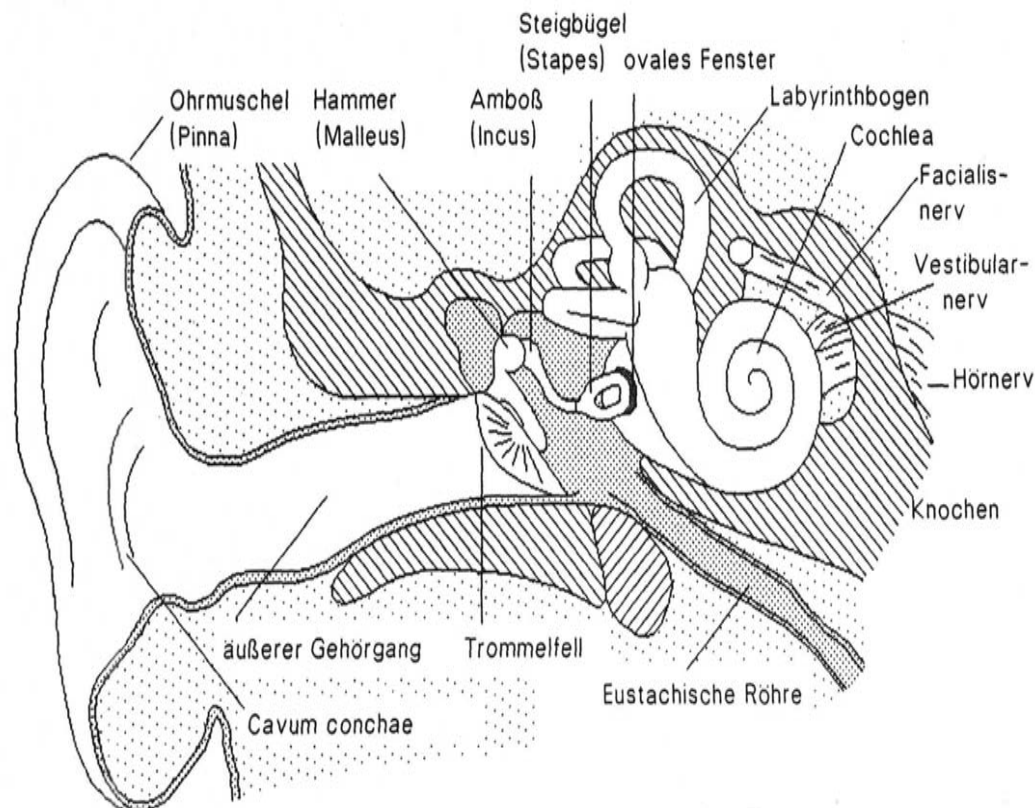


## Teil 2: Raumakustik

### ALLGEMEINES

- Funktionsweise des Ohrs & neuronale Verarbeitung
- Einflussgrößen
- Psychoakustik
- Akustische Fachbegriffe

## BAU DES HÖRORGANS



Bau des Hörorgans im Schnitt, schematisch  
 Nach Pickles (1982) sowie Ades und Engström (in Keidel & Neff, 1974)

### Eigenschaften des Gehörs:

- Frequenzgang: ca. 20 Hz bis 16 kHz
- Dynamikbereich: ca. 90 dB
- hohe Empfindlichkeit für kleinste Schallamplituden
- Frequenzselektivität
- Cocktaileffekt: Registrieren einzelner Stimmen im Stimmengewirr
- Richtungswahrnehmung durch zeitliche Verzögerung bei der in den Ohren eintreffenden Schallsignalen
- Gesetz der ersten Wellenfront: Innerhalb eines Raumes bestehen die eintreffenden Schallsignale aus verschiedenen Reflexionen der später eintreffenden Signale und hält sich an die Informationen der zuerst eintreffenden Welle

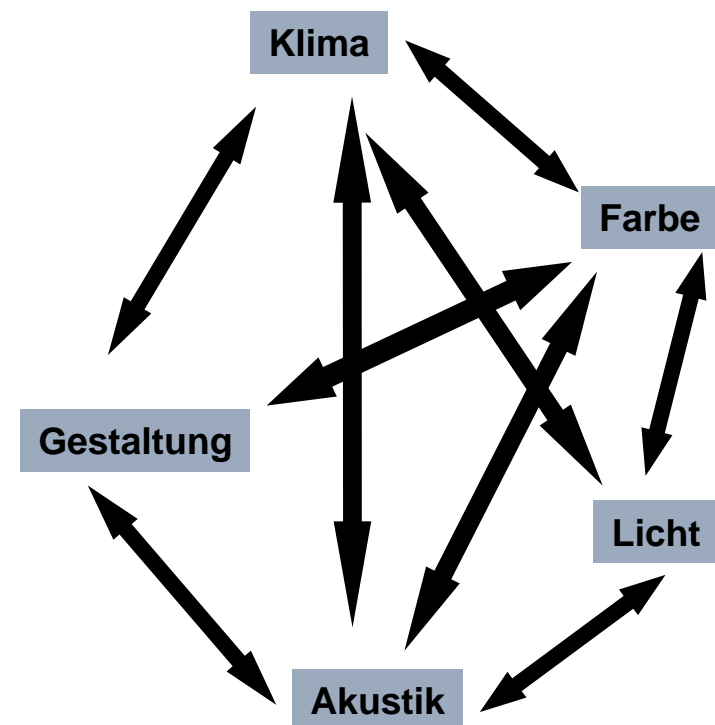
## Einflussgrößen

Viele Faktoren wie etwa Gestaltung, Klima, Licht oder Akustik bestimmen, wie Menschen ihre Umgebung wahrnehmen und empfinden.

Die Faktoren beeinflussen sich gegenseitig vor dem Hintergrund gesammelter Erfahrungen und Erwartungsmuster.

Allein schon die Frage, wie ein Raum zu gestalten ist, damit er seiner Funktion sowie dem Bedürfnis und der Erwartungshaltung der Menschen entspricht, lässt sich nicht trivial beantworten; hierbei wirken das Sinnesorgan Gehör, die neuronale Verarbeitung der Signale und komplexe Schallfeldstrukturen in Räumen bzw. Umgebungen zusammen. Psychoakustische Erwartungsmuster stehen stets im Kontext zur Umwelt sowie den oben genannten Faktoren.

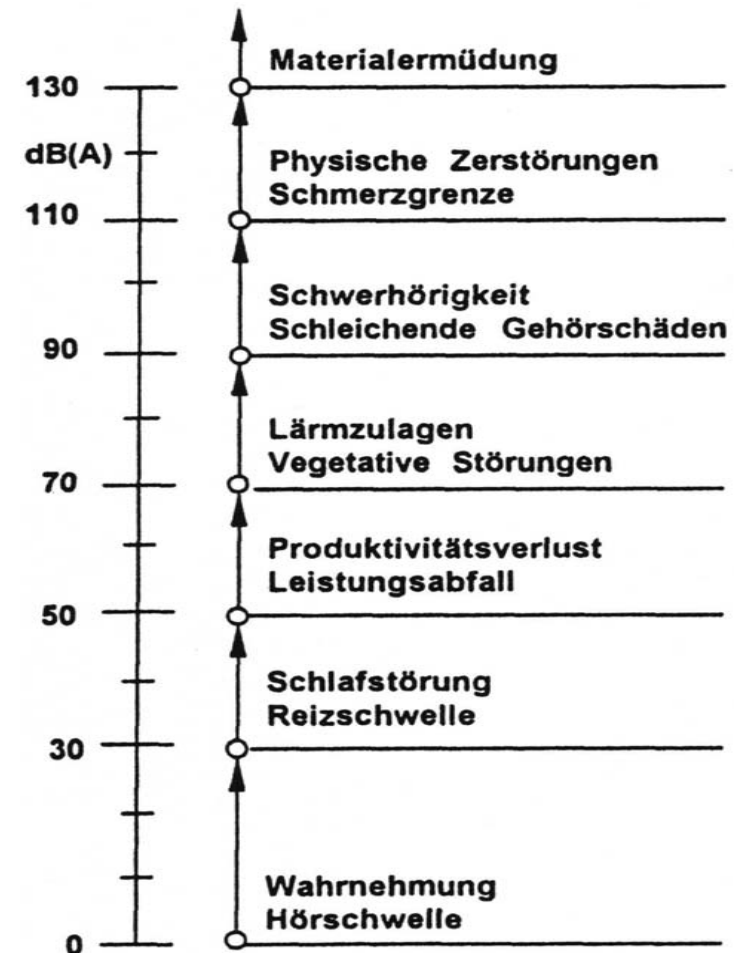
Für die Ableitung konkreter akustischer Planungsziele ist es daher wichtig, diese Faktoren immer im Blick zu behalten.



## Psychoakustik

Im Rahmen psychoakustischer Versuche lassen sich so z. B. Erwartungsmuster herausfiltern, die die Bedeutung der ergänzenden Faktoren Licht, Klima usw. zeigen. Für große Räume etwa wird intuitiv eine lange Nachhallzeit vorausgesetzt und erwartet.

Wirkung des Lärms auf den Menschen



## Akustische Fachbegriffe

Jede Druckänderung (in Luft, Wasser oder einem anderen Medium) ist **wahrnehmbarer Luftschall**, wenn sie das gesamte menschliche Ohr hören kann. Die Anzahl der Druckänderungen pro Sekunde nennt man die Frequenz des Schalls; sie wird in Hertz (Hz) gemessen. Der Hörbereich eines jungen Menschen reicht von **ca. 20 Hz bis 20.000 Hz**. Die Druckänderungen pflanzen sich durch jedes elastische Medium fort; wobei die Schallgeschwindigkeit in Luft bei ca. 344 m/s liegt. Das menschliche Gehör mit der neuronalen Verarbeitung kann geringste Druckänderungen, die am Trommelfell einen Ausschlag von weniger als einem Wasserstoffmolekül verursachen, genauso wahrnehmen wie die Schalldrücke, die bis zu einer Million mal höher sind.

Zur Darstellung dieser sehr großen Spanne der Schalldrücke bedient man sich einer logarithmischen Darstellung der Verhältnisse in Form der Dezibel (dB)-Skalierung. Das Gehör konzentriert sich bei eintreffenden, komplexen Schallfeldstrukturen auf wesentliche Informationen. "Unwichtige" Details werden durch **Frequenzselektivität** und **Richtungswahrnehmung** ignoriert, es erfolgt eine präzise Extraktion informationstragender auditiver Konturen.

**Wichtigstes Kriterium** für die Beurteilung der **raumakustischen** Qualität ist die **Nachhallzeit**. Sie ist direkt abhängig von der **Raumgröße** und der -geometrie, von den **schallabsorbierenden Eigenschaften** der **Raumoberflächen** und von der Raumausstattung. Nach den Vorstellungen der geometrischen Raumakustik kommt der Nachhall eines Raumes dadurch zu Stande, dass der Schall an den Raumbegrenzungsflächen immer wieder zurückgeworfen wird. Ein Zuhörer in einem Raum empfängt also nicht nur den Direktschall, sondern zahlreiche Rückwürfe, d. h. Schallanteile nach einfacher oder mehrfacher Reflexion. Die Reflexionen sind gegenüber dem Direktschall verzögert und abgeschwächt, da sie da sie größere Wege zurückzulegen haben und unvollkommen an den Wänden reflektiert werden. Diese Rückwürfe bilden den Nachhall. Eine lange Nachhallzeit ergibt ein "halliges Empfinden des Raumes, der Schalldruckpegel im Raum ist höher und kann beispielsweise bei Arbeitsbereichen wie Großraumbüros zu Störungen führen. Je schneller also ein Schallsignal z. B. ein Störgeräusch, im Raum abnimmt, desto weniger anstrengend ist es für Personen, in diesem Raum zu arbeiten und zu kommunizieren.

Die Nachhallzeit wird in verschiedenen Frequenzbereichen betrachtet:

- Tieffrequent (125 Hz - 250 Hz)
- Mittelfrequent (500 Hz - 1.000 Hz)
- Hochfrequent (2.000 Hz - 4.000 Hz)

Die optimale Nachhallzeit richtet sich nach der Raumnutzung und der jeweiligen Erwartungshaltung, die auch vom optischen Eindruck des Raumes bestimmt wird.

## **AKUSTIK**

### **Bauakustik**

- **Luft- und Trittschall**
- **Außenlärm**
- **Geräusche aus haustechnischen Anlagen**

### **Raumakustik**

- **Ausbreitung und Verteilung von Schall im Raum**

## Akustik

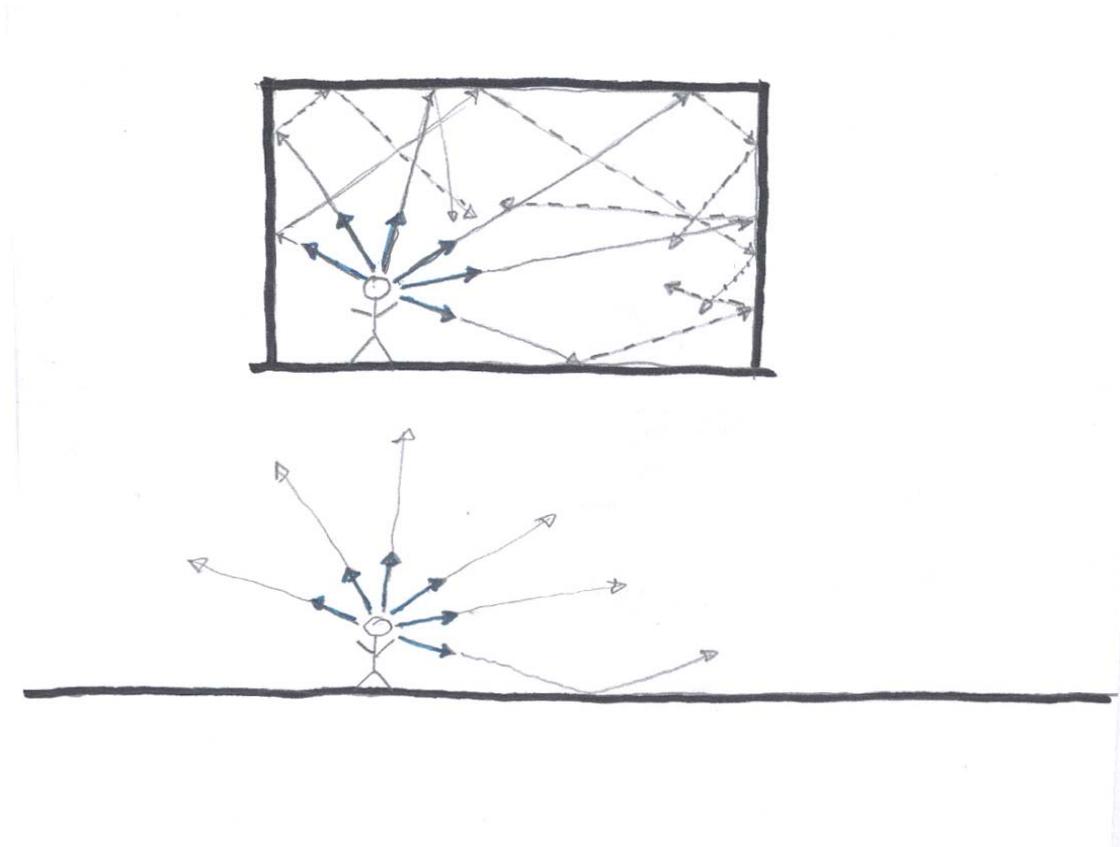
### Der Begriff "Akustik"

Für die Geräuscheinwirkung im positiven, wie auch im negativen Sinne steht der Begriff "Akustik".

Bei dem Begriff "Akustik" handelt es sich um einen Oberbegriff, der die Bereiche Bauakustik und Raumakustik zusammenfaßt.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, müssen diese beiden Begriffe jedoch auseinandergelassen werden, da sie unterschiedliche Fachbereiche behandeln.

## Raumakustik beschaftigt sich mit Akustik in Räumen

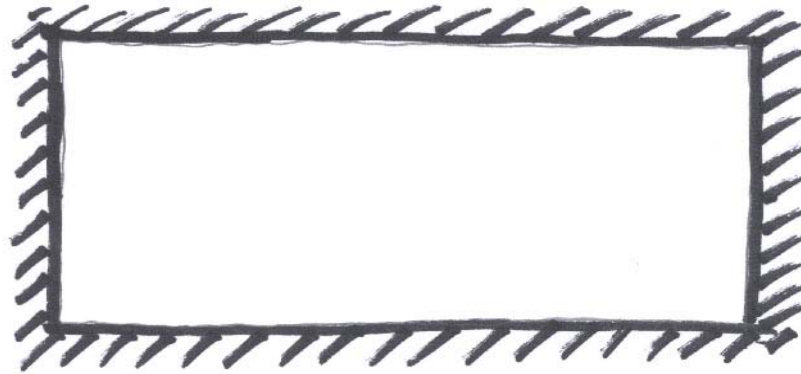


nicht:  
Im freien Feld



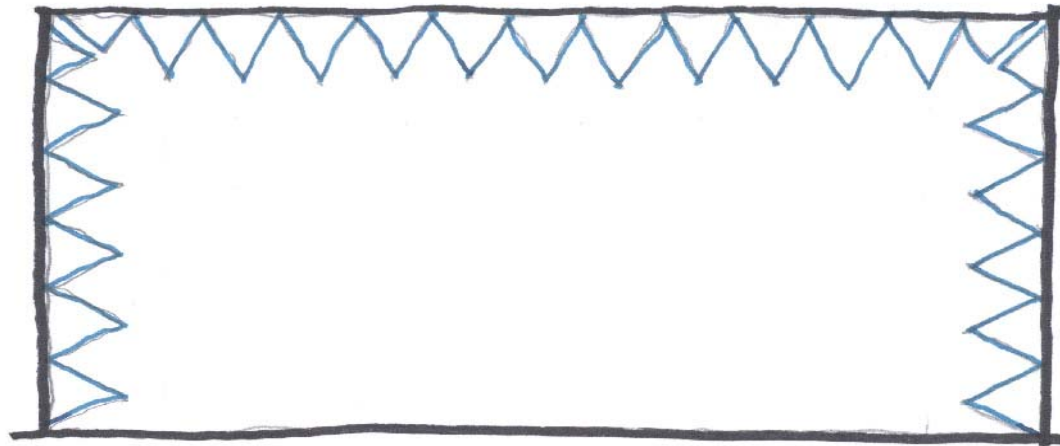
## Extreme Räume (Prüflabore)

a) Hallraum



- Volumen ca. 200 m<sup>3</sup>
- Nachhallzeit ~ 5 sek.
- zur Messung von Schallabsorptionsflächen

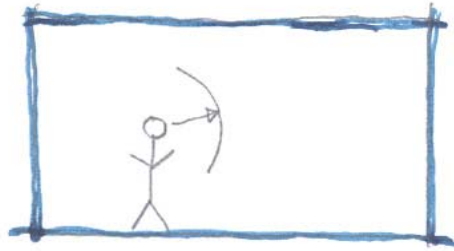
b) reflexions-  
armer Raum



- hochabsorbierende Auskleidung
- quasi Freifeldbedingungen
- manchmal auch absorbierender Boden
- zur Messung von Maschinengeräuschen

Normale Räume haben ein direktes und ein diffuses Schallfeld.

