

and it sounds good...

Raumakustische Planungspraxis anhand von Projektbeispielen

Dipl.-Phys. Joachim Zander

Theaterschiff Stuttgart 04.07.2014

www.kurz-fischer.de

Winnenden Halle (Saale) Bottrop Feldkirchen-Westerham Bretten

Inhalt

1. Einleitung
2. Raumakustische Anforderungen
3. Projektbeispiele aus raumakustischer Alltagspraxis
 - Unterrichtsräume
 - Einzelbüros
 - Sporthallen
 - Fazit
4. Besondere Aufgabenstellungen aus unserer raumakustischen Beratungspraxis

Akustik in Innenräumen

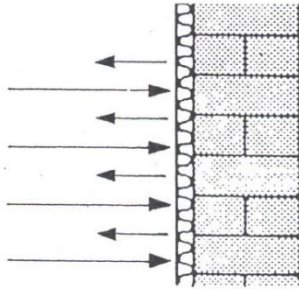
Bauakustik

- Schutz vor Geräuschen aus dem Gebäude
- Schutz vor Geräuschen von außen (Verkehrslärm, Betriebe, ...)
- Unterscheidung
 - Luftschall
 - Körperschall (Trittschall, Schwingungen Maschinen)

Raumakustik

- Sprachverständlichkeit
- Hörsamkeit von Musik
- Raumschalldämpfung
- „Halligkeit“ im Raum

- **Schallabsorptionsgrad α_s**



$$\alpha_s = \frac{\text{absorbierte Schallenergie}}{\text{auftreffende Schallenergie}}$$

$\alpha_s = 0$: vollständige Schallreflexion

$\alpha_s = 1$: vollständige Schallabsorption

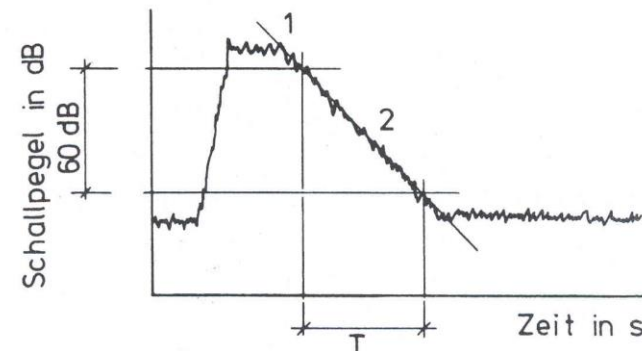
- **Äquivalente Schallabsorptionsfläche A**

$$A = \alpha_s \cdot S$$

- **Nachhallzeit T**

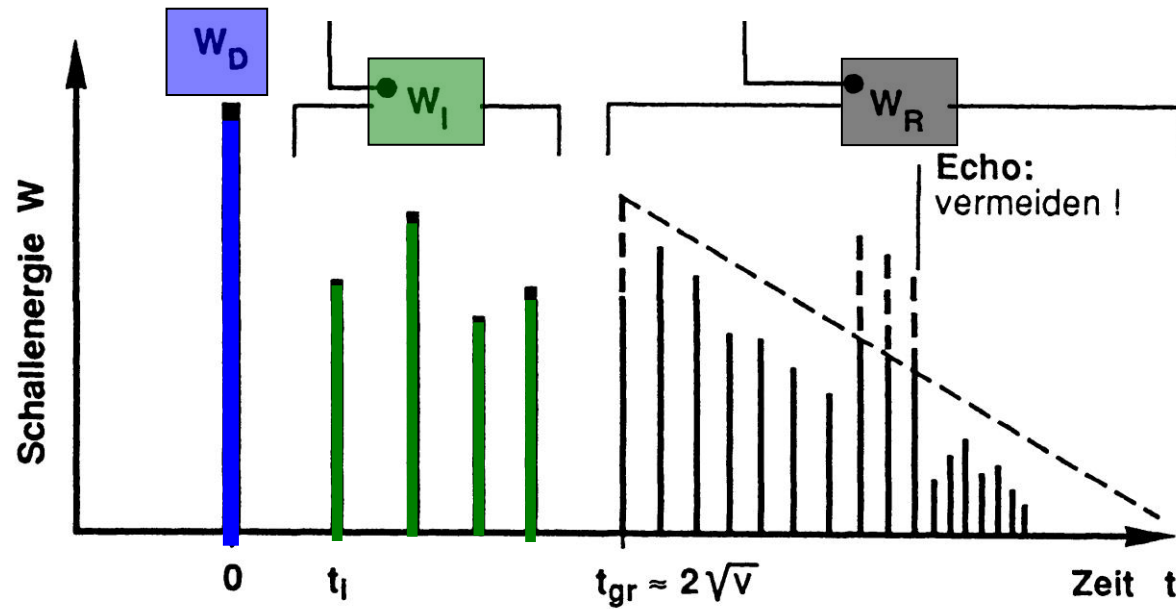
$$T = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$$

Messung der Nachhallzeit





Raumimpulsantwort



W_D Direktschall – ungestörte Schallausbreitung zu allen Plätzen

W_I Anfangsreflexionen – Lautstärke, Verständlichkeit von Sprache (bis 50 ms), Klarheit von Musik (bis 80 ms)

W_R Nachhallbereich – Vermeidung von wahrnehmbaren Echos

Raumakustische Planungsziele

Zielsetzungen	Raumakustische Anforderungen
Sprachverständlichkeit	<ul style="list-style-type: none">✓ Nachhallzeit T des Raumes✓ Sprachlautstärke bei Hörern (durch Sprecher, Lautsprecheranlage)✓ Vermeidung langverzögerter Reflexionen
Hörsamkeit von Musik (Klarheit, Räumlichkeit)	<ul style="list-style-type: none">✓ Nachhallzeit T des Raumes✓ Diffusität des Raumes✓ Schallreflexionsverhalten des Raumes
Reduzierung des Lärmpegels	<ul style="list-style-type: none">✓ äquivalente Schallabsorptionsfläche A des Raumes („Schallschluckvermögen“)✓ Diffusität des Raumes

Zentrales Regelwerk: DIN 18041:2004-05 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“

Unterscheidung von zwei Raumkategorien:

