

RAUMAKUSTIK

Gliederung

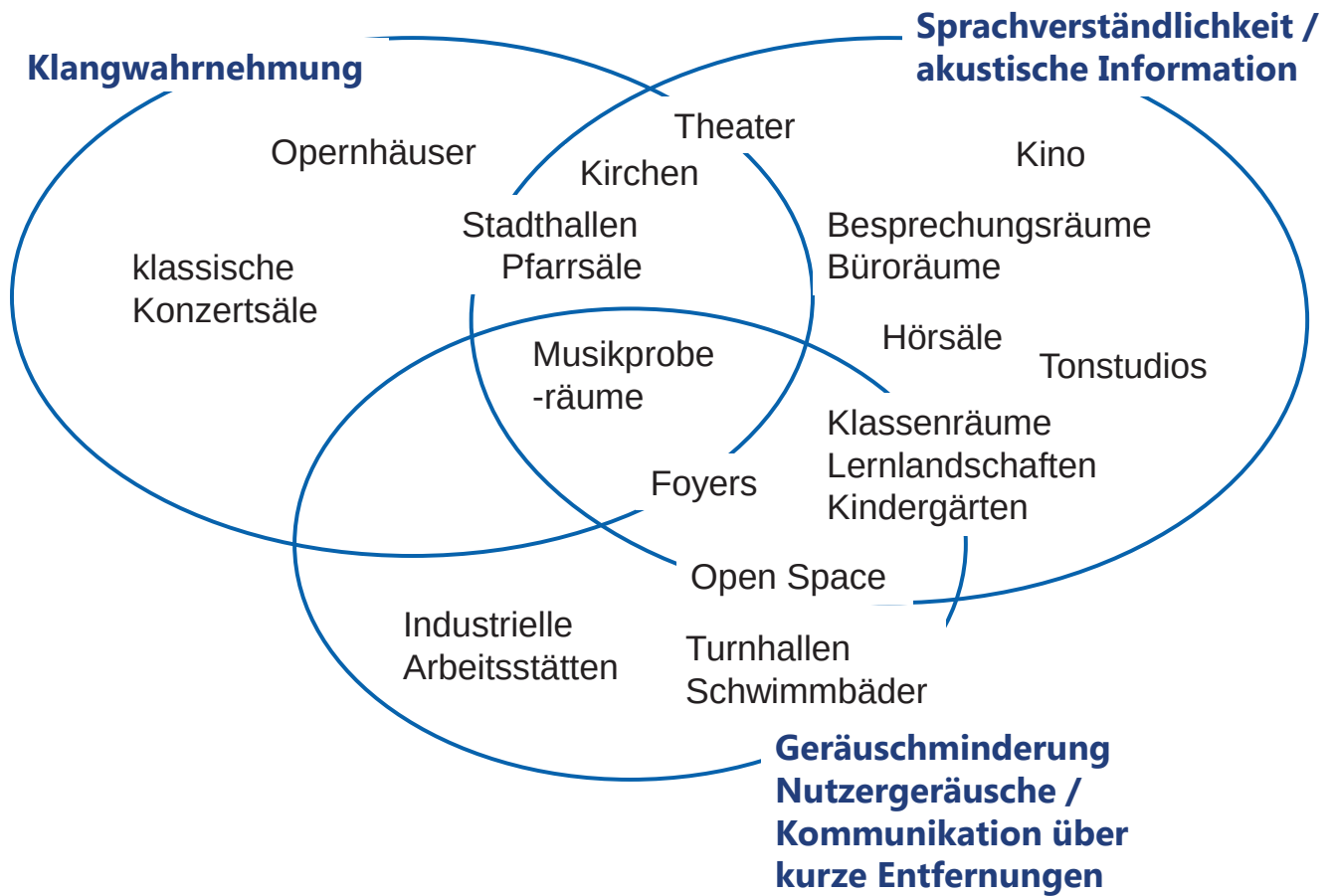
- Gute Raumakustik – was ist das ?
- Schallübertragung in Räumen / Nachhallzeit
- Schallreflexionen und Gestaltung
- Planungsgrundlagen / DIN 18041
- Fazit



Nutzungen - Räume - Raumakustik

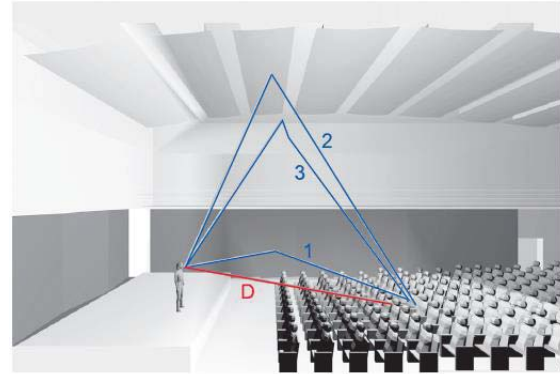
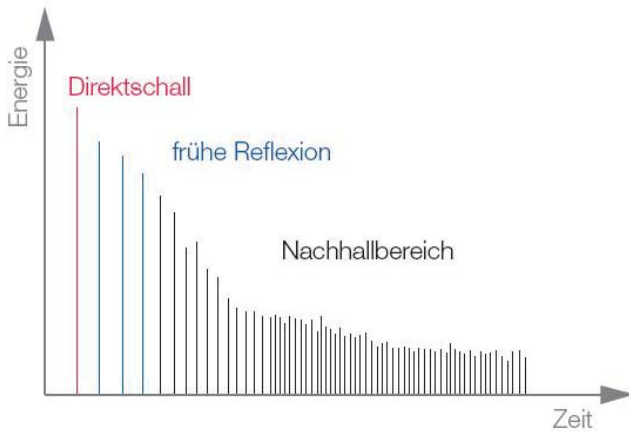


