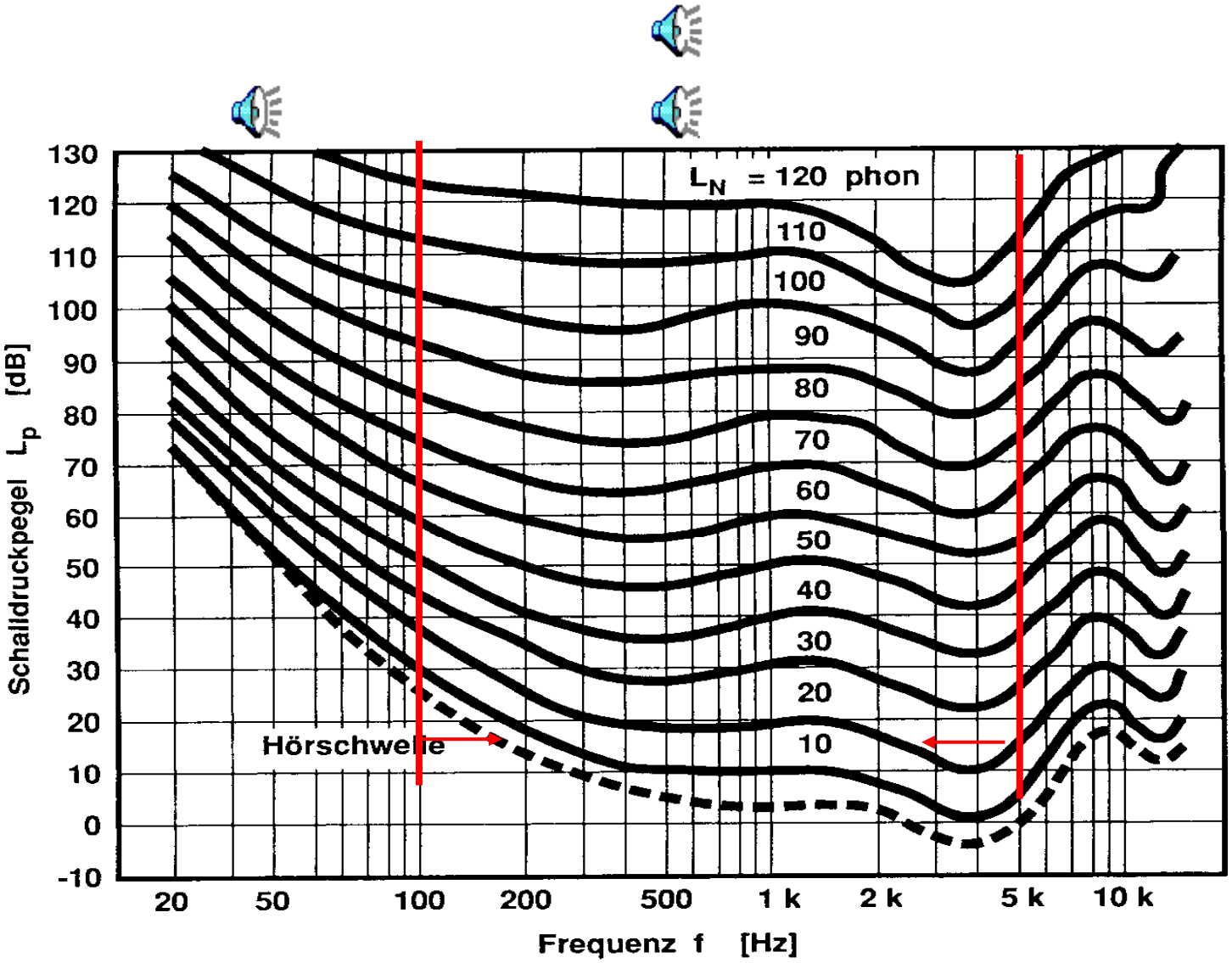
Diffuse Reflexion

Studiodecke
PTB Braunschweig

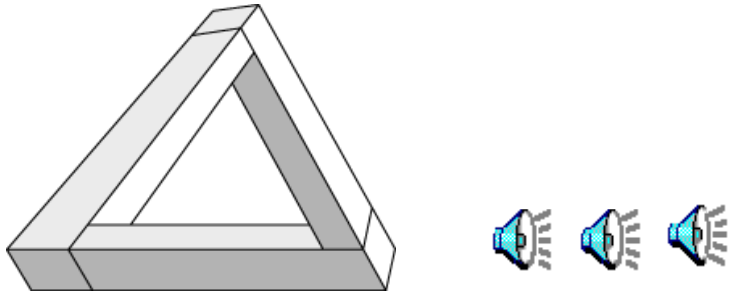
Planungsgrundlagen

Technische Grenzen

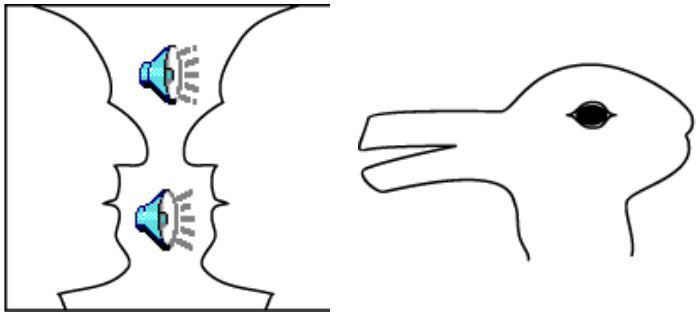
Raumakustischer Frequenzbereich



Wahrnehmung ist entscheidend



- Verzerrte Wahrnehmung auf Grund der Reduzierung der Darstellungsebene



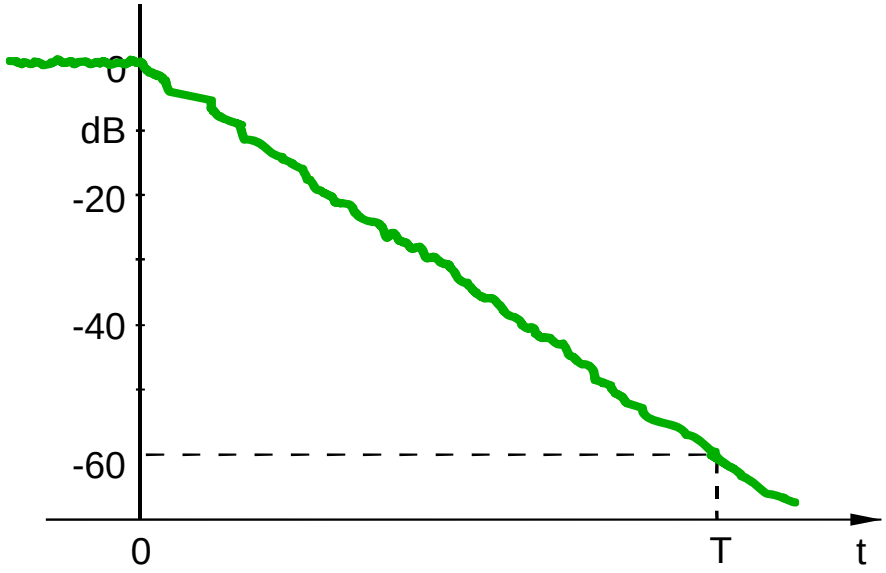
- Selektive Wahrnehmung

- Wahrnehmung im optischen (akustischen) Kontext

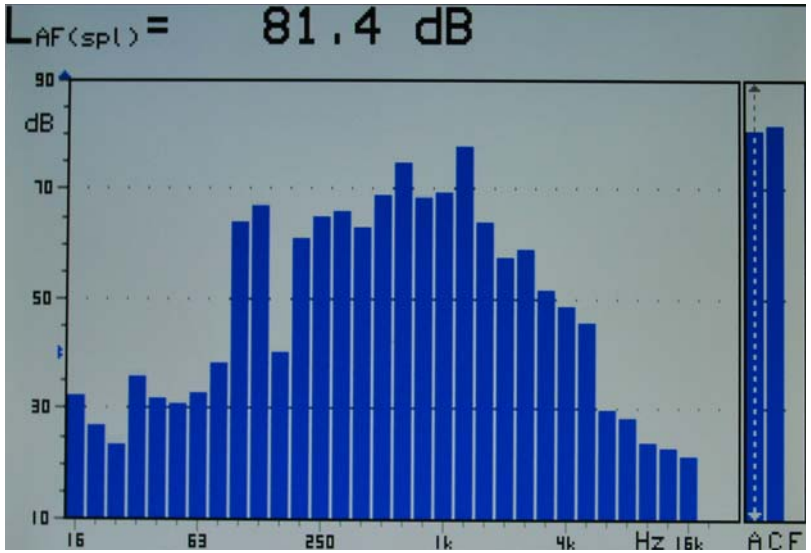
Messtechnik

Nachhallzeit Definition

- Nachhallzeit T ist die Zeit, die vergeht bis der Pegel nach Abschalten eines stationären Signals um 60 dB gefallen ist.

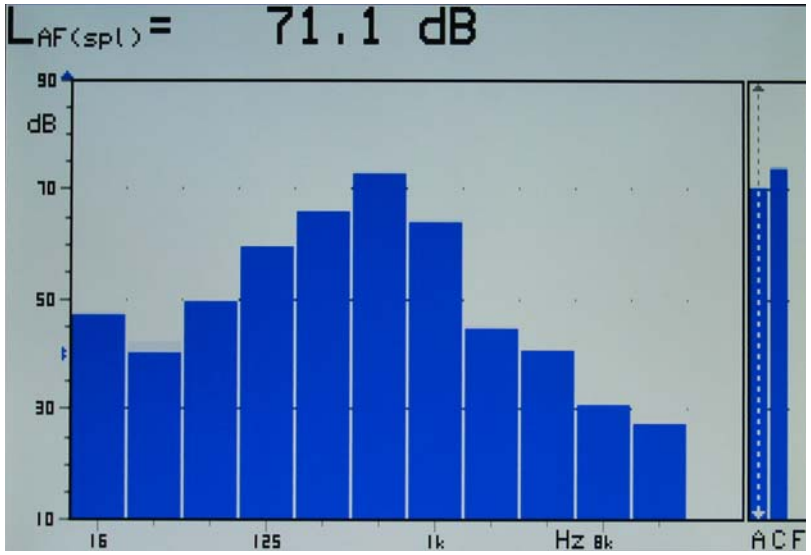


Schallanalyse



Terzanalyse

- Bauakustik
  - 100 Hz – 3150 Hz (16 Terzen)
  - hohe Genauigkeit
- Raumakustik selten

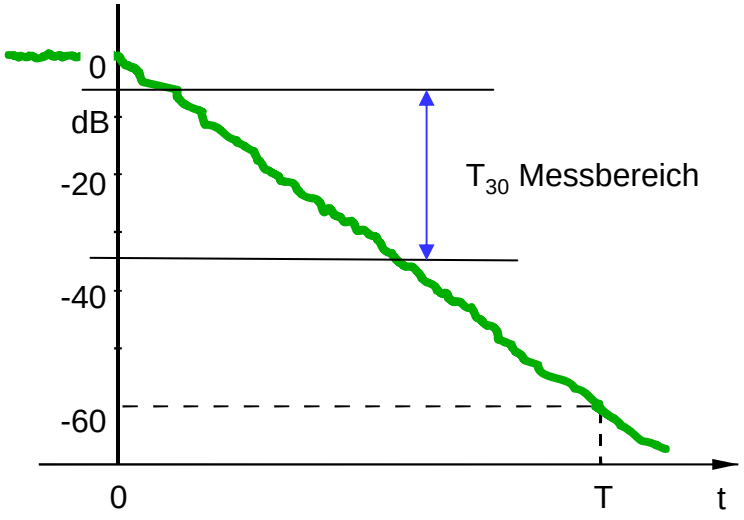


Oktavanalyse

- Bauakustik selten
- Raumakustik sehr gebräuchlich
  - standard 125 Hz – 4 kHz (6 Oktaven)
  - erweitert 63 Hz - 8 KHz (8 Oktaven)

Nachhallzeit Messung

- T_{15} Messung von –5 dB bis –20 dB, T_{15} = gemessene Zeit • 4
- T_{20} Messung von –5 dB bis –25 dB, T_{20} = gemessene Zeit • 3
- T_{30} Messung von –5 dB bis –35 dB, T_{30} = gemessene Zeit • 2
- EDT (Early Decay Time)
  Messung von 0 dB bis –10 dB, EDT = gemessene Zeit • 6



Die EDT ist die subjektiv empfundene Nachhallzeit !

Schallquelle ISO 3822-2 (Entwurf)

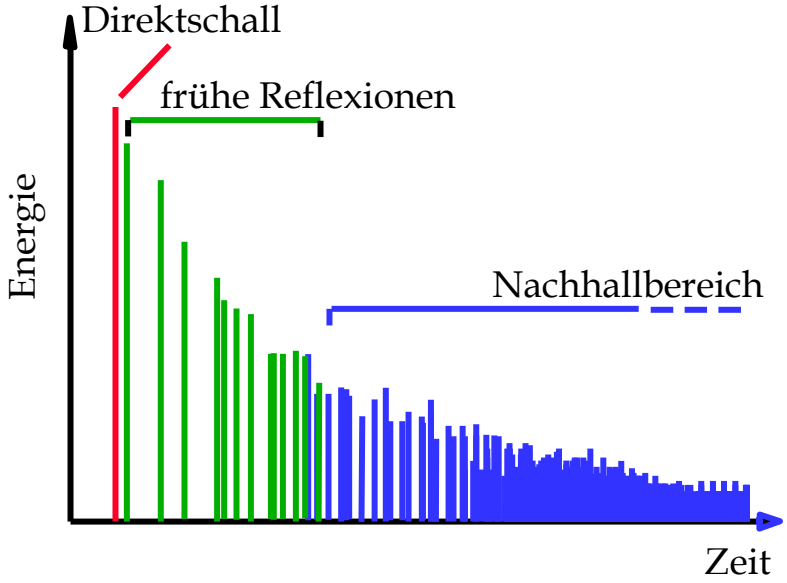
- Lautsprecher
  - möglichst allseitige Abstrahlung
  - möglichst hoher Schalldruckpegel
  - meist Dodekaederausführung (Würfel, andere Konstruktionen)

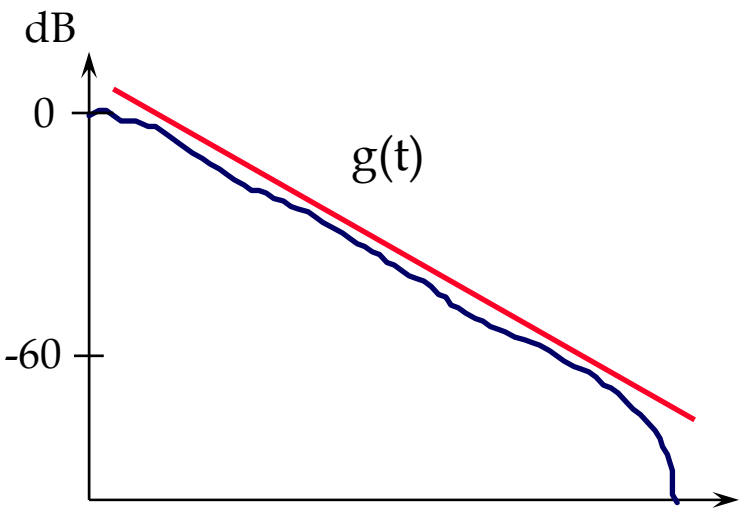
- Impulsquelle
  - Hohe Energie auch im Tiefenbereich

Neue Messverfahren III

- Bestimmung der Nachhallzeit mit Schroeder´scher Rückwärtsintegration
  - keine Mittelung über mehrere Messungen an einem Ort erforderlich

$$\langle g^2(t)\rangle = \int_t^\infty [h(t')]^2\, dt' = \int_0^\infty [h(t')]^2\, dt' - \int_0^t [h(t')]^2\, dt'$$





Messequipment „Schroeder Methode“

- Bestimmung der Nachhallzeit mit Schroeder´scher Rückwärtsintegration
  - keine Mittelung über mehrere Messungen an einem Ort erforderlich

Knallquelle

Handschallpegelmesser

Messequipment „Schroeder Methode“

Gehörschützer

Knallquelle

Handschallpegelmesser

Stativ

Messung mit Impulsquelle

- Vorteile
  - Einfaches Messequipment
    - Knallquelle und Handschallpegelmesser
  - Schnelle Messung
    - kurze Messdauer wegen Impulsanregung
    - keine Wiederholung notwendig für eine Messposition notwendig

- Nachteile
  - Impulsquelle hat keine gleichmäßige Richtcharakteristik
  - Impulsanregung ist in der Regel hinsichtlich des Pegels und der Richtcharakteristik nicht exakt wiederholbar

Messung mit Impulsquelle

Bei der Messung sind ein paar wenige, aber wichtige Randbedingungen zu beachten:

- Der Abstand des Messmikrofons zu den Raumbegrenzungsflächen (Wände, Decke, Boden) muss mind. 0,5 m betragen.
- Der Mindestabstand des Messmikrofons zu Gegenständen (Möbel o.ä.) muss mindestens 0,5 m betragen
- Zwischen Schallquelle und Mikrofon sollte ein möglichst großer Abstand eingehalten werden (typischerweise > 3 m).
- Es sind bei Räumen mir einem Volumen < 500 m^3 mindestens 2, besser 3 Messungen je Raum mit unterschiedlicher Sende- und Empfangsposition durchzuführen.
- Die Mikrofonhöhe ist bei den verschiedenen Messungen zu variieren (typ. zwischen 80 cm und 2 m)
- Messungen in Oktaven mind. 100 Hz – 4000 Hz
  besser 63 Hz – 8000 Hz
- Die Messung ist bei Fehleranzeige des Gerätes zu wiederholen.

Anzahl der Messungen

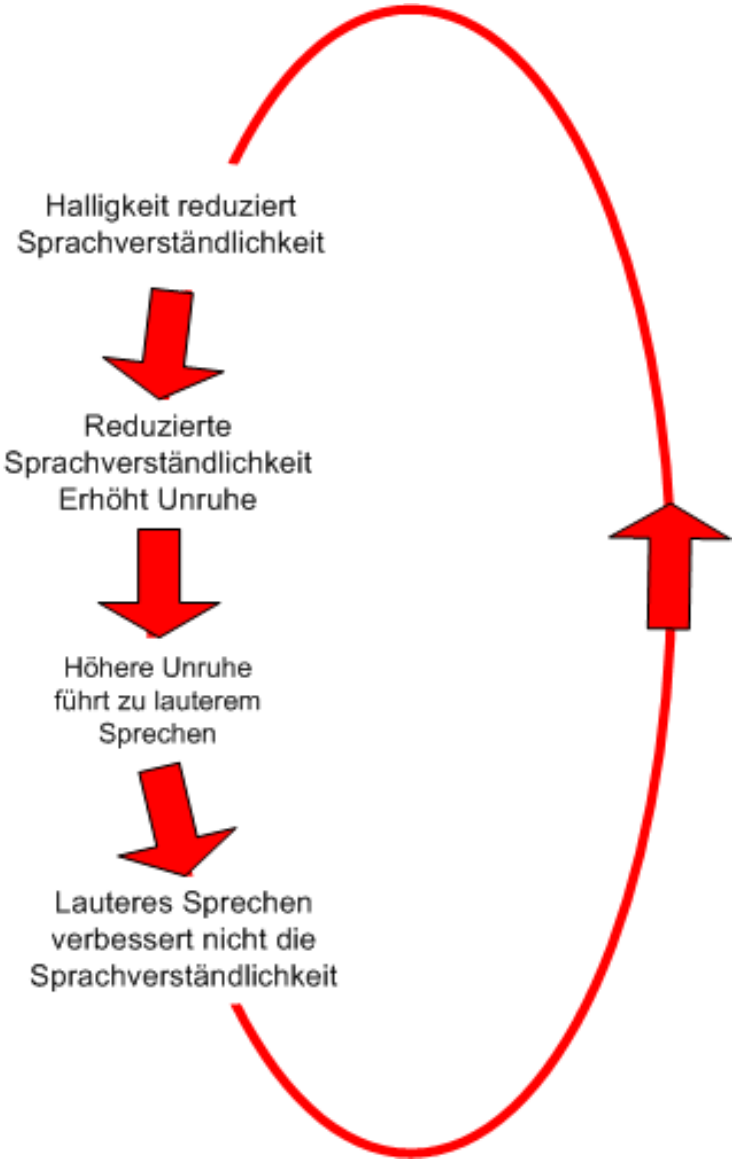
Table 1 — Minimum number of positions and measurements

	Survey	Engineering[a]	Precision
Source-microphone combinations	2	6	12
Source positions	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Microphone positions	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Number of decays in each position (interrupted noise method)	1	2	3

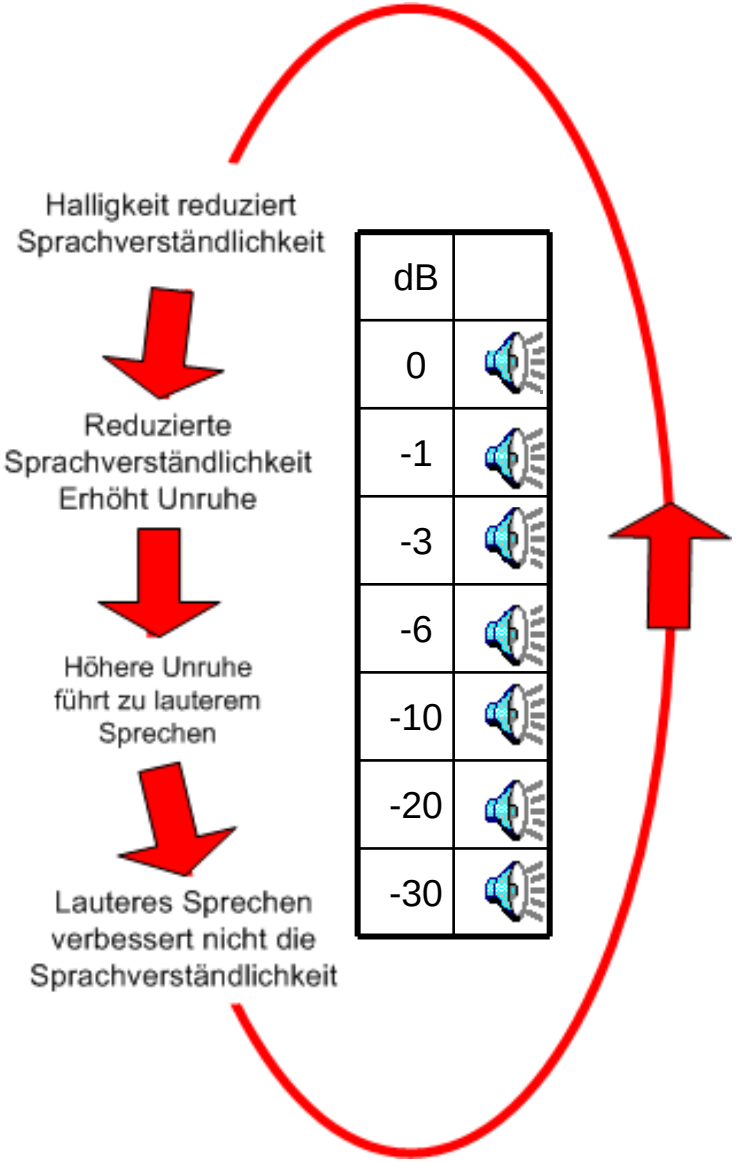
[a] When the result is used for a correction term to other engineering-level measurements, only one source position and three microphone positions are required. In this case a rotating microphone boom may also be used.

Fallbeispiele: Unterrichtsräume

Lärmkaskade / Lombard Effekt



Lärmkaskade / Lombard Effekt

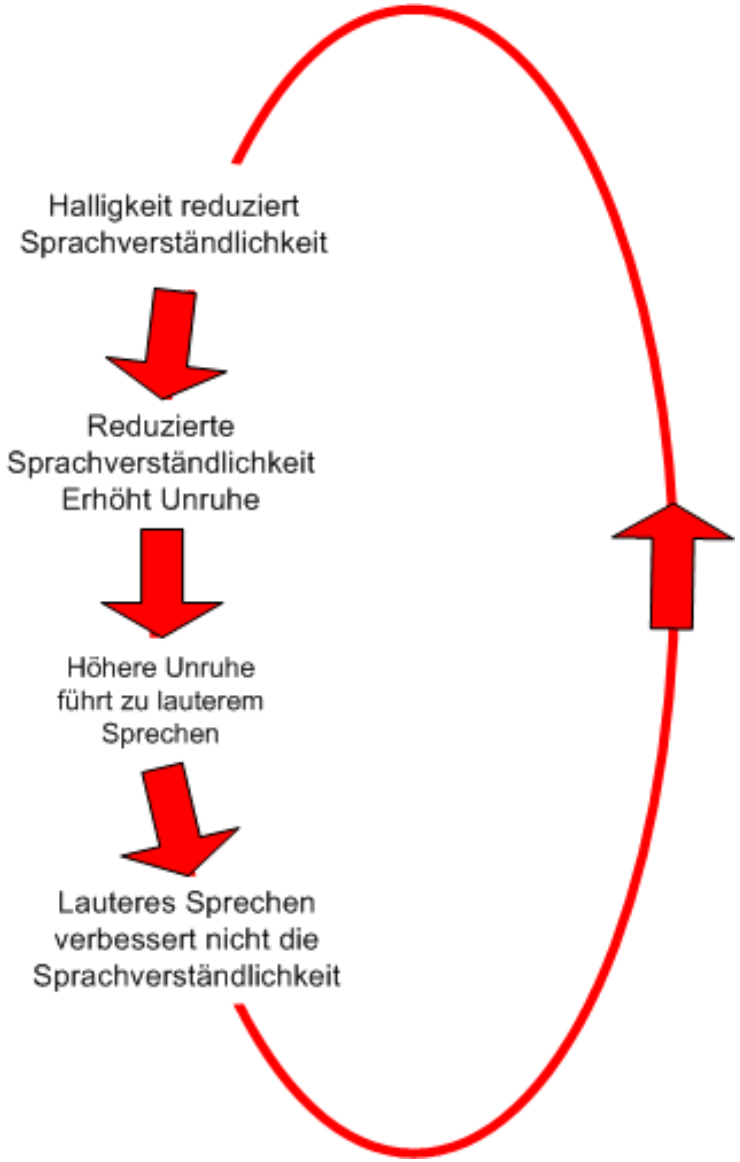


- Eine Halbierung der Nachhallzeit T senkt den diffusen Pegel um 3 dB
- Durch den Lombardeffekt gewinnt man weitere ca. 3 dB

- Halbierung der Nachhallzeit senkt den Pegel um ca. 6 dB!