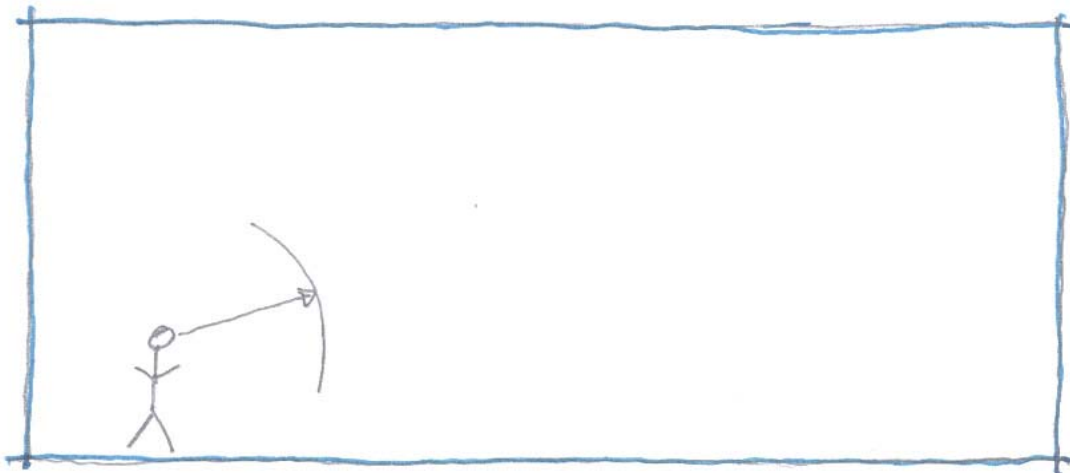
kleiner Raum )



Im direkten:  
Freifeldbedingung

Im diffusen:  
überall gleicher Schalldruck

große Halle)

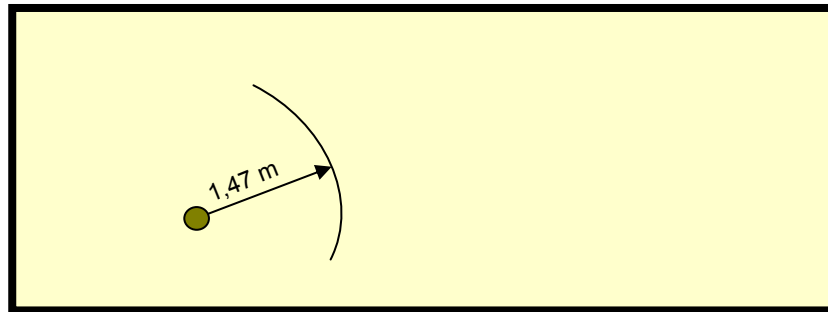


Die Grenze dazwischen ist  
der Hallradius  $r_H$

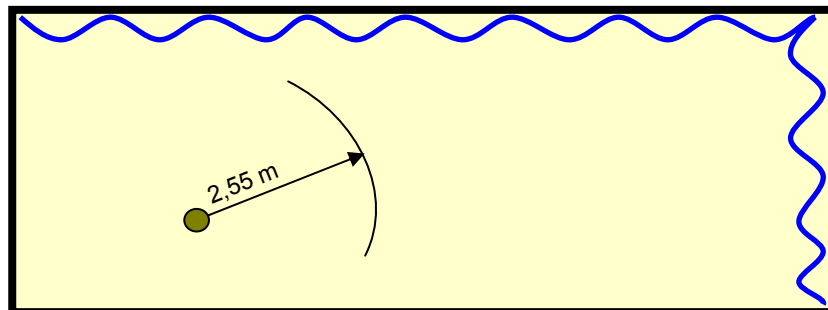
Dieser Radius hängt ab  
vom Volumen und der  
Halligkeit des Raumes.

Der Hallradius  $r_H = 0,2 \times \sqrt{A}$  ← (Das A wird später erklärt)

Beispiel: Ein 1000 m<sup>3</sup> großer Raum, ziemlich hallig (NHZ 3 Sekunden)



Ein 1000 m<sup>3</sup> großer Raum, gut gedämpft (NHZ 1 Sekunde)



Was heißt das?

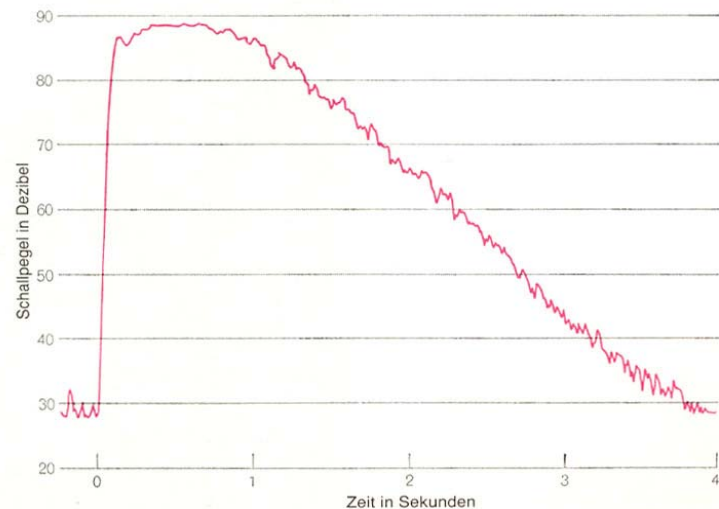
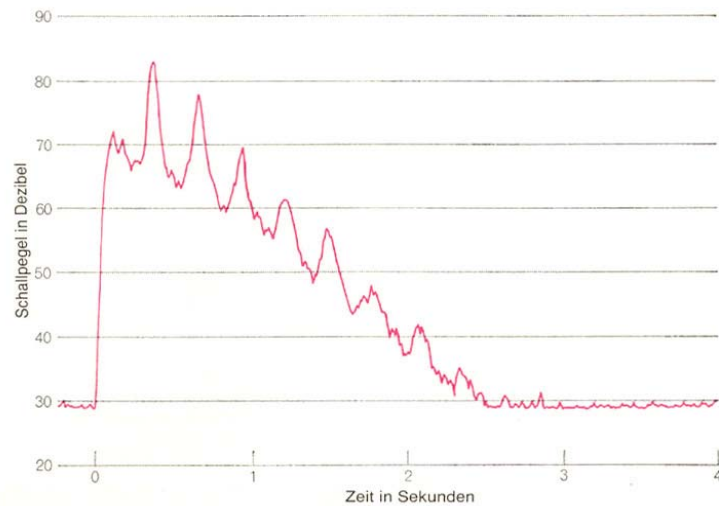
Je größer ein Raum ist  
und je stärker absorbierend seine Flächen sind,  
desto größer wird sein Hallradius,  
desto größere Teile davon haben “Freifeldbedingungen“  
und umgekehrt.

Jenseits des Hallradius herrscht das “diffuse Schallfeld“  
(zumindest theoretisch).

Wir erwarten von einem Raum  
je nach seiner Größe und Nutzung  
eine bestimmte Nachhallzeit.

Nicht zu lang und nicht zu kurz.

## Was ist die Nachhallzeit?



Definition:

Die Zeit in der ein Schallpegel nach Abschalten der Schallquelle um 60 dB abfällt.

(Praktisch gemessen wird meist nur ein 30 dB – Abfall)

Das kann ungleichmäßig oder...

... gleichmäßig verlaufen.

Die Raumakustik beschäftigt sich mit Hörsamkeit.  
Hörsamkeit ist je nach Nutzung etwas Verschiedenes:

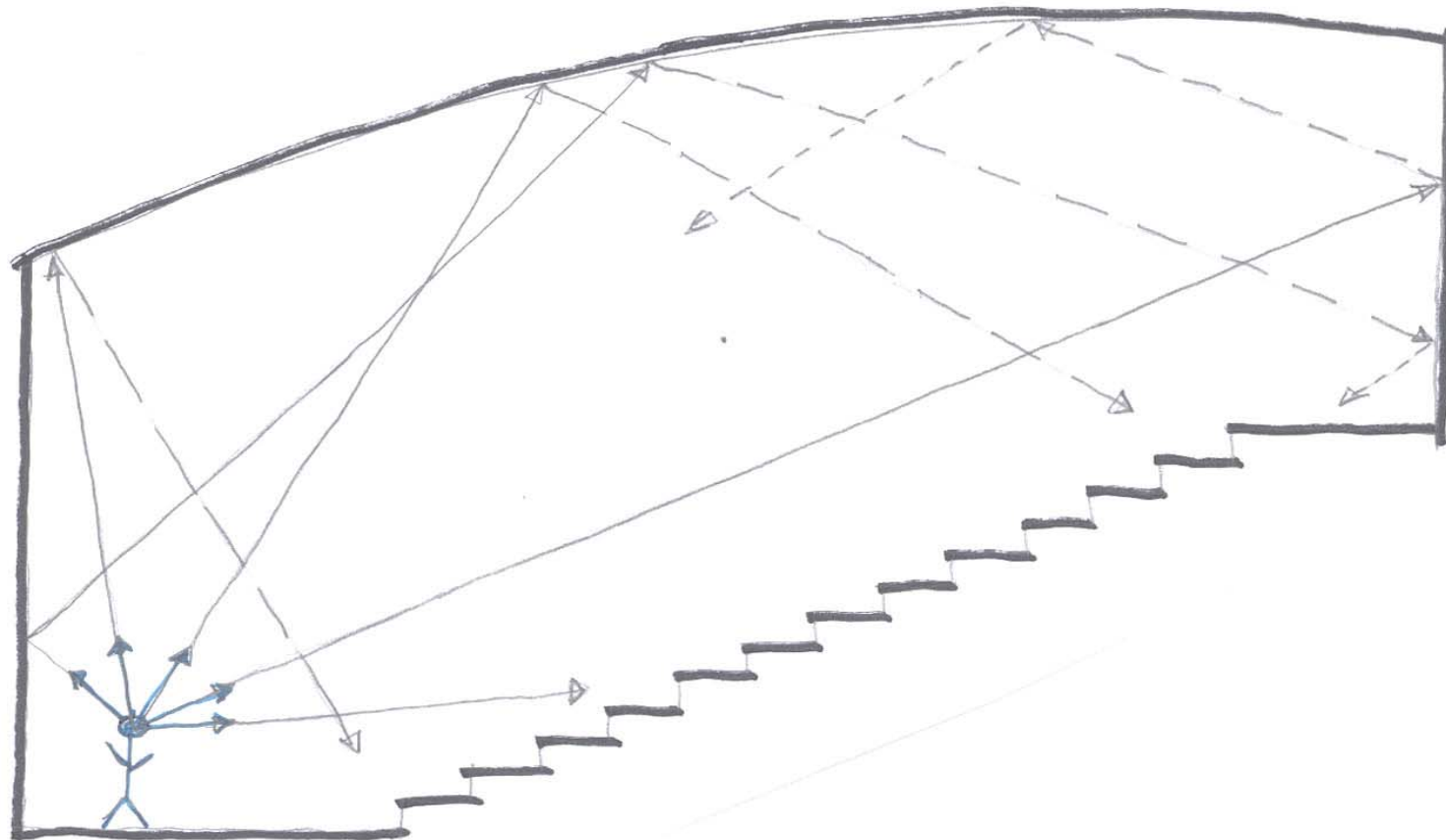
In einem Theater, einem Konzertsaal will man über größere Entfernungen alles hören.

In einem Großraumbüro will man nur über kurze Entfernungen gut hören und gehört werden den Rest will man möglichst nicht hören.

Aufgabe der Akustik kann also sein:

- Schallsignale weit zu tragen oder
- Schallsignale an der Ausbreitung zu behindern.
- Bei anspruchsvollen Aufgaben darüber hinaus ein Klangerlebnis zu erzeugen, den Saal zum Musikinstrument machen.

## Beispiel Hörsaal

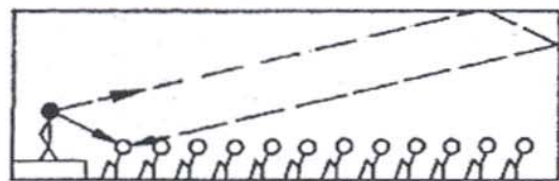


Die Schallwellen breiten sich kugelförmig aus.

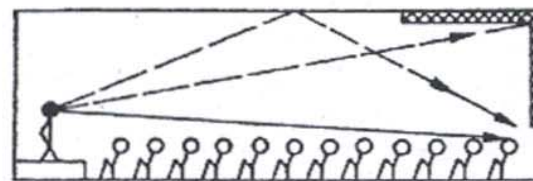
Wohin sollen sie verteilt werden?  
Wohin nicht?

## Geometrische Grundlagen aus DIN 18041

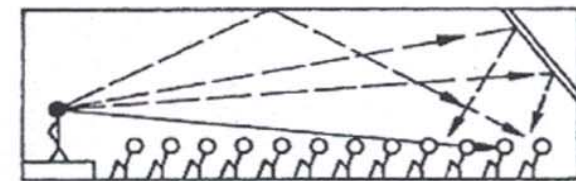
Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen.



a ungünstig



b günstig



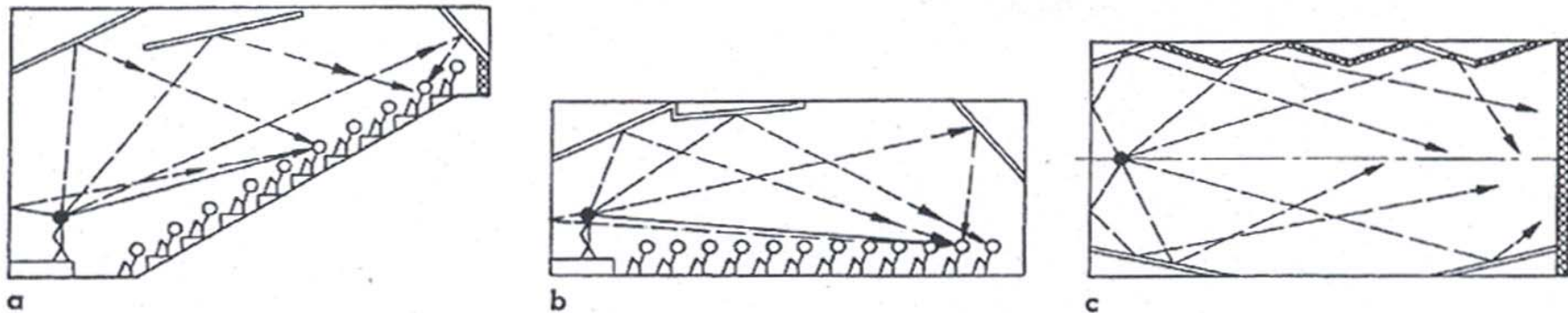
c günstig

Bild 6 — Rückwandreflexion



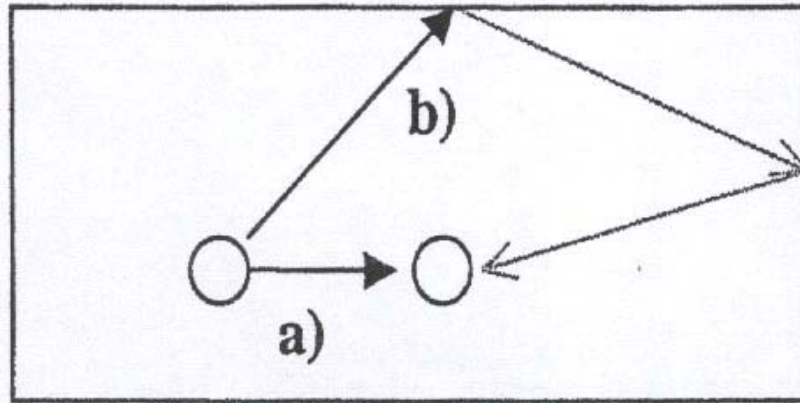
## Geometrische Grundlagen aus DIN 18041

Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen.