Nutzungen - Räume - Raumakustik



SCHALLÜBERTRGUNG IN RÄUMEN

Schallübertragung im Raum

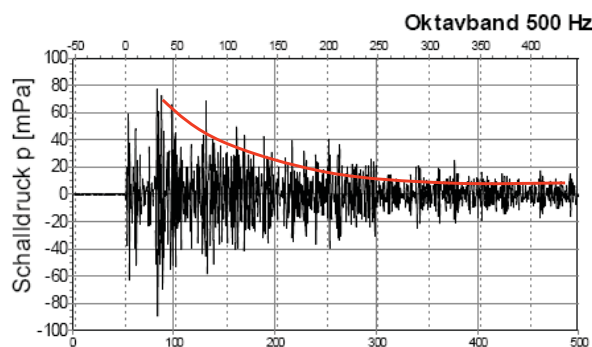


Nachhall: verschlechtert Sprachverständlichkeit, erhöht Schallpegel, Nachhall für musikalische Klangfaltung wichtig

Frühe Reflexionen: erhöhen Sprachverständlichkeit (Umweg bis 17 m) und Musikalische Durchsichtigkeit (27 m) ; zu viele frühe Reflexionen können stören (undeutliches Klangbild, nachteilig für Hörgeschädigte)

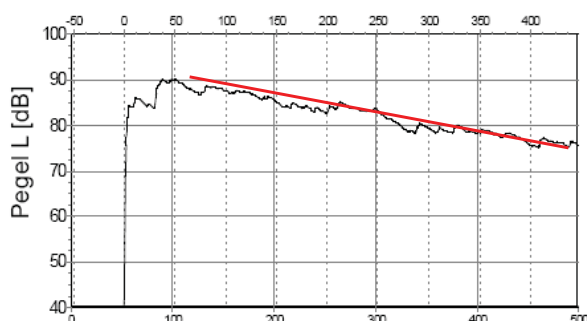
Direktschall: Wichtig für Sprachverstehen, klares Klangbild, bestimmt wahrgenommene Richtung

Schallübertragung im Raum



Raumimpulsantwort
(Messung)

näherungsweise exponentieller Abfall



Raumimpulsantwort
(Anfangsbereich, Pegeldarstellung, „ohrgeglättet“)

in der Pegeldarstellung: linearer Abfall

Pegelabfall um 60 dB
⇒ Nachhallzeit

Schallübertragung im Raum

Nachhallzeit

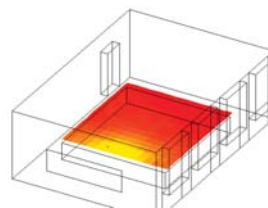
Definition:

Nachhallzeit ist die Zeit, in der die Schallenergie nach Abschalten einer Schallquelle auf den einmillionstel Teil abgefallen ist; entspricht einem Pegelabfall um 60 dB

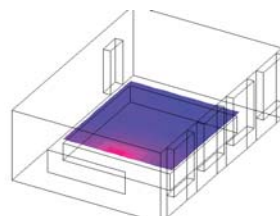
- Nachhallzeit ist wichtigste raumakustische Größe
- wird frequenzabhängig angegeben (Oktaven oder Terzen)
- Optimale Nachhallzeiten sind abhängig von der Nutzung und vom Raumvolumen
- Normative Vorgaben (DIN 18041, VDI 2569)

Nachhall und Sprachverstehen

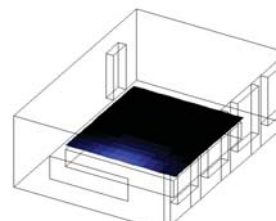
$T = 0,5 \text{ s}$



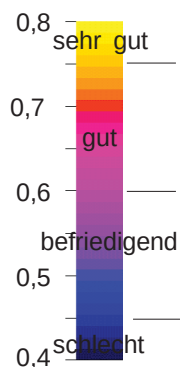
$T = 1,5 \text{ s}$



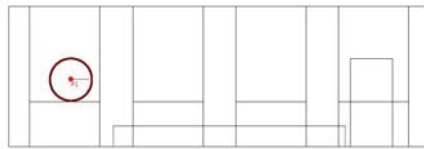
$T = 2,7 \text{ s}$



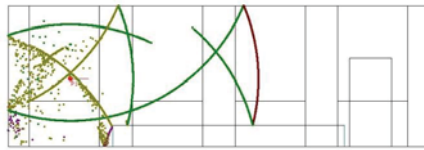
Speech Transmission Index (STI)