Räume der „Gruppe A“:

Räume für eine gute Hörsamkeit **über mittlere und größere** Entfernungen, d. h. Räume mit Anforderungen an die Sprachverständlichkeit und an die Hörsamkeit von Musik

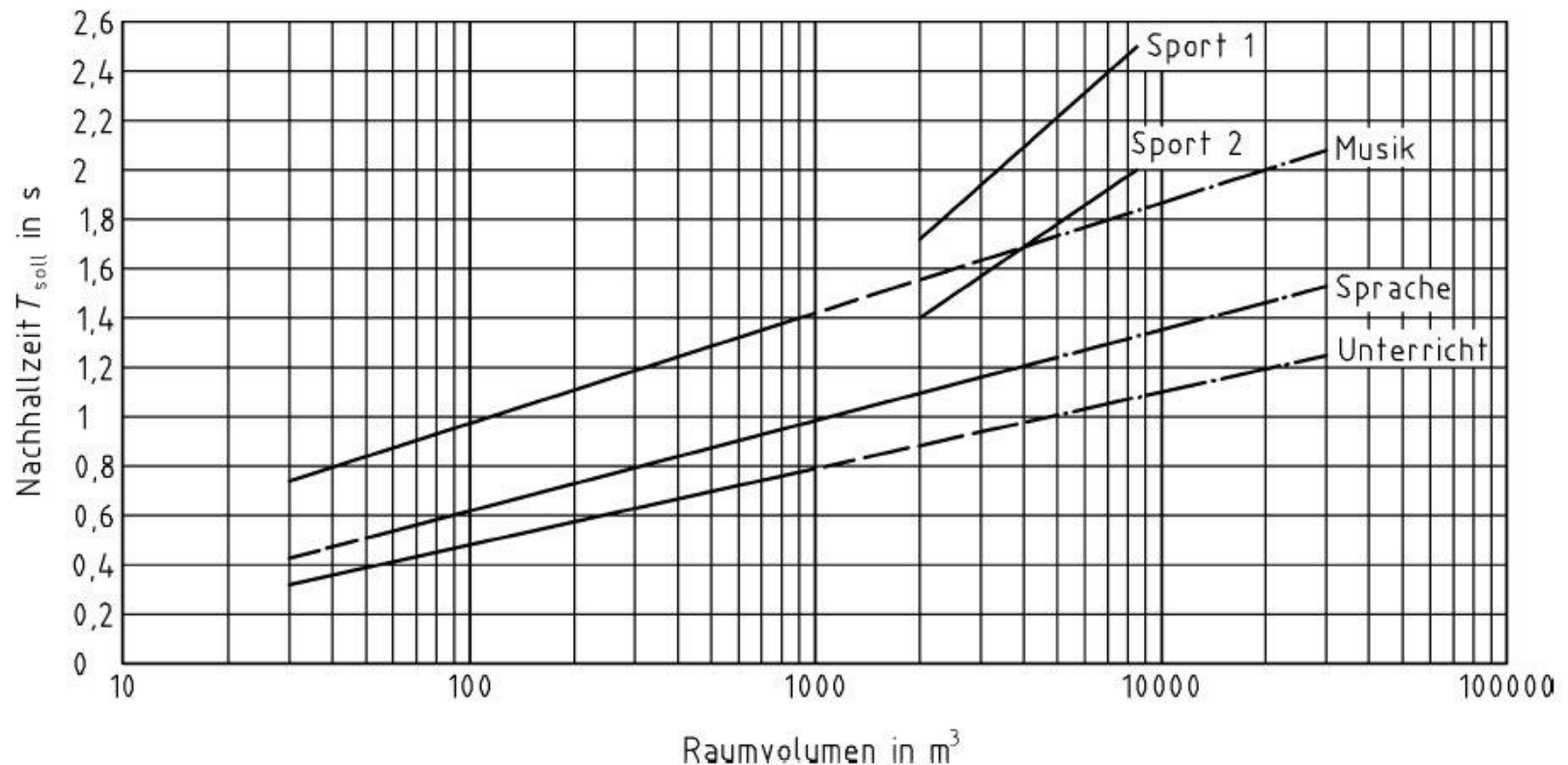
Hierfür: Empfehlungen für die **Nachhallzeiten T** von Räumen

Räume der „Gruppe B“:

Räume für eine ausreichende Hörsamkeit über **kurze** Entfernungen bzw. Räume, bei denen eine angemessene Lärmpegelminderung anzustreben ist

Hierfür: Empfehlungen für die **äquivalente Schallabsorptionsfläche A** von Akustikbekleidungen in Räumen

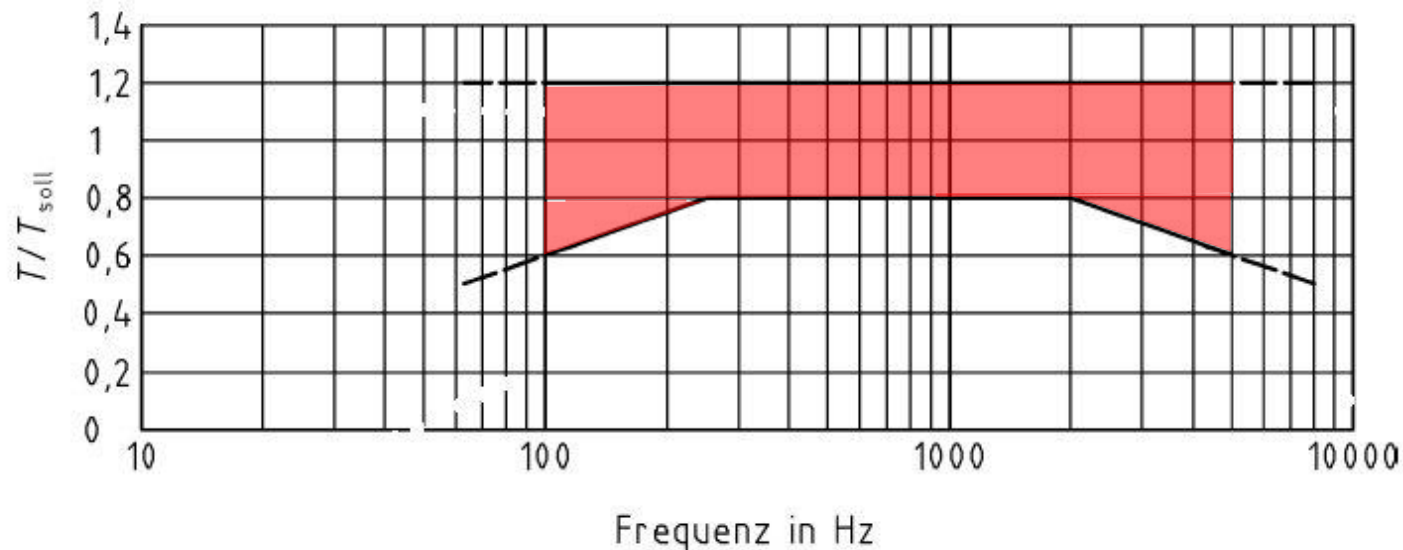
DIN 18041 - Sollwerte Nachhallzeiten für Räume „Gruppe A“