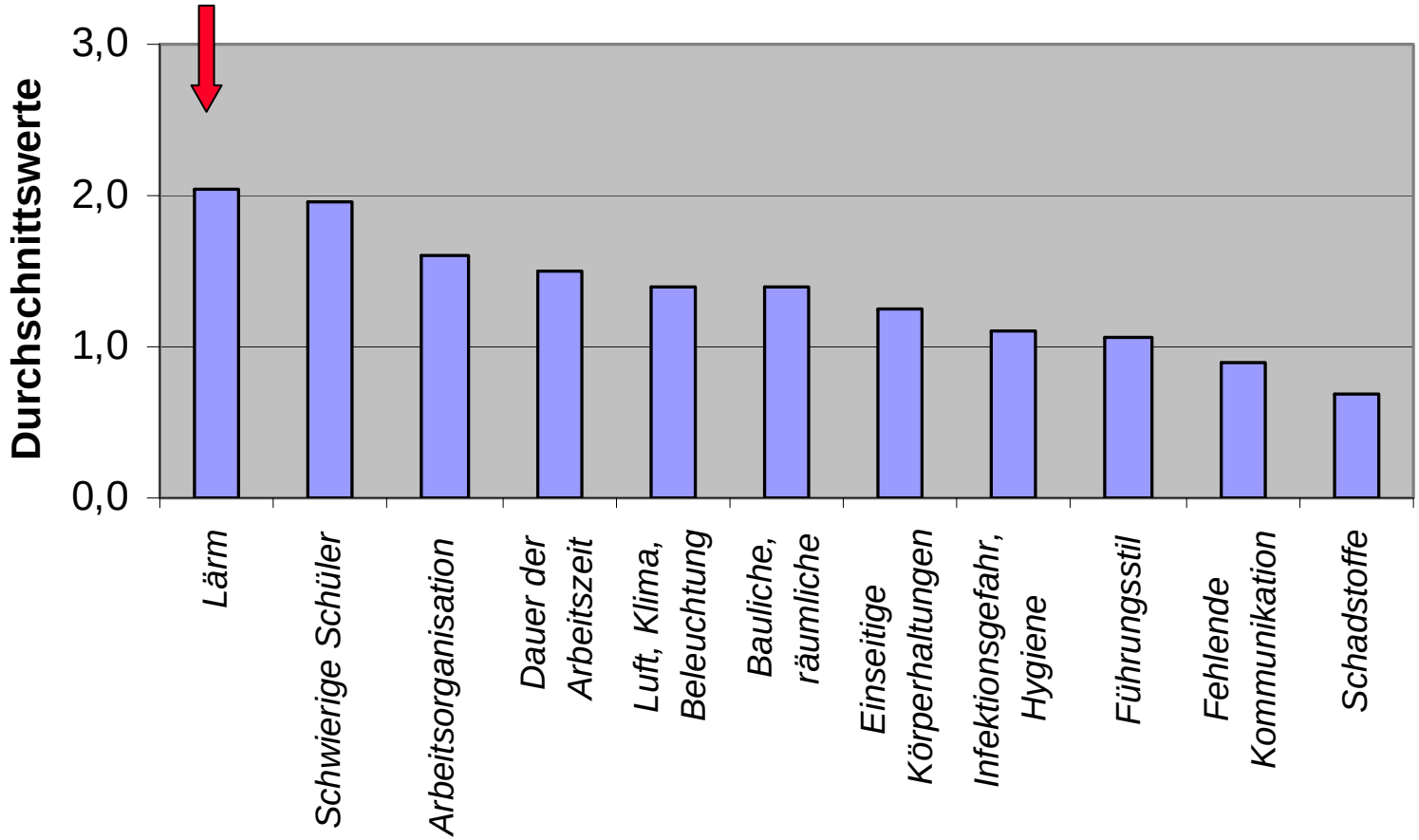
- Eine Reduzierung von T = 1-2 s auf T = 0,5 s ergibt eine Gesamt-pegelreduzierung von > 10 dB !!

Lärmkaskade / Lombard Effekt



- Original Sprechersignal
- Störgeräusche
  Pinknoise
  Noise mit Sprachspektrum
  1 kHz Oktavband Noise
  zweiter Sprecher

Beurteilung der Belastungen

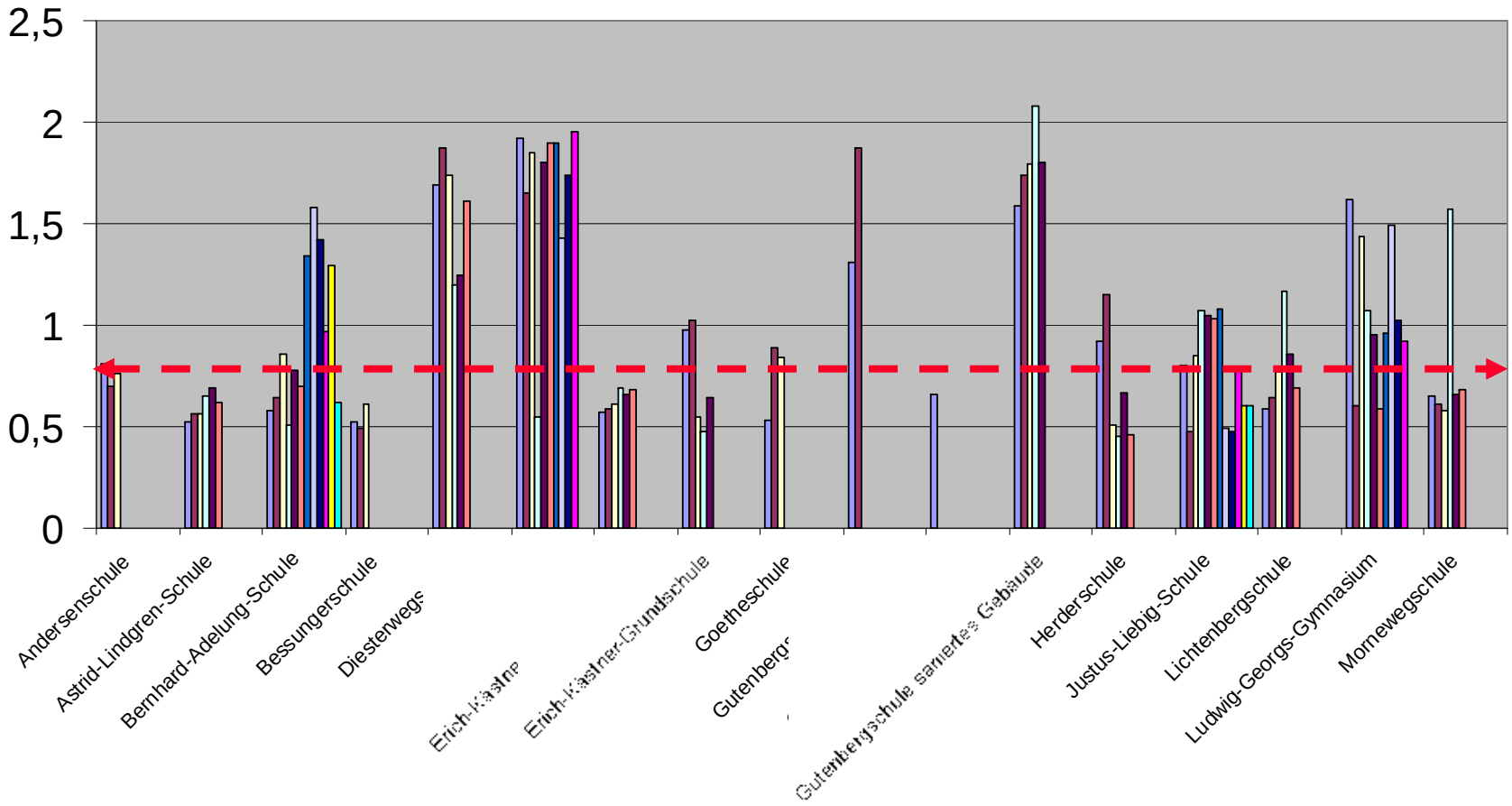


- Nachhallzeit T= 0,5 s (Regeln der Technik)
- Absorberverteilung gemäß DIN18041
- Signal / Störverhältnis $\geq$ 10 dB
  - Sprecherpegel 50 - 60 dB(A) in 1 m Entfernung
  - Sprecherpegel am Hörerort $\approx$ 45 dB(A)
  - geforderter Störgeräuschpegel $\leq$ 35 dB(A)

- Probleme
  - bei zu langer Nachhallzeit steigt der Störpegel an
  - Aufschaukelprozess setzt ein: Erhöhung des Sprecherpegels führt wiederum zur und Erhöhung des Störgeräuschpegel durch die Schüler

Klassenräume

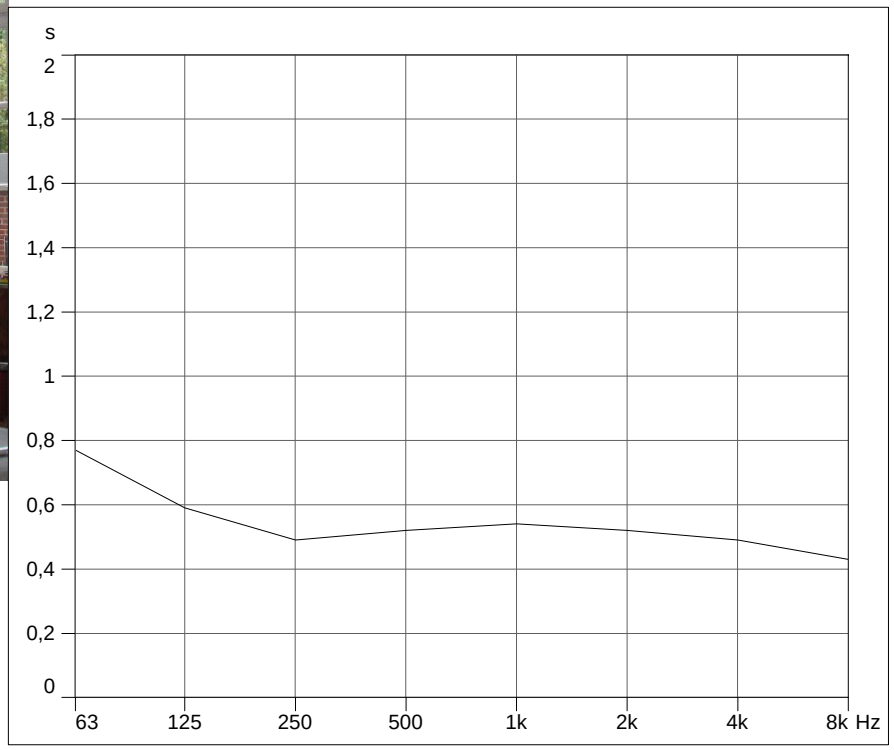
Nachhallzeiten ($T_{30,\ mid}$) gemessen im unbesetzten Zustand in 17 Schulen in Hessen