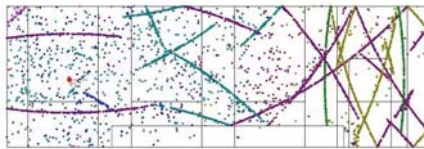
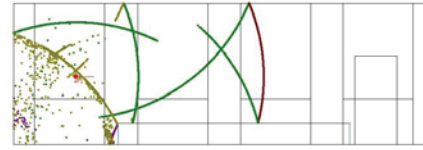
Schallübertragung im Raum (schematisch)



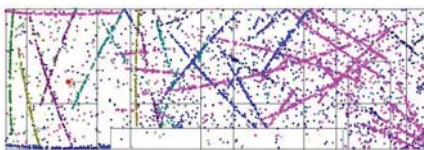
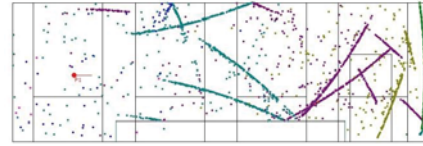
Laufweg
0,5 m



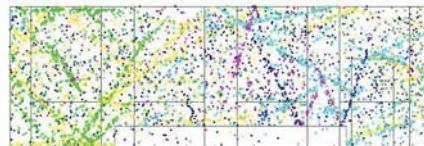
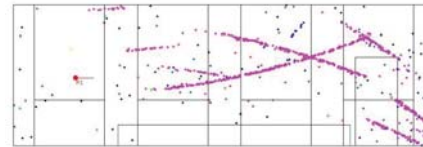
5 m



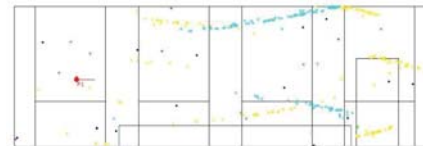
11 m



18 m



30 m

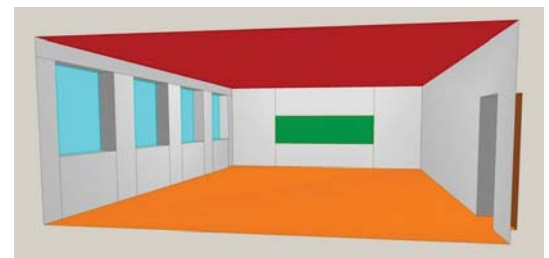


Nachhallzeit $T = 1,5 \text{ s}$

$T = 0,5 \text{ s}$

Ermittlung der Nachhallzeit

- Messung (nach DIN EN ISO 3382)
- Simulationen
- Berechnung (Sabinesche Formel)



$$T = 0,16 \frac{V}{A}$$

T Nachhallzeit in s

V Raumvolumen in m^3

A äquivalente Absorptionsfläche in m^2

- Putzoberfläche
- Linoleum
- Tafel
- Isolierverglasung
- Holztüre
- 25 mm Heradesig...

$$A = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n + m \cdot V$$

n : Anzahl der Raumoberflächen

m : Luftdämpfungskonstante

α : Schallabsorptionsgrad

Ermittlung der Nachhallzeit

Absorptionsgrad α

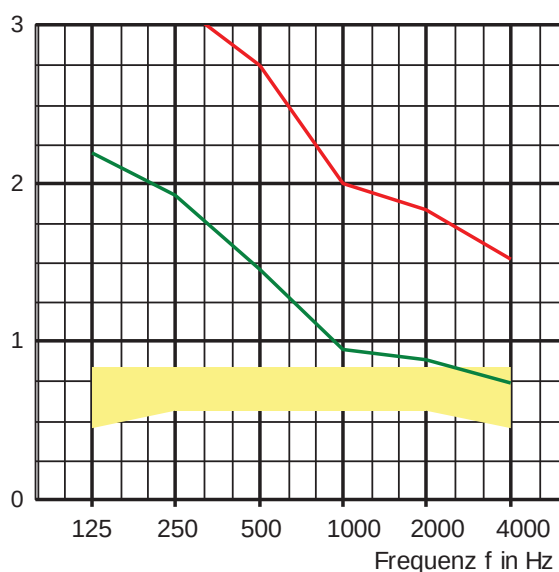
Verhältnis von nicht reflektierter zu auftreffender Schallenergie

z.B.: Offenes Fenster: $\alpha = 1$
 Verputze Wand: $\alpha = 0,03$

Absorptionsgrad ist i.d.R. von der Frequenz und vom Schalleinfallswinkel abhängig, für raumakustische Anwendungen wird der Schallabsorptionsgrad nach ISO 354 im Hallraum gemessen

Orientierungswert für nicht absorbierende Oberflächen in Räumen:
Parkett, Gipskarton, Holz, Glas, Beton, verputzte Flächen $\alpha \approx 0,04 \dots 0,08$
(für eine erste orientierende Abschätzung der Nachhallzeit geeignet)

Ermittlung der Nachhallzeit



—	3,3	3,15	2,75	2	1,85	1,5
—	2,2	1,9	1,45	0,95	0,9	0,75

unbesetzt (Messergebnis)
besetzt (hochgerechnet)

Ermittlung der Nachhallzeit

Welche zusätzliche äquivalente Absorptionsfläche ist notwendig um im unbesetzten Raum eine Nachhallzeit von $T = 0,5 \text{ s}$ zu erhalten (Raumvolumen 200 m^3) ?