**Bild 8 — Nützliche Reflexionen für den hinteren Raumbereich (a und b Aufrisse, c Grundriss)**

## Laufzeitdifferenzen



zwischen direktem Schallweg (a) und reflektierendem Schallweg (b) können zur erwünschten Verstärkung, aber auch zur Echobildung beitragen

$b) - a) = \text{Laufwegdifferenz}$

Laufwegdifferenz wird in Laufzeitdifferenz umgerechnet.

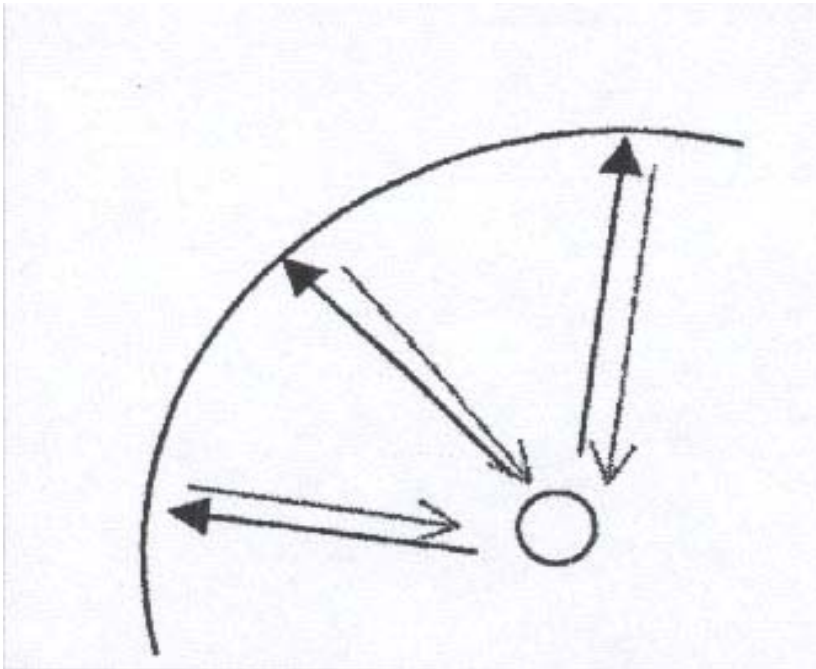
Der Schall legt ca. 340 m/sec zurück.

Bis 50 ms (= 17 m) Verstärkung zum Direktschall

Bis 100 ms (= 34 m) eigenes Schallsignal, störend

Ab 100 ms : Echo

## Focusbildung / Brennpunktbildung

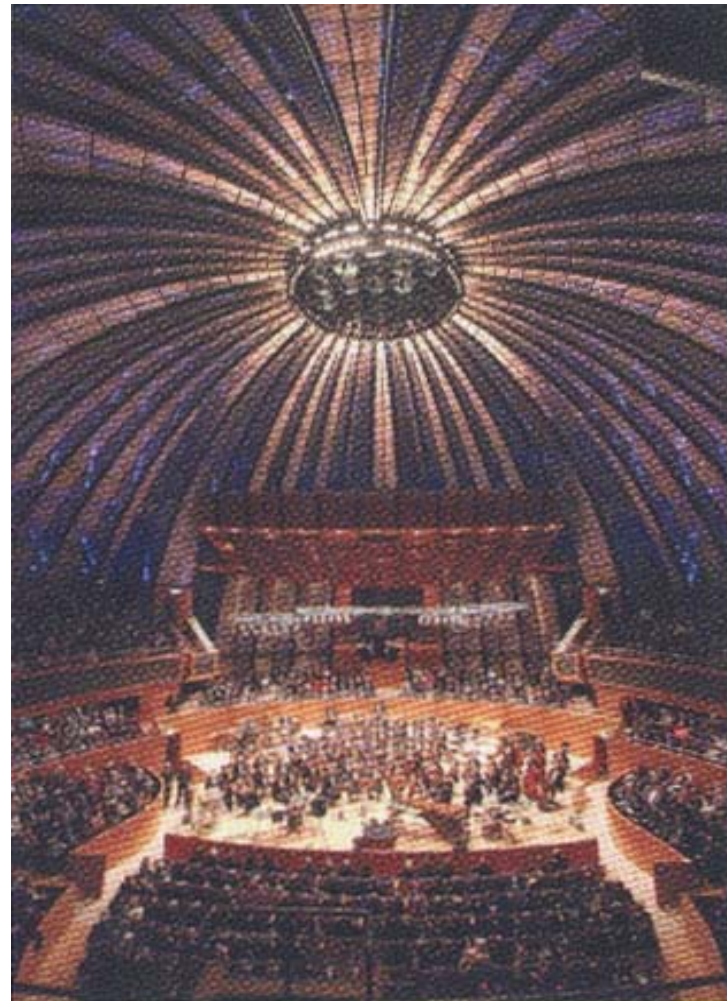
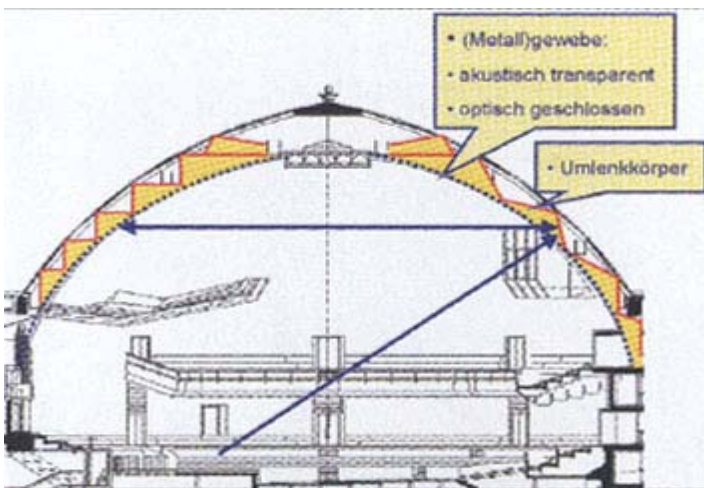
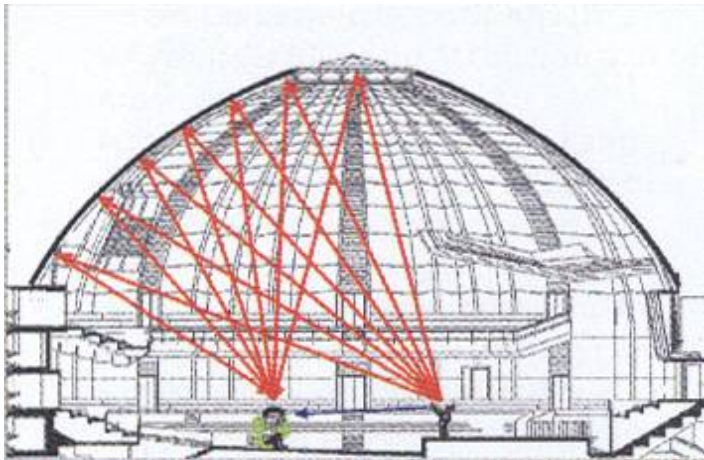


bündelt Schallrückwürfe von  
Oberflächen zur Schallquelle zurück,

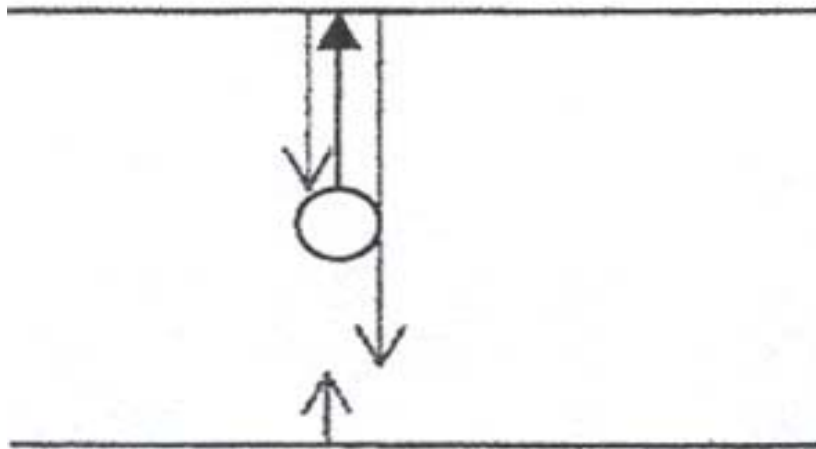
ist meist störend und zu vermeiden!

(bei Kreisform oder auch Ellipsenform)

## Sanierung Tonhalle Düsseldorf



## Flatterecho

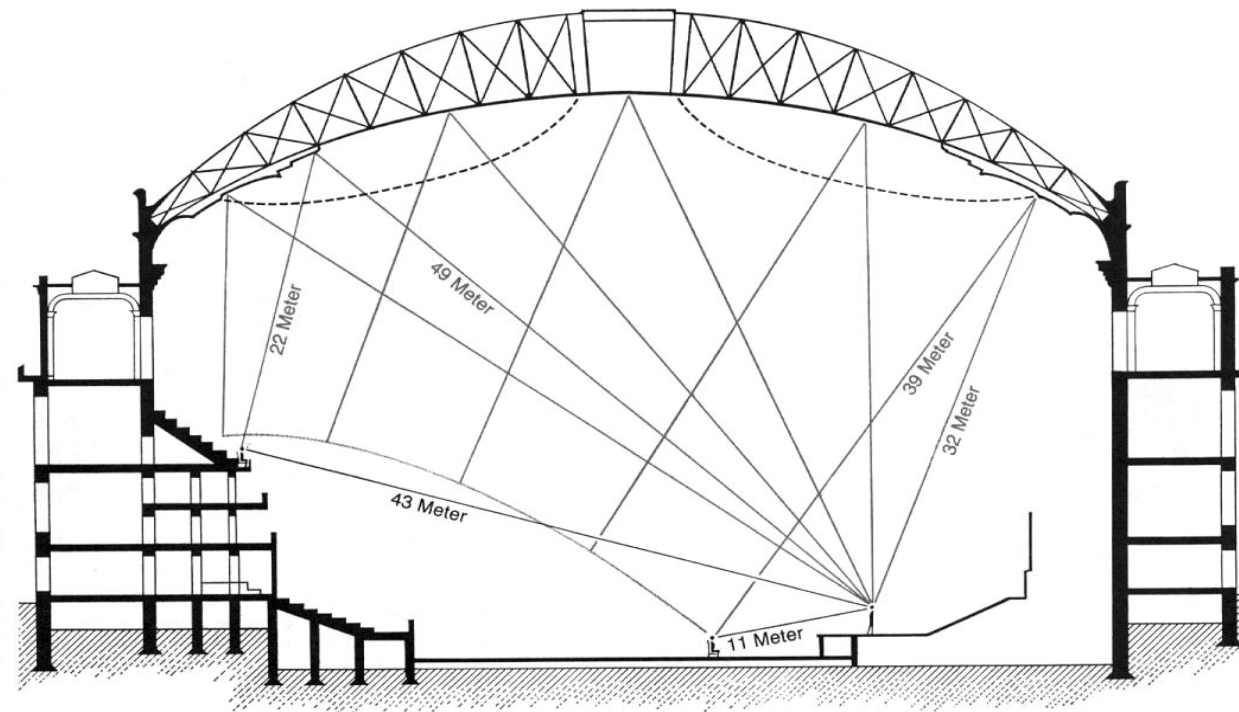


entsteht zwischen parallelen  
schallreflektierenden Oberflächen,

ist horizontal und vertikal möglich.

In **größeren** Räumen meist störend und zu vermeiden!

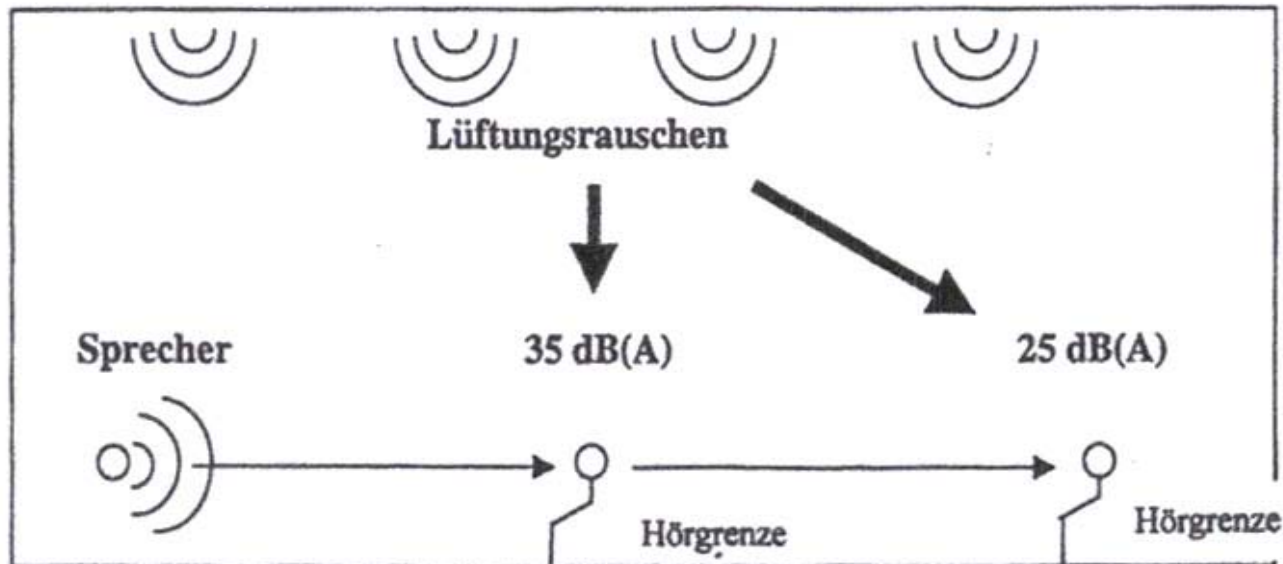
## Ein Beispiel für einen geometrischen Problemfall:



Das hohe Kuppeldach der Royal Albert Hall, die 1871 eröffnet wurde, erzeugte ursprünglich starke Echos. Die Linien deuten Schallwege gleicher Laufzeit an. Das Publikum in den vordersten Reihen hört das Echo fast 200 Millisekunden nach dem direkten Schall. Durch einen Baldachin aus schwerem Stoff (gestrichelte Linien) wurden die Echos größtenteils beseitigt und die Nachhallzeit stark verringert.

(aus: Spektrum der Wissenschaft „Physik der Musikinstrumente“)

## Zusammenhang: Hörsamkeit – technische Anlagen



In großen Räumen hängt die Hörsamkeit über größere Distanzen stark vom Grundgeräusch ab.

Je ruhiger dieses ist, desto weiter trägt eine Stimme, ein Musikinstrument.

Störpegel von 35 dB (A) und weniger fordern einen hohen Aufwand an Schalldämpfern im Kanalnetz. Jedes dB kostet hier Geld und Platz! Konzertsäle müssen unter 25 dB (A) liegen, Rundfunkstudios noch deutlich niedriger. Hinweis am Rande: die sagenhafte „Raumakustik“ alter griechischer Amphitheater funktioniert nur, wenn die ganze Umgebung still ist. Umgekehrt: Jeder kennt aus der Gaststätte das Phänomen, dass man bei Betrieb lauter Musik seinen Tischnachbarn auf 50 cm Entfernung kaum versteht.

Gruppen- / Großraumbüros können ein Lüftungsrauschen von 40 bis 45 dB (A) benötigen als erwünschtes Überdeckungsgeräusch.

Gute Akustik in großen Räumen hat daher immer auch die Aufgabe: alle Störgeräusche zu senken.

In Großraumbüros ist – in Grenzen – das Gegenteil richtig: Je schneller das Geräusch vom Arbeitskollegen im allgemeinen Grundgeräusch “versinkt“, desto weniger stört es.

Dieses erwünschte „Überdeckungs“geräusch sollte aber nicht “informationshaltig“ sein.



## Beispiele verschiedener Schalldruckpegel

- sehr ruhiger Raum	20	dB (A)	
- Haushaltskühlschrank	35	dB (A)	
mittelalter PC			
- ruhigere Unterhaltung über Entfernung	50	dB (A)	2 m
- lautere Unterhaltung	60 – 65	dB (A)	
- im Bierzelt (ohne Blasmusik)	>80	dB (A)	
- in der Disco	>95	dB (A)	

Die dB – Skala ist logarithmisch. 10 dB sind eine 10 er Potenz des Schalldrucks.

Man empfindet aber 10 dB (A) Differenz etwa als Verdopplung / Halbierung der Lautstärke. (Bei leisen Geräuschen: bereits 5 dB (A)!)

## Beispiel Großraumbüro



Wohin sollen die  
Schallwellen  
verteilt werden?  
Wohin nicht?

## Raumakustik

**Die Raumakustik behandelt hingegen die Ausbreitung und -verteilung von Schall im Raum.**

Ziel ist ein der jeweiligen Situation und des Raumes angepaßter "akustischer Raumeindruck".

Bei musikalischer Nutzung betrifft dies im wesentlichen einen definierten Nachhall bzw. Klangcharakter (Klarheit, Balance, Räumlichkeit etc.) sowie die angemessene Ortbarkeit des Künstlers bzw. der Instrumente.

In sprachlich genutzten Räumen (Schulen, Besprechungs- Konferenzräume etc.) betrifft dies im wesentlichen die Sprachverständlichkeit.

In weiteren Funktionsräumen (Großraumbüros, Foyers etc.) erfolgt bedarfsweise eine integrative Betrachtung des Aspekt der Geräuschkämpfung.



Das Fachgebiet Raumakustik wird unterteilt in die

- geometrische
- statistische

Raumakustik

Die statistische Raumakustik beschäftigt sich vor allem mit den Nachhallzeiten und den Schallabsorptionsgraden.