- Bezug auf mittlere Frequenzen (500 – 1000 Hz)
- für besetzten Zustand von Räumen (80 % Belegung)

Frequenzverlauf Nachhallzeiten für Räume „Gruppe A“

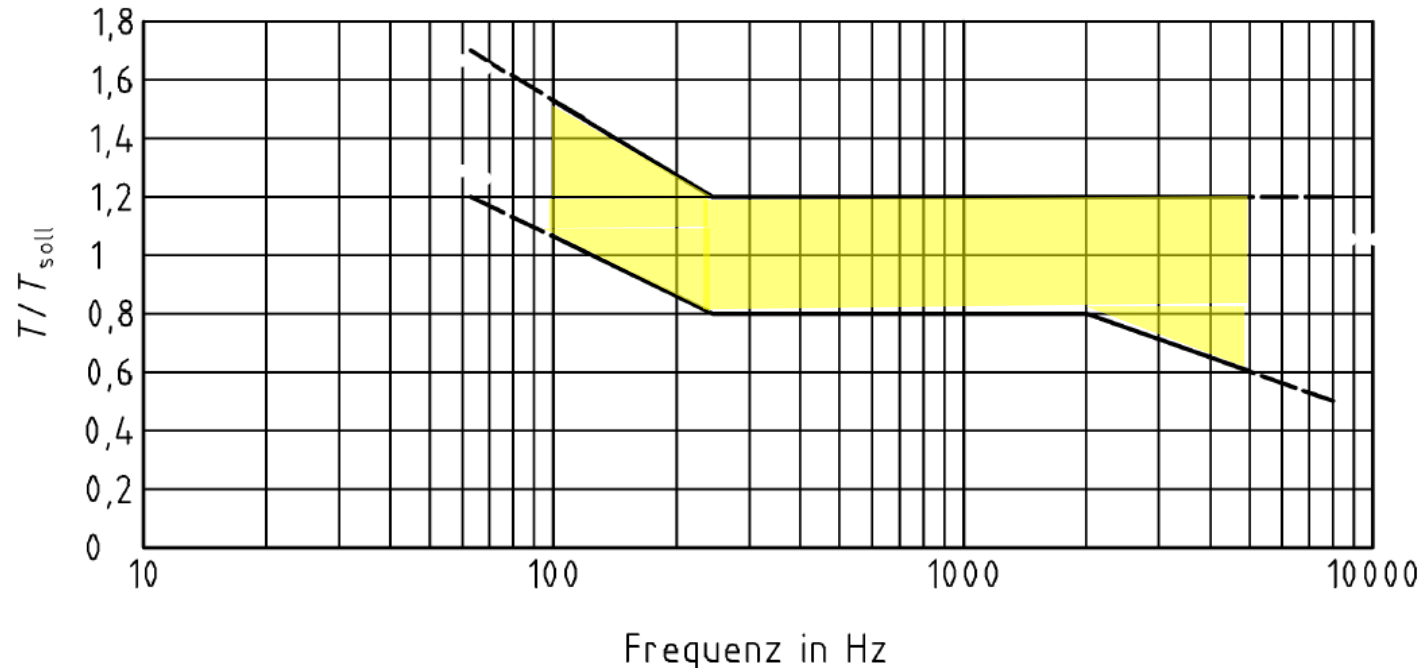
- Anzustrebender Bereich für **Sprache** nach DIN 18041



- Bezug auf Sollwert der Nachhallzeit
- Zielsetzung ausgeglichener Frequenzverlauf der Nachhallzeiten (mindestens für $f \geq 250$ Hz, Schwierigkeiten für tiefe Frequenzen)

Frequenzverlauf Nachhallzeiten für Räume „Gruppe A“

- Anzustrebender Bereich für Musik nach DIN 18041



- Bezug auf Sollwert der Nachhallzeit
- Zielsetzung ausgeglichener Frequenzverlauf der Nachhallzeiten für $f \geq 250$ Hz, moderater Anstieg für tiefe Frequenzen zulässig

DIN 18041 - Empfehlungen für Räume „Gruppe B“

Tabelle 6 — Orientierungswerte für mit Schallabsorbern zu bekleidende freie Decken- und Wandfläche als Vielfaches der Raumgrundfläche je übliche lichte Raumhöhe vom i. M. 2,5 m bei Verwendung von Schallabsorbern in unterschiedlichen Raumarten

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Raumart	bewerteter Schallabsorptionsgrad α_w																
Zeile		1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
1	Verkaufsräume, Werkräume, Call Center, Lesesäle in Bibliotheken	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	—	—	—	—	—
2	Mehrpersonen- oder Großraumbüros mit Büromaschinen, Schalterhallen, Bürgerbüros, Operationssäle, Krankenzimmer, Leihstellen in Bibliotheken, Ausleihbibliotheken	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	—	—	—

DIN 18041 - Empfehlungen für Räume „Gruppe B“

Tabelle 6 — Orientierungswerte für mit Schallabsorbern zu bekleidende freie Decken- und Wandfläche als Vielfaches der Raumgrundfläche je übliche lichte Raumhöhe vom i. M. 2,5 m bei Verwendung von Schallabsorbern in unterschiedlichen Raumarten