Berechnung exemplarisch für 1000 Hz : $T_{\text{ist}} = 2 \text{ s}$

$$A_{\text{ist}} = 0,16 V / T_{\text{ist}} = 16 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{soll}} = 0,16 V / T_{\text{soll}} = 64 \text{ m}^2$$

$$\text{Differenz: } A_{\text{zusätzlich}} = 48 \text{ m}^2$$

$$\begin{array}{ll} \text{Erforderliche Fläche} & S_{\text{zus.}} = A_{\text{zus.}} / \alpha \\ \text{bei } \alpha = 0,7 & S_{\text{zus.}} = 68,5 \text{ m}^2 \end{array}$$

WIRKUNG VON
REFLEXIONEN

Subjektive Wirkung von Reflexionen

Hörbeispiel: Direktschall und eine einzige Reflexion

nur Direktschall	Wegunter- schied	Zeitunter- schied
Direktschall	0 cm	gleichzeitig
+ 1 Reflexion	34 cm	1 ms
	11 m	30 ms
	85 m	250 ms



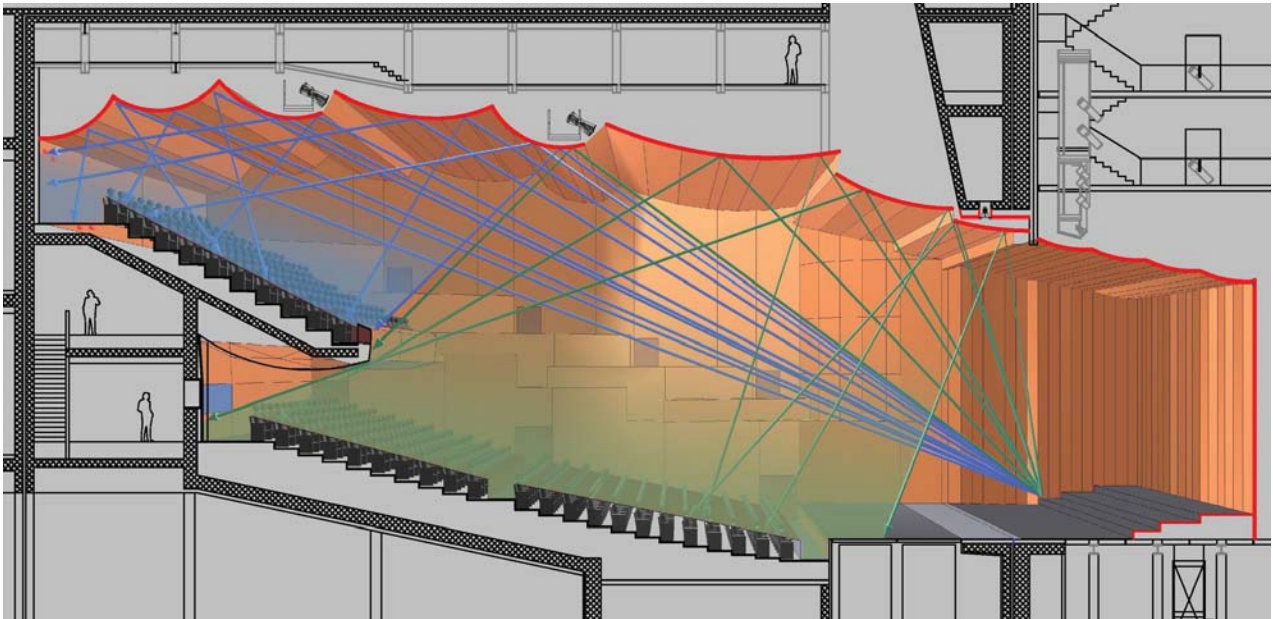
Subjektive Wirkung von Reflexionen

Subjektive Wirkung von Reflexionen in Abhängigkeit vom Zeit- / Wegunterschied bezogen auf den Direktschall

Zeitdifferenz	Wegdifferenz	Subjektive Wirkung
≤ 1 ms	$\leq 0,3$ m	Klangverfärbung, ggf. Verschiebung der Schallquellenlokalisierung
1 ms .. 50 ms	0,3 m .. 17 m	Erhöhung der Deutlichkeit von Sprache durch subjektive „Verstärkung“ des Direktschalls
1 ms .. 80 ms	0,3 m .. 27 m	Erhöhung der Transparenz von Musik, falls Reflexionen aus seitlichen Richtungen eintreffen: Erhöhung des akustischen Räumlichkeitseindrucks
≥ 50 bzw. 80 ms	≥ 17 bzw. 27 ms	Echo, d.h. doppelte Wahrnehmung des Schallsignals
Periodische Reflexionen in gleichen Zeitabständen		Flatterecho: mehrfache Wahrnehmung des Schallsignals, bei Wegunterschieden ≤ 17 m „schnarrender“ Klangeindruck