Die geometrische Raumakustik beschäftigt sich mehr mit den Raumformen und den Reflexionen.

Wir beginnen mit der statistischen Raumakustik.

## Die statistische Raumakustik

beschäftigt sich mit  
Nachhallzeiten und  
Schallabsorptionsgraden

“Statistisch“ deswegen, weil aus einer Vielzahl von Schallmessungen – auf statistischem Wege – akustische Eigenschaften gefunden und Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden.

Die Nachhallzeit eines Raumes kann gemessen und berechnet werden.

Gemessen: ein lautes Geräusch wird eingespielt, abgeschaltet, ein Mikrofon nimmt auf, wie lange der Pegelabfall dauert.

Früher wurden einzelne Frequenzen (in Terzschritten) nacheinander eingespielt, heute ein Rauschen, welches im Gerät frequenzabhängig analysiert wird.

Es müssen mehrere Standorte für Lautsprecher und Mikrofone für die statistische Mittelung gewählt werden.

DIN EN ISO 3382: Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter, Ausgabe März 2003

Berechnet:

Vor ca. 80 Jahren hat der Amerikaner W. C. Sabine aus vielen Messungen eine Gesetzmäßigkeit abgeleitet.

$$T_N = 0,163 \times V / A$$

„Sabin'sche Formel“

V = Volumen des Raumes

A = äquivalente Schallabsorptionsfläche

$$A = \alpha \times F$$

↙  
frequenzabhängig

↘  
 $\alpha$  = Schallabsorptionsgrad  
F = wahre Fläche einer Art

Diese Formel ist bis heute ein wichtiges Planungsinstrument.

## Nachhallzeit in Räumen

Wichtigstes Kriterium für die Beurteilung der raumakustischen Qualität von Räumen ist die Nachhallzeit.

Die Nachhallzeit ist ein Maß für die „Halligkeit“ eines Raumes und ist direkt abhängig von der Raumgröße, den schallabsorbierenden Eigenschaften der Raumbooberflächen und von der Raumausstattung.

Nach den Vorstellungen der geometrischen Raumakustik kommt der Nachhall eines Raumes dadurch zustande, daß der Schall an den Raumbegrenzungsflächen immer wieder zurückgeworfen wird. Ein Zuhörer in einem Raum empfängt also nicht nur den Direktschall, sondern zahlreiche „Rückwürfe“, d.h. Schallanteile über einmal, zweimal usw. reflektierte Schallstrahlen. Die letzteren sind gegenüber dem Direktschall verzögert und außerdem schwächer als dieser, da sie größere Wege zurückzulegen haben und nur unvollkommen an den Wänden reflektiert werden. Diese Rückwürfe bilden den Nachhall. Eine lange Nachhallzeit ergibt ein „halliges“ Empfinden des Raumes, der Schallpegel im Raum ist höher und kann zu Störungen führen.

Die optimale Nachhallzeit richtet sich nach der Raumnutzung.



## Berechnung der Nachhallzeit; Schallabsorption

Durch die Schallabsorption kann die Nachhallzeit eines vorgegebenen Raumes justiert werden, in dem man den schwingenden Luftteilchen durch Reibung an anderen Luftteilchen oder an Materialien, Energie entzieht. Die Materialeigenschaft der Schallabsorption wird beschrieben durch den so genannten Schallabsorptionskoeffizienten oder Schallabsorptionsgrad  $\alpha_s$ . Er kann Werte zwischen 0 (vollständige Schallreflexion) und 1 (vollständige Schallabsorption) annehmen und ist frequenzabhängig.

Die Nachhallzeit  $T$  berechnet sich nach folgender Formel:

$$T = 0,163 V/A$$

Dabei bedeuten:

V:	Raumvolumen in $m^3$
A:	Äquivalente Schallabsorptionsfläche in $m^2$

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  eines Raumes ist eine „gedachte“ Fläche mit dem Absorptionsgrad  $\alpha = 1$ , welche die gleiche Absorption hat, wie die gesamte Raumbooberfläche und die im Raum befindlichen Gegenstände und berechnet sich nach:

$$A = \sum \alpha_s S$$

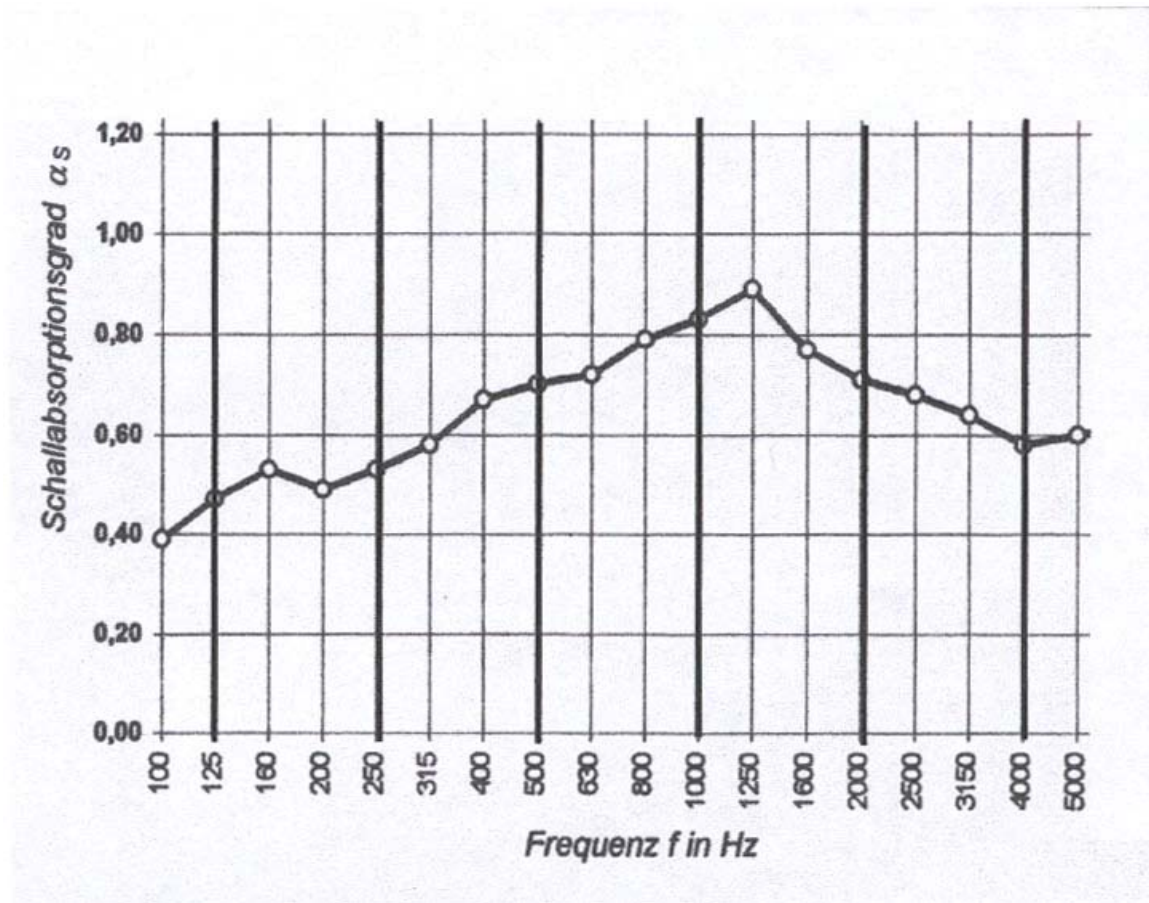
Dabei bedeutet

$\alpha_s$ :	Schallabsorptionsgrad einer Raumbegrenzungsfläche $S$
S:	Raumbegrenzungsfläche in $m^2$ (Decke, Wände, Boden,...)

Das „Geheimnis“ – und auch eine Gemeinheit – steckt im Schallabsorptionsgrad von Flächen und Gegenständen. Der  $\alpha$ -Wert wird frequenzabhängig benötigt.

Der Schallabsorptionsgrad  $\alpha$  (dimensionslos) gibt an, wie viel der auf eine Fläche treffenden Schallenergie absorbiert wird:

0,0 – 1,0 = 0 - 100%



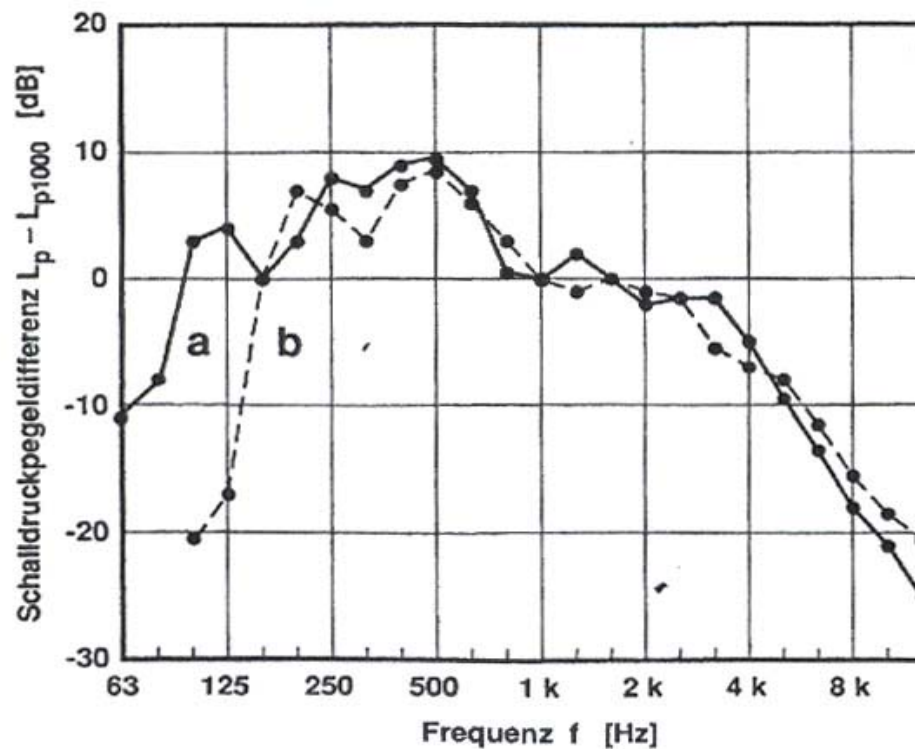
Beispiel →

Schallabsorptionsgrad  $\alpha_s$  üblicher Baustoffe

Material	Schallabsorptionsgrad $\alpha_s$ bei					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mauerwerk verputzt	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Schwerbeton, glatt ungestrichen	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
Isolierglasscheibe 4/12/4	0,20	0,15	0,10	0,05	0,03	0,02
Offenes Fenster	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Harter Gehbelag (PVC o.ä.)	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,10
Teppichbelag, 7 mm	0,02	0,05	0,10	0,30	0,50	0,60
Gipskartonplatten mit 100 mm Luftabstand angebracht an Decken oder Wänden, im Hohlraum Mineralwolle	0,28	0,14	0,09	0,06	0,05	0,10
40 mm Mineralwolleplatten, unmittelbar an Wand angebracht, mit Lochblechabdeckung	0,14	0,36	0,56	0,81	0,86	0,69
Mineralfaser-Akustikplatten 200 mm abgehängt	0,40	0,45	0,60	0,70	0,80	0,85
Metallkassetten, gelocht, mit Mineralwolleauflage, 200 mm abgehängt	0,30	0,60	0,85	0,85	0,80	0,70
Stuhl gepolstert: A in m <sup>2</sup>	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	0,40
Personen: A in m <sup>2</sup>	0,15	0,30	0,50	0,55	0,60	0,50

## Welche Frequenzen interessieren uns – bei der Sprache?

Die Raumakustik beschäftigt sich in der praktischen Planung mit ähnlichen Frequenzbereichen wie die Bauakustik, nämlich 100 .... 5.000 Hz.



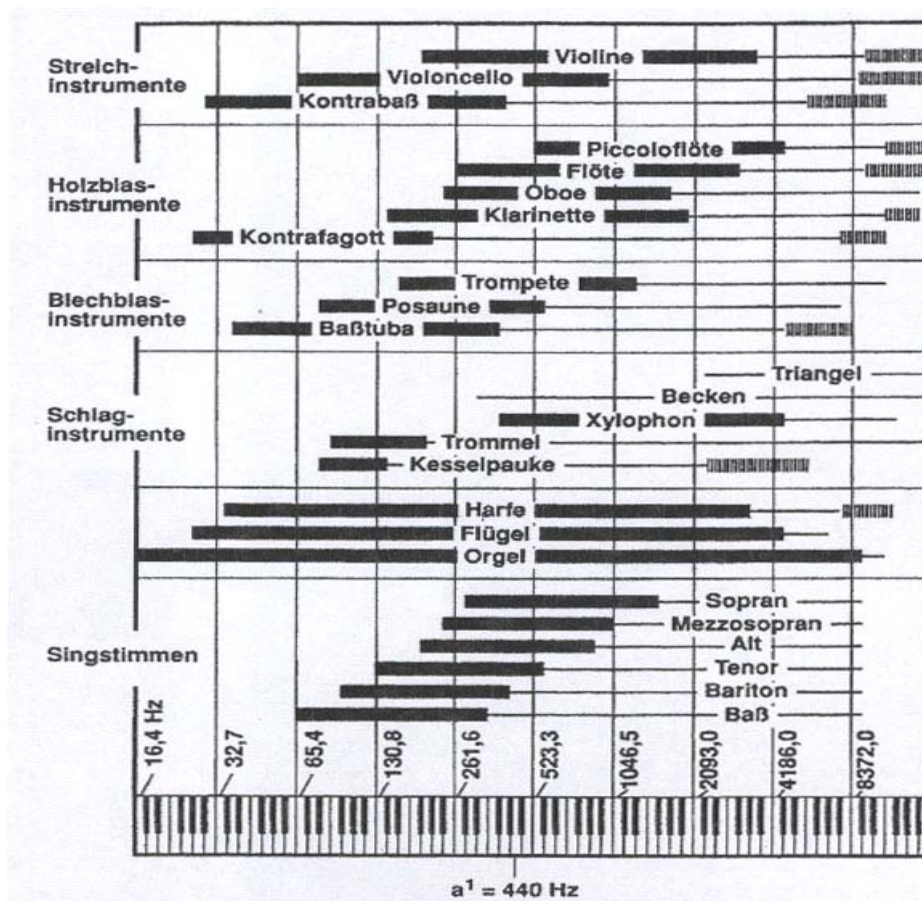
Typischer Frequenzverlauf des Schalldruckpegels von Sprache.

(Bezugswert 1.000 HZ)

a) männlich  
b) weiblich

## Welche Frequenzen interessieren uns – in der Musik?

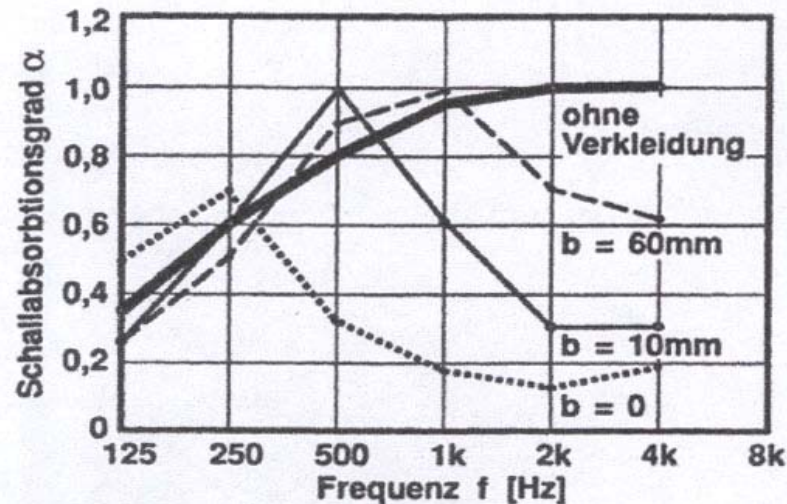
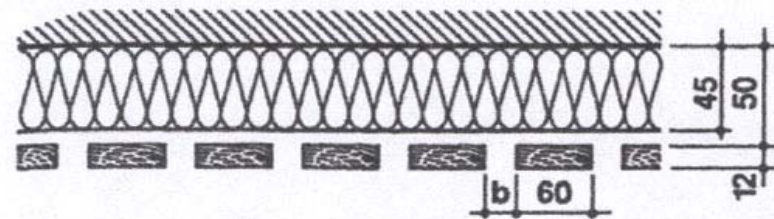
Frequenzbereiche von Musikinstrumenten und Singstimmen



Zur Erinnerung:

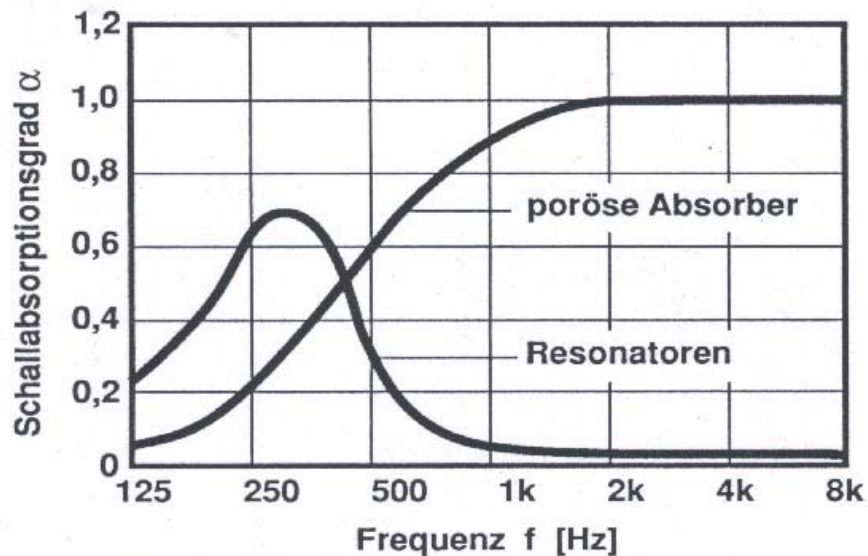
Eine nicht zu unterschätzende Kunst für den Akustiker ist es, den richtigen Schallabsorptionsgrad einer Fläche zu finden, frequenzabhängig.