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Raumart	bewerteter Schallabsorptionsgrad α_w																
Zeile		1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
3	Einzelbüros, Sprechzimmer, Behandlungs- und Rehabilitationsräume, Pausenhallen, Speisegaststätten, Speiseräume, Kantinen mit einer Grundfläche über 50 m ²	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,7	2,0	—
4	Treppenhäuser, Foyers, Ausstellungsräume, Verkehrsflächen (Flure und Vorräume) mit starkem Personen- verkehr und Publikumsbereiche für den ÖPNV	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0

DGNB-Kriterien zur Raumakustik

- basieren auf Empfehlungen der DIN 18041 für die Nachhallzeit in Räumen (Räume der Gruppe A) bzw. auf Empfehlungen für das Maß der akustischen Bedämpfung in Räumen (Räume der Gruppe B)

Raumakustische Planung von Räumen „Gruppe A“

Grundlegend für Einhaltung von Anforderungen an Nachhallzeiten und zur Erzielung guter raumakustischer Verhältnisse in Räumen „Gruppe A“ :

1. geeigneter **Umfang** von schallabsorbierenden Bekleidungen
und
2. geeignete **Verteilung** der erforderlichen schallabsorbierenden Bekleidungen auf die Raumhauptachsen erforderlich

Statistische Nachhallzeit-Berechnungsformeln nach Sabine, Eyring etc. (z. B. für DGNB-Nachweismethoden) gelten nur für **diffuse Schallfelder**, für nichtdiffuse Räume sind diese nicht mehr gültig!

Für **nichtdiffuse Räume** und Räume mit komplizierten Primärformen sind für raumakustische Berechnungen besondere Verfahren erforderlich (Berechnungen nach DIN EN 12354-6 oder raumakustische Simulation)

3.1. Unterrichtsräume – Einfluss der Diffusität

- Einfluss der Verteilung von Akustikbekleidungen auf die Raumhauptachsen des Raumes (diffuse und nichtdiffuse Räume)
- Sanierungsvorhaben mit messtechnischen Untersuchungen für Nachhallzeiten in Unterrichtsräumen in Musterräumen
- Details siehe Veröffentlichung auf DAGA 2007:
J. Zander, F. Schnelle, R. Kurz: Mineralfaserakustikdecken in Unterrichtsräumen – Erfahrungen aus der Praxis, Fortschritte der Akustik DAGA 2007 Stuttgart, S. 875-876 (download unter www.kurz-fischer.de , Rubrik Veröffentlichungen/ Fachaufsätze/ Raumakustik)

Diffusität von Unterrichtsräumen



Hohe Diffusität in Unterrichtsräumen:
Raumakustisch sehr günstig, jedoch heutzutage
untypisch und kann nicht vorausgesetzt werden

Untersuchungen in Musterräumen für Sanierungsvorhaben

$V = 205 \text{ m}^3$

vollflächige Mineralfaserakustikdecke

Schülerarbeits-tische und Stühle für 30 Schüler

geringer Möblierungsgrad



Variation der Diffusität des Raumes beispielhaft mit der Möblierung

Stühle an Tischen stehend

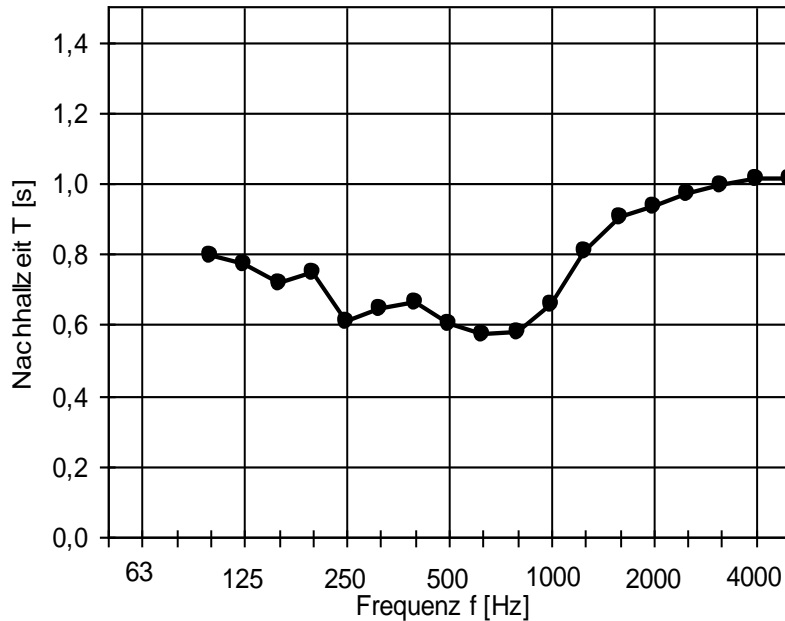


Stühle auf Tischen aufgestellt

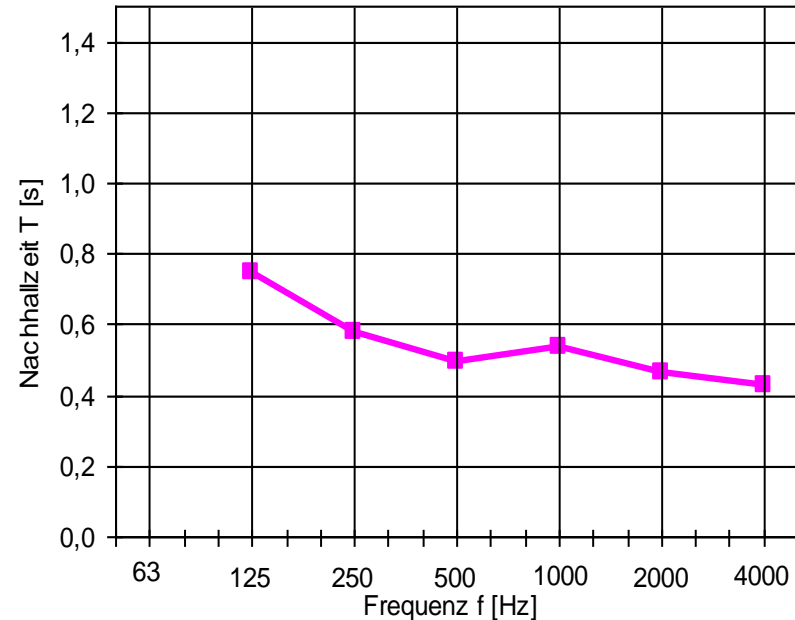


Vergleich zwischen Messung und Berechnung

Messergebnis T30 Musterräume



Rechnung nach Sabine (diffuse Räume)