Raumgeometrie und Reflexionen

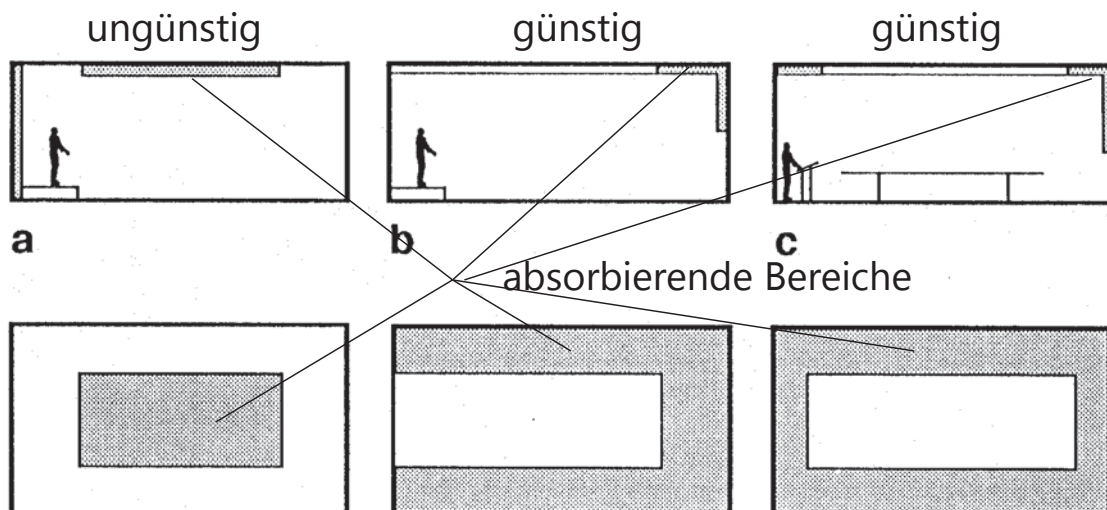
Frühe Deckenreflexionen für bessere Deutlichkeit



Raumgeometrie und Reflexionen

Frühe Deckenreflexionen für bessere Deutlichkeit

Verteilung absorbierender und reflektierender Deckenbereiche
(für Räume ab etwa 10 m Länge)



Beispiel Flatterecho

Schlüterhof des Deutschen Historischen Museums, Berlin

Abhilfe: schallabsorbierende mikroperforierte Folien (zweilagig)



Vorversuche mit LKW-Planen
Ingenieurbüro Moll



RAUMAKUSTISCHE PLANUNGSGRUNDLAGEN

Raumakustische Planung

- Beratungsleistung nach HOAI
- Akustiker unterstützt Bauherr, Architekt, Fachplaner
- Raumnutzungen, Raumgröße (Volumen je Zuhörer) ,
Raumform und Oberflächen
- Raumakustische Zielsetzungen auf Grundlage von Normen und
Richtlinien, Erfahrungswerte (objektiv), Erfahrungen (subjektiv)
- Gestaltung / Architektur, Projektbudget, Brandschutz,
sommerlicher Wärmeschutz, ...

DIN 18041 – „Die Raumakustiknorm“

DEUTSCHE NORM

März 2016

	DIN 18041	DIN
ICS 17.140.01; 91.120.20	Ersatz für DIN 18041:2004-05	
Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung		
Acoustic quality in rooms – Specifications and instructions for the room acoustic design		
Qualité acoustique dans les salles – Spécifications et instructions pour la planification		

DIN 18041 – „Die Raumakustiknorm“

Die DIN 18041 legt die akustischen Anforderungen und Planungsrichtlinien zur Sicherung der Hörsamkeit vorrangig für die Sprachkommunikation einschließlich der dazu erforderlichen Maßnahmen fest. Es werden zwei Anwendungen unterschieden:

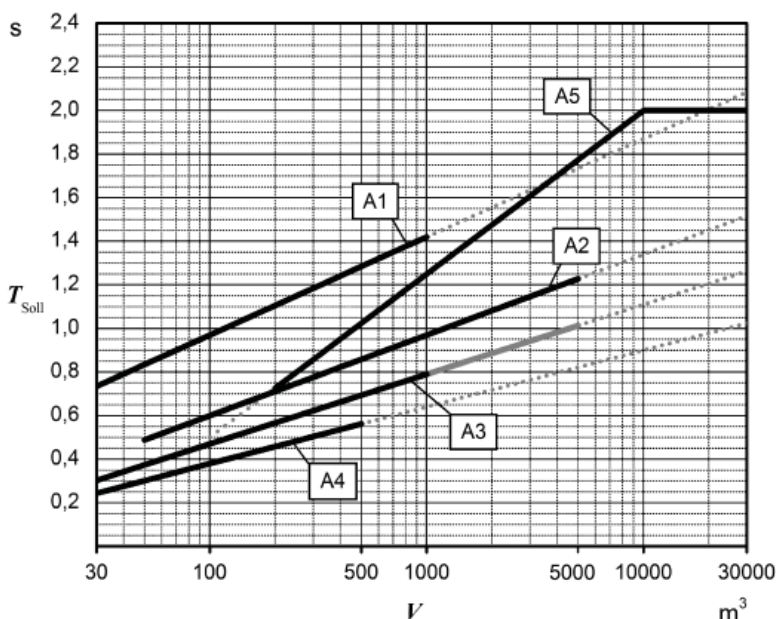
Räume der Gruppe A

Hörsamkeit über mittlere und größere Entfernungen wie z. B. Unterrichtsräume in Schulen, Gruppenräume in Kindertageseinrichtungen, Konferenzräume, Gerichts- und Ratssäle, Seminarräume, Hörsäle, Tagungsräume, Räume in Seniorentagesstätten, Sport- und Schwimmhallen

Räume der Gruppe B

Hörsamkeit über geringe Entfernungen wie z. B. Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität, Speiseräume, Kantinen, Spielfläure und Umkleiden in Schulen und Kindertageseinrichtungen, Ausstellungsräume, Eingangshallen, Schalterhallen, Büros

DIN 18041 Nachhallzeitanforderungen an Räume Gruppe A



A1: „Musik“

A2: „Sprache / Vortrag“

A3: „Kommunikation / Unterricht“ sowie „Sprache / Vortrag inklusiv“

A4: „Unterricht / Kommunikation inklusiv“

A5: „Sport“

Soll-Nachhallzeiten T nach DIN 18041 in Abhängigkeit vom Raumvolumen V und der Raumnutzung (A1-A5)

Neu: DIN 18041 legt fest, wie der Nachweis durch Messung oder Berechnung erfolgt. Die Wahl der Nachweismethode liegt im Verantwortungsbereich des Planers

Beispiele Räume Gruppe A



DIN 18041 Nachhallzeitanforderungen an Räume Gruppe A

Raum-Gruppe	Kurzbezeichnung und Beschreibung der Nutzungsart	Subjektive Wahrnehmung	Beispiele
A1	Kurzbezeichnung: „Musik“ Vorwiegend musikalische Darbietungen	Gute Hörsamkeit für unverstärkte Musik. Sprachliche Darbietungen sind nur mit gewissen Einschränkungen der Sprachverständlichkeit möglich.	Musikraum mit aktivem Musizieren und Gesang
A2	Kurzbezeichnung: „Sprache / Vortrag“ Sprachliche Darbietungen stehen im Vordergrund, in der Regel von einer (frontalen) Position. Gleichzeitige Kommunikation zwischen mehreren Personen an verschiedenen Stellen im Raum kommt selten vor.	Sprachliche Darbietungen einzelner Sprecher erzielen eine hohe Sprachverständlichkeit, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei z.B. fremdsprachlicher Nutzung	Gerichts- und Ratssaal, Gemeindesaal, Hörsaal, Versammlungsraum, Schulaula
A3	Kurzbezeichnung: „Sprache / Vortrag inklusiv“ Räume der Nutzungsart A2 für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind Erforderlich für inklusive Nutzung	Sprachliche Darbietungen einzelner Sprecher erzielen eine hohe Sprachverständlichkeit, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei fremdsprachlicher Nutzung.	Gerichts- und Ratssaal, Gemeindesaal, Hörsaal, Versammlungsraum, Schulaula
	Kurzbezeichnung: „Kommunikation / Unterricht“ Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum	Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich	Unterrichtsraum, Differenzierungsraum, Tagungsraum, Besprechungsraum, Konferenzraum, Seminarraum, Gruppenraum in Kindertageseinrichtungen, Pflegeeinrichtungen und Seniorenheimen

DIN 18041 Nachhallzeitanforderungen an Räume Gruppe A

Raum-Gruppe	Kurzbezeichnung und Beschreibung der Nutzungsart	Subjektive Wahrnehmung	Beispiele
A4	Kurzbezeichnung: „Unterricht / Kommunikation inklusiv“ Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum entsprechend A3, jedoch für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind Für Räume größer als 500 m³ und für musikalische Nutzungen ist diese Nutzungsart nicht geeignet. Erforderlich für inklusive Nutzung^{a)}	Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei (z.B.) fremdsprachlicher Nutzung.	Unterrichtsraum, Differenzierungsraum, Seminarraum, Tagungsraum, Gruppenraum (z.B.) in Kindergärten und Kindertagesstätten, Seniorentagesstätten, Video-Konferenzraum, Bürgerbüro, erforderlich für inklusive Nutzung^{a)}
A5	Kurzbezeichnung: „Sport“ In Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum kommunizieren mehrere Gruppen (auch gleichzeitig) mit unterschiedlichen Inhalten	Sprachliche Kommunikation über kurze Entfernungen ist im Allgemeinen gut möglich.	Sport- und Schwimmhallen für ausschließliche Sportnutzung

^{a)} Gemäß Bundesgleichstellungsgesetz und vergleichbarer Landesregelungen und der UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen sind Neubauten inklusiv zu errichten, soweit dies nicht nur mit einem unverhältnismäßig hohem Mehraufwand erfüllt werden kann. Näheres ist den jeweiligen Landesgesetzen zu entnehmen.