Beispiel für verschiedene Fugenbreiten bei einer Holzbekleidung



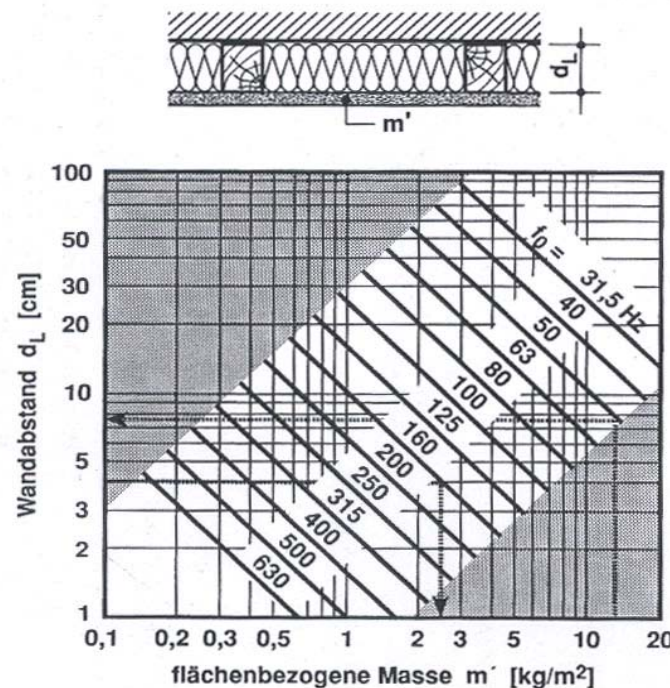
Prinzip von 2 verschiedenen Absorbertypen

- poröses / faseriges Material
- Resonator /Plattenschwinger



*Bild 4.5* Prinzipieller Frequenzverlauf des Schallabsorptionsgrades  $\alpha$  von porösen Absorbieren und von Resonatoren

Plattenschwinger benötigen eine sparsame Unterkonstruktion, damit die Platte schwingen kann. Jedes System hat eine "Resonanzfrequenz", bei der es gut absorbiert. Die Resonanzfrequenz hängt – bei ungelochten Decken – vom Gewicht der Platte und dem Luftabstand zur massiven Fläche ab.



*Bild 4.13 Resonanzfrequenzen von Plattenschwingern  $f_0$  in Abhängigkeit von Wandabstand  $d_L$  und flächenbezogener Masse  $m'$  der Platten*



Eine weitere Variation ist die Lochung oder Schlitzung der Platte.

Mit dem Öffnungsanteil verschiebt sich die Resonanz in den höheren Frequenzbereich.

Je nach Bedarf kann man also mit Plattengewicht, Wandabstand, Öffnungsanteil "spielen" – vorausgesetzt, man hat überhaupt eine Fläche zur Verfügung.

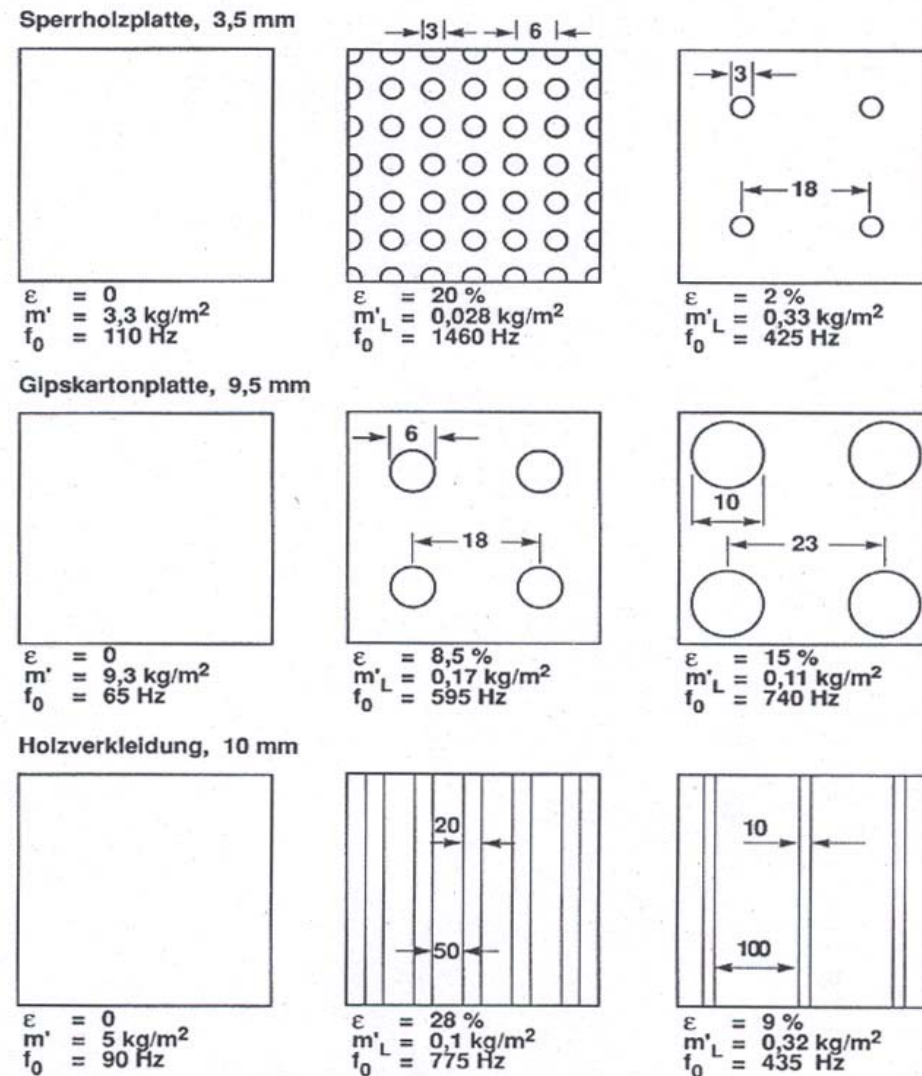


Bild 4.14 Resonanzfrequenzen  $f_0$ ; Beispiele von Platten- und Lochplattenschwingern  
Wandabstand:  $d_L = 60$  mm

Wenn wir alle  $\alpha$ -Werte unserer Raumflächen kennen, ist alles einfach:

Beispiel für eine Berechnung:

Ein Raum sei 5 m x 10 m und 2,5 m hoch = 125 m<sup>3</sup>

	Fläche [m <sup>2</sup> ]	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A
Boden	50,0	0,01	0,5	0,02	1,0	0,08	4,0	0,25	12,5	0,40	20,0	0,50	25,0
Decke	50,0	0,20	10,0	0,25	12,5	0,40	20,0	0,50	25,0	0,55	27,5	0,50	25,0
Wand	75,0	0,18	13,5	0,12	9,0	0,08	6,0	0,05	3,8	0,04	3,0	0,05	3,8
etc.			-		-		-		-		-		-
Summe	175,0	24,0		22,5		30,0		41,3		50,5		53,8	
$T_N = 0,163 \times 125 / A$		<b>0,85</b>		<b>0,91</b>		<b>0,68</b>		<b>0,49</b>		<b>0,40</b>		<b>0,38</b>	

Hier stellen sich zwei Fragen:

- Wie kommen wir an die  $\alpha$ -Werte?
- Welche Nachhallzeiten wollen wir erreichen?

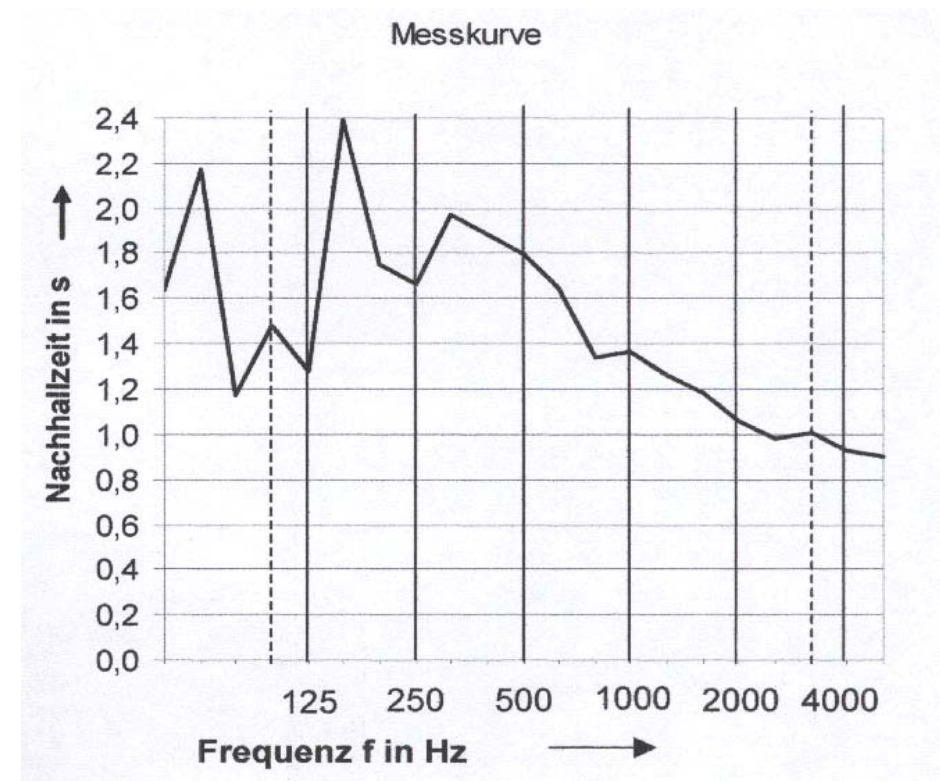
Beginnen wir mit der zweiten Frage.

**RAUMAKUSTIK****Nachhallzeit:  $T = 0,163 V/A$** 

## Näherungswerte optimaler Nachhallzeiten

Raumfunktion		Optimale Nachhallzeit bei 500 Hz
Musikalische Nutzung	Orgelmusik	2,5 - 3,0+ s
	Konzertsaal	1,8.....2,1 s
	Kammermusik	1,2 ... 1,5 s
	Musiktheater, Oper	1,4.-.1,6+ s
Sprachliche Nutzung	Sprechtheater	0,7.-.0,9 s
	Vortragsraum	≈ 1,0 s
	Schulraum	≤ 0,7 s
	Besprechungsraum	≤ 0,7 s
Büronutzung	Großraumbüros	≤ 0,6 s
	Gruppenbüros mit mehr als 10 Arbeitsplätzen	≤ 0,6 s
	Mehrpersonenbüros mit 3 bis 10 Arbeitsplätzen	≤ 0,7 s
	Mehrpersonenbüros mit max. 2 Arbeitsplätzen	≤ 1,0 s
	Einzelbüros	≤ 1,0 s

Beispiel eines noch „unsanierten“ Besprechungsraumes  
 Diese Nachhallzeit würde einem kleinen Konzertsaal alle Ehre machen, aber nicht einem kleinen Besprechungsraum



Nachhallziele: abhängig von der Nutzung und vom Volumen

Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen: DIN 18041

Dies gilt für den mittleren Frequenzbereich ohne Anwesenheit von Personen.

Bei Anwesenheit von Personen soll sich die NHZ um max. 0,2 sek. verkürzen.

DIN 18041:2004-05

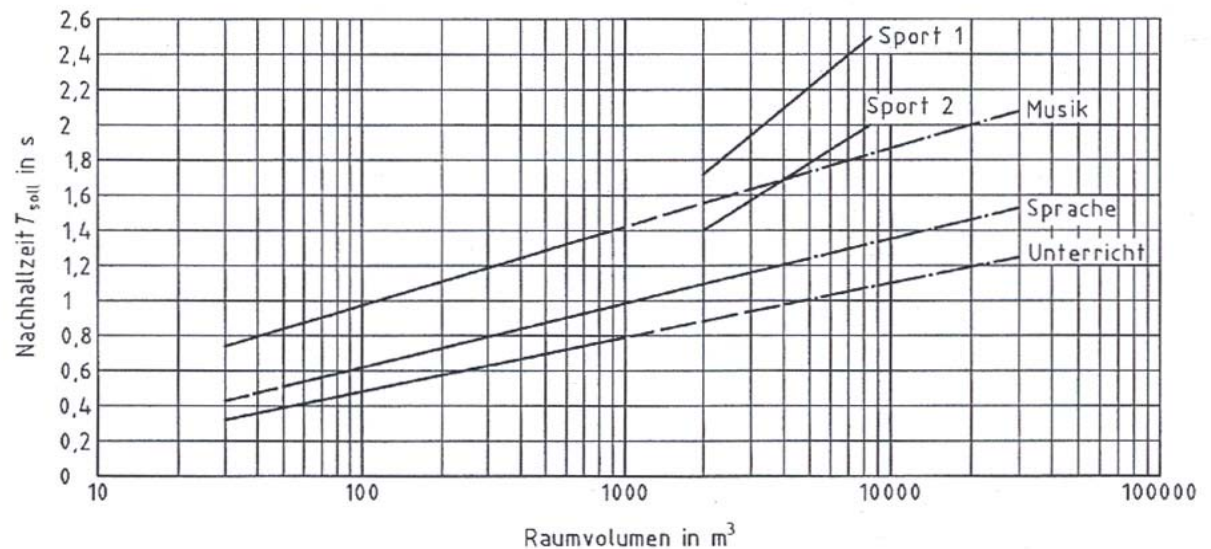


Bild 1 — Sollwert  $T_{Soll}$  der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten

Frequenzabhängig gelten für Sprache und Musik verschiedene Ziele:

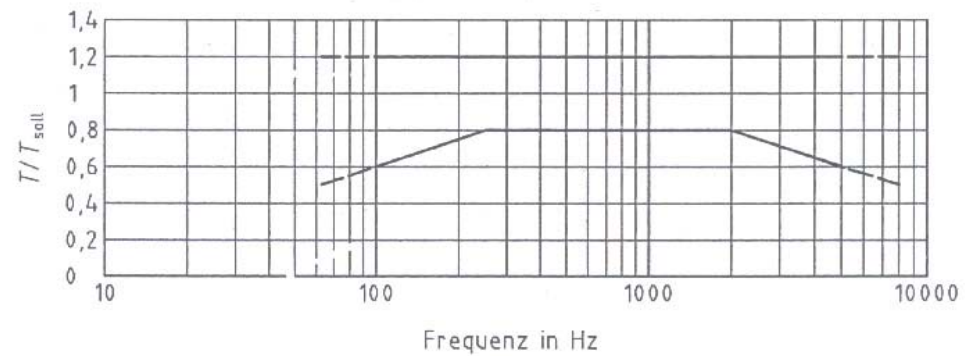


Bild 2 — Anzustrebender Bereich der Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Sprache

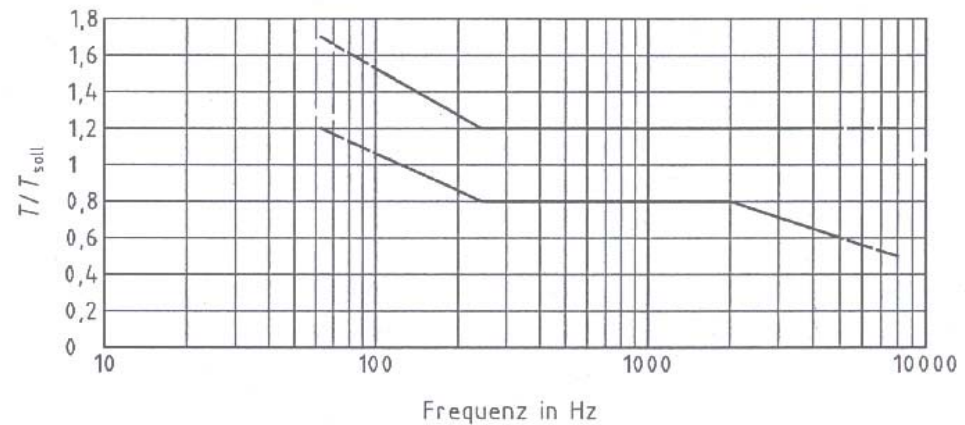


Bild 3 — Anzustrebender Bereich der Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Musik

Für große anspruchsvolle akustische Räume ist die Nachhallzeit nur eines von vielen Kriterien. Im Entwurf muss vor allem das richtige Volumen für die gewünschte Publikumsmenge bestimmt werden, die "Volumenkennzahl".