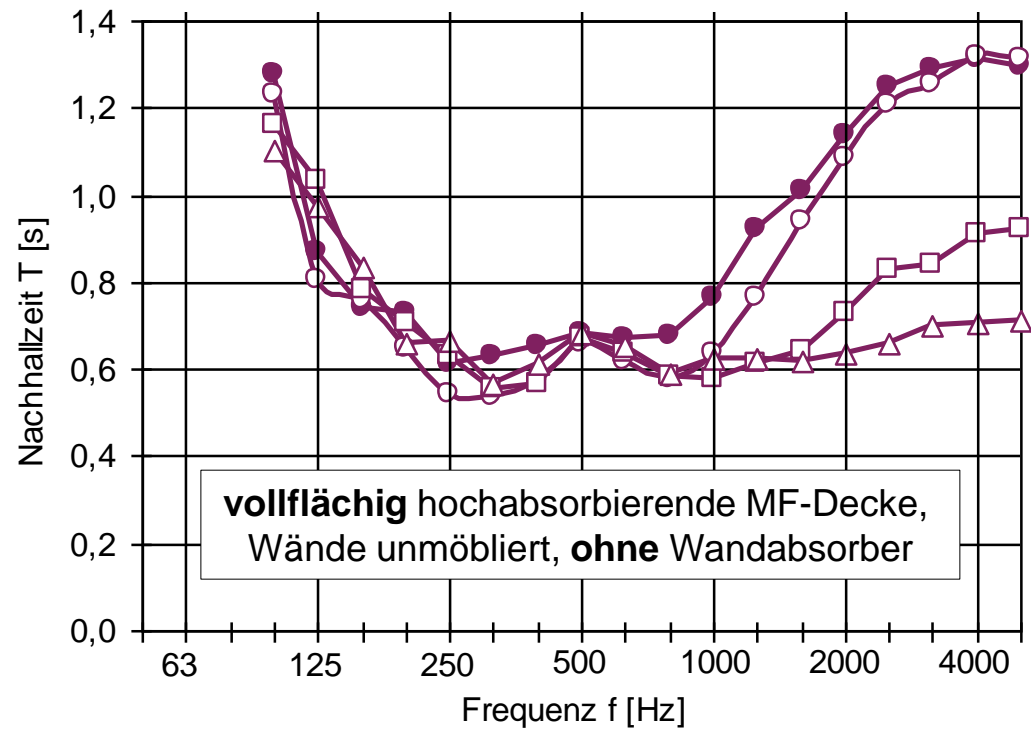
Ursache für Abweichungen:

- geringe Diffusität der Musterräume
- einseitige Anordnung hochschallabsorbierender Akustikbekleidungen beschränkt auf Deckenfläche

Einfluss der Diffusität auf die Nachhallzeiten



Messergebnisse T30, unbesetzt

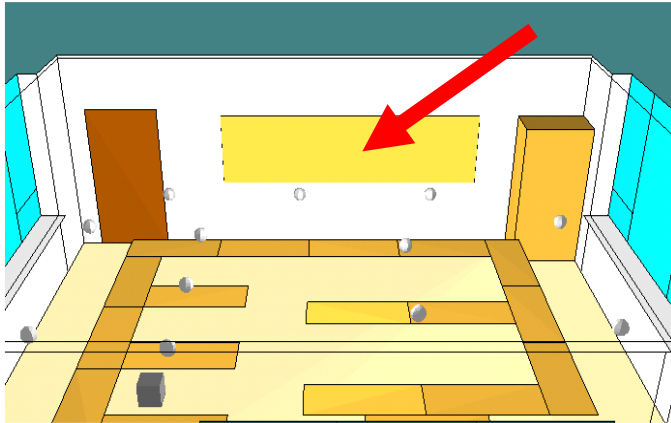


- leer - ohne Stühle und Tische
- Stühle an Tischen
- Stühle einfach auf Tischen
- △ Stühle doppelt auf Tischen

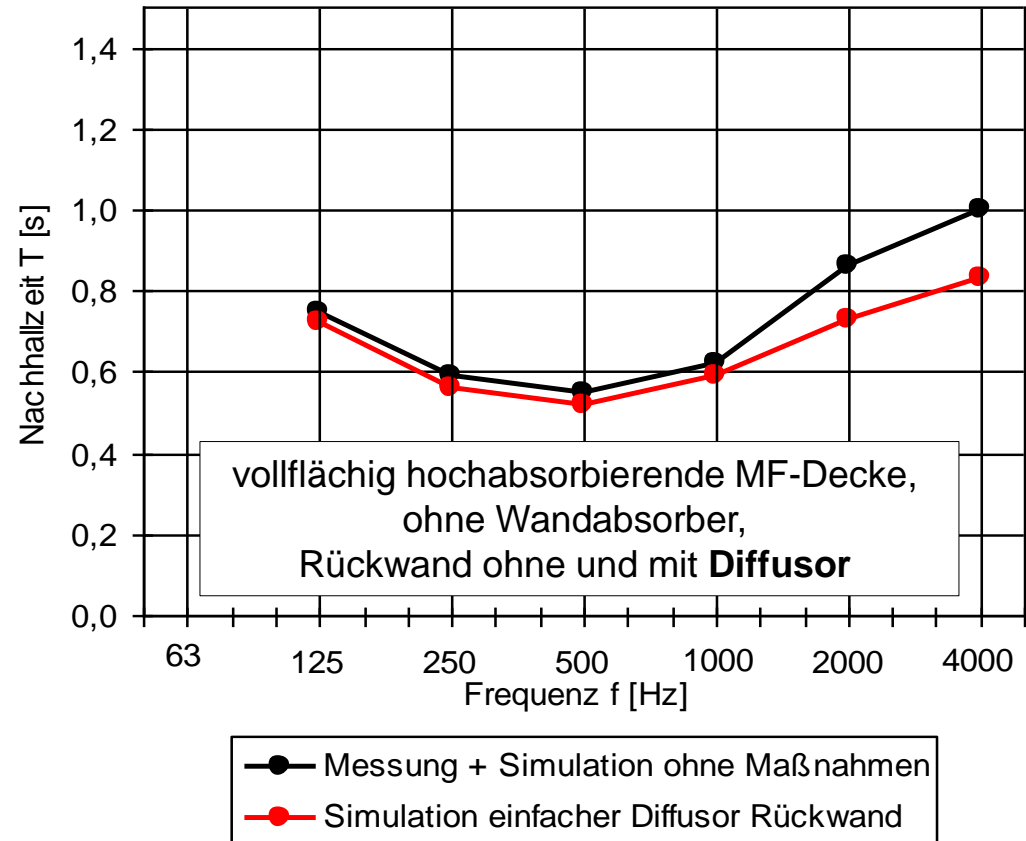
Einfluss Maßnahme zur Erhöhung der Diffusität