DIN 18041 Nachhallzeitanforderungen an Räume Gruppe A

$$T_{\text{Soll,A1}} = \left(0,45 \lg \frac{V}{\text{m}^3} + 0,07 \right) \text{s} \quad 30 \text{ m}^3 \leq V \leq 1.000 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{Soll,A2}} = \left(0,37 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14 \right) \text{s} \quad 50 \text{ m}^3 \leq V \leq 5.000 \text{ m}^3$$

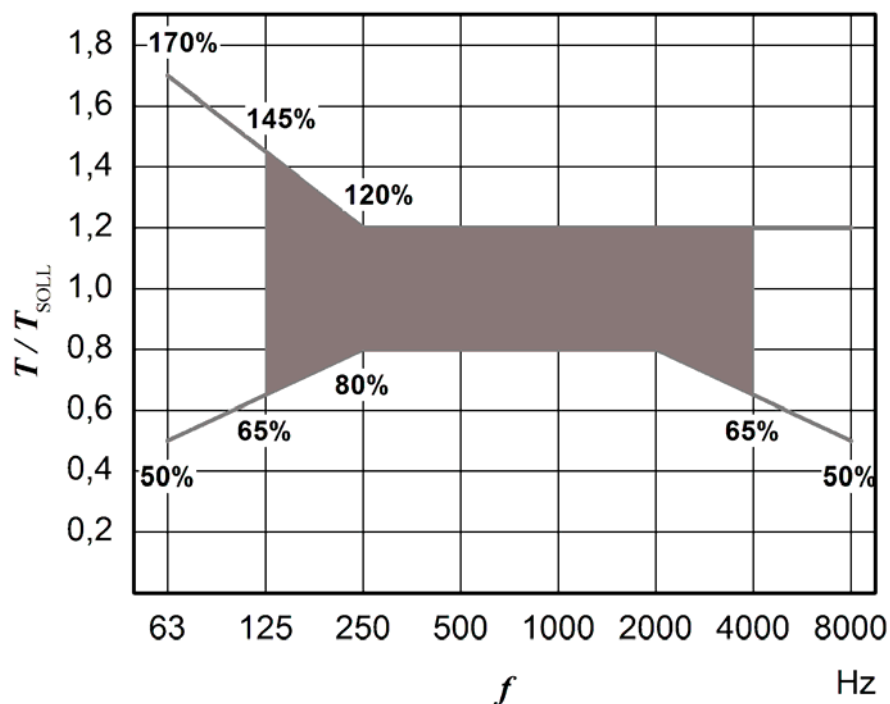
$$T_{\text{Soll,A3}} = \left(0,32 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17 \right) \text{s} \quad 30 \text{ m}^3 \leq V \leq 1.000 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{Soll,A4}} = \left(0,26 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14 \right) \text{s} \quad 30 \text{ m}^3 \leq V \leq 500 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{Soll,A5}} = \left(0,75 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 1,00 \right) \text{s} \quad 400 \text{ m}^3 \leq V \leq 10.000 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{Soll,A5}} = 2,0 \text{ s} \quad V \geq 10.000 \text{ m}^3$$

DIN 18041 Nachhallzeitanforderungen an Räume Gruppe A



Frequenzabhängiger Toleranzbereich der Nachhallzeiten nach DIN 18041

Beispiele „Räume Gruppe B“



DIN 18041 Empfehlungen an Räume Gruppe B

Nutzungsarten mit Kurzbeschreibung und Beispiele für Räume der Gruppe B

Raum-Gruppe	Beschreibung der Nutzungsart	Beispiele
B1	Räume ohne Aufenthaltsqualität	— Eingangshallen, Flure und Treppenhäusern u. Ä. als reine Verkehrsfläche (ausgenommen Verkehrsflächen in Schulen, Kitas, Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen)
B2	Räume zum kurzfristigen Verweilen	— Ausstellungsräume — Eingangshallen, Flure und Treppenhäusern u. Ä. Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität (Empfangsbereich mit Wartezonen etc.) — Schalterhallen — Umkleiden in Sporthallen
B3	Räume zum längerfristigen Verweilen	— Ausstellungsräume mit Interaktivität oder erhöhtem Lärmaufkommen (Multimedia, Klang-/Videokunst etc.) — Verkehrsflächen in Schulen und Kindertagesstätten (Kindergarten, Kinderkrippe, Hort etc.) — Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen (z.B. offene Wartezonen) — Patientenwarteräume — Pausenräume — Bettenzimmer und Ruheräume — Speiseräume, Kantinen, Verkaufsräume — Labore — Bibliotheken