Goetheschule Klassenraum 6

Volumen: 241 m³

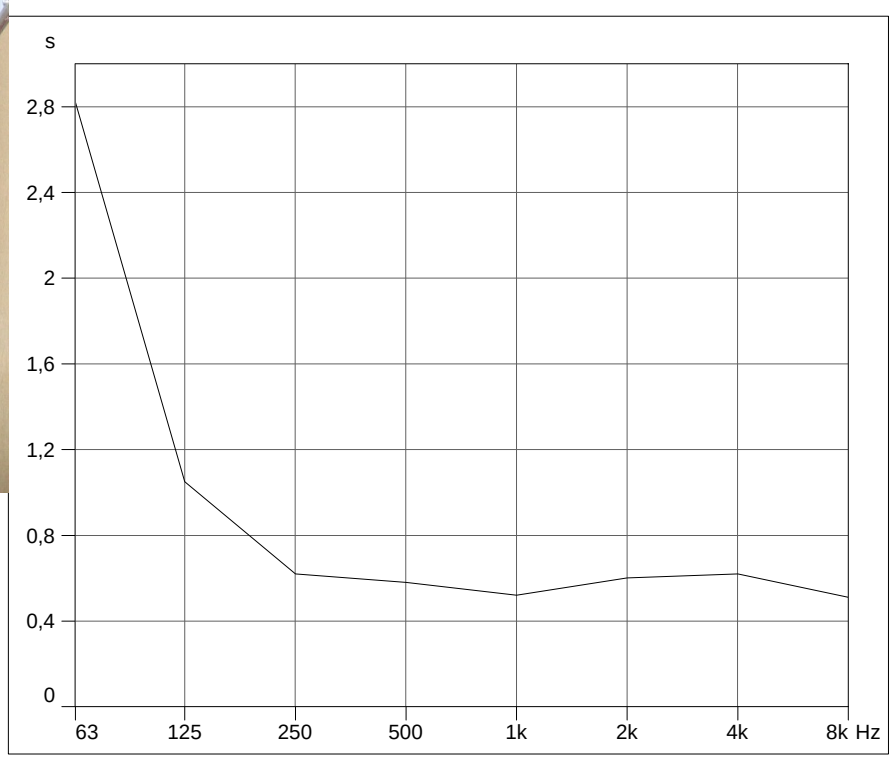
T_{soll} = 0,59 s



Eleonoreschule Klassenzimmer Raum 209

Volumen: 201 m³

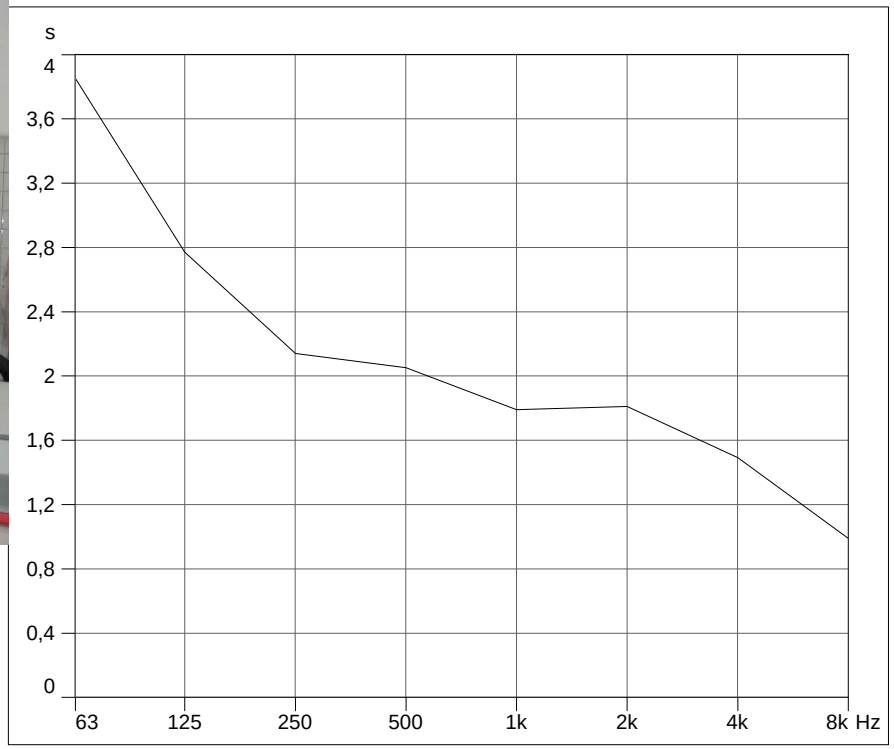
T_{soll} = 0,57 s



Eleonoreschule Klassenzimmer Raum 205

Volumen: 219 m³

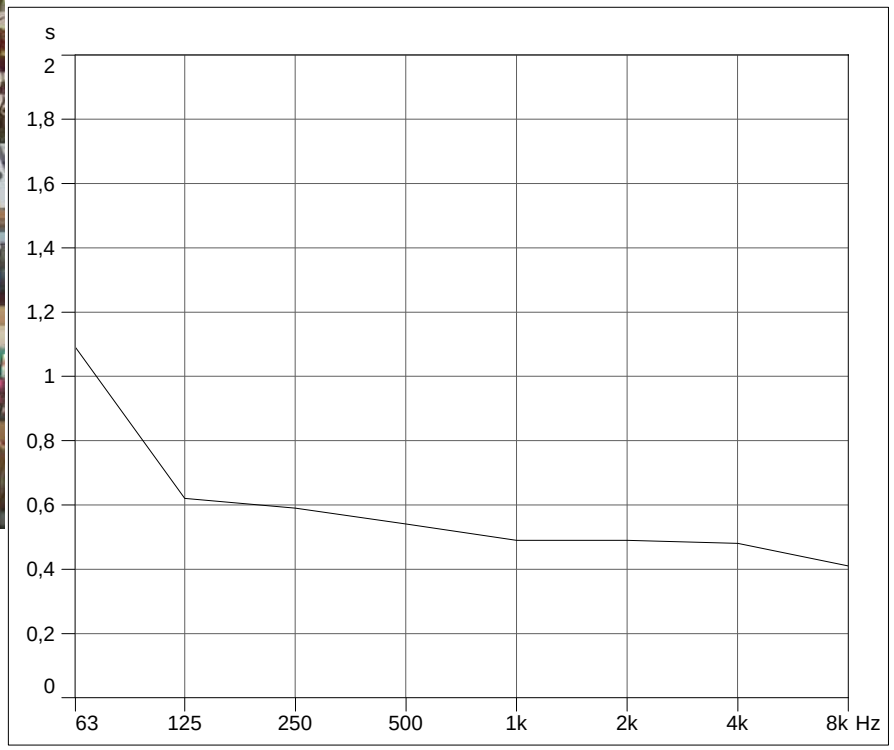
T_{soll} = 0,58 s



Bessungerschule Klassenzimmer Raum 127

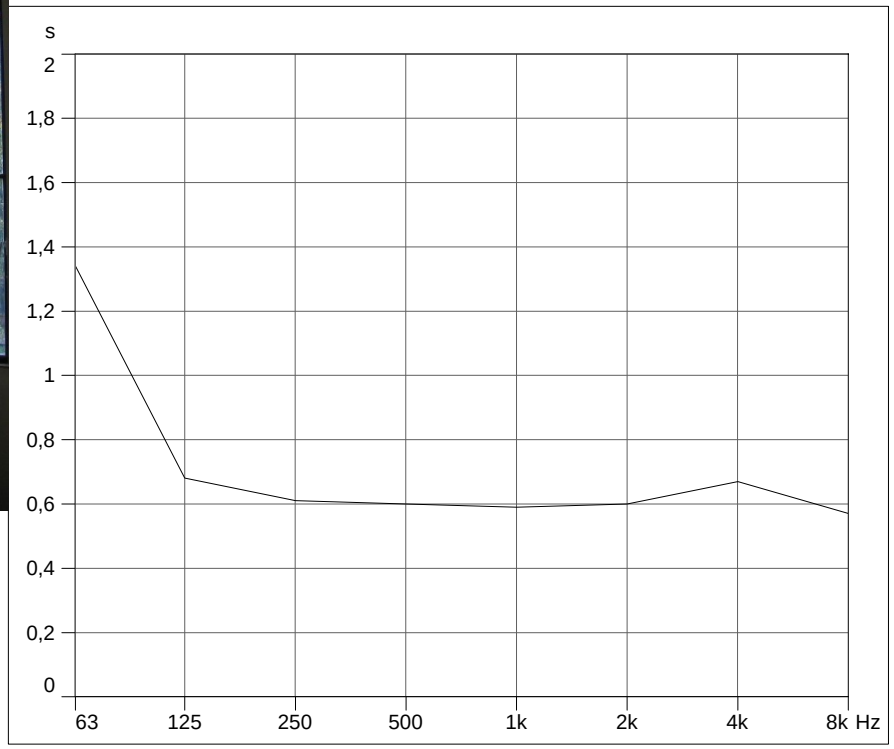
Volumen: 170 m³

T_{soll} = 0,54 s



Ludwig-Georgs-Gymnasium Klassenzimmer Raum 81
ehemaliges Sprachlabor

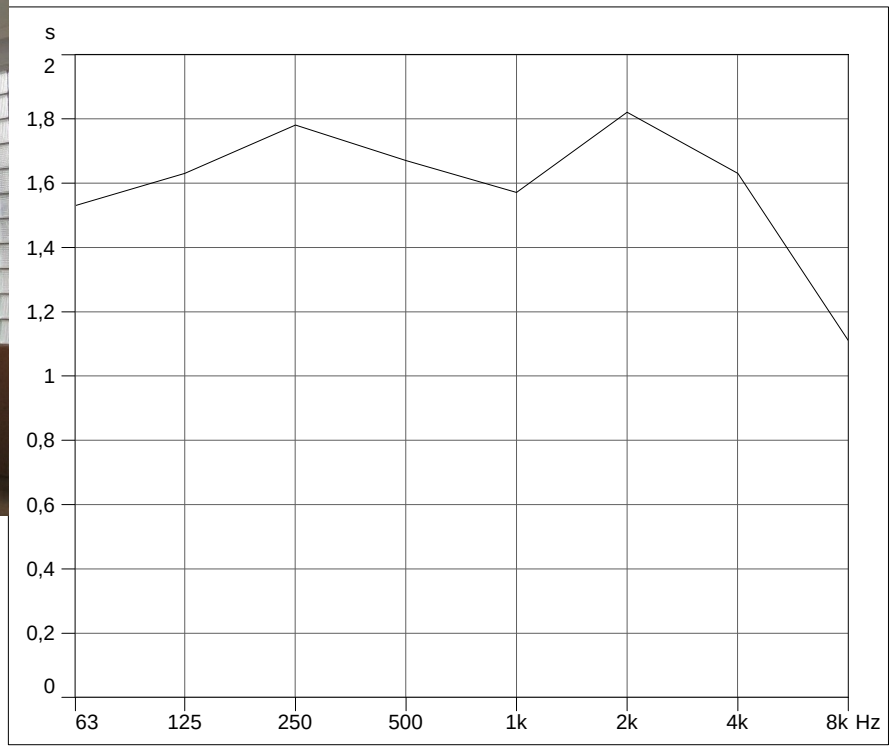
Volumen: 201 m³
T_{soll} = 0,57 s



Ludwig-Georgs-Gymnasium
Klassenzimmer Raum 80

Volumen: 179 m³

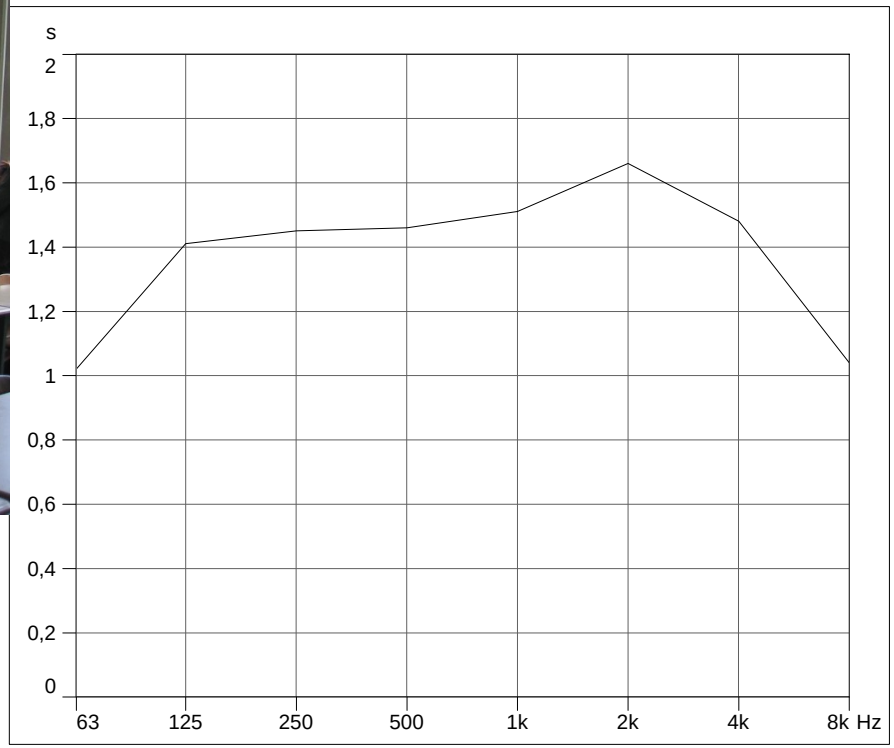
T_{soll} = 0,55 s



Ludwig-Georgs-Gymnasium
Klassenzimmer Raum 70 a

Volumen: 136 m³

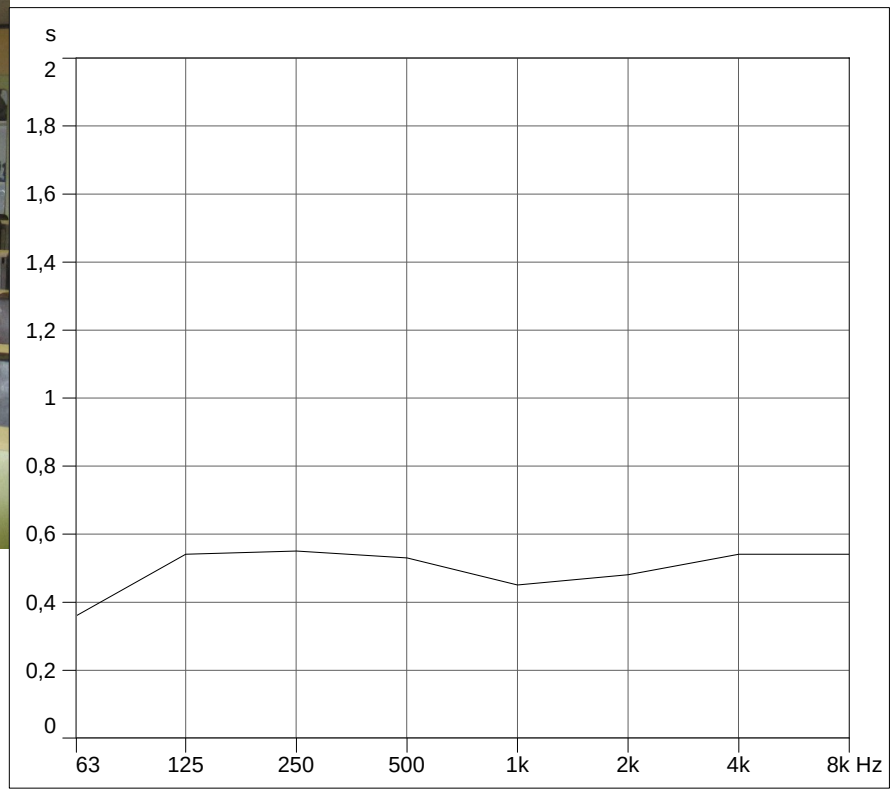
T_{soll} = 0,51 s



Justus-Liebig-Schule Fachraumgebäude Biologiehörsaal

Volumen: 196 m³

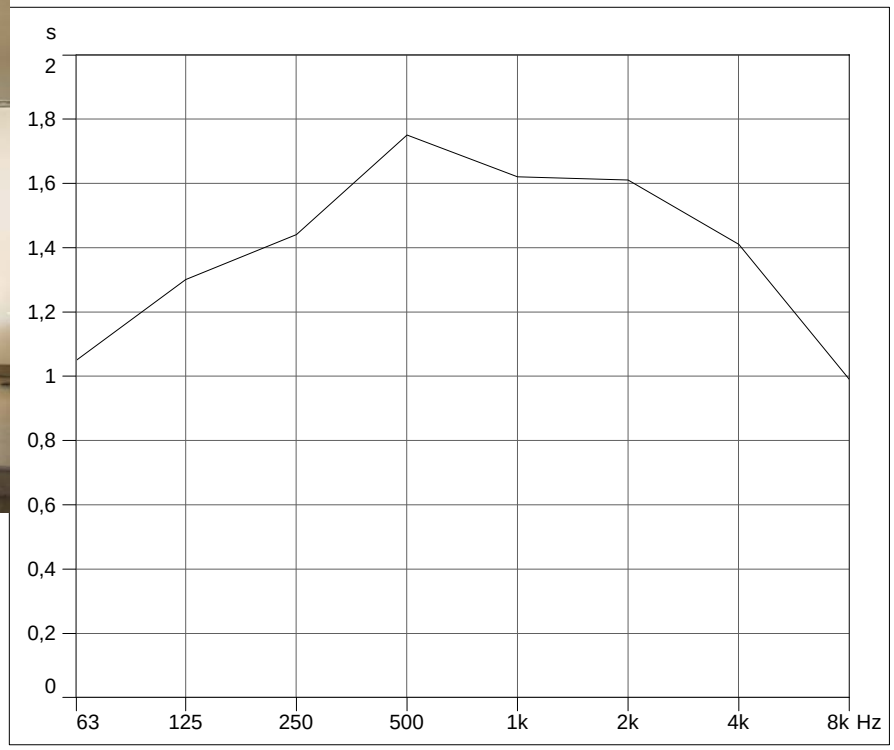
T_{soll} = 0,56 s



Diesterwegschule Physikraum

Volumen: 245 m³

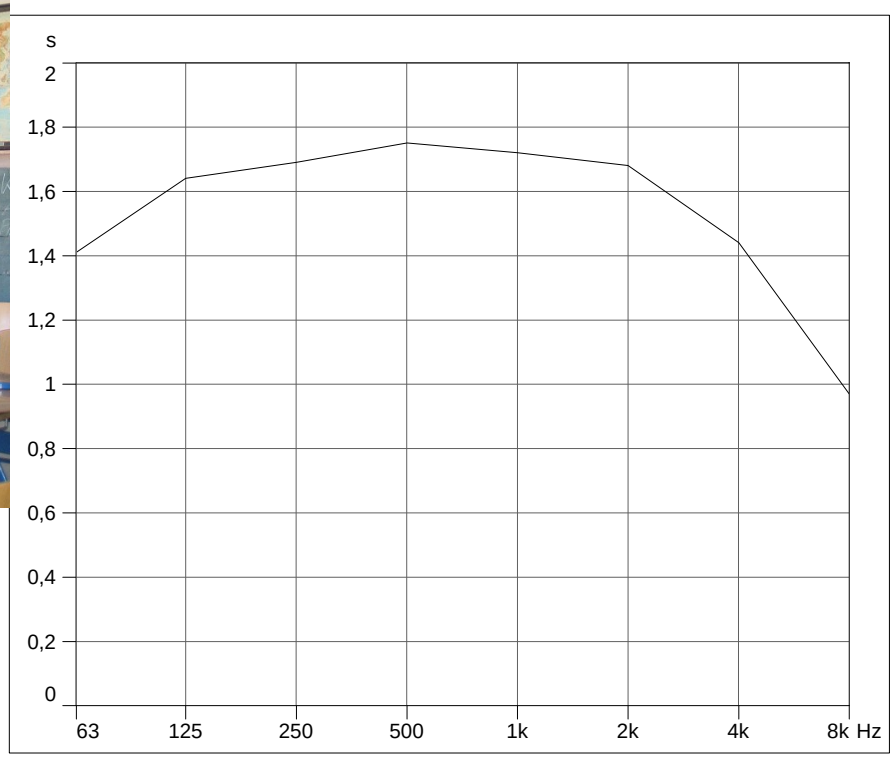
T_{soll} = 0,59 s



Diesterwegschule Klassenzimmer Raum 116

Volumen: 223 m³

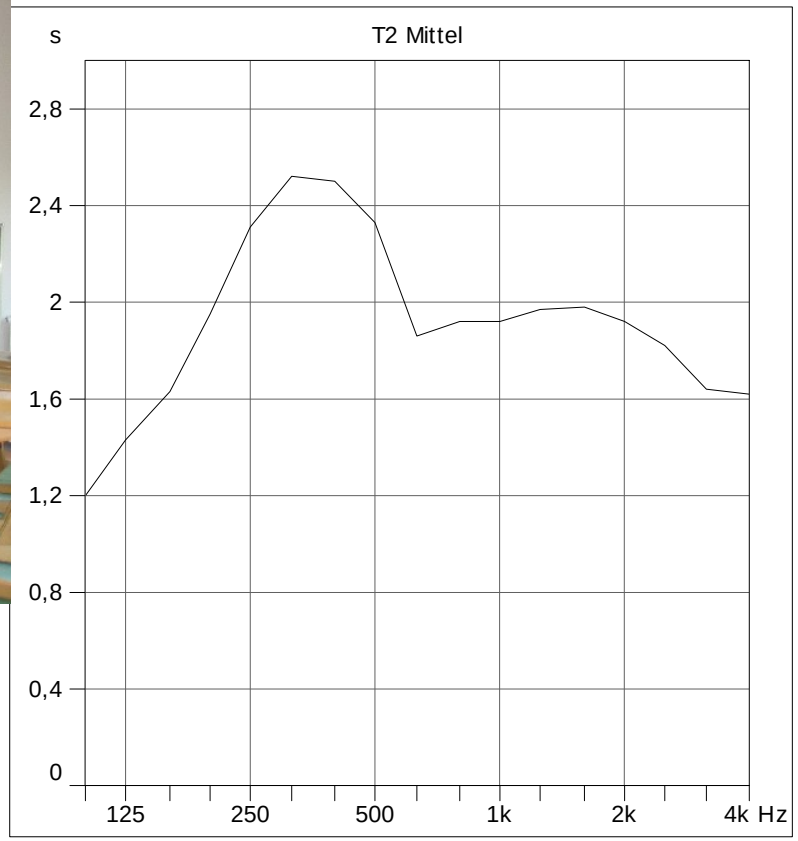
T_{soll} = 0,58 s



Gutenbergschule sanierter Altbau Klassenzimmer Dachgeschoss

Volumen: 277 m³

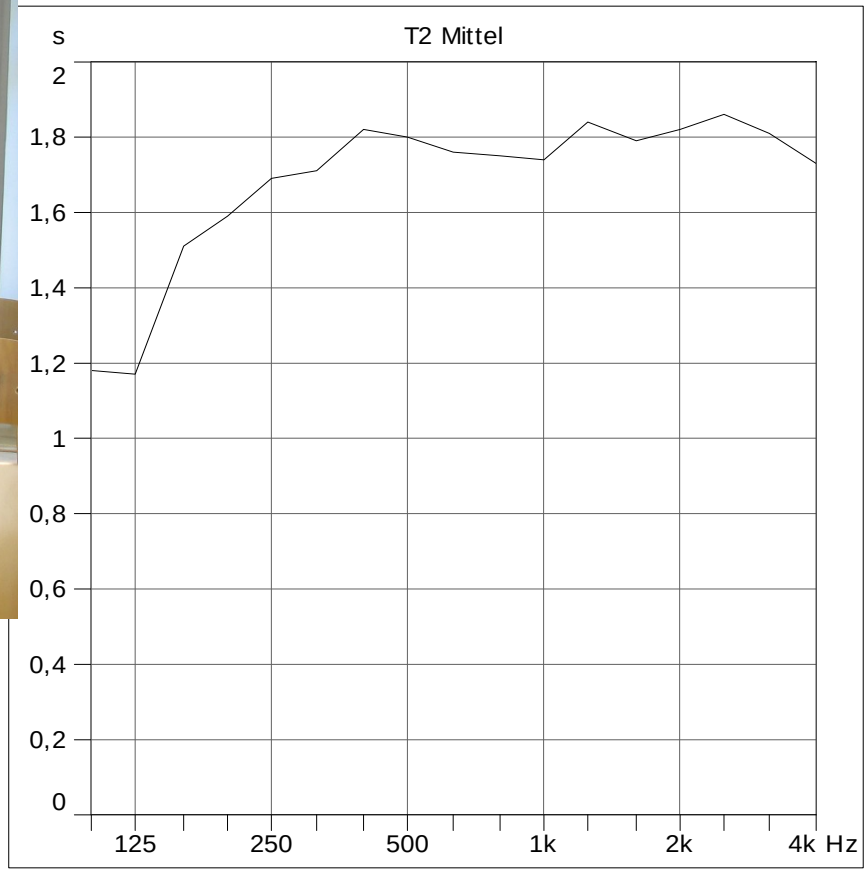
T_{soll} = 0,61 s



Gutenbergschule sanierter Altbau Klassenzimmer 203

Volumen: 229 m³

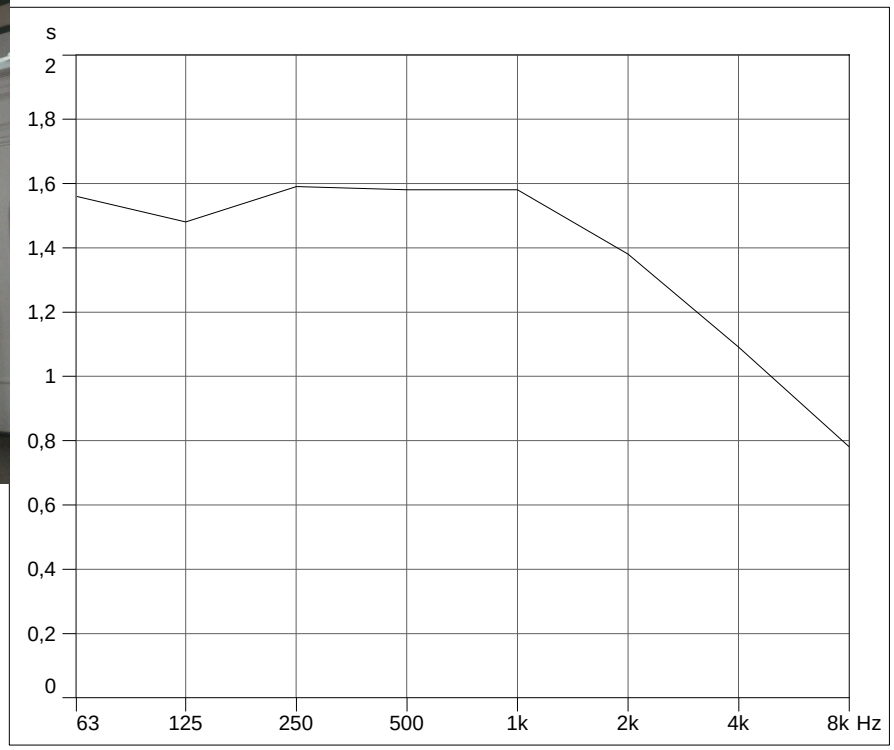
T_{soll} = 0,59 s



Goetheschule Großgruppenraum

Volumen: 1390 m³

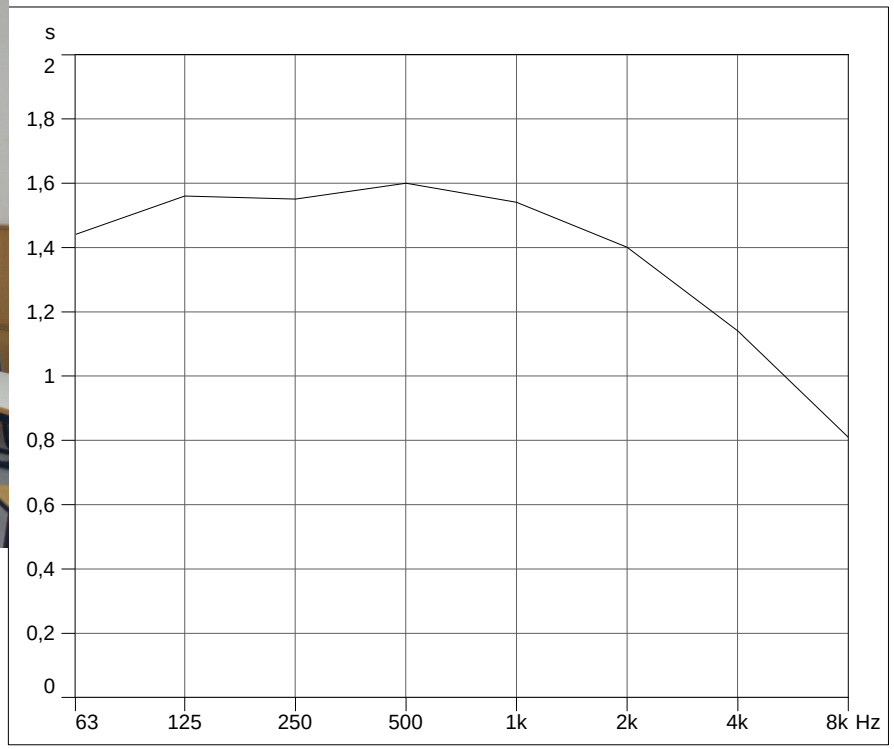
T_{soll} = 1,02 s



Mornewegschule offener Unterrichtsbereich

Volumen: 215 m³

T_{soll} = 0,58 s



Ergebnisse der Klassenraummessungen

Maximale Nachhallzeit	= T_{max} = 0,8 s
$T_{30,mid,max}$	= 2,1 s (Gudenbergschule)
Prozentuale Überschreitung von T_{max}	= 40%
Mittelwert von $T_{30,mid}$	= 0,8 s

Schätzung:
In jedem dritten Klassenraum sind die Anforderungen nach DIN 18041 nicht eingehalten!

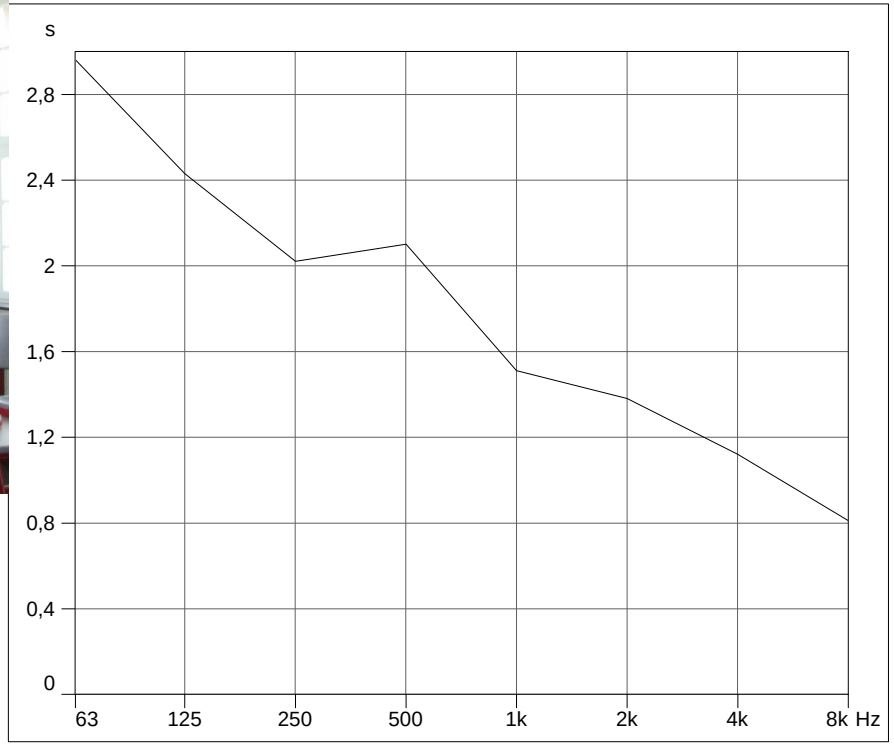
Problem der Selbsthilfe

Problem der Selbsthilfe

Eleonoreschule Klassenzimmer Raum 306

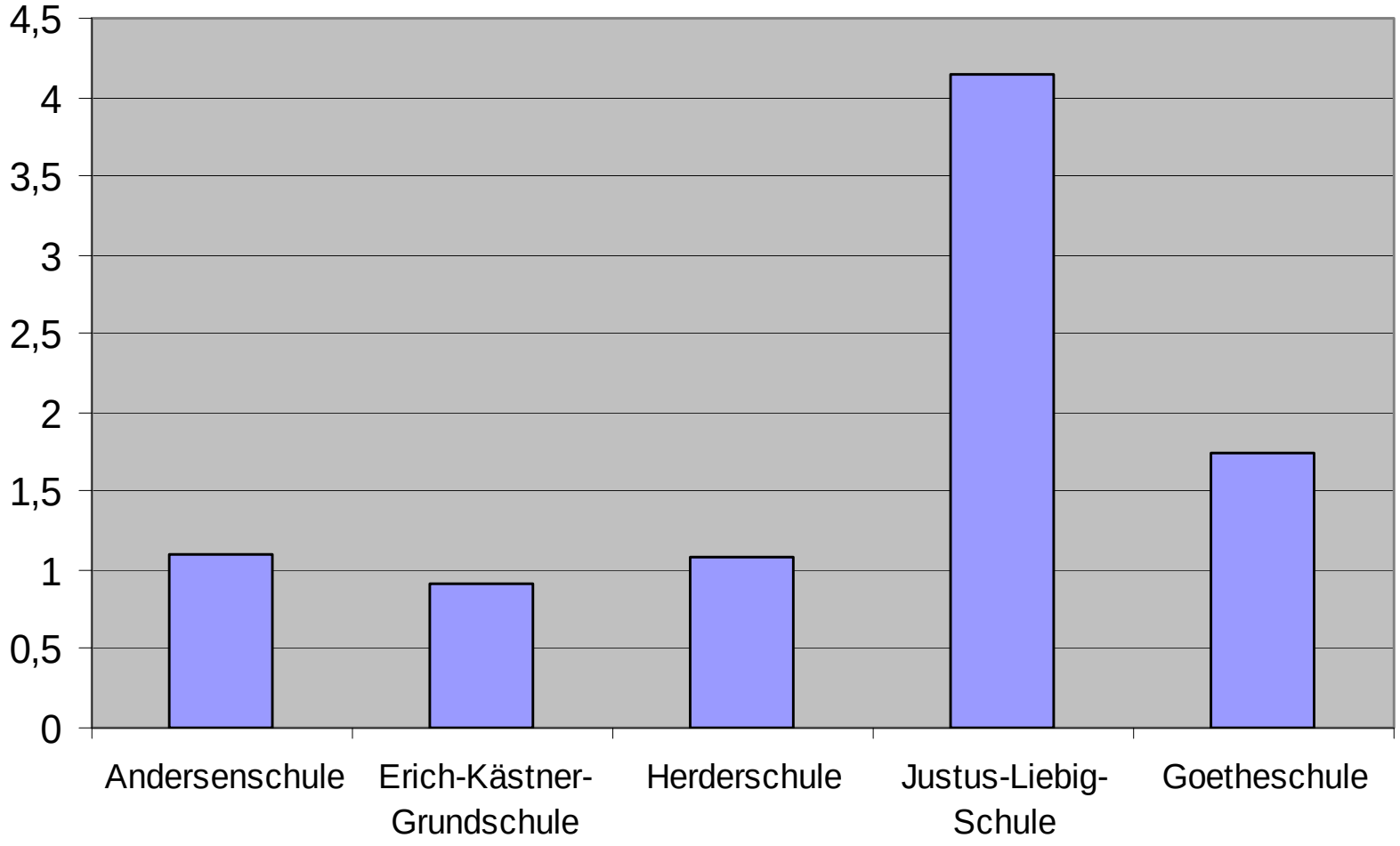
Volumen: 223 m³

T_{soll} = 0,58 s



Sport und Bewegungsräume

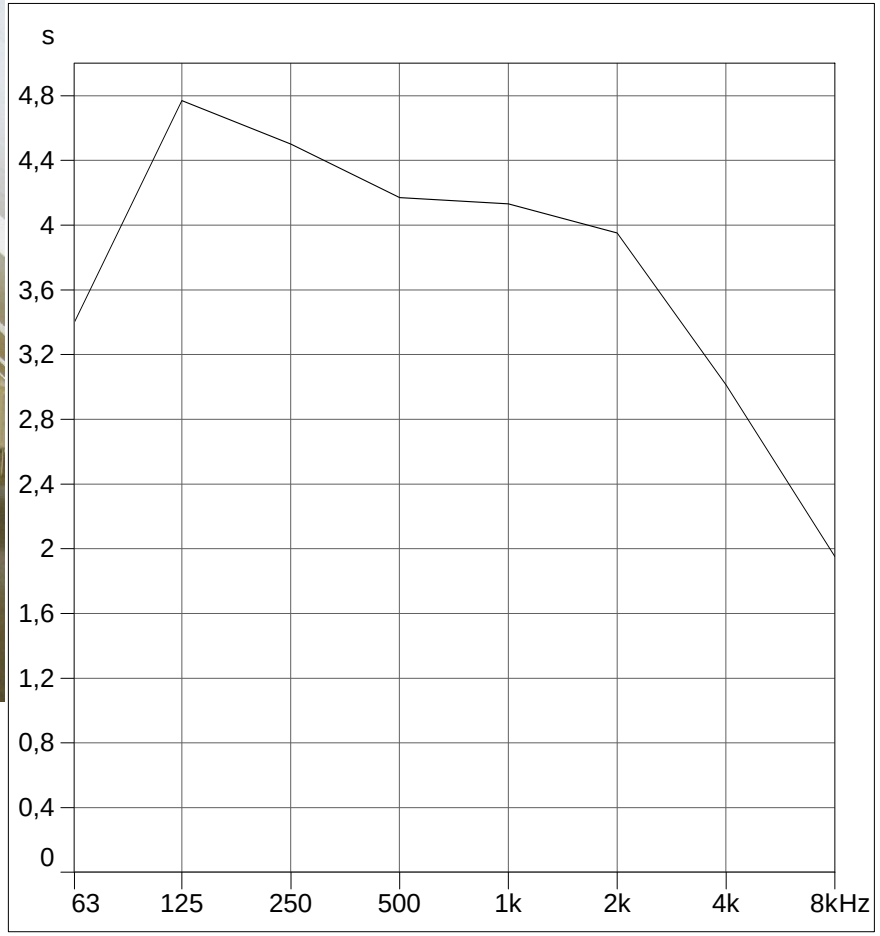
Nachhallzeiten ($T_{30, mid}$) gemessen im unbesetzten Zustand



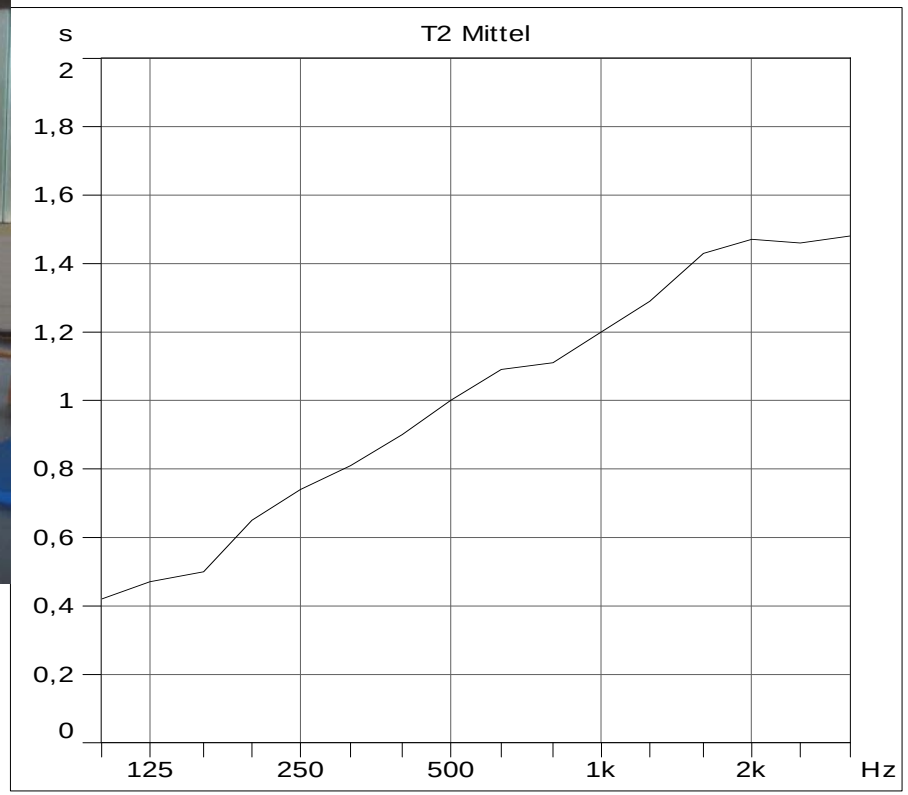
Sporthalle im Dachgeschoss

Justus-Liebig-Schule

T_{soll} = 1,7 sec.