Tabelle 2 — Volumenkennzahlen als Funktion der Nutzungsart

Zeile \ Spalte	1	2
	Hauptnutzung des Raumes für	Volumenkennzahl $k$ in $\text{m}^3/\text{Platz}$
1	Sprachdarbietung	3 bis 6
2	Musik- und Sprachdarbietung	5 bis 8
3	Musikdarbietung	7 bis 12



**Tabelle 4.25** Geometrische Daten und mittlere Nachhallzeiten  $T_m$  bekannter Konzertsäle (besetzter Zustand)

Ort	Konzertsaal	erbaut (erneuert)	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Plätze	$K$ [m <sup>3</sup> /Platz]	$T_m$ [s]
Amsterdam	Concertgebouw	1887	18 800	2 210	8,5	2,0
Baltimore	Joseph Meyerhoff Symphony Hall	1986	21 500	2 470	8,7	1,9
Basel	Stadtkasino	1876	10 500	1 400	7,5	1,7
Berlin	Philharmonie (alt)	1888	18 000	1 960	9,2	1,9
Berlin	Philharmonie (neu) (Großer Saal)	1963	24 500	2 220	11,0	2,0
Berlin	Philharmonie (neu) (Kammermusiksaal)	1987	12 500	1 170	10,7	1,8
Bonn	Beethovenhalle	1959	15 700	1 410	11,2	1,7
Boston	Symphony Hall	1900	18 800	2 630	7,1	1,8
Cardiff	St. David's Hall	1982	22 000	1 960	11,2	1,9
Frankfurt/M.	Alte Oper	1880 (1981)	25 000	2 420	10,3	1,9
Köln	Philharmonie	1986	21 000	2 000	10,5	1,7
Leipzig	Gewandhaus (alt)	1884	10 300	1 560	6,6	1,5
Leipzig	Neues Gewandhaus (Großer Saal)	1981	21 000	1 900	11,1	2,0
London	Royal Albert Hall	1871	86 700	5 100	17,2	2,5
London	Royal Festival Hall	1951	22 000	2 900	7,6	1,7
München	Konzertsaal am Gasteig	1985	30 000	2 430	12,3	2,0
New York	Carnegie Hall	1891	24 250	2 760	8,8	1,7
Philadelphia	Academy of Music	1857	15 700	2 980	5,3	1,4
Stuttgart	Liederhalle	1956	16 000	2 000	8,0	1,7
Taipei	Chiang Kai Shek Memorial Hall	1987	16 700	2 080	8,0	2,0
Tokio	Suntory Hall	1986	22 000	2 010	10,9	2,1
Wien	Musikvereinsaal	1870	15 000	1 680	8,9	2,0
Zürich	Großer Saal der Tonhalle	1895	11 400	1 550	7,4	1,6

**Tabelle 4.24** Geometrische Daten und mittlere Nachhallzeiten  $T_m$  bekannter Opernhäuser (besetzter Zustand)

Ort	Opernhaus	erbaut (erneuert)	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Plätze	$K$ [m <sup>3</sup> /Platz]	$T_m$ [s]
Bayreuth	Festspielhaus	1876	10 300	1 800	5,7	1,6
Berlin	Deutsche Staatsoper	1742 (1844, 1986)	7 000	1 350	5,0	1,2
Berlin	Deutsche Oper	1961	10 800	1 900	5,7	1,5
Buenos Aires	Teatro Colon	1908	20 550	2 500	7,4	1,7
Dresden	Semperoper	1878 (1985)	12 500	1 290	9,6	1,7
London	Royal Opera House Covent Garden	1858	10 100	2 120	4,6	1,1
Mailand	Teatro alla Scala	1778 (1946)	10 200	2 300	4,6	1,1
New York	Metropolitan Opera	1966	30 500	3 800	8,0	1,8
Paris	Theatro National de l'Opera	1875	9 960	2 130	4,7	1,1
Paris	Opera de la Bastille	1989	21 000	2 700	7,7	1,5
Salzburg	Neues Festspielhaus	1960	14 000	2 160	6,5	1,4
Sydney	Opera House	1973	8 200	1 550	5,3	1,2

Nun zu etwas alltäglicheren Aufgaben:

Büroarbeitsplätze z. B. in Mehrpersonenbüros

Maßgebliche technische Regelwerke:

DIN 18041 (Mai 2004)

Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen

VDI Richtlinie 2569 (Januar 1990)

Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro

Die (neuere) DIN 18041 unterteilt zunächst 2 Raumgruppen:

<b>Räume der Gruppe A</b> (Hörsamkeit mittlere und größere Entfernung)	<b>Räume der Gruppe B</b> (Hörsamkeit über geringere Entfernung)
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Konferenzräume</li> <li>-Gerichts-, Rats- und Festsäle</li> <li>-Unterrichtsräume</li> <li>-Seminarräume</li> <li>-Hörsäle</li> <li>-Tagungsräume</li> <li>-Interaktionsräume</li> <li>-Gruppenräume in Kindergärten und Kindertagesstätten</li> <li>-Seniorentagesstätten</li> <li>-Gemeindesäle</li> <li>-Sport- und Schwimmhallen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Verkaufsräume</li> <li>-Speisegaststätten, Kantinen</li> <li>-Publikumsbereiche für den ÖPNV</li> <li>-Fahrkarten- und Bankschalter, Call Center</li> <li>-Sprechzimmer in Anwalts- und Arztpraxen</li> <li>-Bürgerbüros</li> <li>-Operationssäle, Behandlungs- und Rehabilitationsräume, Krankenzimmer</li> <li>-Werkräume</li> <li>-Öffentlichkeitsbereiche</li> <li>-Publikumsverkehrsflächen</li> <li>-Lesesäle, Leihstellen in Bibliotheken, Ausleihbibliotheken</li> <li>-Treppenhäuser, Foyers, Ausstellungsräume mit starkem Personenverkehr</li> </ul>

**Büroräume u. a. Arbeitsräume gehören in Gruppe B**

Die DIN 18041 definiert für Räume der Gruppe B keine Nachhallzeiten, sondern nur bestimmte Absorptionsmengen für 2,5 m hohe Räume. Diese sind bei Mehrpersonenbüros auf knapp 0,6 sek. NHZ ausgerichtet, bei Einpersonnbüros auf bis zu 0,75 sek.

Also: einschlägige technische Regelwerke “fordern“ für Büroarbeitsräume NHZ = 0,55 – 0,75 sek. NHZ. Dies ist kein Problem, wenn schallabsorbierende Abhangdeckeneingebaut werden können. Leider ist das in modernen Büroimmobilien meist nicht mehr der Fall.

Die (ältere) VDI Richtlinie schlägt für Mehrpersonenbüros vor:

$$A / V = 0.30 \dots 0,35 \text{ m}^{-1}$$

mit      A: äquivalente (d.h. 100% wirksame) Schallabsorptionsfläche  
          V: Raumvolumen

Dieser Vorschlag ist bei normalen Geschosshöhen „geeicht“ auf eine **Nachhallzeit von ca. 0,50 – 0,55 Sekunden.**

Wie kommt man zu diesen Daten?

Jeder Theorie / Tabelle / Firmenangabe liegen Messungen des Schallabsorptionsgrades im Hallraum zugrunde.

Was passiert dabei?

In einem normgerechten Hallraum - ca. 200 m<sup>3</sup> groß

- ca. 5 sek. NHZ

wird der Raum

1. leer

2. mit Prüfgegenstand

gemessen. Aus der Differenz der Nachhallzeiten wird mit Sabine der Schallabsorptionsgrad errechnet.

Es werden insgesamt zwölf Messreihen, die sich aus drei Mikrofonpositionen bei zwei Lautsprecherstellungen ergeben, gewählt.

## Mess- und Auswertennormen für Hallraummessungen

- DIN EN ISO 354 :Messung der Schallabsorption in Hallräumen,  
Ausgabe Dezember 2003
- DIN EN ISO 11 654 :Schallabsorber für die Anwendung in  
Gebäuden – Bewertung der Schallabsorption  
Ausgabe Juli 1997



## DIN EN ISO 354

Berechnung des Schallabsorptionsgrades  $\alpha_s$  in Hallraummessungen

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A_1$ , in  $m^2$ , des leeren Hallraumes muss nach der Gleichung

$V$

$$A_1 = \frac{55,3 \cdot V}{c \cdot T_1} - 4 \cdot V \cdot m_1$$

berechnet werden.

Ebenso  $A_2$  und  $T_2$  mit Prüfobjekt.

$V$  = Volumen des leeren Hallraumes, in  $m^3$

$c$  = Schallgeschwindigkeit in Luft, in  $m/s$

$T_1$  = NHZ des leeren Hallraumes

$m_1$  = Luftabsorptionkoeffizient, berechnet nach ISO 9613-1 mit den Klimabedingungen, die während der Messung im leeren Hallraum vorlagen.

Daraus ergibt sich die Äquivalente Absorptionsfläche des Prüfgegenstandes

$$A_T = A_2 - A_1$$

Daraus ergibt sich der Schallabsorptionsgrad – je Terz! – der Prüffläche  $S$

$$\alpha_i = A_T / S$$

## Zusätzliche Begriffe nach DIN EN ISO 11 654:

$\alpha_p$  : Praktischer Schallabsorptionsgrad : auf 0,05 gerundete Oktavangaben  
(6 Zahlen)

$\alpha_w$  : Bewerteter Schallabsorptionsgrad : Einzahlangabe  
ggfs. mit Formindikatoren L, M, H  
für positive Abweichungen im  
tiefen, mittleren, hohen  
Frequenzbereich.

Schallabsorberklassen

Schallabsorberklasse	$\alpha_w$ -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	0,25; 0,20; 0,15
Nicht klassifiziert	0,10; 0,05; 0,00

## Deckensegel mit unterschiedlichen Hohlraumtiefen



# Vergleich

Akustik-Deckensegel, Hohlraumtiefe  $h$   
= 100 mm und  $h = 300$  mm

Fläche  $S$  des Prüfgegenstandes:

Flächenbezogene Masse: ca.

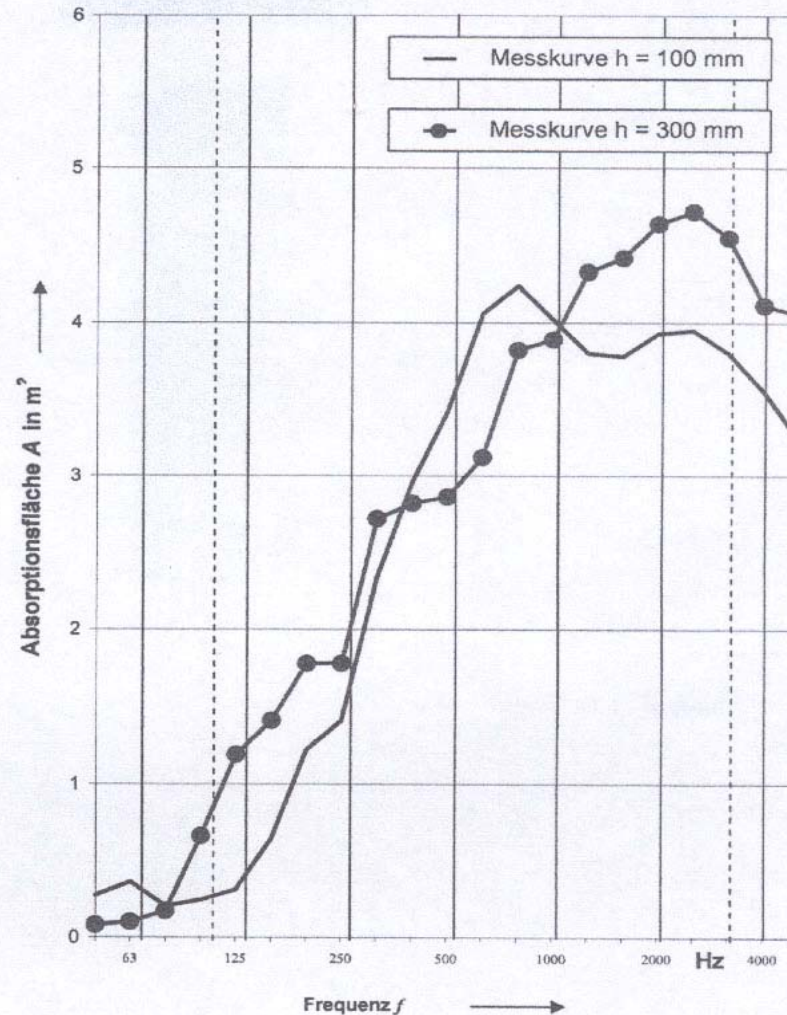
Lufttemp. in den Prüfräumen:

Luftfeuchte in den Prüfräumen:

Volumen des Senderraumes: 82,4 m<sup>3</sup>

Volumen des Empfangsraumes 71,1 m<sup>3</sup>

Frequenz	A	A
Hz	Terz	Terz
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
50	0,3	0,1
63	0,4	0,1
80	0,2	0,2
100	0,2	0,7
125	0,3	1,2
160	0,6	1,4
200	1,2	1,8
250	1,4	1,8
315	2,3	2,7
400	3,0	2,8
500	3,4	2,9
630	4,1	3,1
800	4,2	3,8
1000	4,0	3,9
1250	3,8	4,3
1600	3,8	4,4
2000	3,9	4,6
2500	4,0	4,7
3150	3,8	4,6
4000	3,6	4,1
5000	3,2	4,1



## Büroausstattung "spartanisch"



## Büroausstattung mit "akustischem" Mobiliar

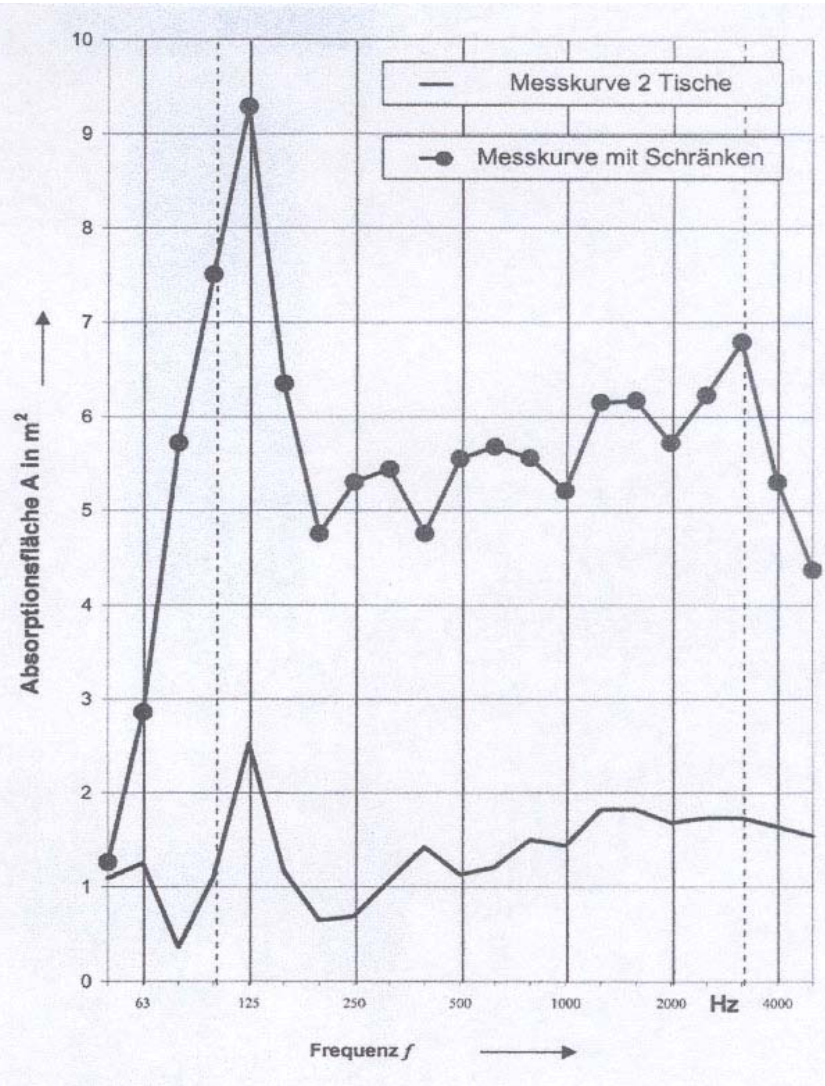


# Vergleich

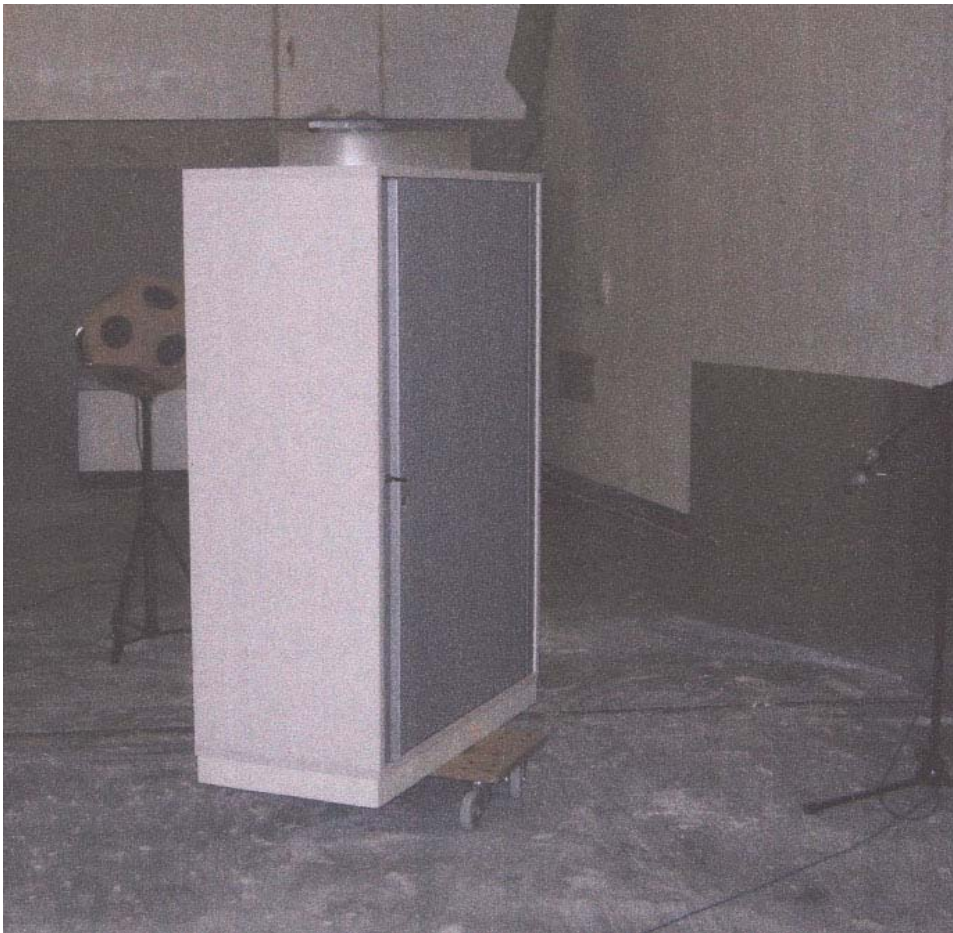
2 Schreibtische, 2 Stühle gegen  
2 Schreibtische, 2 Stühle, 3 Schränke und  
2 Caddys