Ergebnisse T30, unbesetzt

Diffusor an Rückwand



- Holzeistenkonstruktion an Rückwand
- Raumakustische Simulationsberechnungen



ohne WA

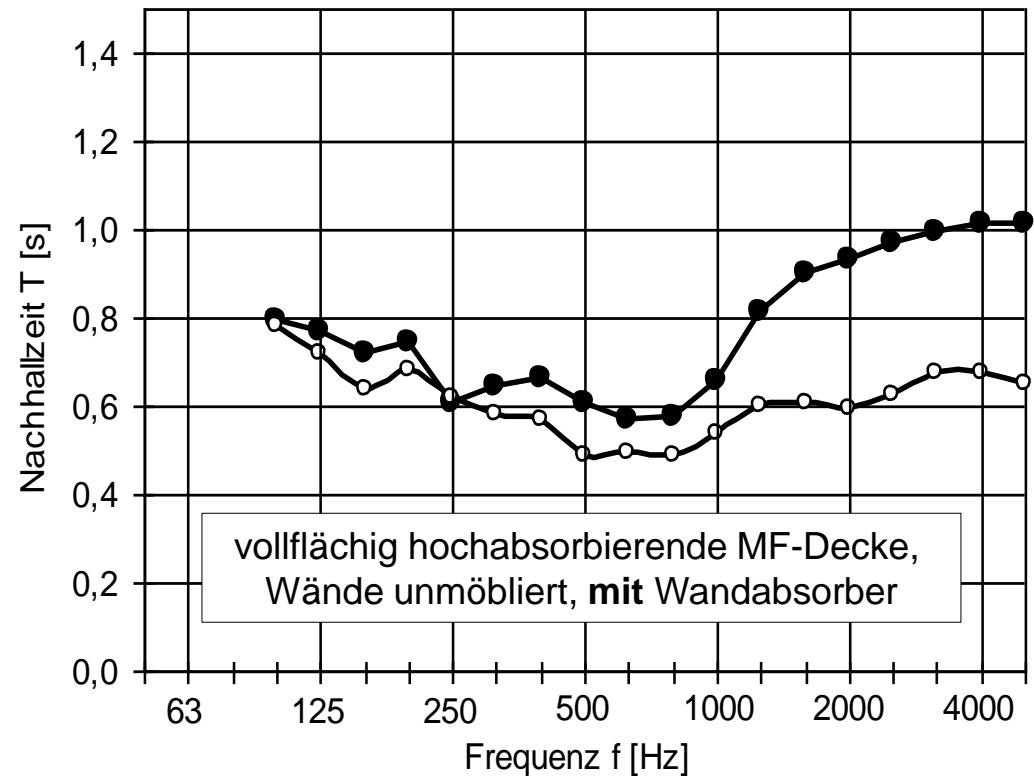


mit WA

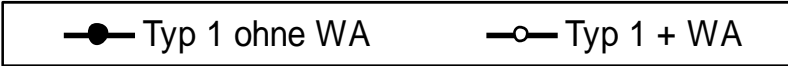


Einfluss Wandabsorber auf Nachhallzeiten

Messergebnisse T30, unbesetzt



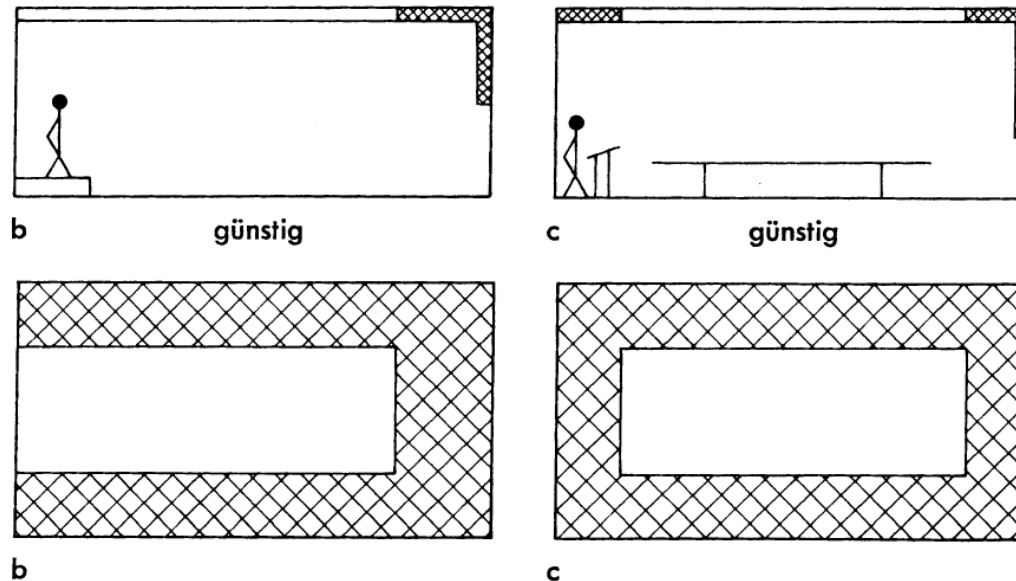
vollflächig hochabsorbierende MF-Decke,
Wände unmöbliert, **mit** Wandabsorber