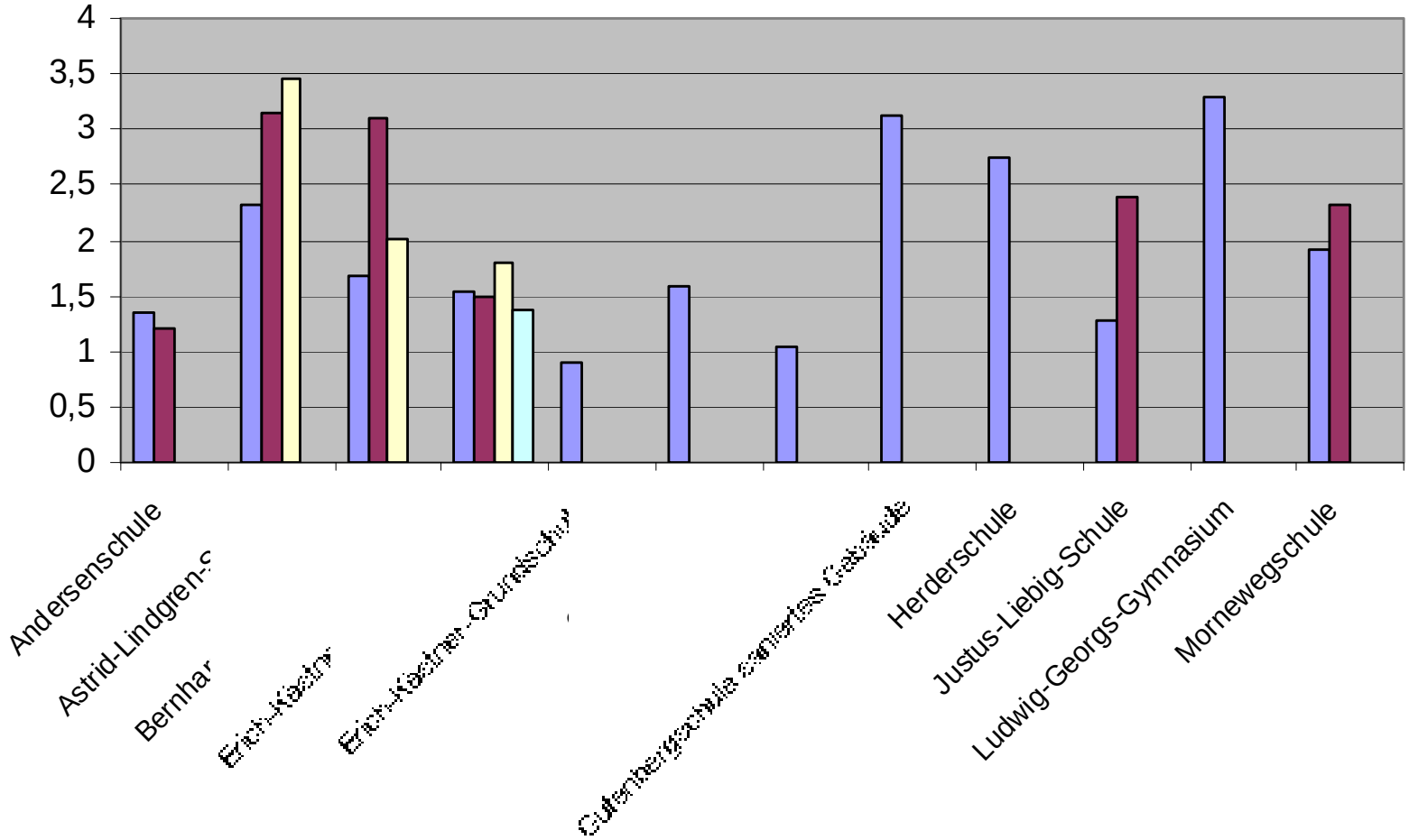


Andersenschule
Gymnastikraum

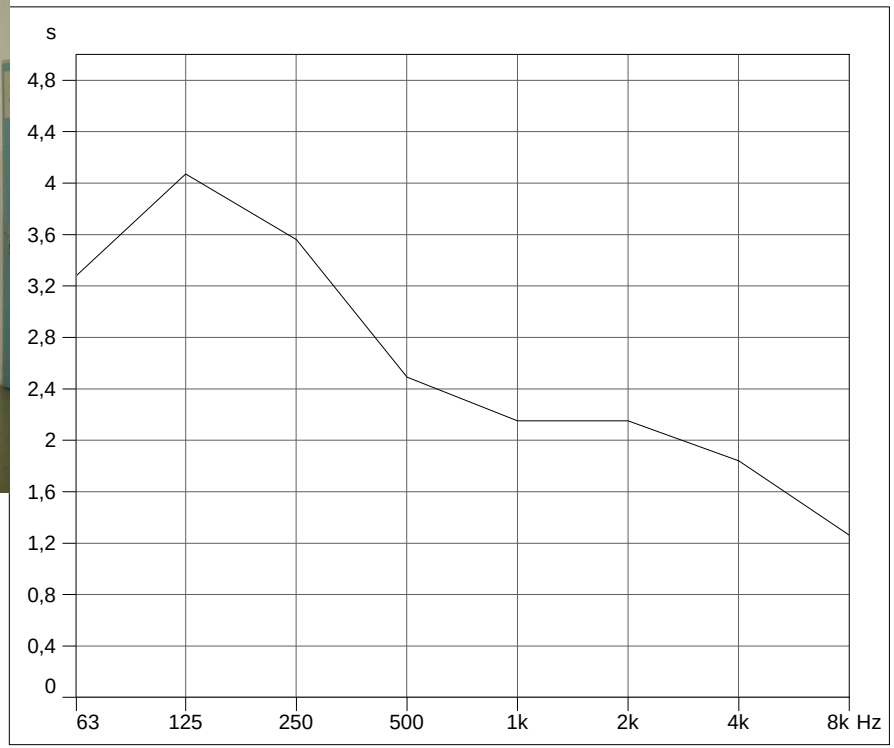


Flure und Foyers

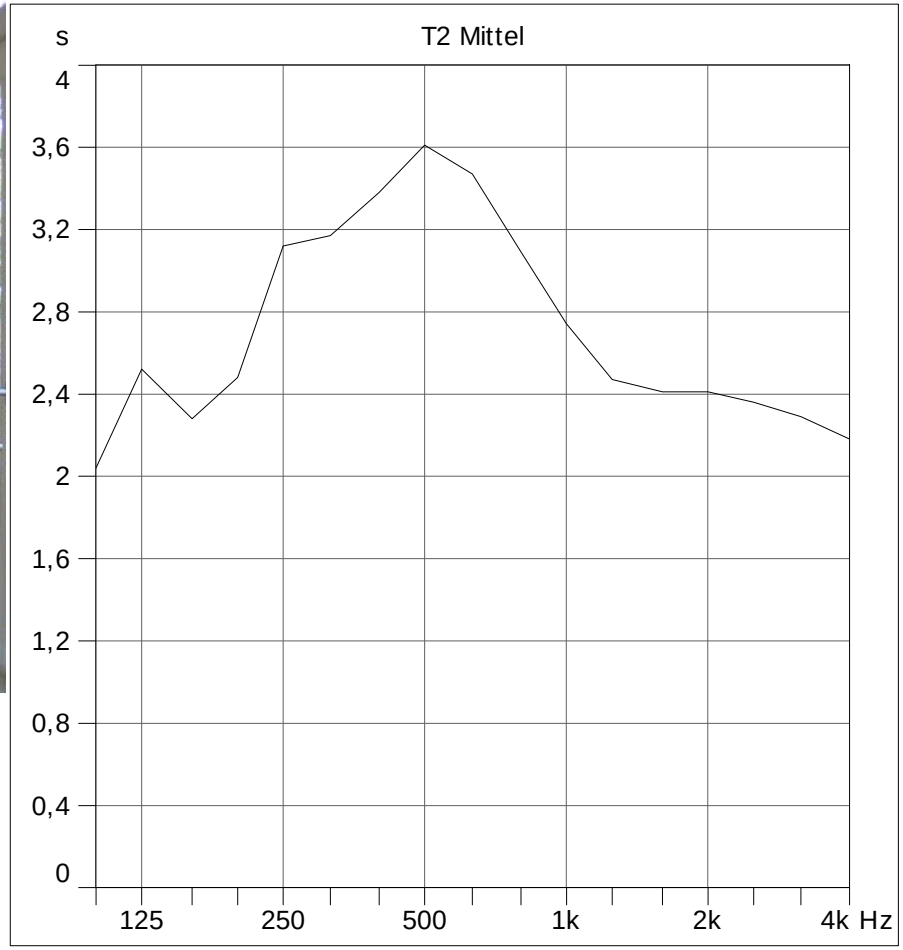
Nachhallzeiten ($T_{30, mid}$) gemessen im unbesetzten Zustand



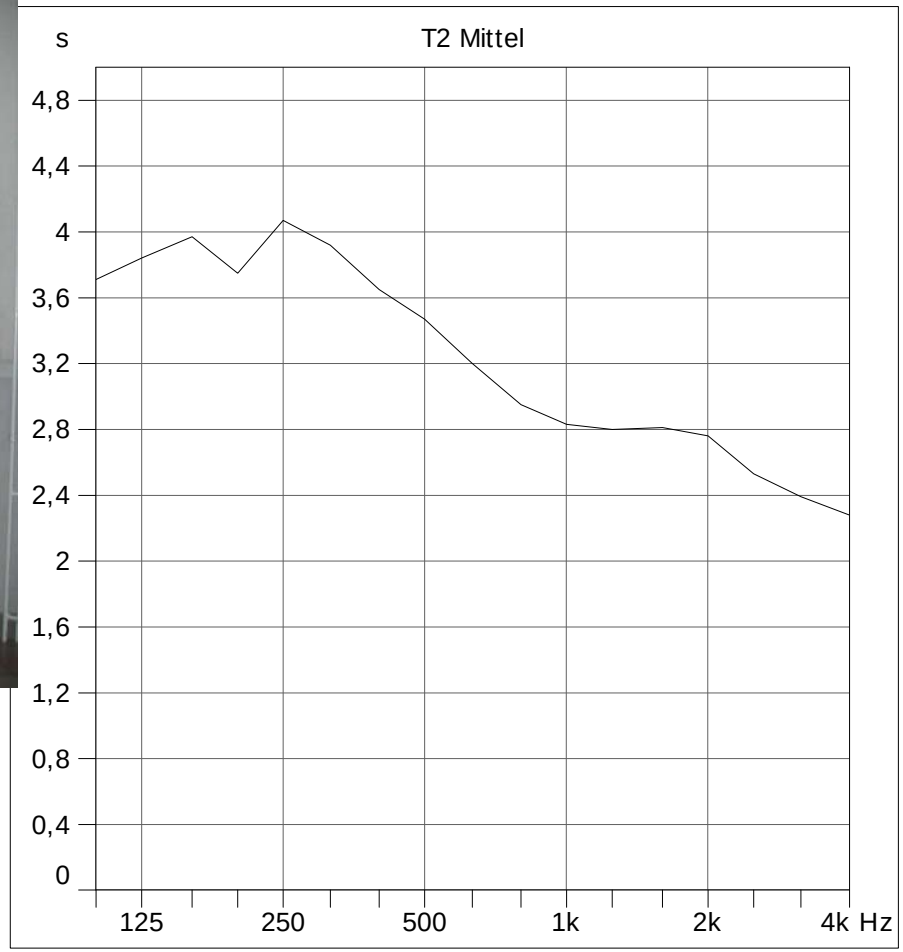
Mornewegschule Flur 3. OG



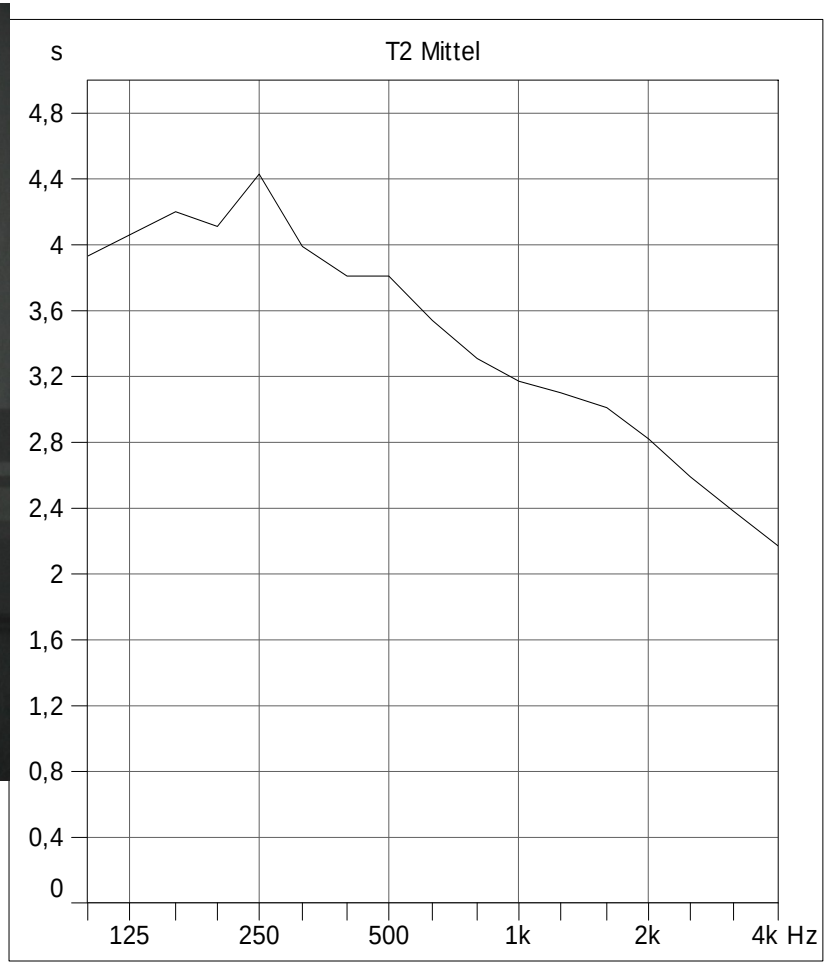
Gutenbergschule sanierter Altbau Flur



Astrid-Lindgren-Schule Flur im 1. OG

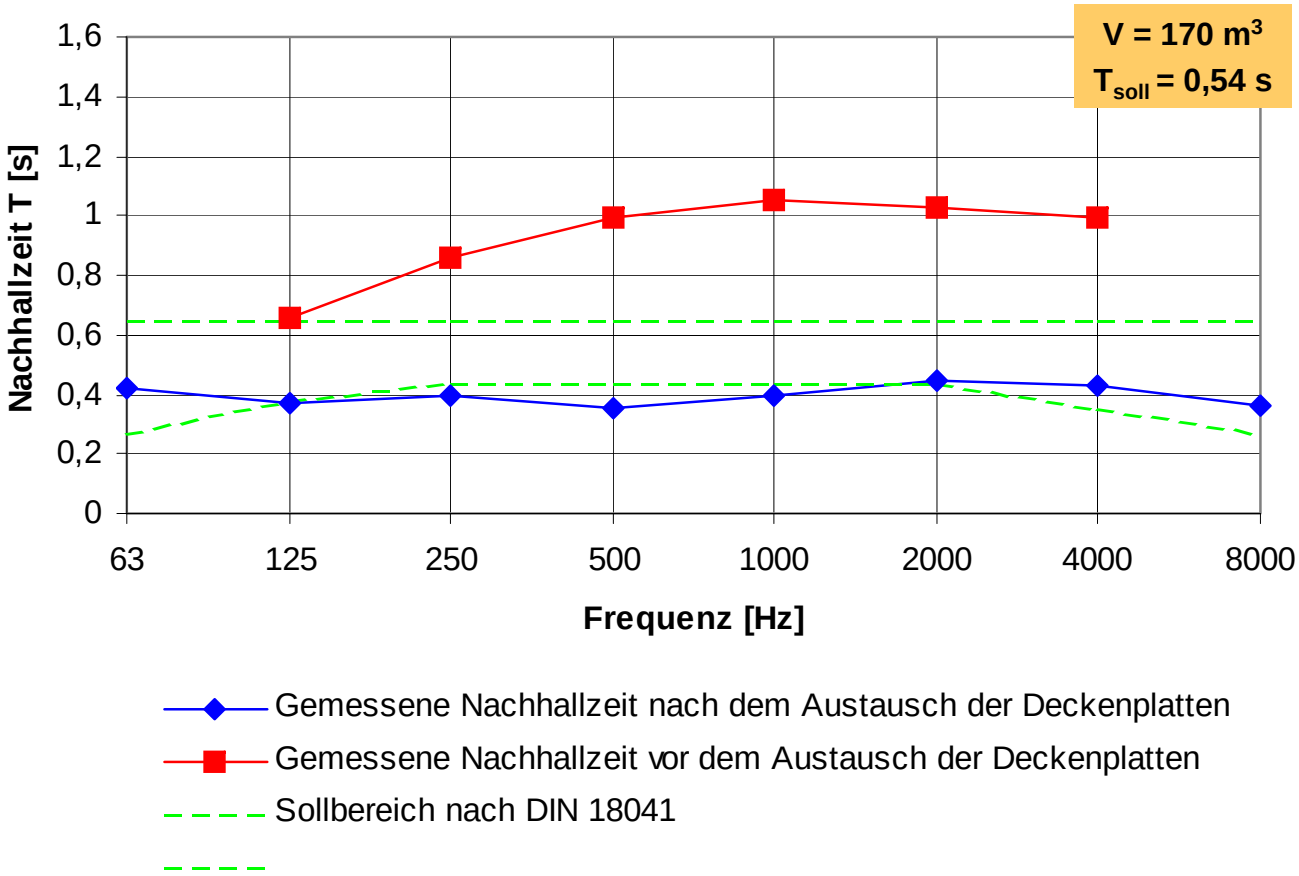


Astrid-Lindgren-Schule Flur und Treppenhaus



Sanierung einer Akustikdecke

- Vorher: Überstrichene Akustikdecke
- Nachher: Neue Akustikdeckenplatten



Forderung

- DIN 18041 muss auch bei den Schulträgern als allgemein anerkannte Regel der Technik bekannt gemacht und durchgesetzt (!) werden.

- Die gesetzliche Verpflichtung zur Anwendung dieser Normen kann aus dem Arbeitsschutzgesetz, dem Sozialgesetzbuch VII sowie der Unfallverhütungsvorschrift „Allgemeine Vorschriften“ GUV-VA1 hergeleitet werden.

Kein Erkenntnisproblem, sondern Vermittlungsproblem !

Weniger geeignete Schulräume

- Typischer Klassenraum in brasilianischen Schulen ohne raumakustische Maßnahmen

- offene bauliche Struktur führt zu unzumutbaren akustischen Verhältnissen

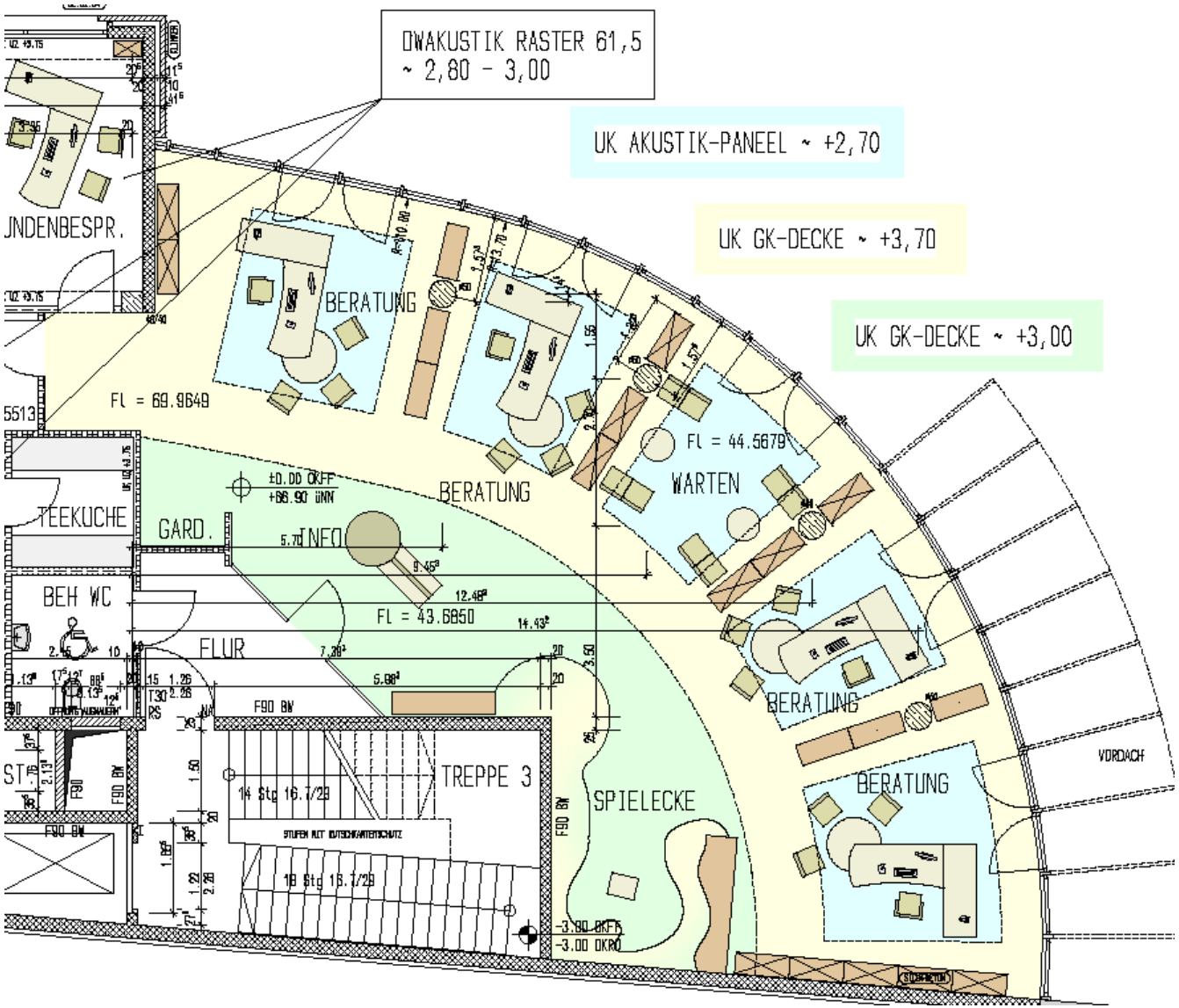
Störgeräuschpegel

$L_{Stör}$ = 75 – 80 dB(A)

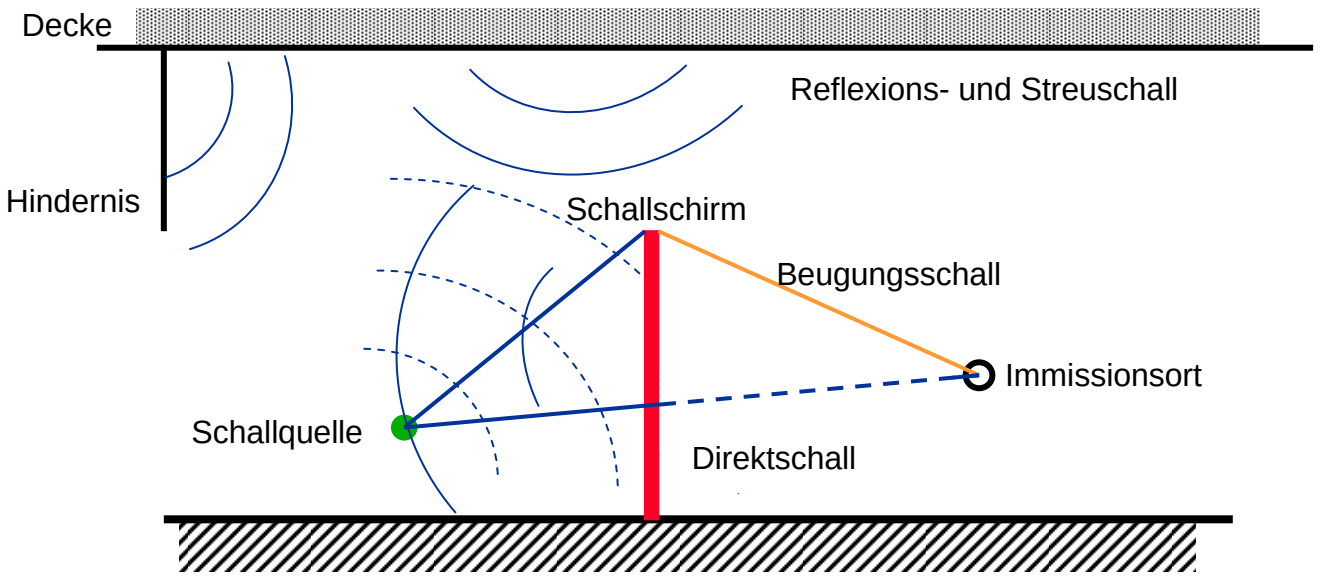
Untersuchungen von Swen Müller et. al.