Fläche S des Prüfgegenstandes:  
Flächenbezogene Masse: ca.  
Lufttemp. in den Prüfräumen:  
Luftfeuchte in den Prüfräumen:  
Volumen des Senderraumes: 82,4 m<sup>3</sup>  
Volumen des Empfangsraumes 71,1 m<sup>3</sup>

Frequenz	A	A
Hz	Terz	Terz
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
50	1,1	1,3
63	1,3	2,9
80	0,4	5,7
100	1,1	7,5
125	2,5	9,3
160	1,2	6,4
200	0,7	4,8
250	0,7	5,3
315	1,1	5,4
400	1,4	4,8
500	1,1	5,6
630	1,2	5,7
800	1,5	5,6
1000	1,4	5,2
1250	1,8	6,2
1600	1,8	6,2
2000	1,7	5,7
2500	1,7	6,2
3150	1,7	6,8
4000	1,6	5,3
5000	1,5	4,4



## Einzelschrank, ohne und mit akustisch wirksamer Rückseite



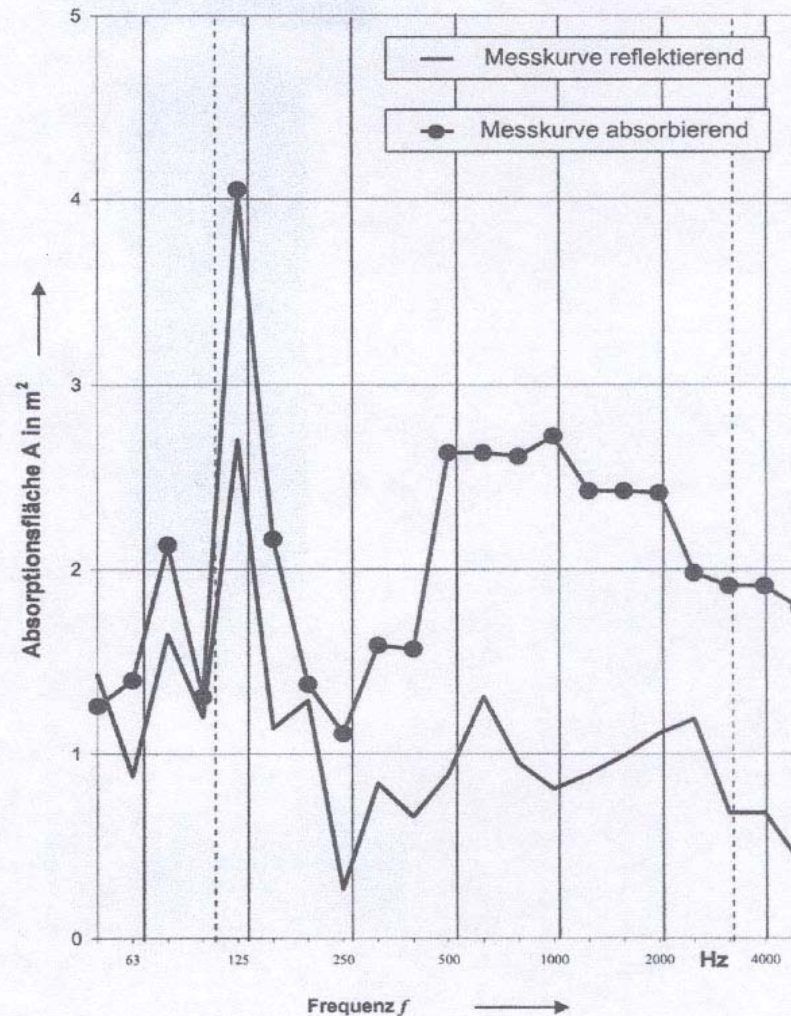


# Vergleich

Einzelsschrank, Front System Rehau  
reflektierende und absorbierende  
Rückwand

Fläche S des Prüfgegenstandes:  
Flächenbezogene Masse: ca.  
Lufttemp. in den Prüfräumen:  
Luftfeuchte in den Prüfräumen:  
Volumen des Senderraumes: 82,4 m<sup>3</sup>  
Volumen des Empfangsraumes 71,1 m<sup>3</sup>

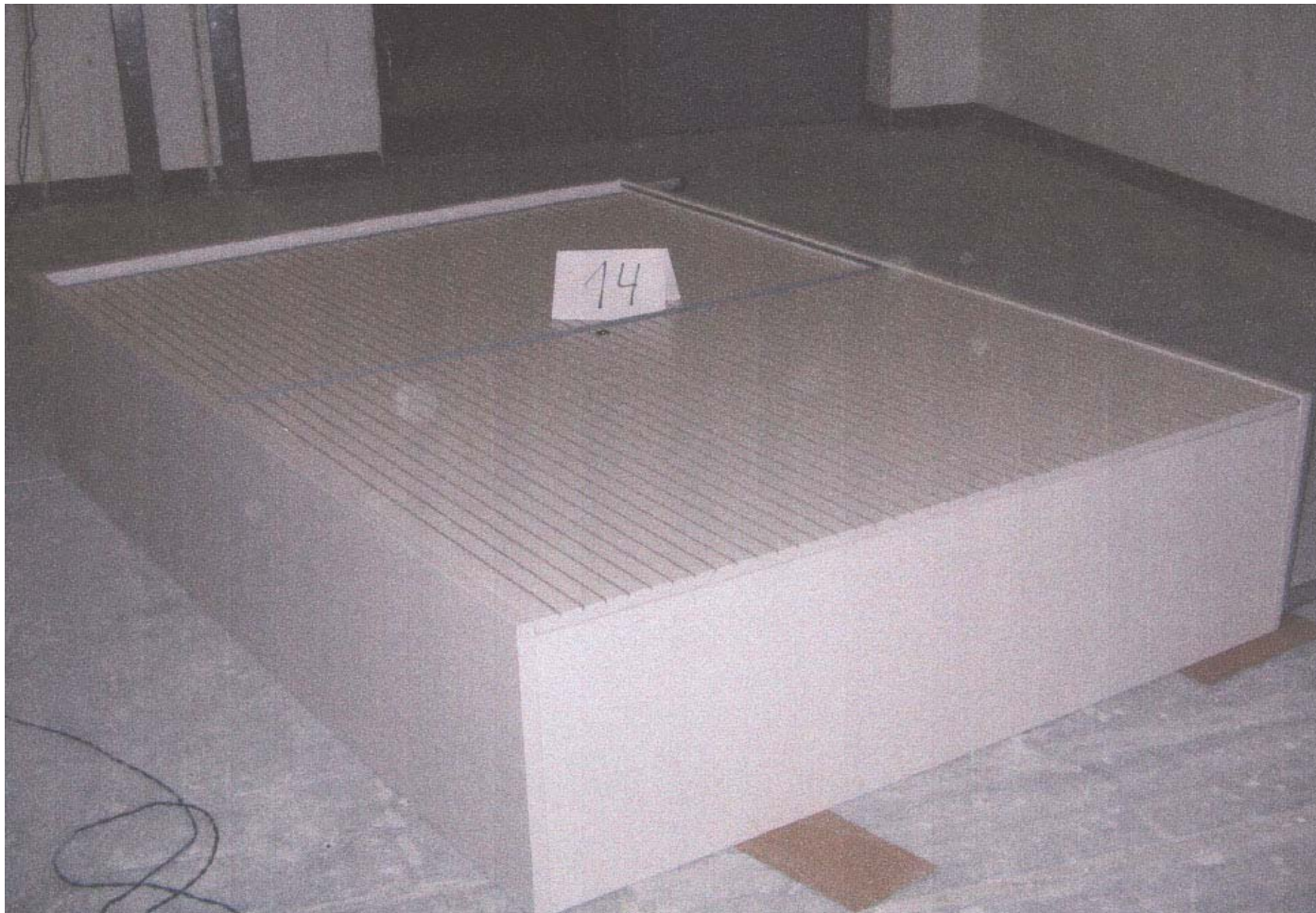
Frequenz	A	A
Hz	Terz	Terz
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
50	1,4	1,3
63	0,9	1,4
80	1,7	2,1
100	1,2	1,3
125	2,7	4,1
160	1,1	2,2
200	1,3	1,4
250	0,3	1,1
315	0,8	1,6
400	0,7	1,6
500	0,9	2,6
630	1,3	2,6
800	1,0	2,6
1000	0,8	2,7
1250	0,9	2,4
1600	1,0	2,4
2000	1,1	2,4
2500	1,2	2,0
3150	0,7	1,9
4000	0,7	1,9
5000	0,4	1,8



## Büroschränke mit Wandabstand



## Büroschränke ohne Wandabstand

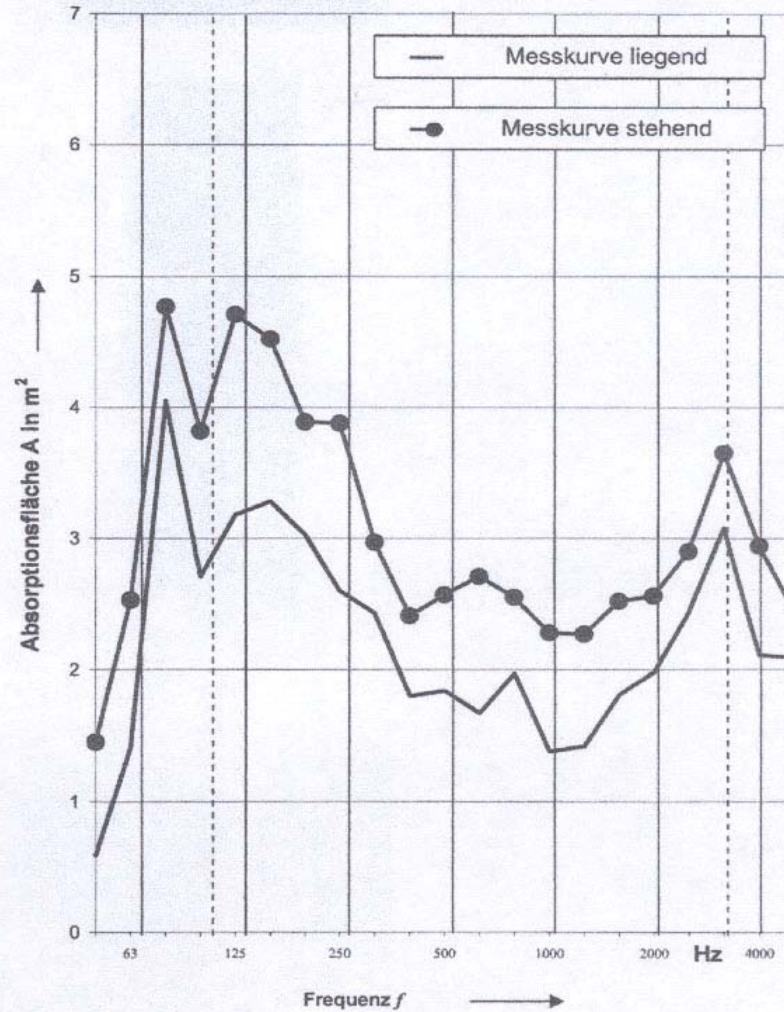


# Vergleich

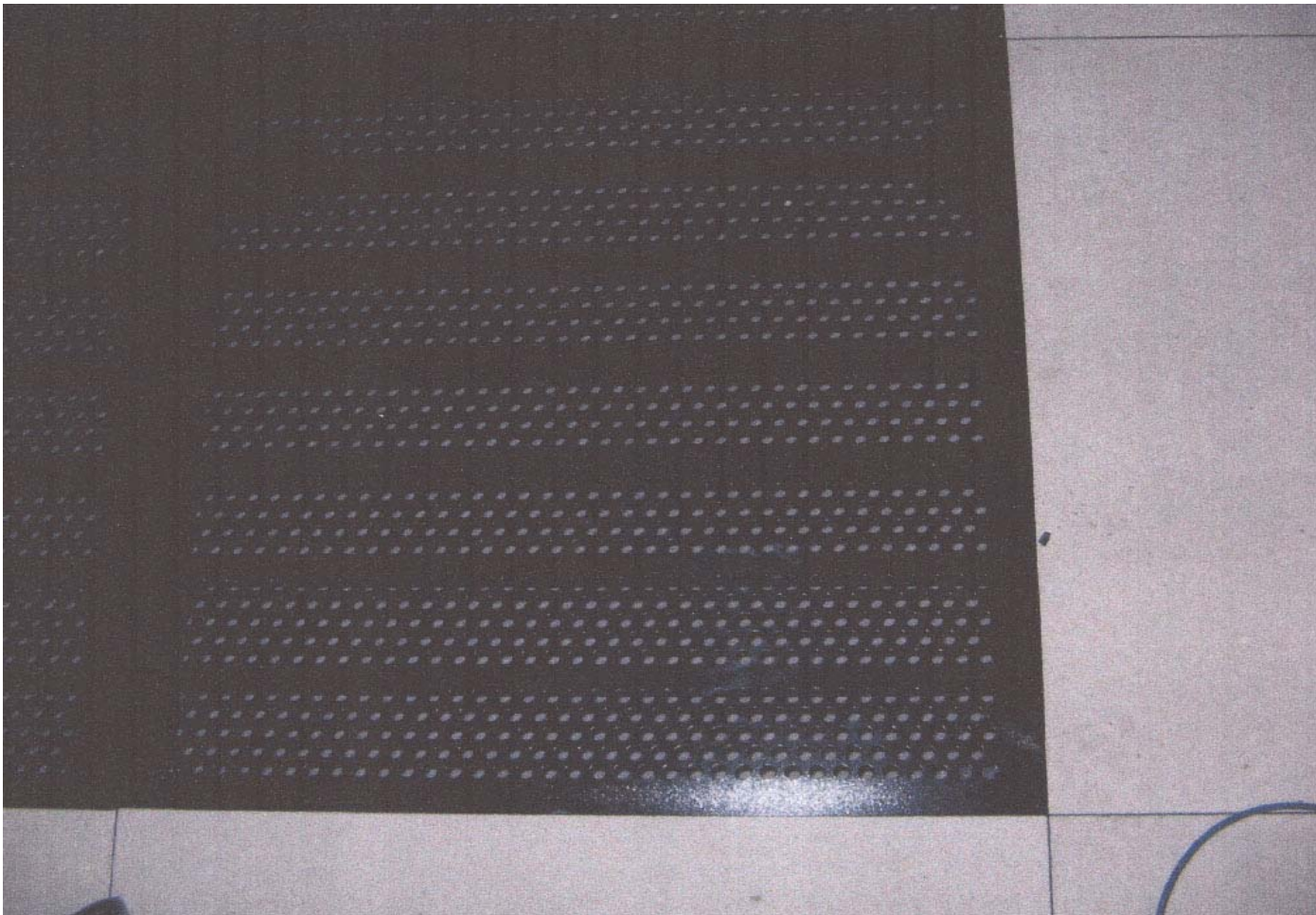
Schiebetürenschränk mit Ordnern  
befüllt, auf Rückwand liegend und stehend

Fläche S des Prüfgegenstandes:  
Flächenbezogene Masse: ca.  
Lufttemp. in den Prüfräumen:  
Luftfeuchte in den Prüfräumen:  
Volumen des Senderraumes: 82,4 m<sup>3</sup>  
Volumen des Empfangsraumes 71,1 m<sup>3</sup>

Frequenz Hz	A Terz m <sup>2</sup>	A Terz m <sup>2</sup>
50	0,6	1,5
63	1,4	2,5
80	4,1	4,8
100	2,7	3,8
125	3,2	4,7
160	3,3	4,5
200	3,0	3,9
250	2,6	3,9
315	2,4	3,0
400	1,8	2,4
500	1,8	2,6
630	1,7	2,7
800	2,0	2,6
1000	1,4	2,3
1250	1,4	2,3
1600	1,8	2,5
2000	2,0	2,6
2500	2,4	2,9
3150	3,1	3,7
4000	2,1	2,9
5000	2,1	2,4