Wandabsorber aus Mineral-
faser mit Textilloberfläche

Konsequenz für raumakustische Planung von Unterrichtsräumen

- für heute i. d. R. gering möblierte nichtdiffuse Unterräume
Kombination aus schallabsorbierenden Deckenbekleidungen und
Wandabsorbern vorsehen



- für Wandabsorber mechanisch robuste Ausführung erforderlich,
ggf. Nutzung als Pinnwände, Montage in oberen Wandbereichen

3.2 Unterrichtsräume in Passivhaus-Schule

- Einfluss der Passivhausanforderungen auf Raumakustik in Unterrichtsräumen
- Neubauvorhaben mit Abnahmemessungen für Nachhallzeiten in Unterrichtsräumen
- Details siehe Veröffentlichung auf Passivhaustagung Hannover 2006:
F. Schnelle, J. Zander: Bau- und Raumakustik einer Passivhausschule,
10. Inter-nationale Passivhaustagung Hannover 2006 (download unter www.kurz-fischer.de , Rubrik Veröffentlichungen/ Fachaufsätze/ Raumakustik)



Projektbeispiel Unterrichtsräume in Passivhaus-Schule

Sommerlicher Wärmeschutz:

Speicherfähigkeit massiver Bauteile erhalten

- nur teilflächige Ausführung von absorbierenden Deckenbekleidungen möglich
- zusätzliche Absorberelemente an Wänden erforderlich
- Vorteil Raumakustik: gleichmäßigere Raumbedämpfung in Horizontal- und Vertikalebene
- Nachteil: geringere Absorptionsfläche realisierbar

=> Kompromisslösung zwischen sommerlichem Wärmeschutz und Raumakustik erforderlich

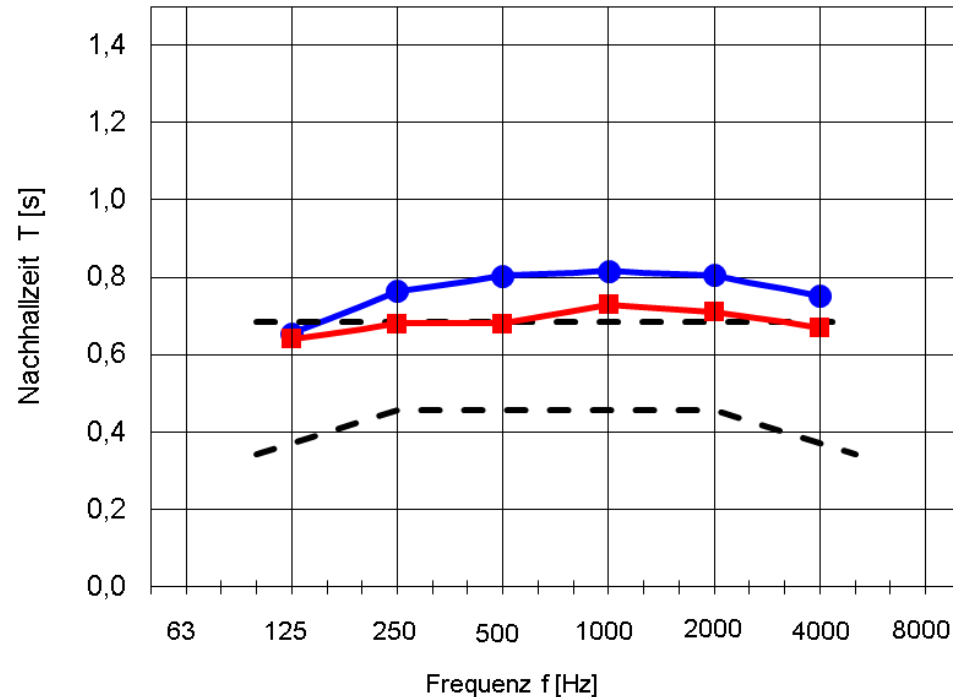
Raumakustische Maßnahmen in Unterrichtsräumen der Passivhaus-Schule

Deckenkoffer mit GK-Lochplatten

Wandabsorber als Pinnwand



Nachhallzeiten in Unterrichtsräumen der Passivhaus-Schule



- Messung im unbesetzten Zustand
- Berechnung für besetzten Zustand (20 Schüler)
- - - Empfehlungen für frequenzabhängigen Verlauf der Nachhallzeit nach DIN 18 041

Projektbeispiel Cockpitbüros – Störende Mehrfachreflexionen



Beim Telefonieren deutliche und störende Mehrfachreflexionen trotz Decken- und Wandakustikbekleidungen sowie Teppichbelag

Ursache:

- auf Kopfhöhe einer sitzenden Person allseitig nur schallreflektierende Glasflächen
- Wandakustikbekleidungen zu tief angeordnet, sollten im Bereich Kopfhöhe platziert werden

Projektbeispiel Einzelbüros - Störende Mehrfachreflexionen



- gering bzw. i. W. schallhart möbliert
- 1 Schrankwand mit absorbierenden Türen (im Rücken des Fotografen)
- Rückwand schallreflektierend
- Teppichbelag
- Sichtbetondecke
- großflächige Verglasungen

Provisorische Verbesserungsmaßnahme



Projektbeispiele Sporthallen – Einfluss der Diffusität

- Einfluss der Anordnung und der Schallabsorptionswirkung von Wandakustikbekleidungen auf die Nachhallzeiten in Sporthallen
- verschiedene Sanierungsvorhaben mit messtechnischen Untersuchungen für Nachhallzeiten in Sporthallen
- Details siehe *Veröffentlichung auf DAGA 2012 Darmstadt:*
F. Schnelle, J. Zander, R. Kurz: Raumakustik in Sporthallen – Einfluss der Diffusität und der Schallabsorption von Wandbekleidungen auf Nachhallzeiten, Fortschritte der Akustik DAGA 2012 Darmstadt
(download unter www.kurz-fischer.de , Rubrik Veröffentlichungen/ Fachaufsätze/ Raumakustik)