Büroräume

Großraumbüro



Schallschirme

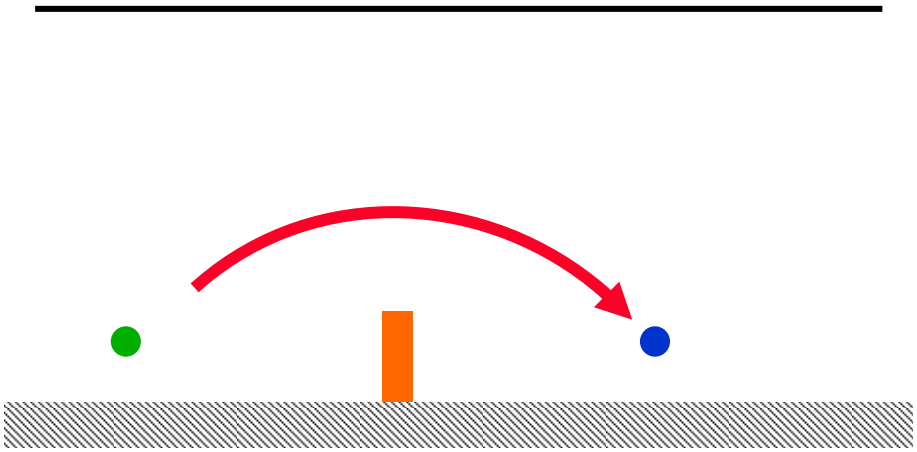


- Schirmung
  - Abschirmung des Direktschalls durch entsprechende Schalldämmung der Wand
  - Aber – frequenzabhängige Beugung um den Schirm herum
- Absorption
  - Reduzierung des Diffuspegels durch zusätzliche Absorption
- Entkopplung
  - Entkopplung von Raumbereichen durch Aufstellung unter absorbierenden Decken

Typische Schirmmaße

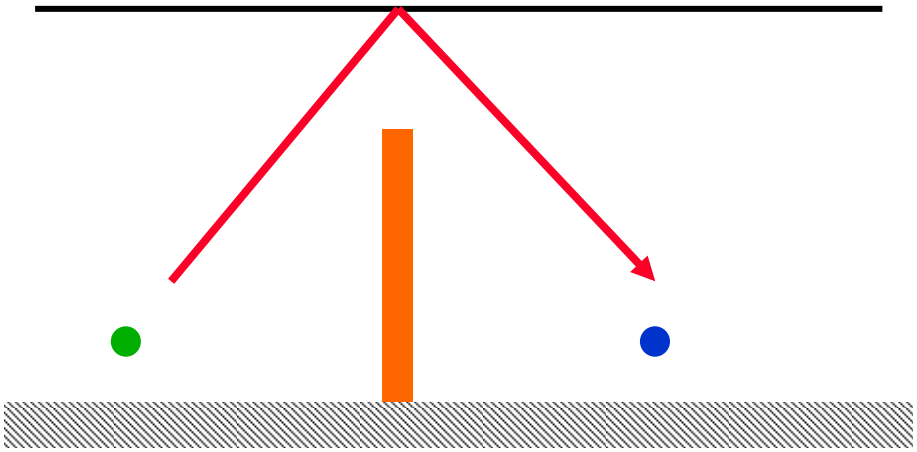
Schirmhöhe / Raumhöhe h/H	(Abstand Quelle – Empfänger) / Raumhöhe s/H		
	< 0,3	0,3 bis 1	1 bis 3
< 0,3	7 dB	4 dB	
0,3 bis 0,5	10 dB	7 dB	4 dB
> 0,5		9 dB	6 dB

Abschirmung



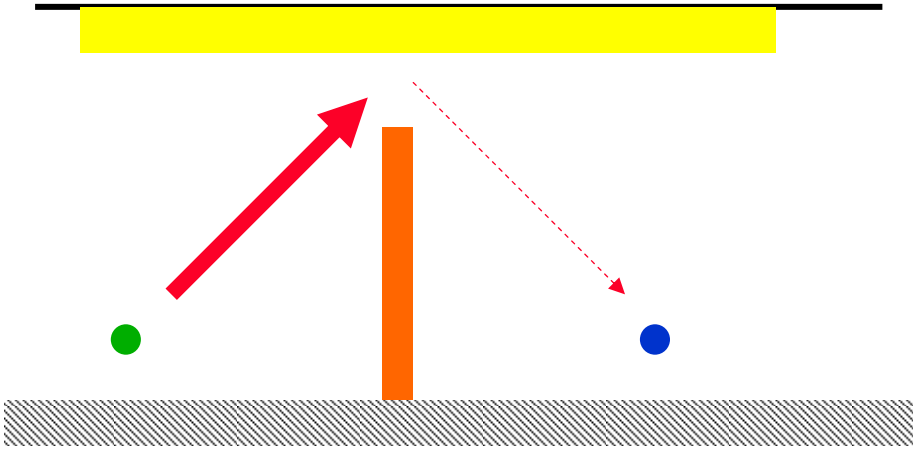
- Wenig wirksam
  - Schirm ist zu niedrig
  - Schall wird um den Schirm herumgebeugt

Abschirmung



- Wenig wirksam
  - Schirm ist zwar ausreichend hoch, aber
  - Schall wird über die Decke oder Seitenwand reflektiert
  - Schirmwirkung ist auf 3-5 dB begrenzt
  - Schirmwirkung kann 10 dB betragen

Abschirmung



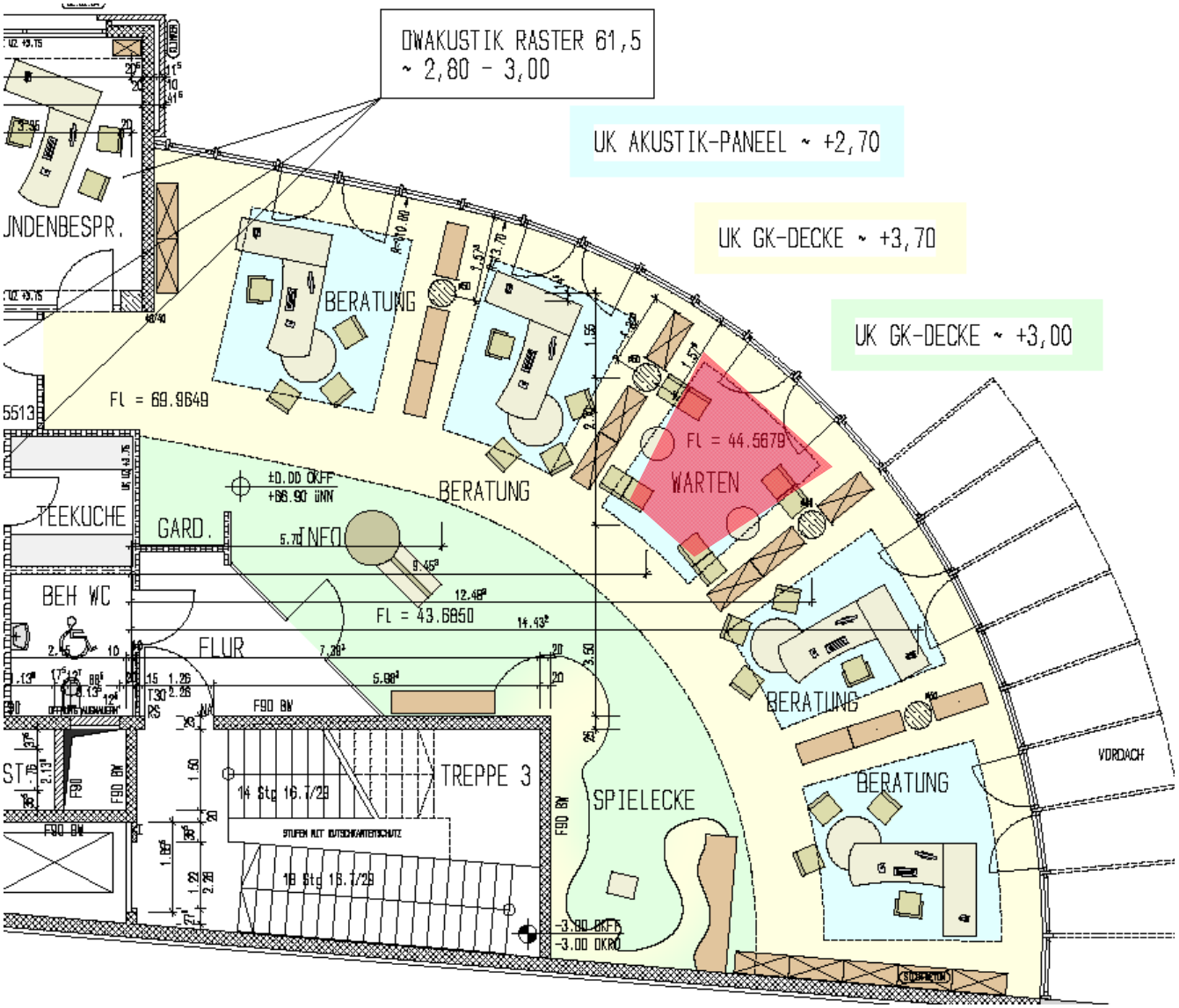
- Gut wirksam
  - Schirm ist ausreichend hoch
  - Reflexionswege sind unterdrückt
  - Schirmwirkungen von 10 dB möglich

Probleme Großraumbüros

- Einerseits
  - Kommunikation und Teamarbeit mit den anderen Mitarbeitern
  - Förderung der Teamfähigkeit
  - Integratives Arbeitskonzept

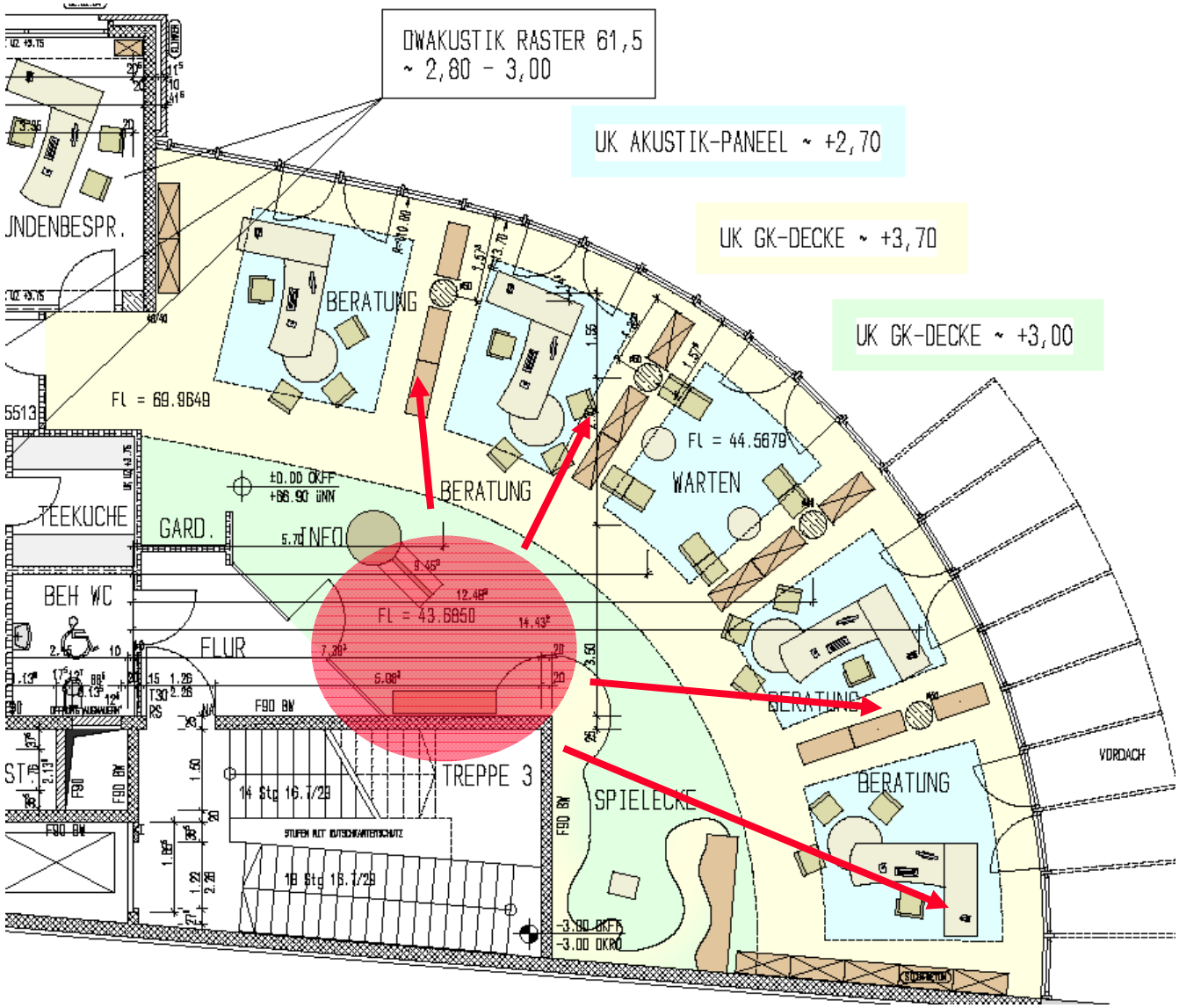
- Andererseits
  - Ruhe bei geistiger Arbeit
  - Keine Störung durch Sprache als Störschall z.B. beim Telefonieren

Großraumbüro



Großraumbüro

Großraumbüro



Wie es oft gemacht wird:

- Büro mit wenig Absorption
- Nachrüstung von Absorption an Decke und Wänden
- Nachrüstung von Schallschirmen geringern Höhe zum Erhalt des Teameffektes

- Implementierung von alternativen Maßnahmen
  - Einspielung verdeckender Geräusche (Sound Masking)

Moderne Probleme

- Thermische Aktivierung der Decke

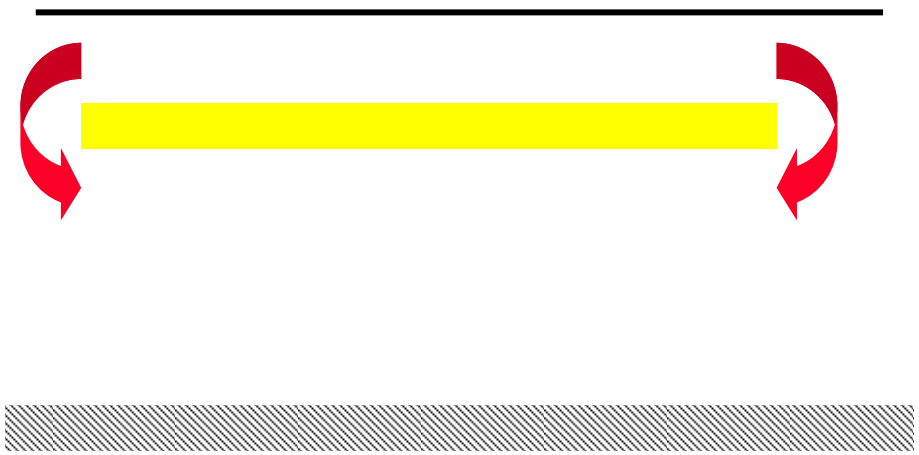
↓

- Absorption in die Wände
- Absorption in Möbel

↓

- Fläche oft zu gering
- Frequenzverhalten der Absorption ungenügend

Deckensegel



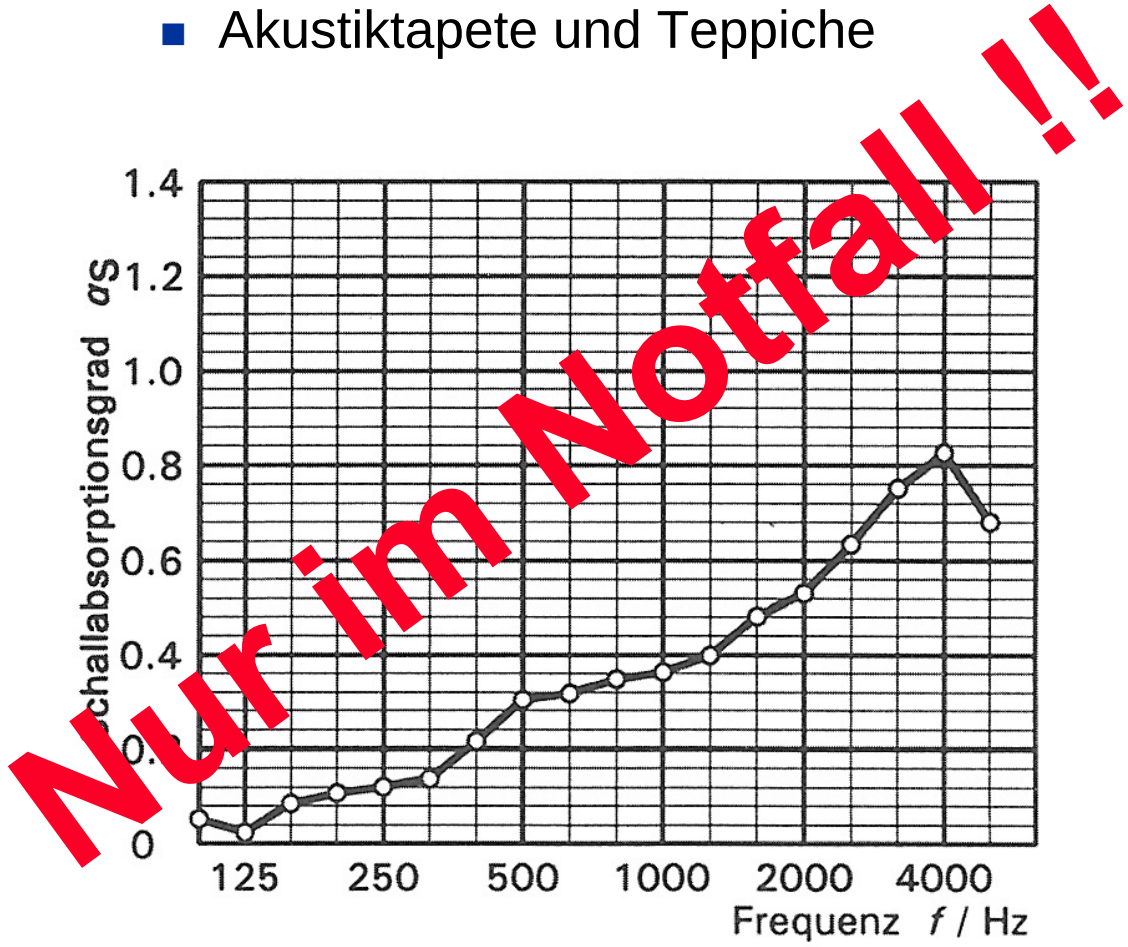
- Nur ein Teil der Deckenfläche belegbar (typ. 10-20 %)

aber

- Ausnutzung von Kanteneffekt und teilweise rückwärtiger Schallexposition

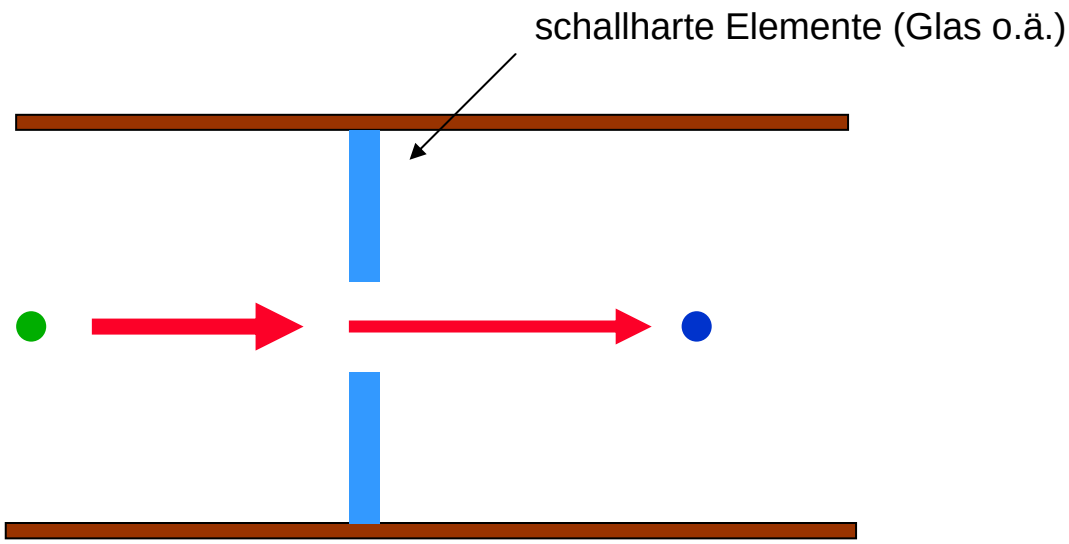
Anmerkung zu dünnen Absorbern

- Akustiktapete und Teppiche



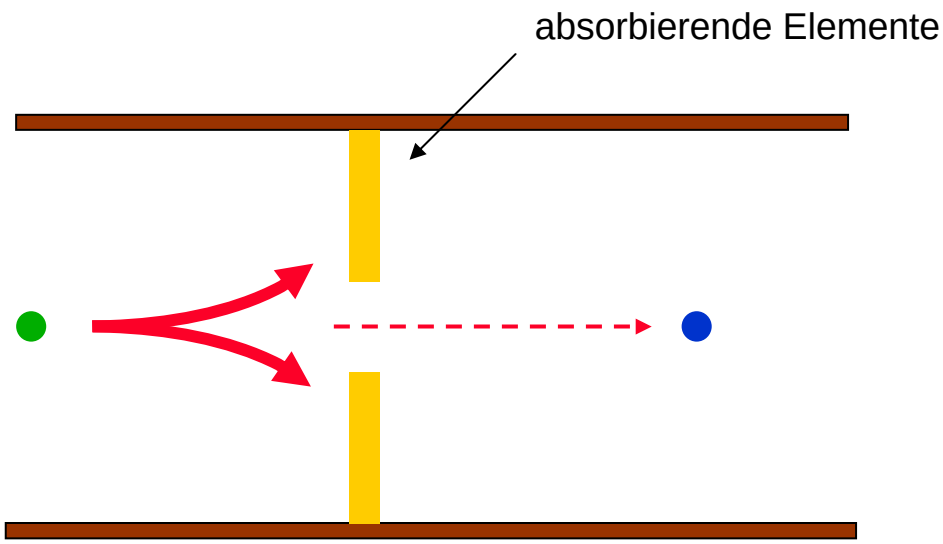
Großraumüro
„open space“
„open plan“

Akustische Schleuse



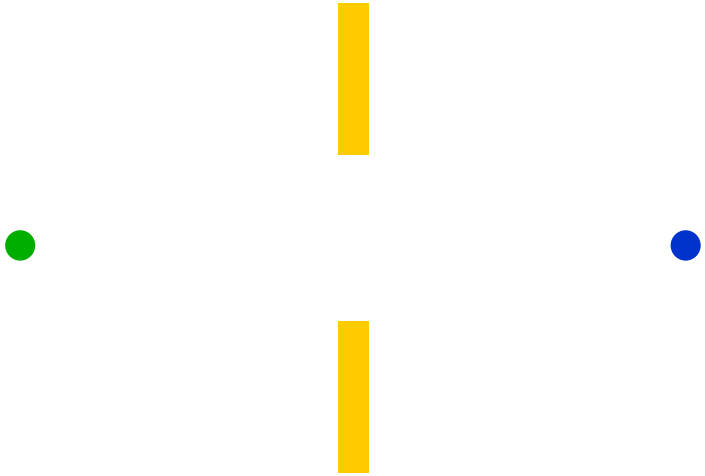
- Schlechte Ausbreitungsdämpfung

Akustische Schleuse

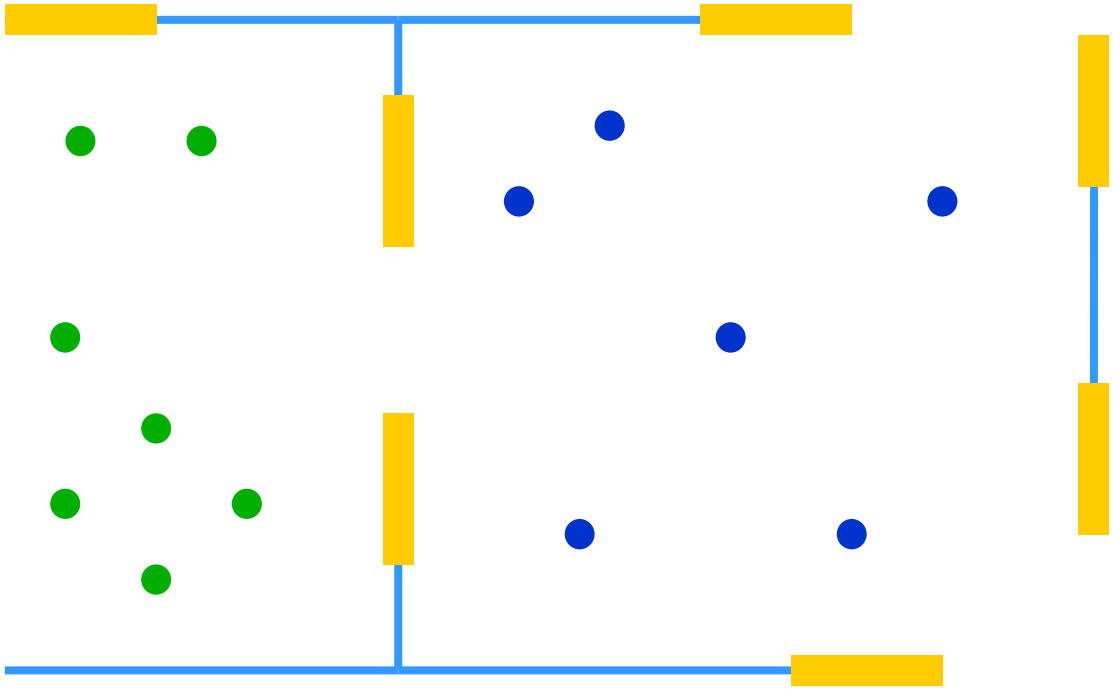


- Bessere Ausbreitungsdämpfung
  - Schallenergie wird im mittleren und tiefen Frequenzbereich in den Absorber hineingebeugt

Akustische Schleuse



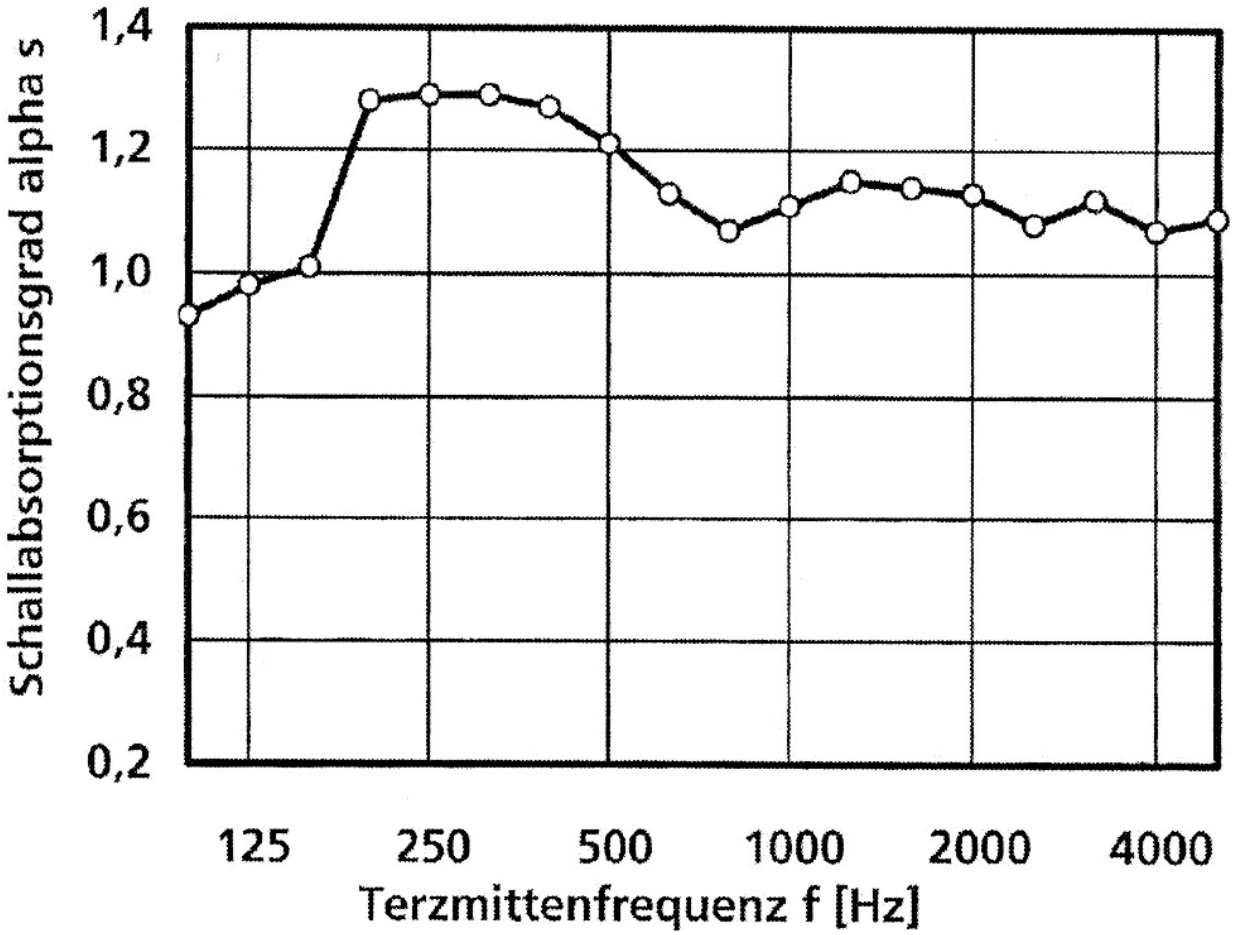
Akustische Schleuse



- Prinzip moderner Akustikelemente im Büro
  - Absorption + wirkungsvolle Schirmung