DIN 18041 Empfehlungen an Räume Gruppe B

Nutzungsarten mit Kurzbeschreibung und Beispiele für Räume der Gruppe B

B4	Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort	— Rezeption / Schalterbereich mit ständigem Arbeitsplatz — Labore mit ständigem Arbeitsplatz — Ausleihbereiche in Bibliotheken — Ausgabebereiche in Kantinen — Bewohnerzimmer in Pflegeeinrichtungen — Bürgerbüro — Büroräume ^a
B5	Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort	— Speiseräume und Kantinen in Schulen, Kindertagesstätten (Kindergarten, Kinderkrippe, Hort etc.), Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen — Arbeitsräume mit besonders hohem Lärmaufkommen (z.B. Werkstätten, Werkräume, Großküchen, Spülküchen) — Ausgabebereiche in Kantinen — Callcentera, Leitstellen, Sicherheitszentralen, — Bewohnerzimmer in Pflegeeinrichtungen — Intensivpflegebereiche, Wachstationen — Spielflure und Umkleiden in Schulen und Kindertagesstätte (Kindergarten, Kinderkrippe, Hort etc.)

^aEmpfehlungen für Büroräume sowie Callcenter werden ausführlich in der Richtlinie VDI 2569 behandelt, Einzelbüros können unter B3 eingeordnet werden.

DIN 18041 Empfehlungen an Räume Gruppe B

Keine Nachhallzeiten, sondern Vorgaben an die Absorptionsfläche A des Raumes:

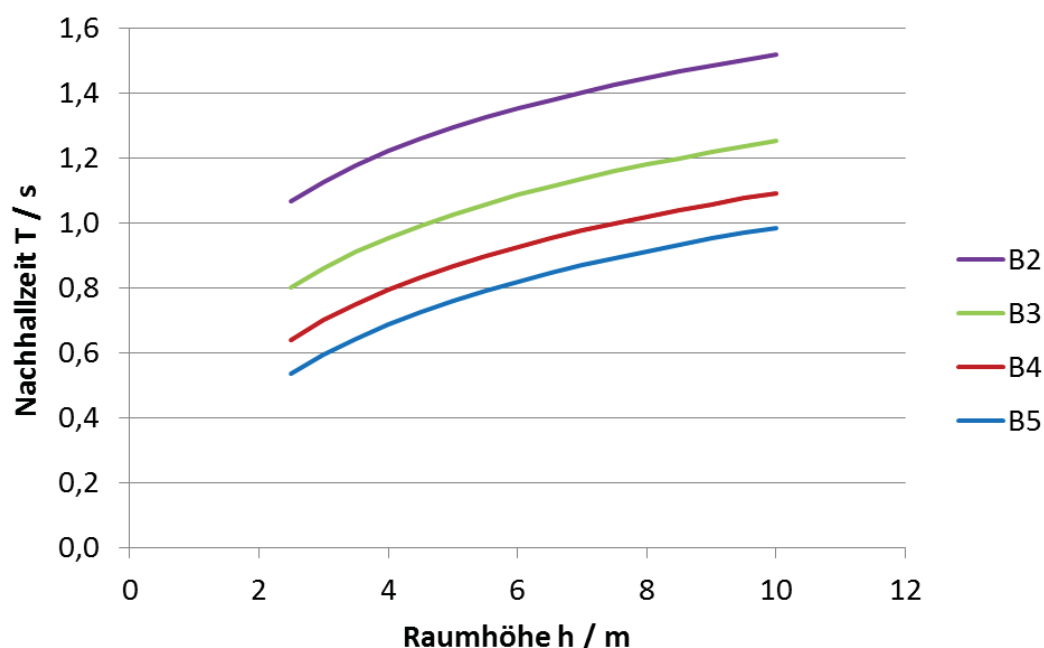
- A charakterisiert besser „Lautstärke im Raum“ $L_A = L_W - 10 \lg(A/4)$
- In Räumen der Gruppe B häufig kein diffuses Schallfeld, Nachhallzeit bedingt aussagekräftig

Orientierungswerte für das Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche A / m^2 zum Raumvolumen V/m^3 und in Abhängigkeit von der Raumhöhe h/m

Nutzungsart	bei Raumhöhen $h \leq 2,5 \text{ m}$	bei Raumhöhen $h > 2,5 \text{ m}$
	m^2/m^3	m^2/m^3
B1	ohne Anforderung	ohne Anforderung
B2	$A/V \geq 0,15$	$A/V \geq [4,80 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1} \quad (7)$
B3	$A/V \geq 0,20$	$A/V \geq [3,13 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1} \quad (8)$
B4	$A/V \geq 0,25$	$A/V \geq [2,13 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1} \quad (9)$
B5	$A/V \geq 0,30$	$A/V \geq [1,47 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1} \quad (10)$

DIN 18041 Empfehlungen an Räume Gruppe B

Für Räume mit näherungsweise diffusen Schallfeld:
Angabe der Nachhallzeiten möglich



Fazit

- „Gute“ Raumakustik ist abhängig von der Nutzung
- Beschreibung der Schallübertragung über Modellannahmen (geometrische Akustik, Schallteilchen, diffuses Schallfeld)
- Kenntnis der akustischen Eigenschaften der Oberflächen ist erforderlich (Schallabsorption)
- Anforderungen / Zielsetzungen DIN 18041 (und weitere Normen, Richtlinien / Erfahrungswerte)
- Gute Raumakustik lässt sich planen !