Raumakustische Planung von Sporthallen

- Raumakustische Bewertung
 - Flachräume mit geringer räumlicher Diffusität in Horizontalebene
- Nachhallzeiten
 - ausreichende Fläche von Schallabsorbern und angepasste Verteilung der Schallabsorber innerhalb des Raumes erforderlich
 - Schallabsorption der unteren Wandbekleidungen bestimmt Höhe und Frequenzverlauf der Nachhallzeiten
 - teilflächige Ausführung von breitbandig wirksamen Schallabsorbern im unteren Wandbereich notwendig
- Computersimulationsberechnungen
 - Einfluss der Lage und Ausführung von schallabsorbierenden Bekleidungen kann nur durch diese Berechnungen erfasst werden

Fazit: Einflussgrößen auf Nachhallzeiten

1. Schallabsorption von Raumbegrenzungsflächen
 2. Verteilung von schallabsorbierenden Flächen auf die Raumhauptachsen
 3. Diffusität des Raumes
(Gliederung von Raumbegrenzungsflächen, Möblierung und Einrichtungsgegenstände)
- Gültigkeit von Nachhallzeitberechnungen nach Sabine prüfen
 - hochschallabsorbierende Deckenbekleidungen allein gewährleisten keine guten raumakustischen Verhältnisse
 - α_w -Wert-Olympiade bei Decken führt nicht zum Ziel

Besondere Aufgabenstellungen aus unserer Beratungspraxis

1. Veranstaltungsräume...
2. Musikprobenräume...
3. Kirchenräume...
4. Studios...
5. Akustische Messräume für F+E...
6. Lärminderung in Produktionshallen, F+E-Bereichen...

Im vorliegenden Vortragsrahmen sind diese besonders interessanten raumakustischen Sonderthemen aus Zeitgründen leider nicht mehr darstellbar.

Poster zu ausgewählten Projekten hängen im Theaterschiff aus.

Bei Interesse bitte **nachfragen**, wir stehen gerne für Fragen zur Verfügung!

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

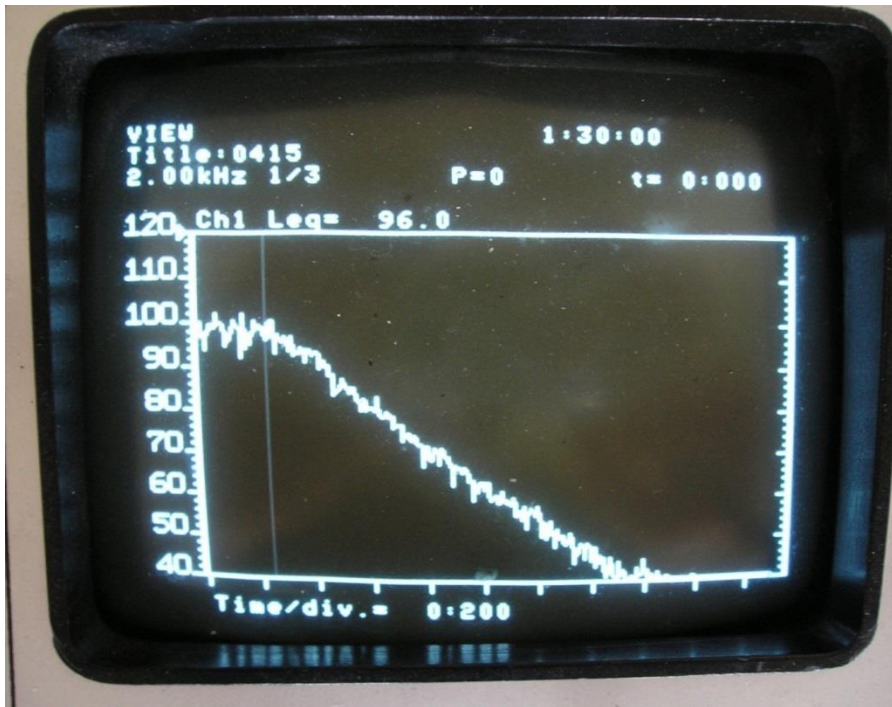


Äquivalente Schallabsorptionsfläche A eines Raumes

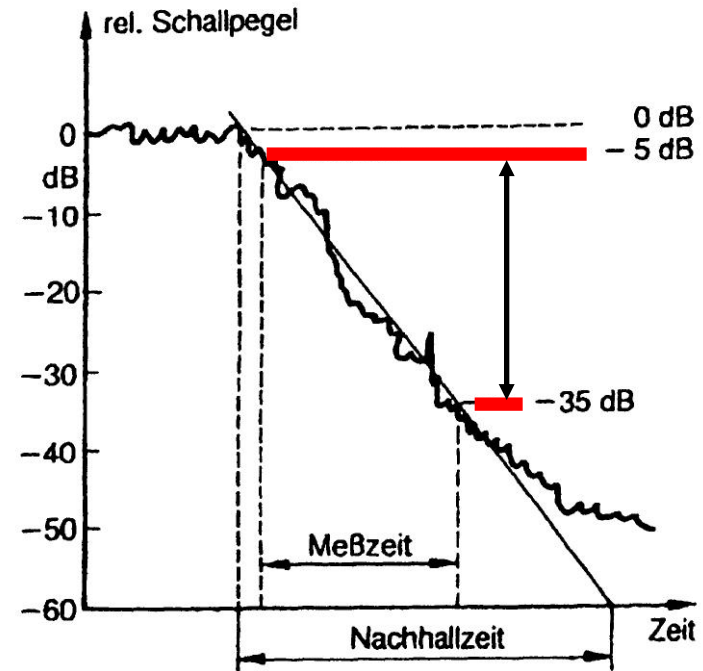
$$A = \underbrace{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i}_{1} + \underbrace{\sum_{j=1}^k A_j}_{2} + \underbrace{4 \cdot m \cdot V}_{3}$$

- 1 Schallabsorption von Raumbooberflächen (Decke, Wände, Boden) und Personen
- 2 Schallabsorption von Einrichtungsgegenständen (Möbel, Stühle)
- 3 Luftabsorption

Messung Nachhallzeit T



Pegel-Zeit-Verlauf Messgerät



Auswertung für T30