Realisierung einer akustischen Schleuse

Schallabsorptionsgrad

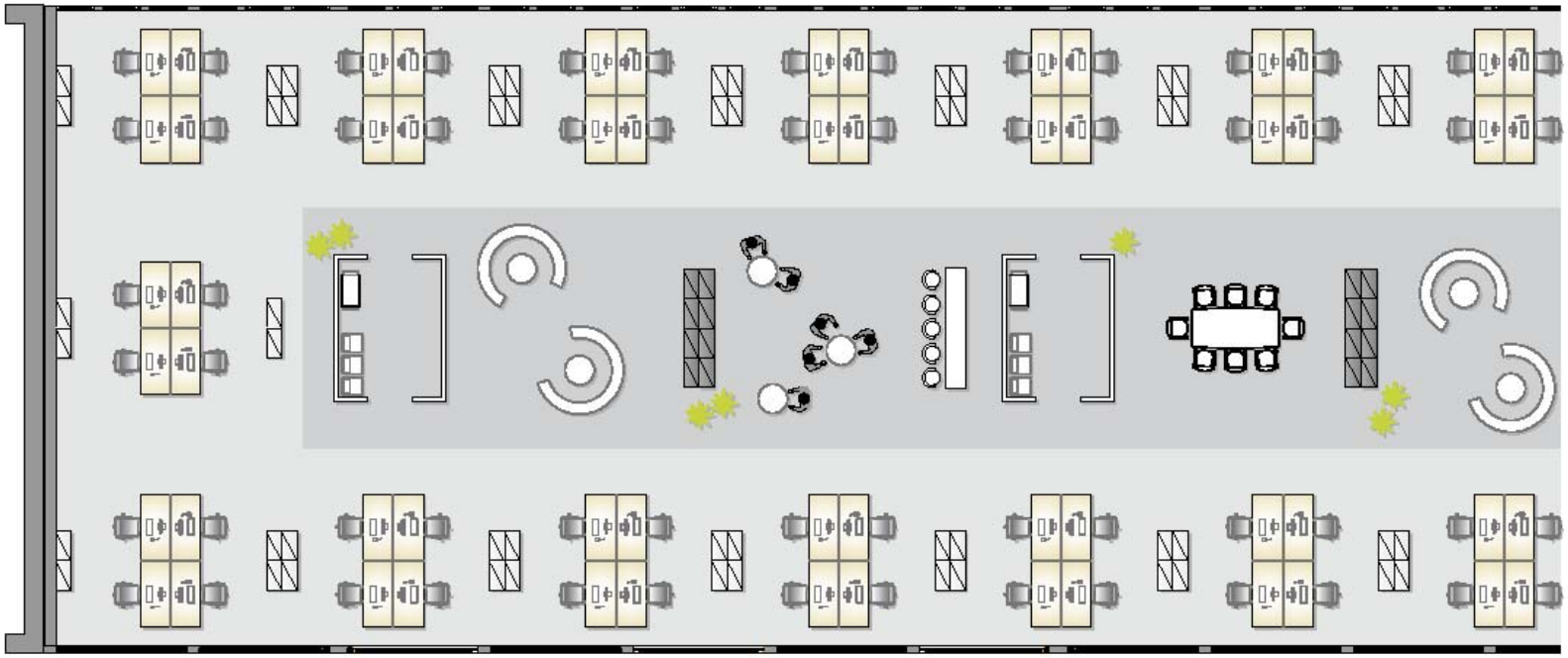


Open plan

Moderne Gestaltung von Büroräumen

Herkömmliche Einrichtungsplanung mit 60 Arbeitsplätzen

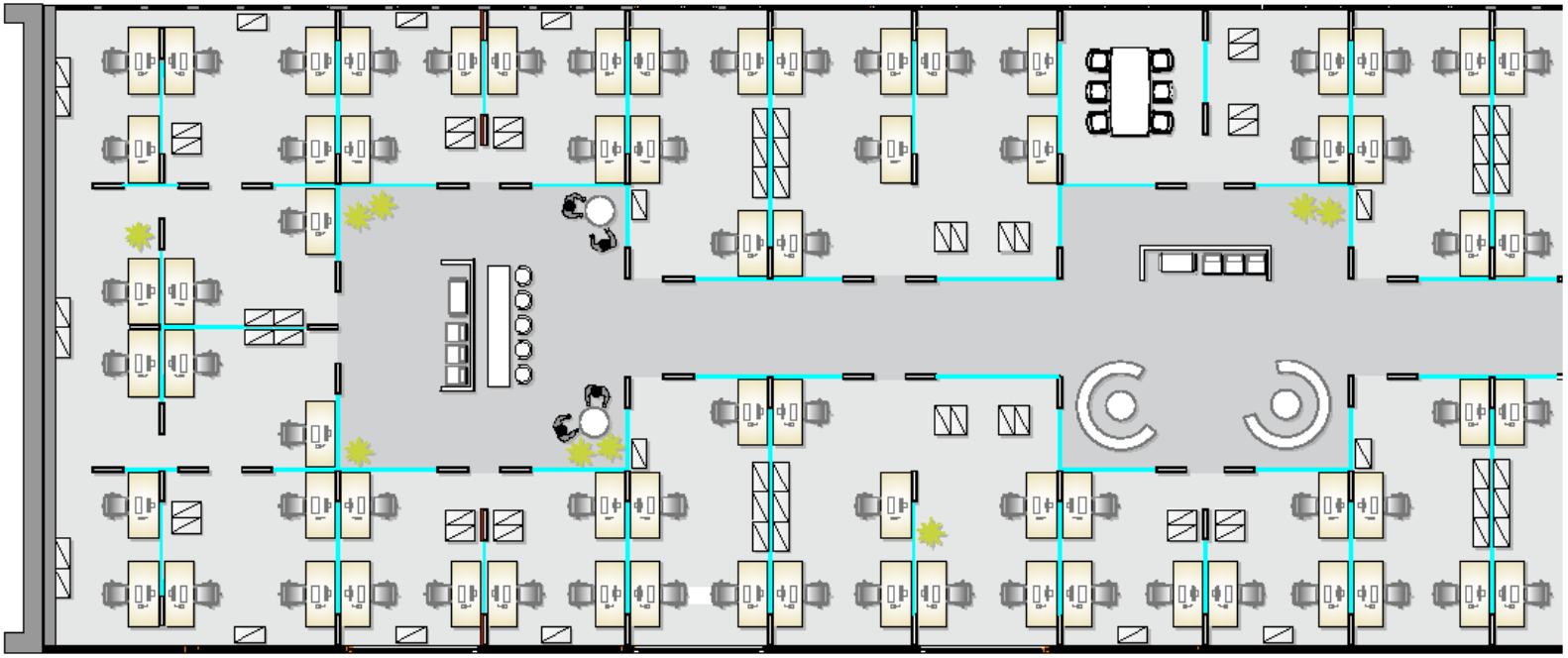
mit unzumutbaren akustischen Bedingungen



Moderne Gestaltung von Büroräumen

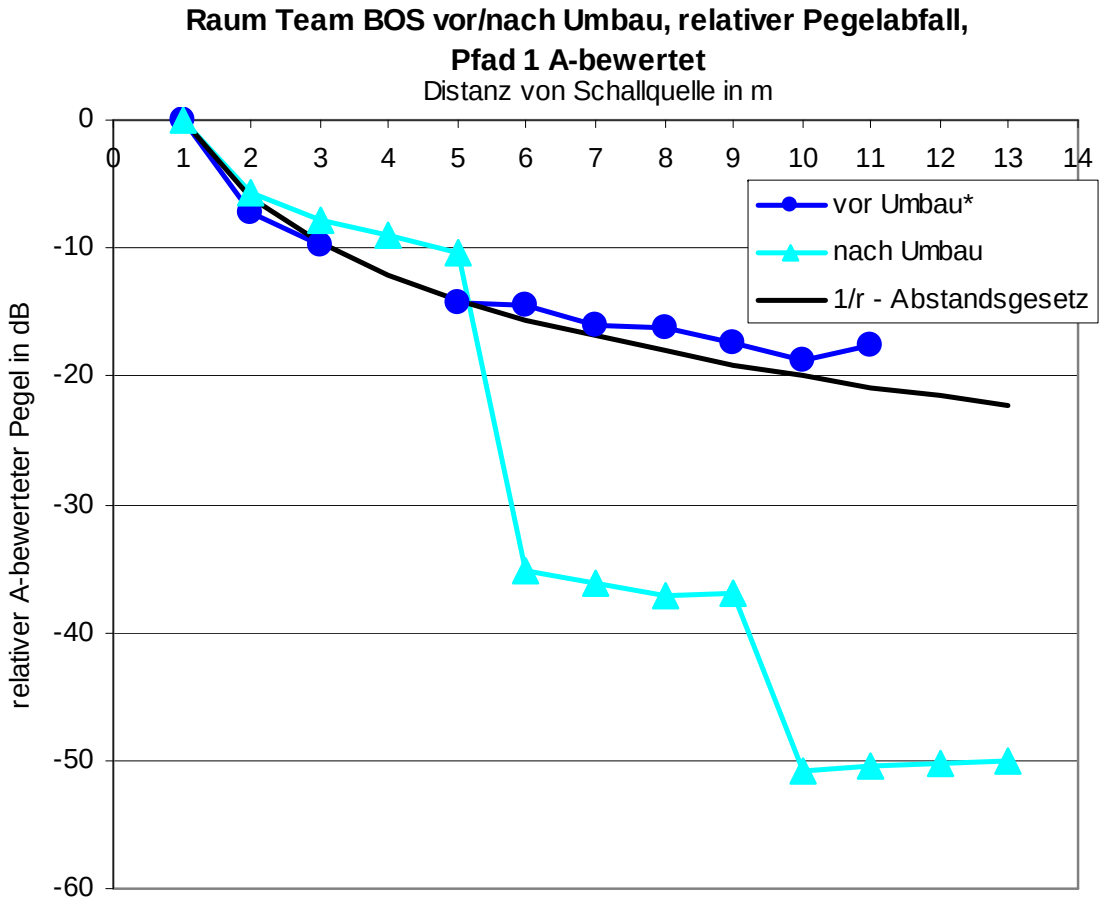
Absorption und wirkungsvolle Schirmung mit modernen Akustikelementen

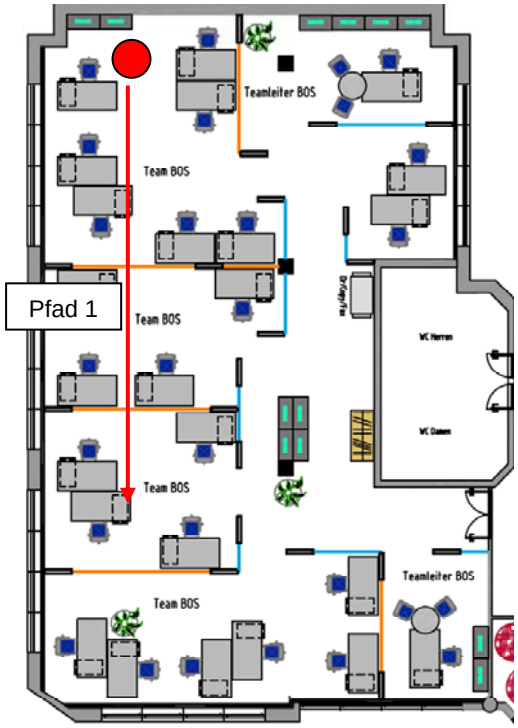
mindestens 70 Arbeitsplätze bei sehr guten akustischen Bedingungen



Moderne Gestaltung von Büroräumen

Aktuelles Projektbeispiel





Mehrzweckhallen / Stadthallen

Aufgabenstellung

Anforderung

- Kein Geld für mehrere Einzelfunktionsräume
- Flexibilität bei möglichst guten Gesamtbedingungen
- Mobiliar

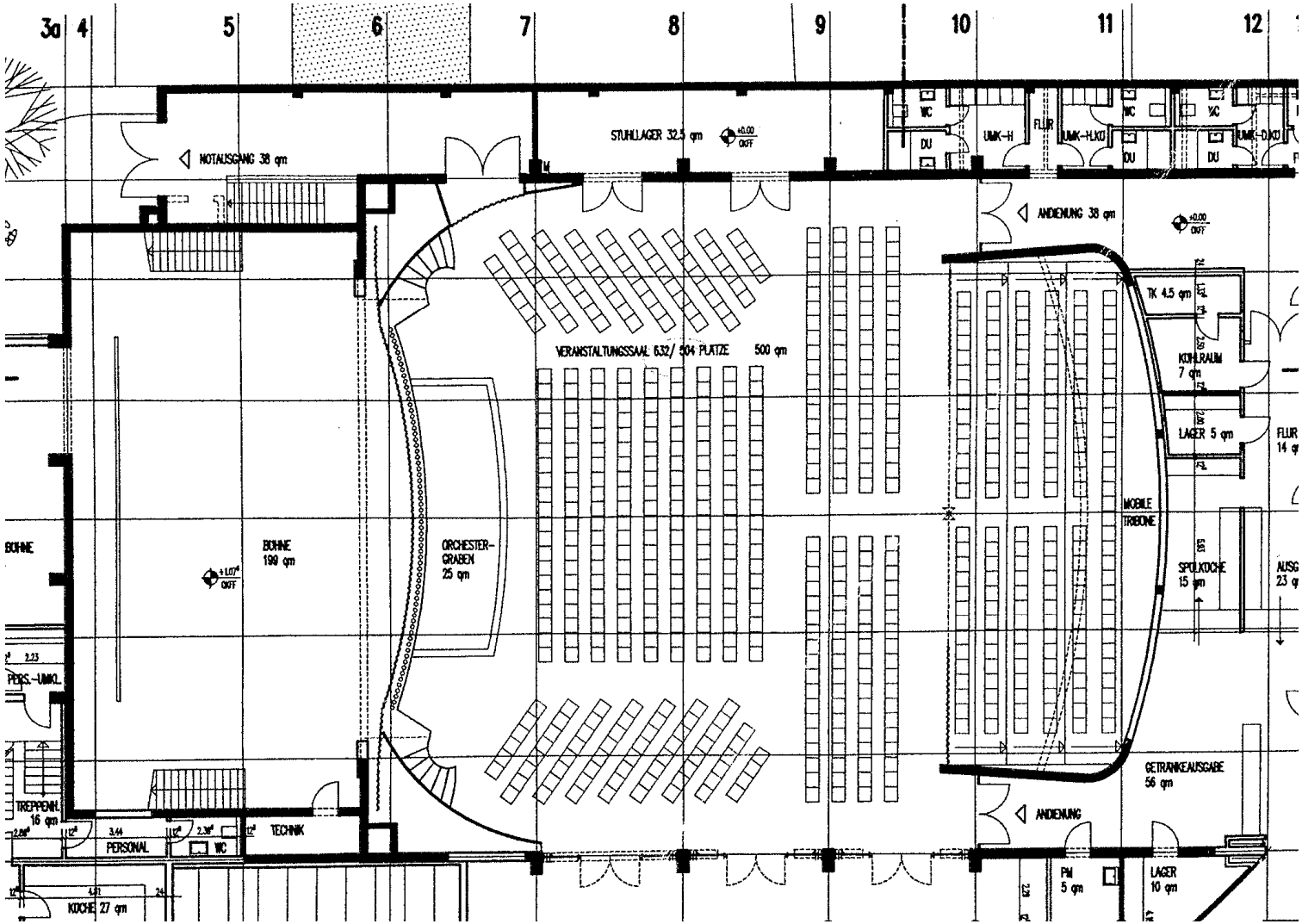
Probleme (Herausforderung)

- Keine feste Sende-Empfangsbeziehung
- Variable festgelegte Zuhörerzahl (variable Absorption)
- Keine feste Bestuhlung (variable Grundabsorption)
- Alle Darbietungsarten sollen möglich sein

Vorgehensweise

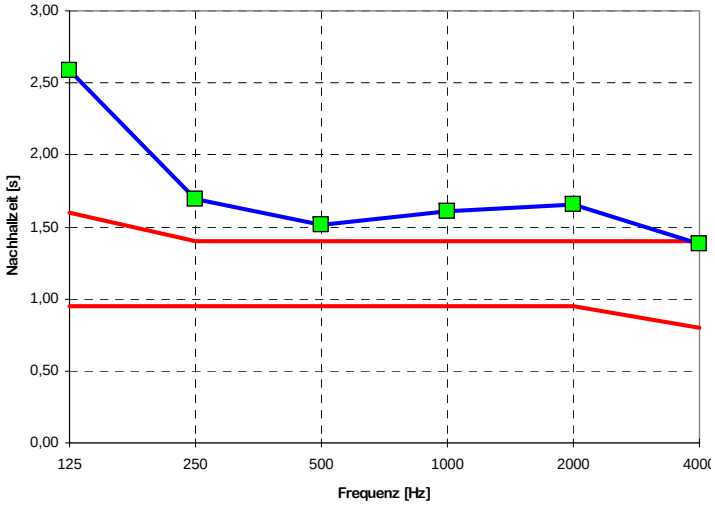
- Intensive Befragung aller Beteiligten über den Nutzungszweck
- Aufgabenumfang festlegen
- Verantwortung teilen – alle Absprachen schriftlich festhalten
- Sollnachhallzeit auf Hauptnutzungszweck auslegen
- Mit dem Planer die Oberflächen bestimmen !!! (Hauptaufgabe)
- Maßnahmen zur Reflexionsführung auf Papier oder wenn bezahlt mit dem Computer
- Gutachten / Bericht schreiben mit allen wesentlichen Punkten
- Wenn bezahlt Abnahmemessung

Stadthalle

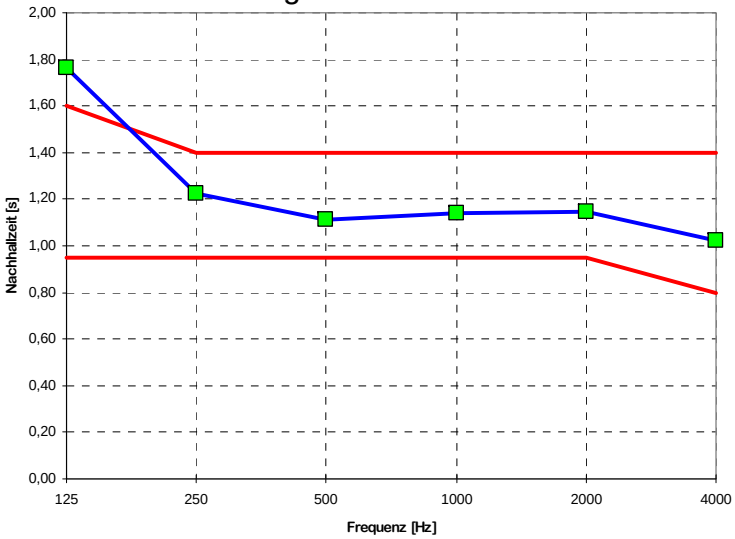

3a
4
5
6
7
8
9
10
11
12
NOTAUSGANG 38 qm
STUHLLAGER 32,5 qm
WC
DU
UMK-H
FLUR
UMK-H.KD
UMK-D.KD
ANDIENUNG 38 qm
TK 4,5 qm
KOHLRAUM 7 qm
LAGER 5 qm
FLUR 14 qm
VERANSTALTUNGSSAAL 632/ 504 PLATZE 500 qm
MOBILE TRIBÜNE
SPÜLKÜCHE 15 qm
AUSG 23 qm
BÜHNE
BÜHNE 199 qm
ORCHESTER-GRABEN 25 qm
PERS.-UMKL.
TREPPENH. 16 qm
PERSONAL
WC
TECHNIK
KÜCHE 27 qm
GETRÄNKEAUSGABE 56 qm
ANDIENUNG
PW 5 qm
LAGER 10 qm

Nachhallzeit der Stadthalle

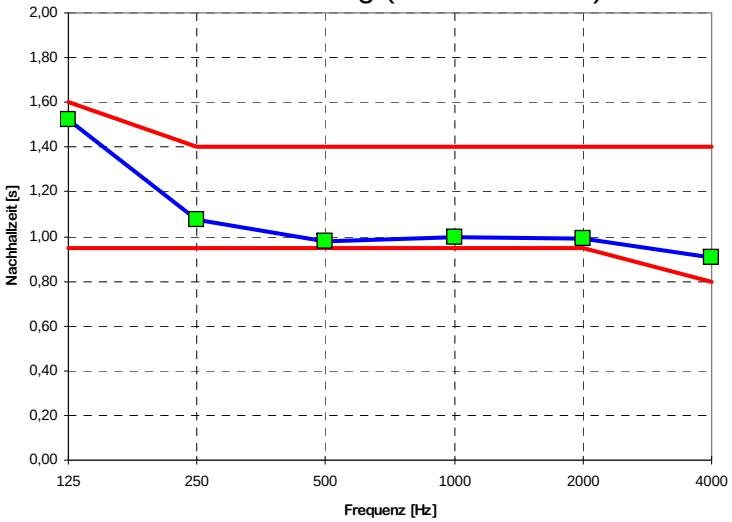
leer



2/3-Besetzung

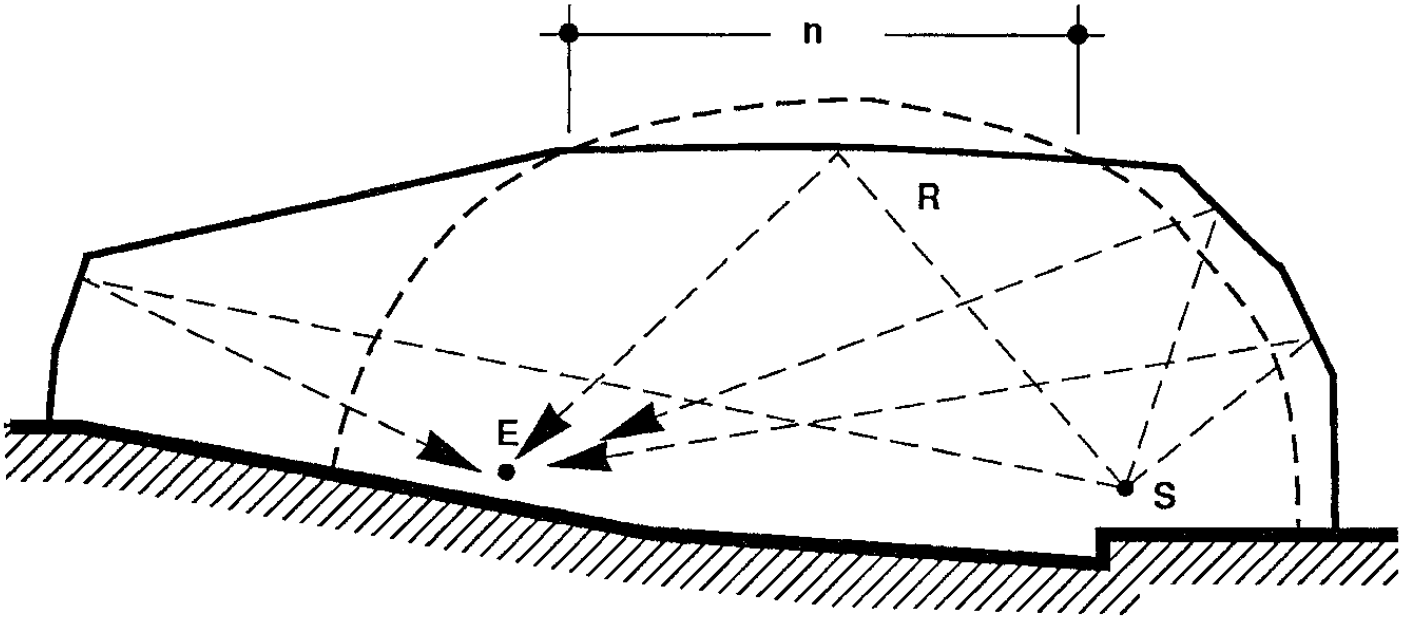


Maximale Besetzung (520 Personen)



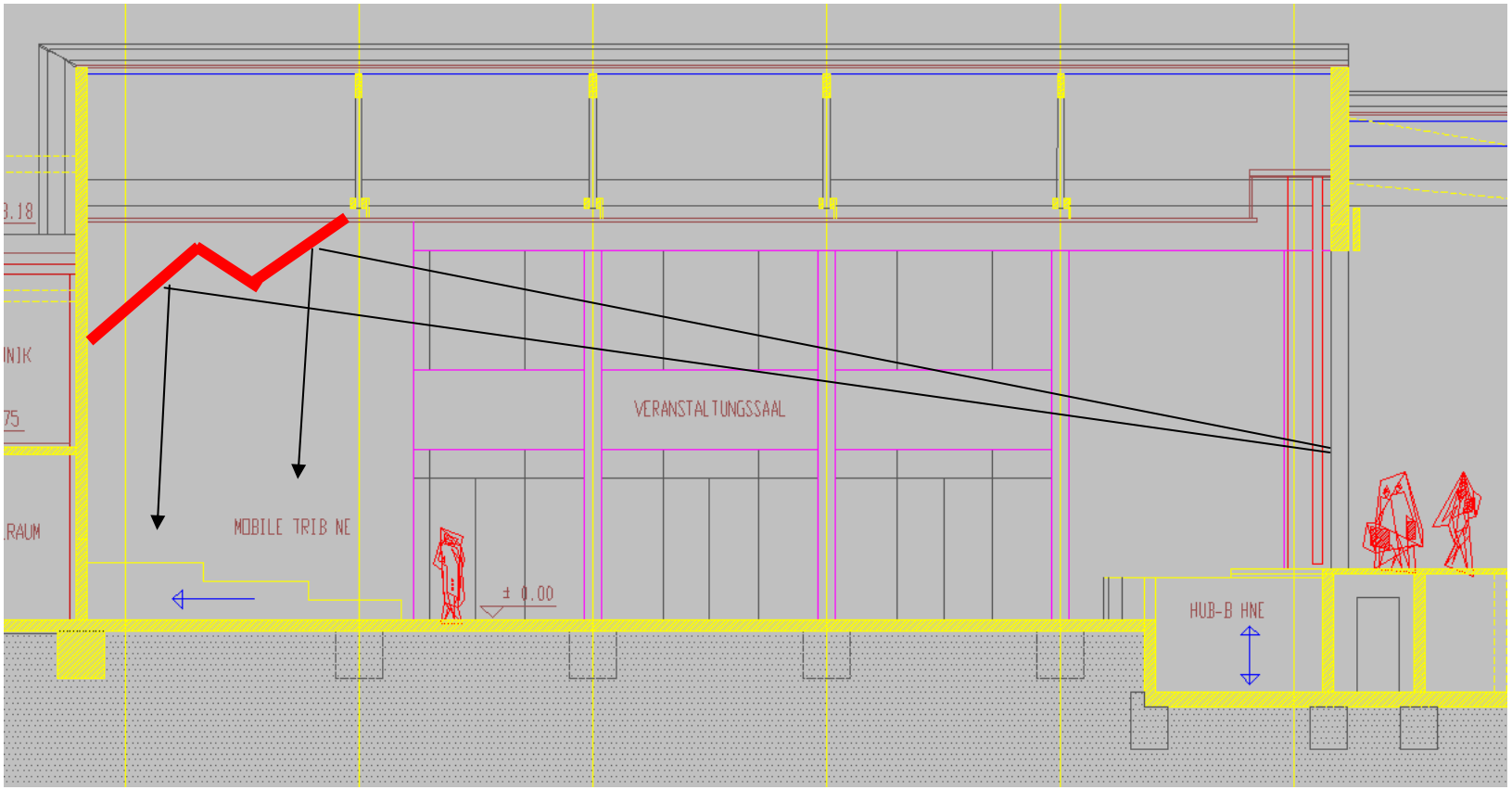
Echo

Ellipsenkonstruktion zur Feststellung der Umweglängen von frühen Reflexionen



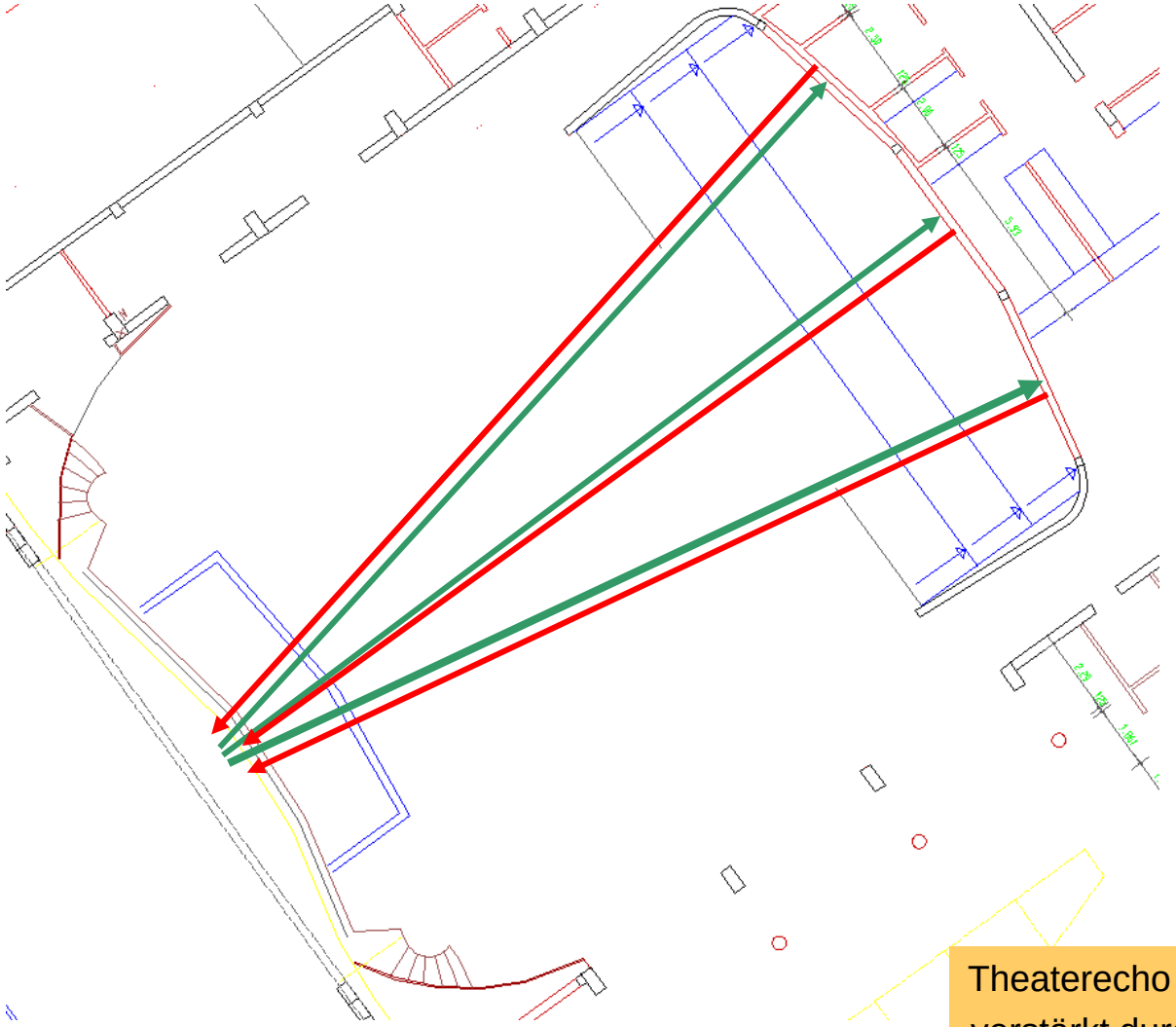
- Laufzeitdifferenzen zwischen Direktschall und frühen Reflexionen
  $\Delta t < 50ms \longleftrightarrow \Delta l < 17\ m$

Reflexionslenkung



Mehrzwecksaal nach dem Umbau

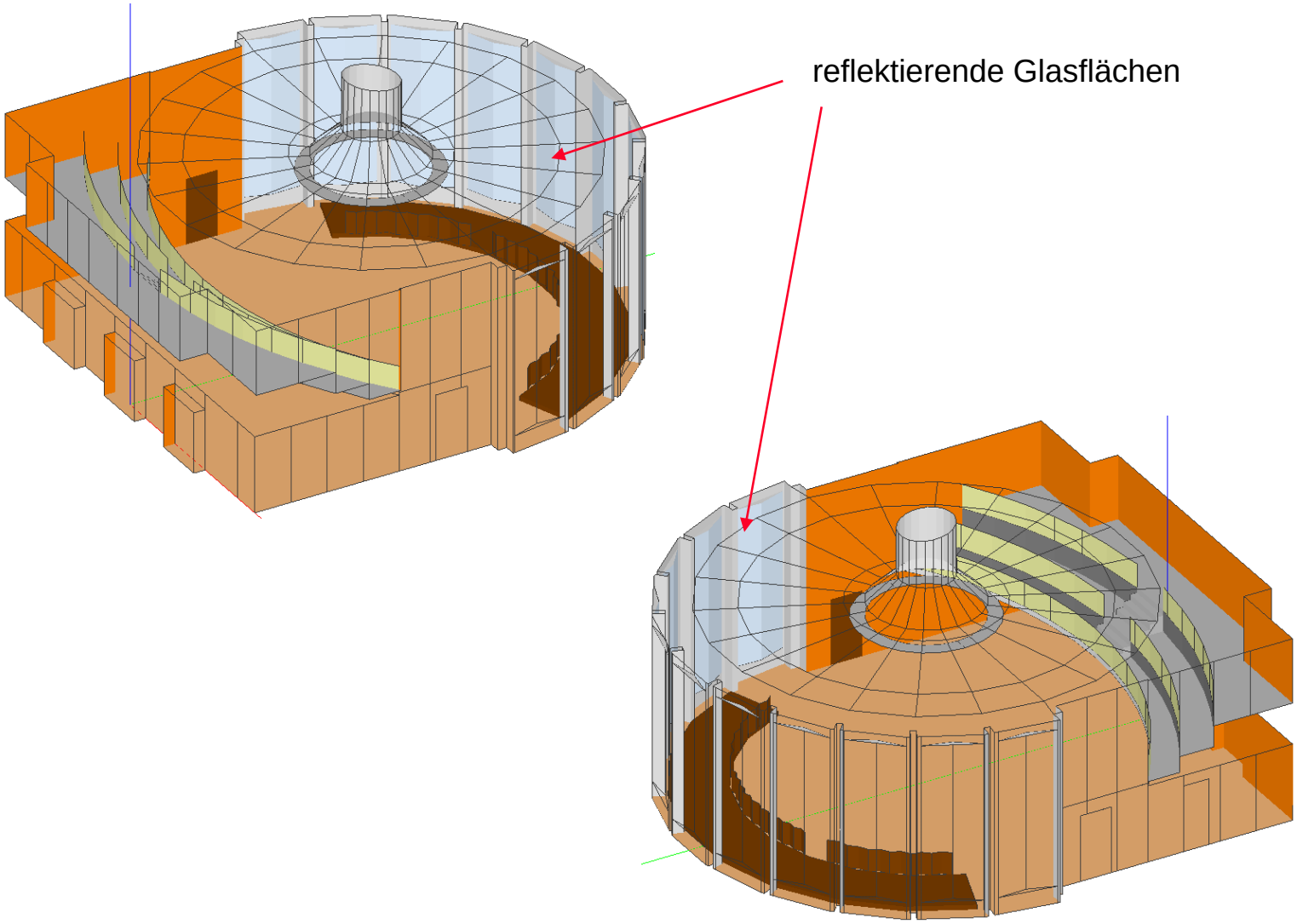
Fokussierende Wirkung



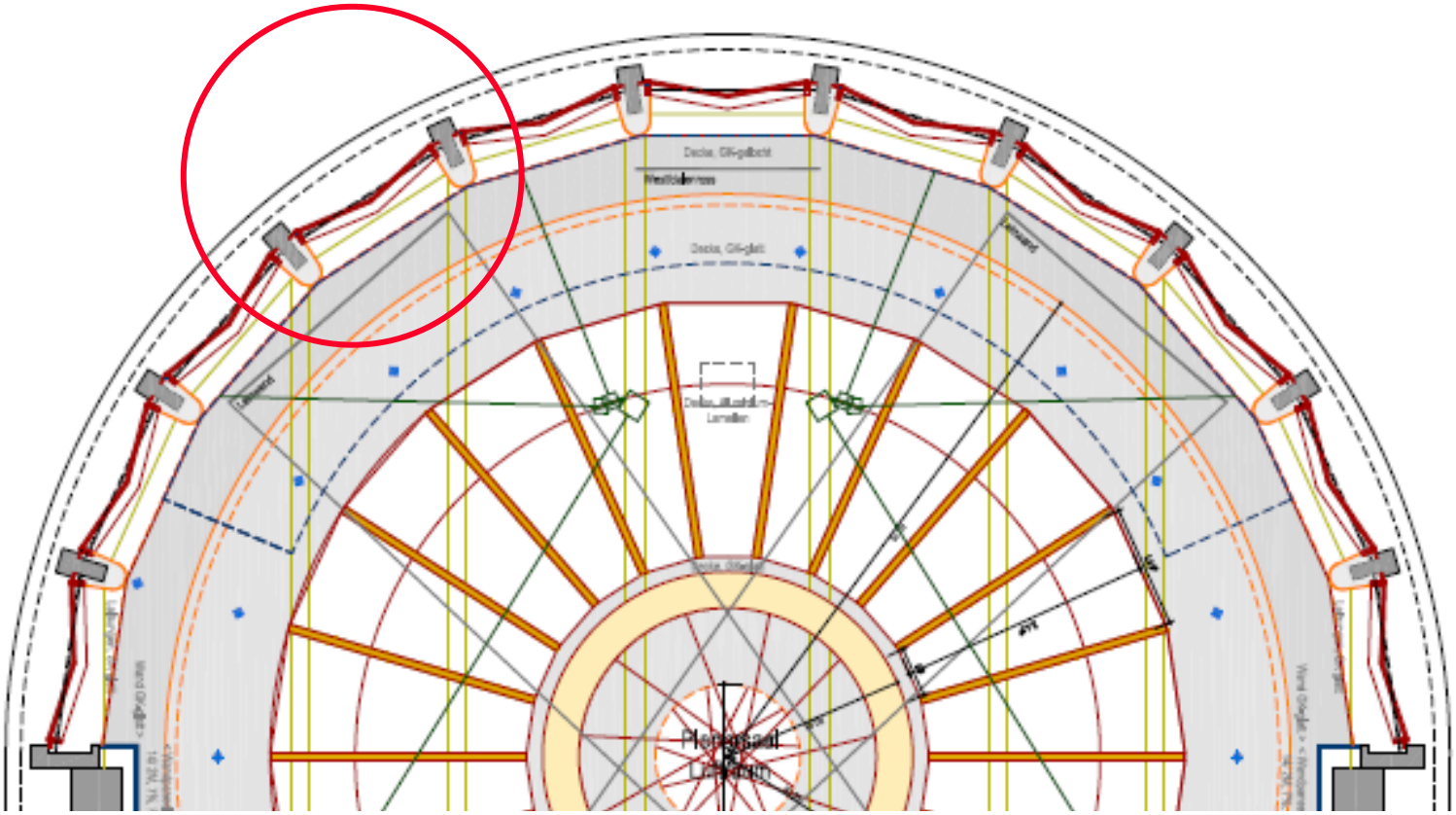
Theaterecho von der Bühnenrückseite, verstärkt durch fokussierende Wirkung

Plenarsaal

Computermodell Plenarsaal



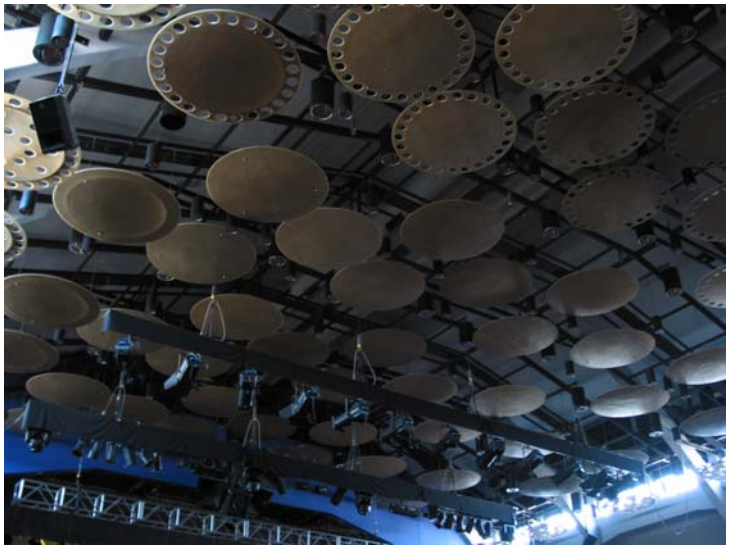
Aufbrechen der Halbrund-Geometrie

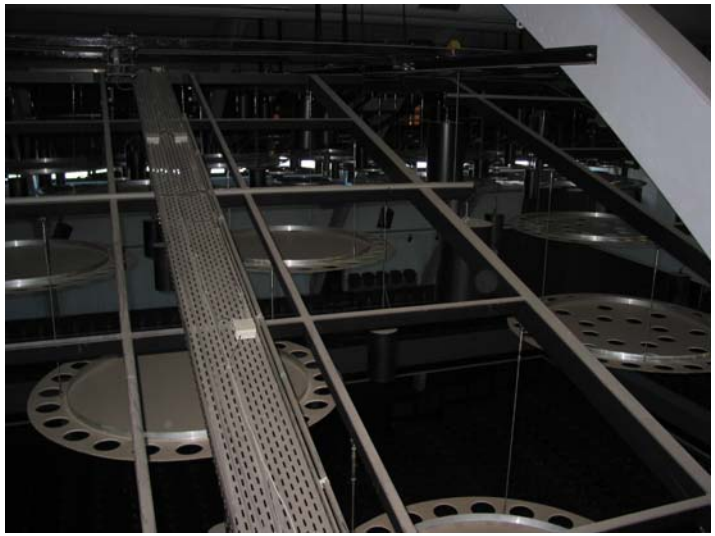


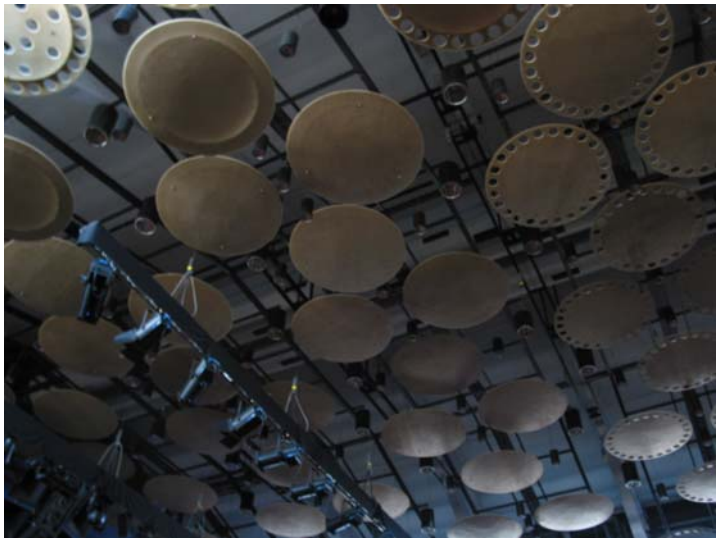
Weser-Ems Halle Oldenburg

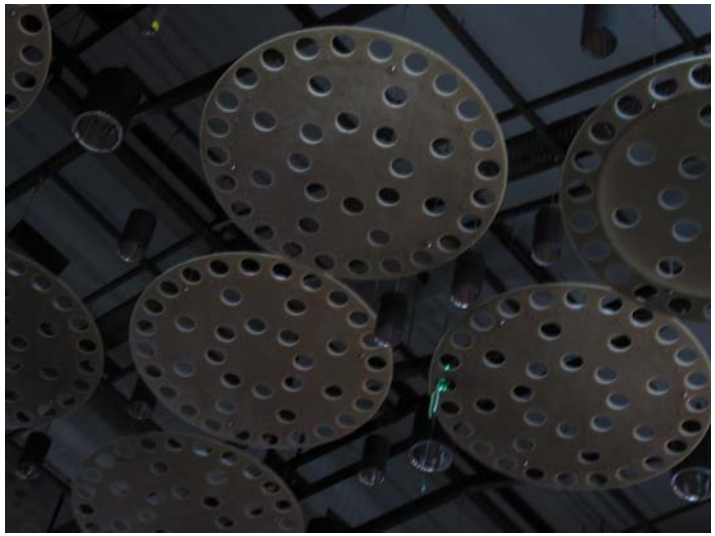
Frühe Deckenreflexionen (Weser-Ems Halle)

Frühe Deckenreflexionen (Weser-Ems Halle)









Weser-Ems Halle Oldenburg

Helmholtz-Resonatoren

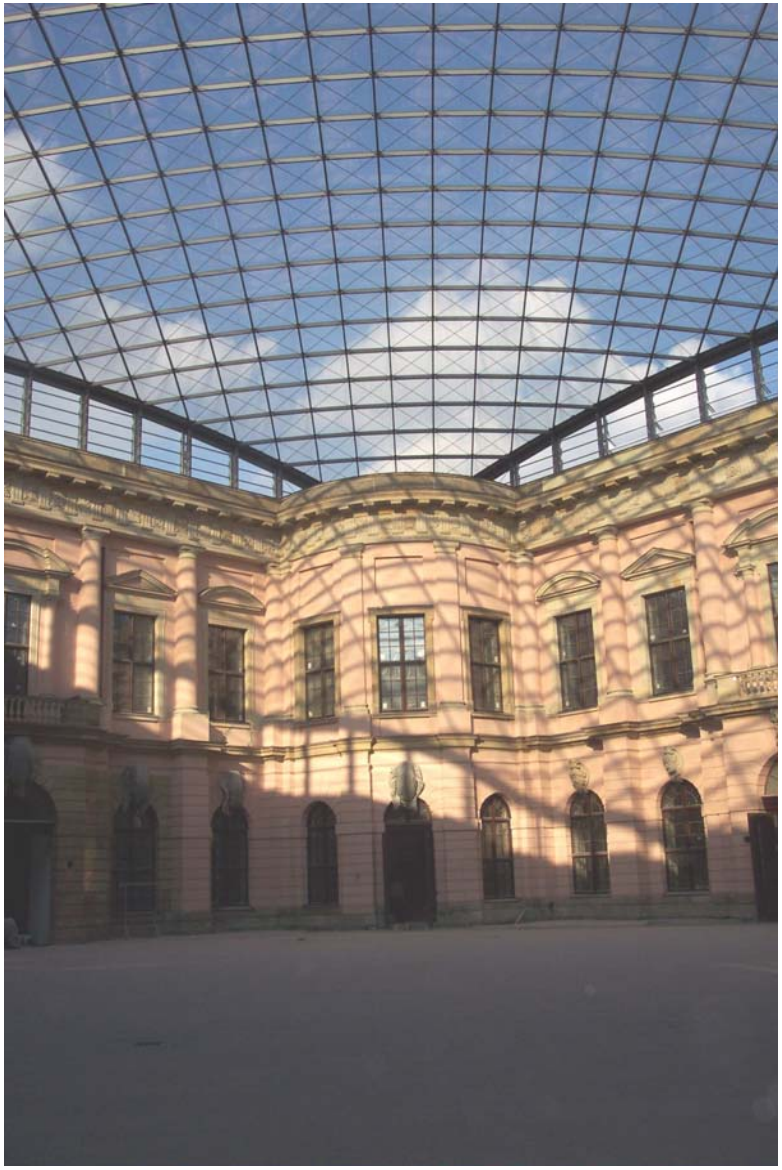
Flatterecho im Schlüterhof

(Akustikbüro Moll, Berlin)

Schlüterhof in Berlin

Schlüterhof in Berlin

Schlüterhof in Berlin

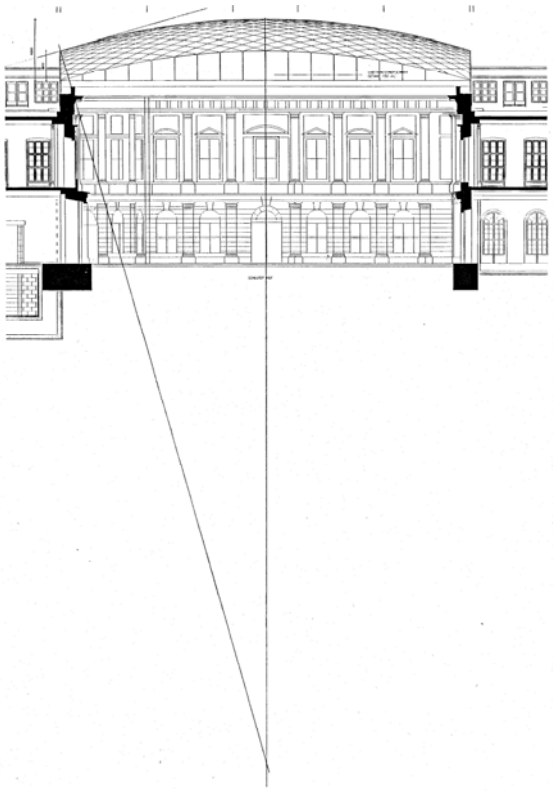


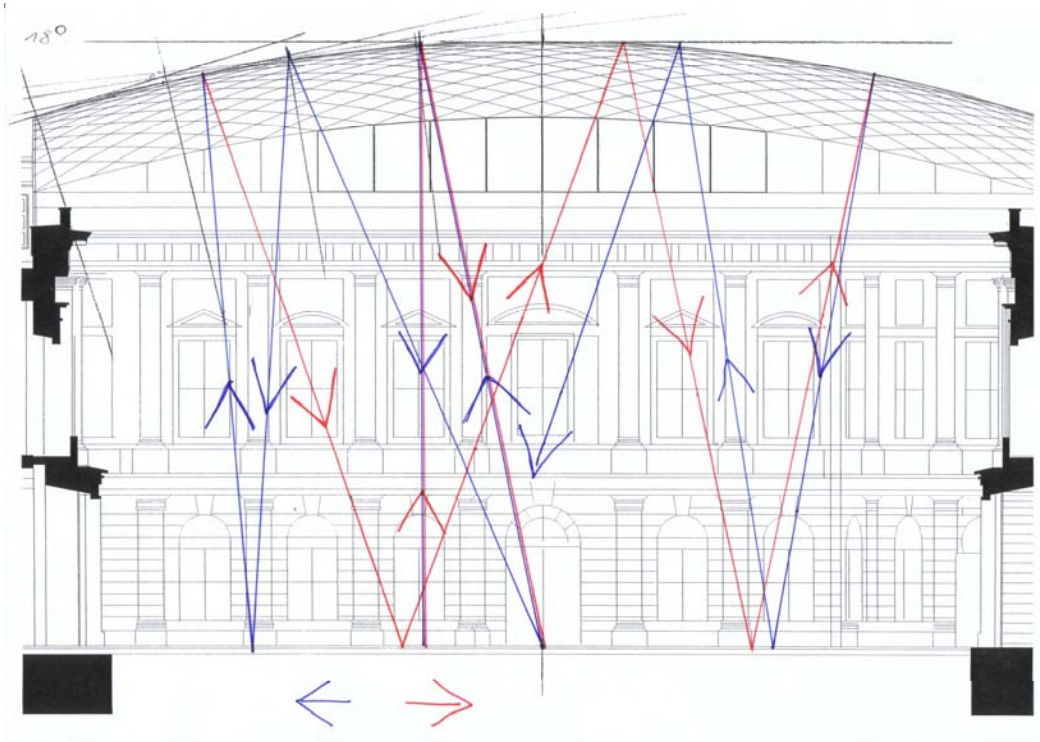
- konkaves Glasdach nach Entwurf von I.M. Pei
- berühmte Barockfassade mit Kriegerköpfen von Andreas Schlüter, stark aufgelöst mit hoher Diffusität
- Marmorboden

- Grundfläche ca 40m x 40m= 1600 m²
- Volumen ca. 35.000 m³
- Höhe: maximal 25 m, minimal 20 m

Strahlengänge

Vereinfachte Darstellung zweier Strahlengänge in der Schnittebene der Hauptachse

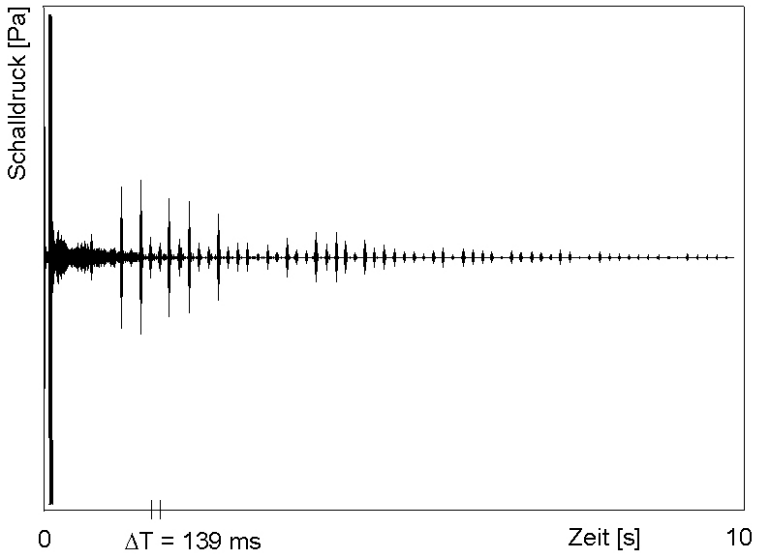




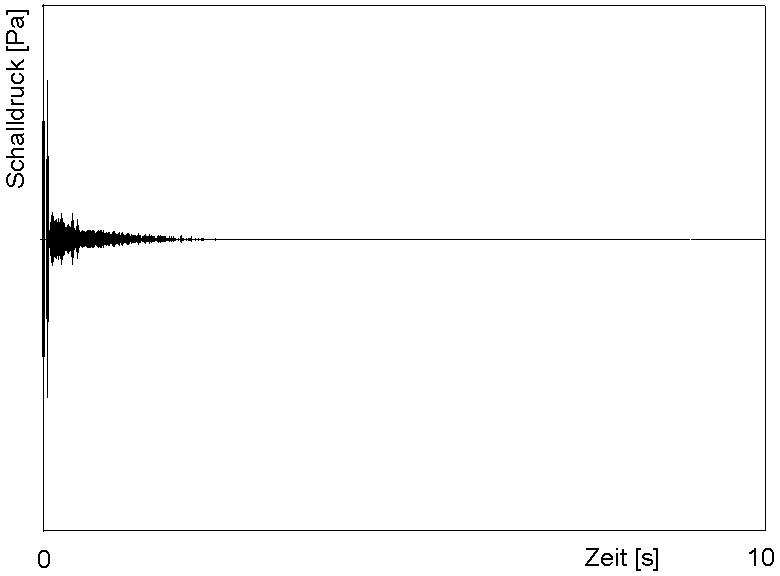
Bewegungsrichtung nach rechts

Impulsantwort

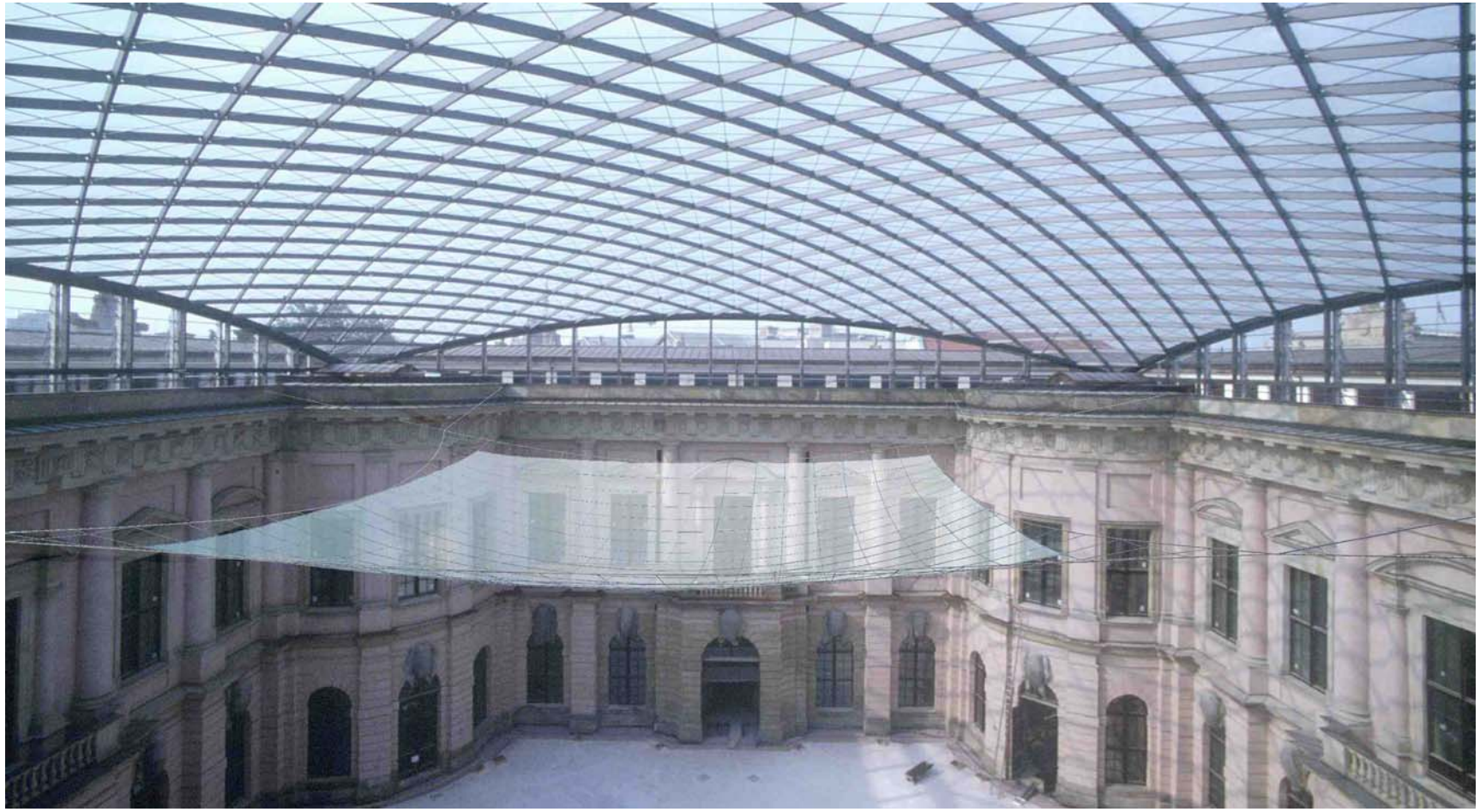
Gemessen



Echobereinigt

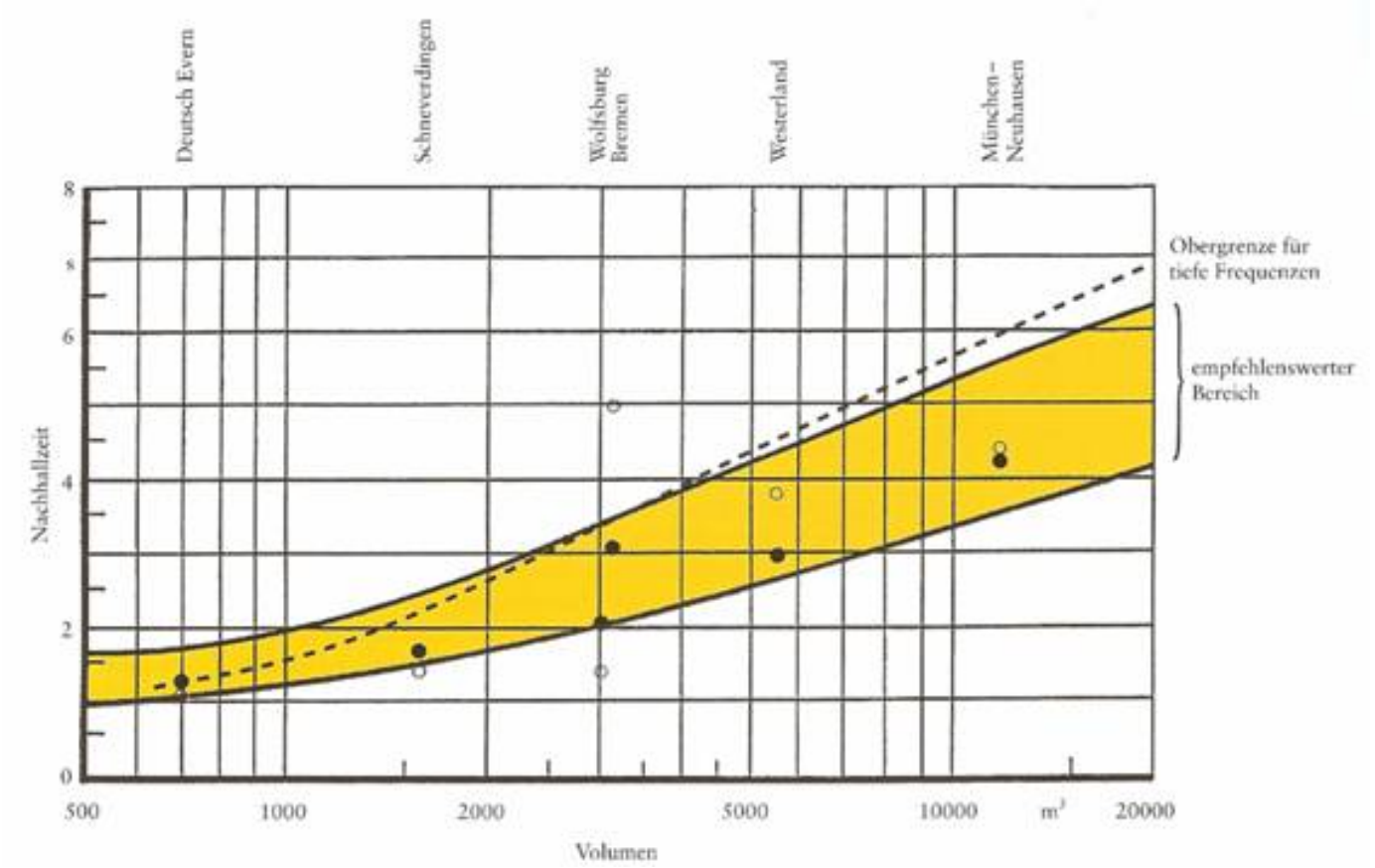


Glasdach des Schlüterhofes



Kirchenakustik

Nachhallzeiten nach Meyer



Maria Magdalena in Geldern

Nachhallzeit vor der Sanierung

Frequenz f in Hz	Nachhallzeit T in s
50	3,1
63	2,1
80	2,4
100	2,5
125	2,8
160	3,6
200	4,7
250	4,9
315	5,1
400	5,1
500	5,2
630	5,2
800	5,3
1000	5,1
1250	4,5
1600	4,2
2000	3,9
2500	3,4
3150	3,0
4000	2,4
5000	2,0
6300	1,6
8000	1,3
10000	0,9

Tabelle 1 Ergebnisse der Nachhallzeitmessung

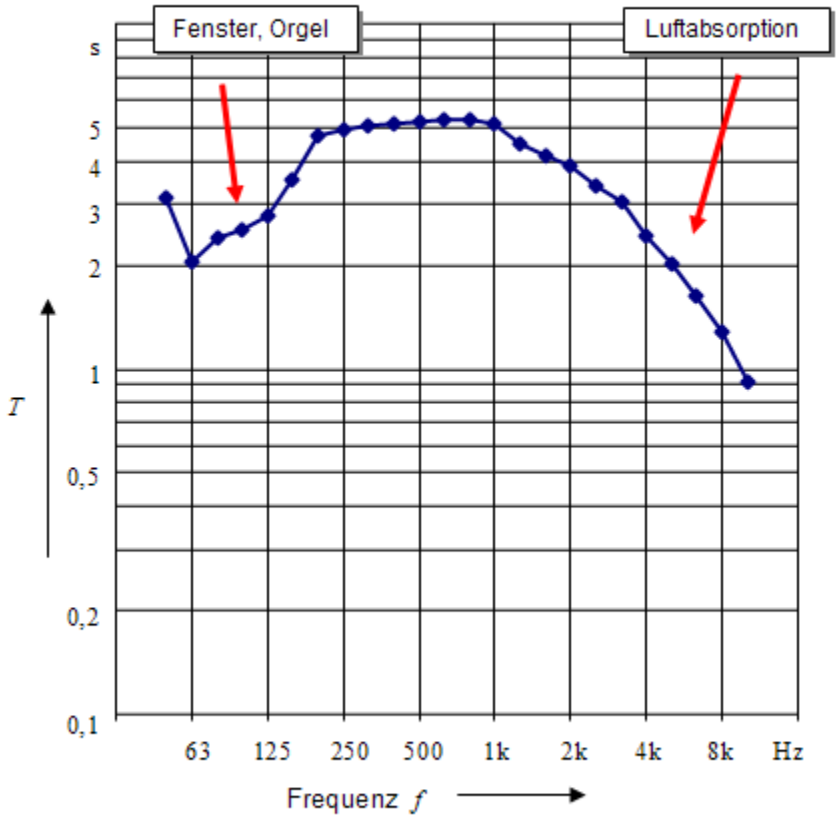
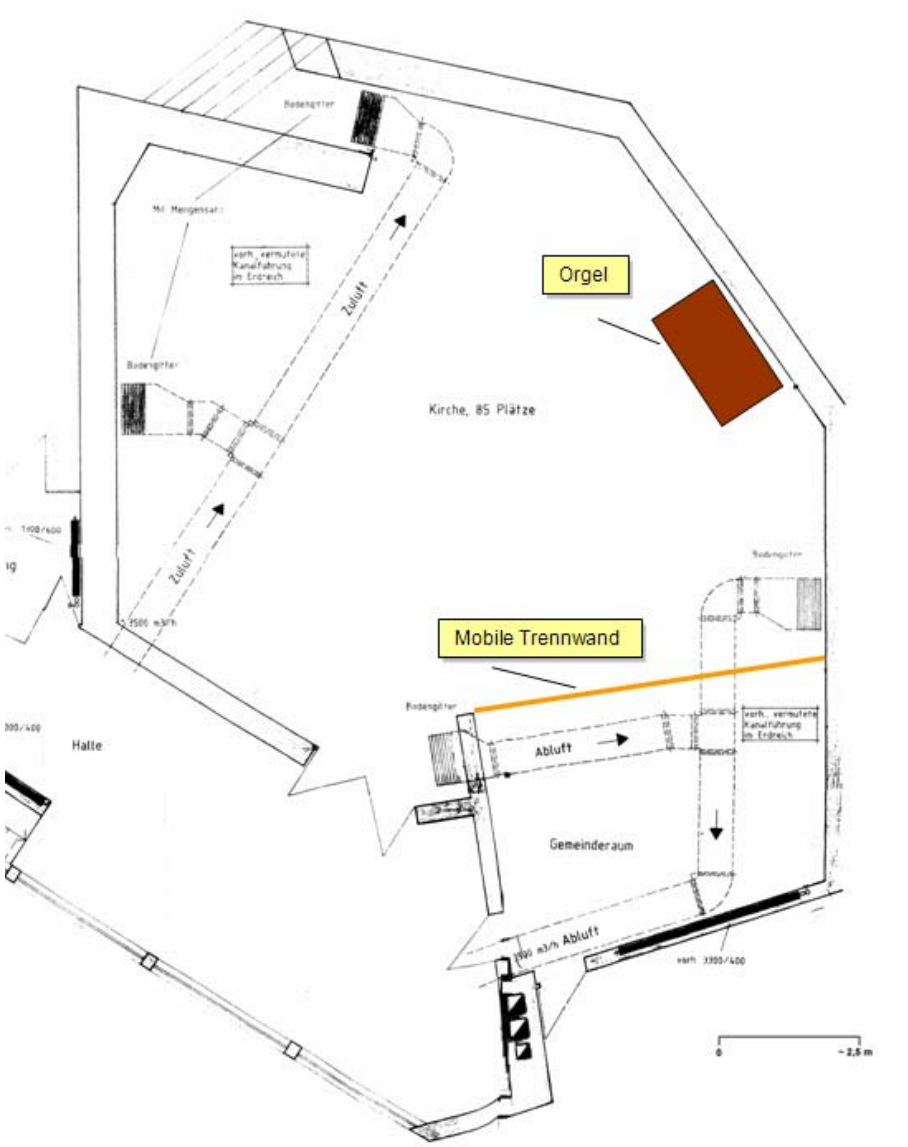
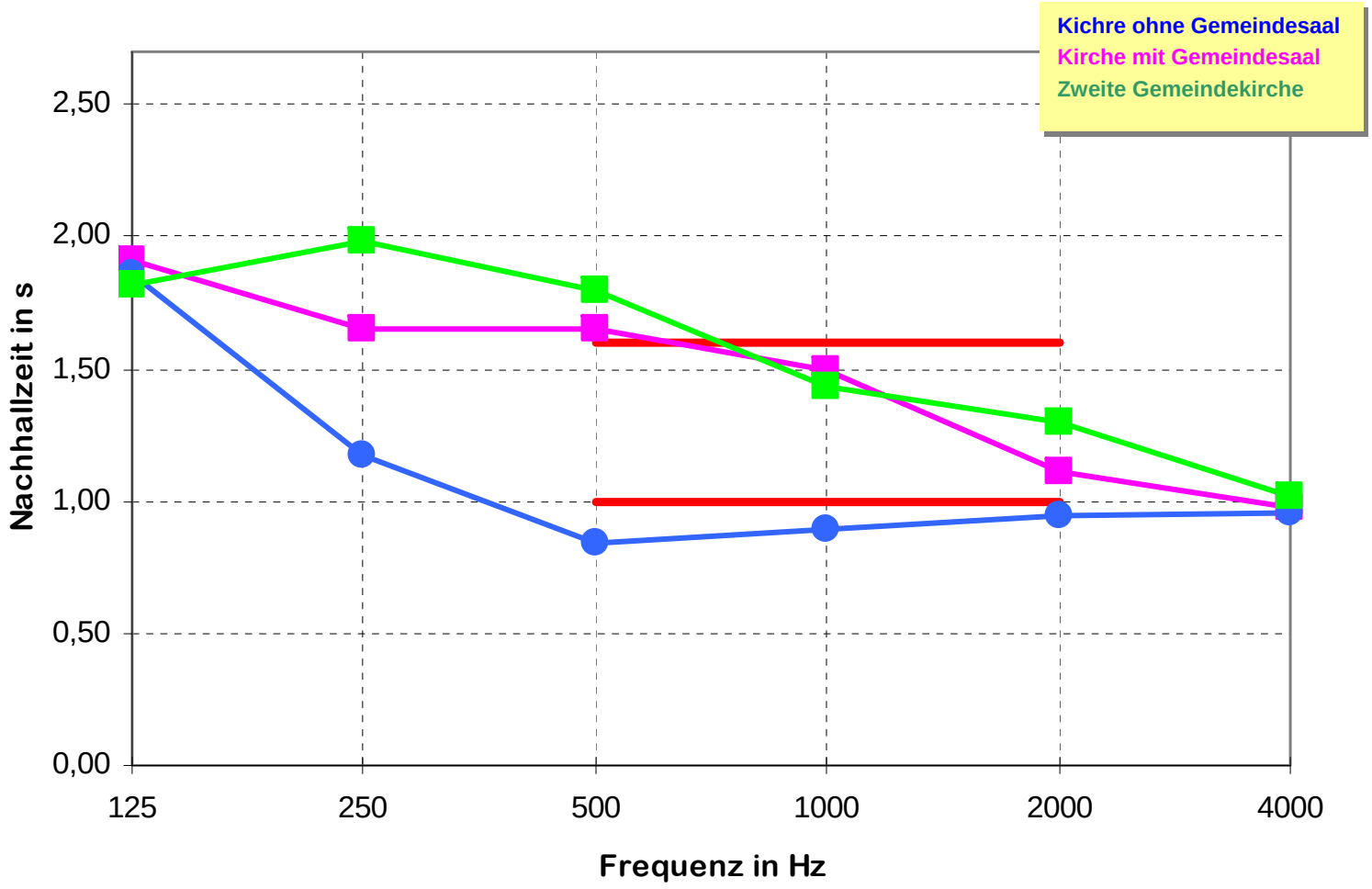


Bild 6 Verlauf der gemessenen Nachhallzeit

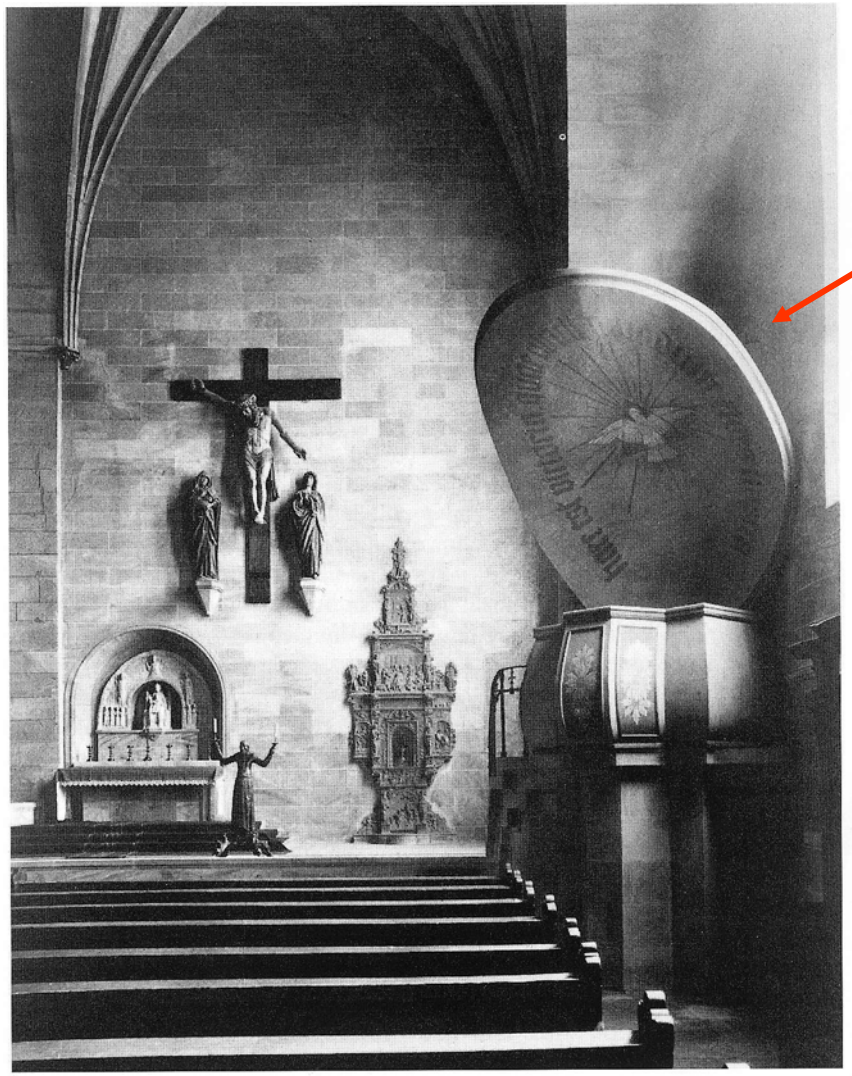
Kleine Gemeindekirche



Nachhallzeitverlaufe



Frühe Reflexionen durch Kanzeldeckel



Kanzeldeckel im Dom zu Erfurt
zur Erzeugung früher Reflexionen

Michaeliskirche Bremen

Bild 7: Schlitzresonatoren in den Kommunionsstufen

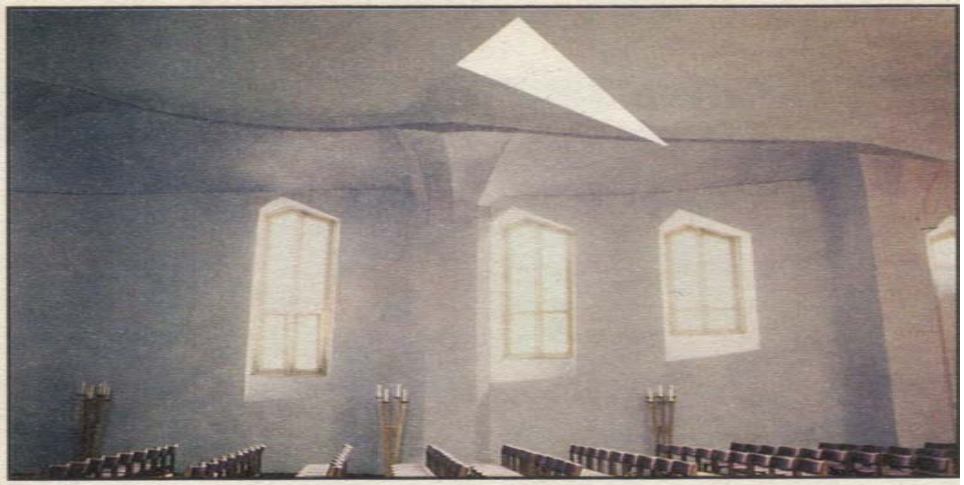


Bild 8: Helmholtzresonatoren im Deckenanschluß