## Doppelboden, perforiert akustisch wirksam



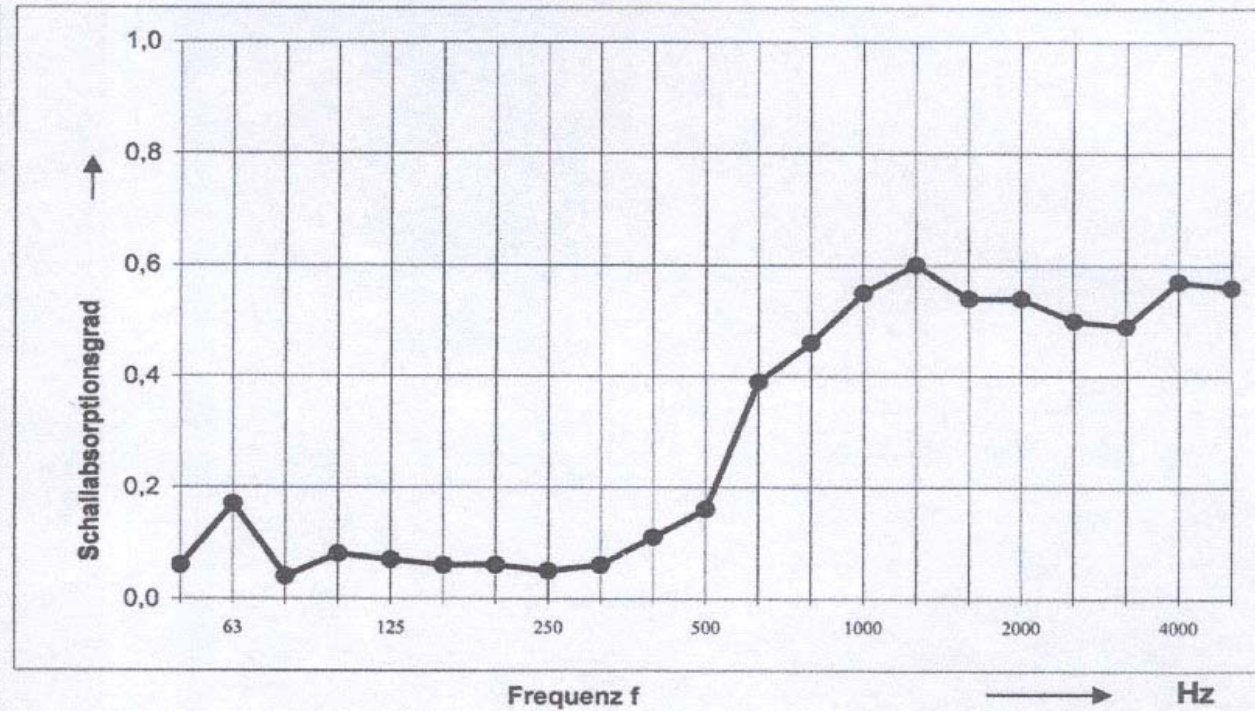
## Doppelboden

Gemessen mit Teppichbelag / Vergleichsmessung: Teppich allein, ohne Doppelboden



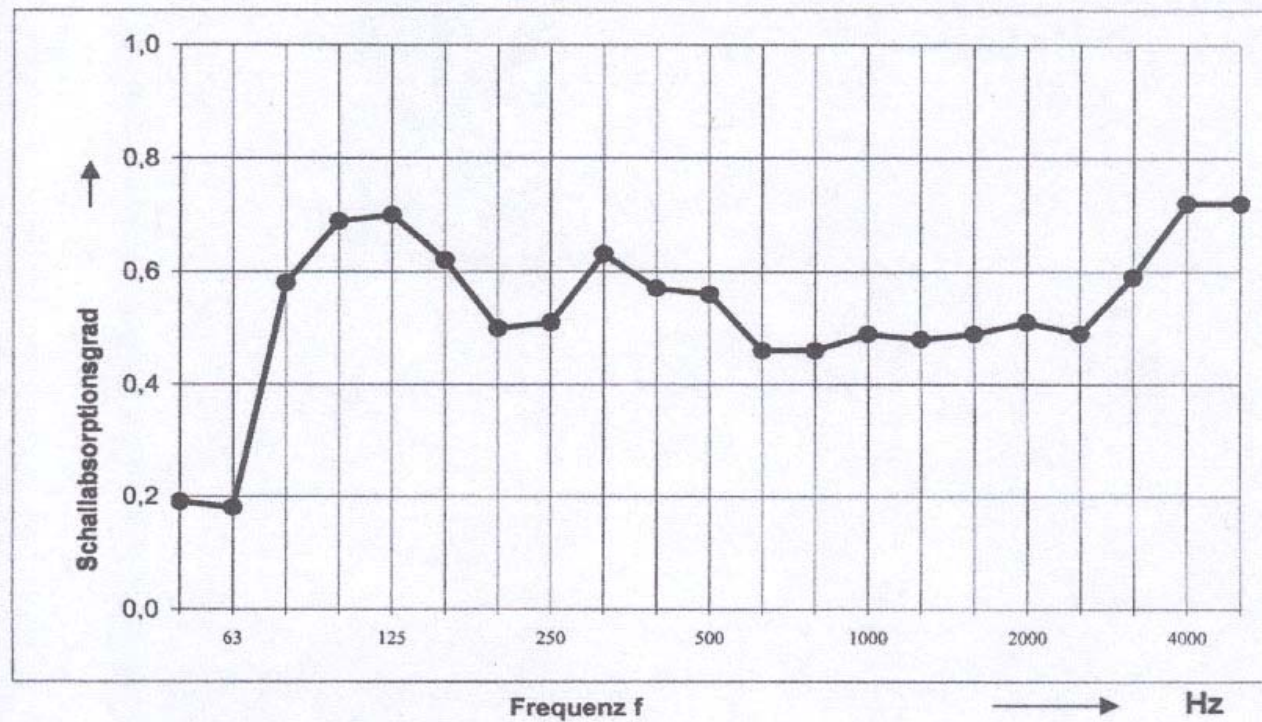
Absorptionsgrad des Teppichs ohne Doppelboden

Frequenz f Hz	Schallabsorp- tionsgrad $\alpha$
50	0,06
63	0,17
80	0,04
100	0,08
125	0,07
160	0,06
200	0,06
250	0,05
315	0,06
400	0,11
500	0,16
630	0,39
800	0,46
1000	0,55
1250	0,60
1600	0,54
2000	0,54
2500	0,50
3150	0,49
4000	0,57
5000	0,56



Absorptionsgrad Teppich mit perforiertem Doppelboden

Frequenz f Hz	Schallabsorp- tionsgrad $\alpha$
50	0,19
63	0,18
80	0,58
100	0,69
125	0,70
160	0,62
200	0,50
250	0,51
315	0,63
400	0,57
500	0,56
630	0,46
800	0,46
1000	0,49
1250	0,48
1600	0,49
2000	0,51
2500	0,49
3150	0,59
4000	0,72
5000	0,72





Soviel zur “Gewinnung“ von Schallabsorptionsgraden  $\alpha$  für die Planung.

Projektbezogene Messungen im Hallraum sind die Ausnahme, nur bei Großprojekten.  
Oder für eine neue Produktentwicklung.

Im Planungsalltag greift man zurück auf

- Herstellerangaben zu einzelnen Produkten
- Listen aus technischen Regelwerken und Literatur
- physikalischen Sachverstand,

denn die einzelnen Flächen und Gegenstände werden selten genau so eingesetzt, wie sie im Prüfstand gemessen worden sind.

## Übung 1

Ein Büroraum für 10 Personen ist 5 m tief / 25 m breit / 3 m hoch. Die 25 m breite Fassade hat zu 65 % Fenster, zu 35 % Brüstung  
Eine Seitenwand besteht aus Stahlbeton. Die  
andere Seitenwand und die Flurwand bestehen aus Gipskarton. Die  
Decke besteht aus Stahlbeton. Auf dem  
Boden soll ein Teppichbelag verlegt werden.

Fragen: 1) Welche Nachhallzeit soll der Raum erreichen?  
Ziel:  $A/V = 0,30$  ... hier gleichmäßig für alle Frequenzen  
also:  $A$  (erforderlich) =  $0,30 V$

$$NHZ = 0,163 \times V / A$$

2) Wie kann er sie erreichen?

Welche Materialien sind mit welcher Flächengröße einzubauen?

Ausgewählte Schallabsorptionsgrade

	125	250	500	1000	2000	4000	Hz
Stahlbetonfläche	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	
Glassfassade	0,18	0,12	0,08	0,06	0,04	0,03	
Gipskartonwand	0,20	0,15	0,10	0,06	0,05	0,05	
Teppich, Velour	0,02	0,04	0,09	0,25	0,45	0,65	
Akustikputz	0,05	0,12	0,24	0,38	0,50	0,52	
Arbeitsplatz, einfach	0,10	0,10	0,12	0,14	0,15	0,15	
Arbeitsplatz, akustisch optimiert	0,36	0,40	0,45	0,50	0,50	0,50	
Deckenelement, akustisch aktiv	0,20	0,60	0,80	0,80	0,75	0,75	
Person	0,12	0,18	0,30	0,55	0,50	0,45	
Schrank, geschlossen	0,12	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	
Schrank, offen oder perforiert	0,35	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	

$$\text{erf. } A = \frac{0,163 \cdot V}{\text{NHZ}}$$

erf. äquivalente Absorptionsfläche					
Max					
min					

Flächen im Raum	Flächenart/ Konstruktion	Fläche (m²)	Schallabsorptionsgrad $\alpha$						äquivalente Absorptionsfläche $A = \alpha \cdot F$								
			125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000			
Zwischensumme																	
Summe																	

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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

$$\text{erf. } A = \frac{0,163 \cdot V}{\text{NHZ}}$$

erf. äquivalente Absorptionsfläche						
Max	120	120	120	120	120	120
min	100	100	100	100	100	100

Flächen im Raum	Flächenart/ Konstruktion	Fläche (m²)	Schallabsorptionsgrad $\alpha$						äquivalente Absorptionsfläche $A = \alpha \cdot F$					
			125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
Boden	Teppiche	12,5	0,02	0,04	0,09	0,25	0,45	0,65	2,5	5,0	11,3	31,3	56,3	81,3
Decke	Stahlbeton	12,5	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	1,3	2,5	3,8	5,0	6,3	6,3
Fassade	Glas Fenster	48,8	0,18	0,12	0,08	0,06	0,04	0,03	8,8	5,9	3,9	2,9	2,0	1,5
Trennwand + Brüstung	Stahlbeton	41,3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,4	0,8	1,2	0,7	2,1	2,1
Trennwand	Gipskarton	90	0,20	0,15	0,10	0,06	0,05	0,05	18	13,5	9	5,4	4,5	4,5
Personen	(Stücke)	10	0,12	0,18	0,30	0,55	0,45	0,40	1,2	1,8	3,0	5,5	4,5	4
Luft	Absorption										1	3	9	25,5
Zwischensumme									32,2	29,5	32,2	53,8	84,7	125,5
Schrank	geschlossen	20	0,12	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	2,4	2,0	1,4	1	1	1
Arb. platz	nicht optimiert	110	0,10	0,10	0,10	0,12	0,14	0,15	11	11	11	13,2	15,4	16,5
Akustikdecke	Lochblech, Vlies	50	0,20	0,60	0,80	0,80	0,75	0,75	10	30	40	40	37,5	37,5
Wandbelegung	Platten- schwinger	60	0,45	0,18	0,37	0,18	0,12	0,10	27	34,8	22,2	10,8	7,2	6
Summe									82	100	110	122	147	166

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

0,34	0,17	0,16	0,50	0,42	0,33
------	------	------	------	------	------

## Nachhallzeit in Räumen - Berechnung



## Weitere raumakustische Parameter

Weitere relevante Parameter, die man zur Beschreibung akustischer Eigenschaften von Räumen heranzieht, sind beispielsweise :

- die **Schalldruckpegelverteilung**
  - der **STI, RASTI** (Speech-Transmissions-Index) als Kennzeichnung für die Sprachverständlichkeit
  - der **Deutlichkeitsgrad** bzw. das **Deutlichkeitsmaß** als Beschreibung für die Klarheit und Durchsichtigkeit von Sprache
  - das **Klarheitsmaß** als Beschreibung für die Klarheit und Durchsichtigkeit von Musik
  - das **Stärkemaß** als Kennzeichnung für die Lautstärke (beziehungsweise den Schalldruckpegelgewinn einer Raumgeometrie gegenüber einer Ausbreitung im Freifeld)
  - die **Schwerpunktzeit** als Energiekriterium zur weiteren Einschätzung und Bewertung günstiger und ungünstiger Schallanteile
- oder
- der **Seitenschallgrad** insbesondere zur Kennzeichnung der Räumlichkeit.

Sie alle können mittels Simulationen am Raummodell gebildet werden.

## **CATT - SIMULATION**

### **Simulation**

### **Auralisation**



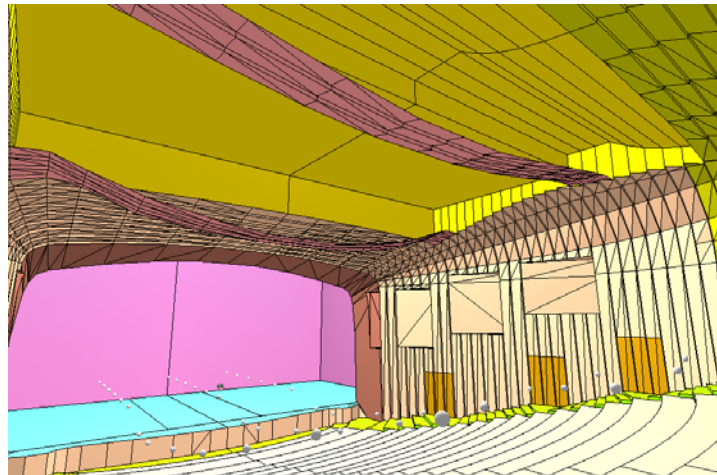
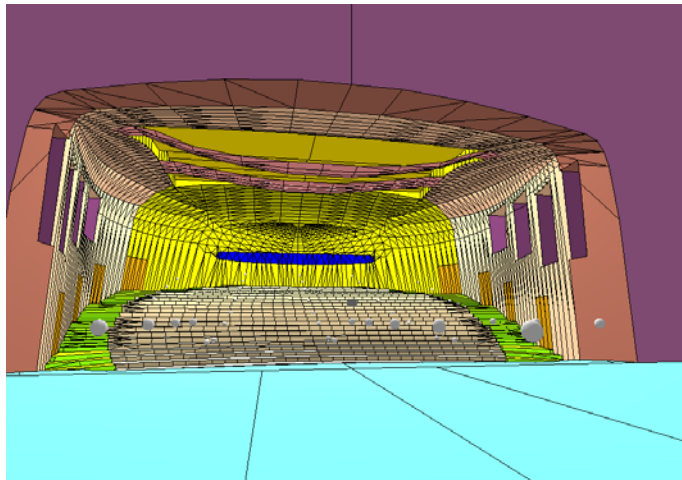
## Nachhallzeit in Räumen

### Simulationen

Dieses Hilfsmittel wird, neben dem bisherigen bevorzugten Einsatzgebiet für Raumbereiche mit besonderer raumakustischer Güte (Konzert-, Oper- und Treppenhäuser,...), zunehmend bei den raumakustischen Planungen von beispielsweise Mehrpersonenbüros, Bibliotheken, Mensen, Museumsbauten oder Bahnhofshallen eingesetzt.

Bei Bedarf kann der noch nicht baulich existierende Raum "auralisiert", also akustisch erfahrbar und damit hörbar gemacht werden. Dabei wird mit unverhallten, beliebigen Quellsignalen (Sprecher, Sänger, Orchester...) die Raumübertragungsfunktion "gefaltet", so dass der Raumeindruck am Platz des Betrachters hörbar wird. Ein virtueller Gang durch das Gebäude ermöglicht zusätzlich eine integrative Betrachtung. Auf diese Weise können unterschiedlich raumakustische Konzepte neben den rein physikalischen Maßnahmen im Vergleich unmittelbar bewertet werden. Für Planungsbeteiligte erschließt sich somit eine Zusammenführung verschiedener Einflussfaktoren zur ganzheitlichen Wahrnehmung von Raumwirkungen.

## Digitale und physikalische Modelle Schauspielhaus Düsseldorf



**Digitales  
Modell**

- Personen
- Kapazitäten
- Vorgehen

### **Lösungsansätze**

- Musiktheater
- Sprachtheater
- Modell / Simulation
- Qualitäts-sicherung



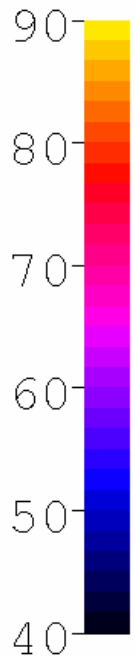
**Physikalisches  
Modell**

### Schauspielhaus Düsseldorf

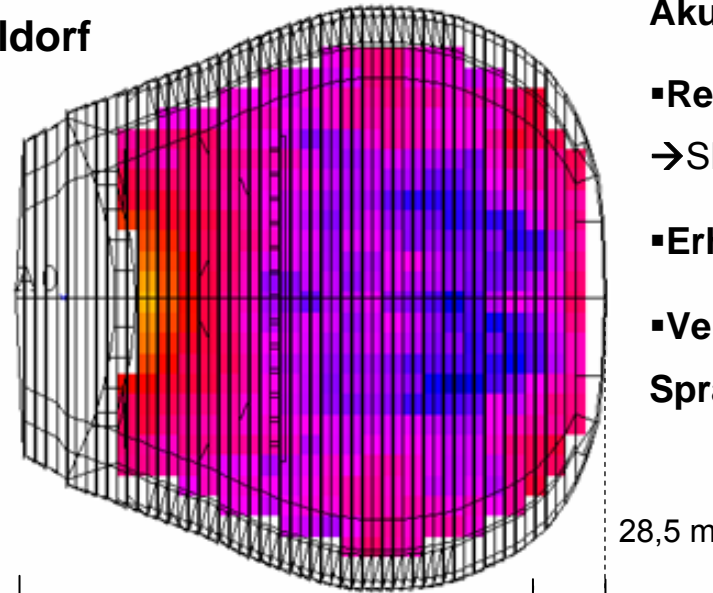
#### Akustischer & Visueller Komfort

- Reduzierung der Saallänge  
→ Skalierung
- Erhöhung früher Reflexionen
- Verbesserung der Sprachverständlichkeit

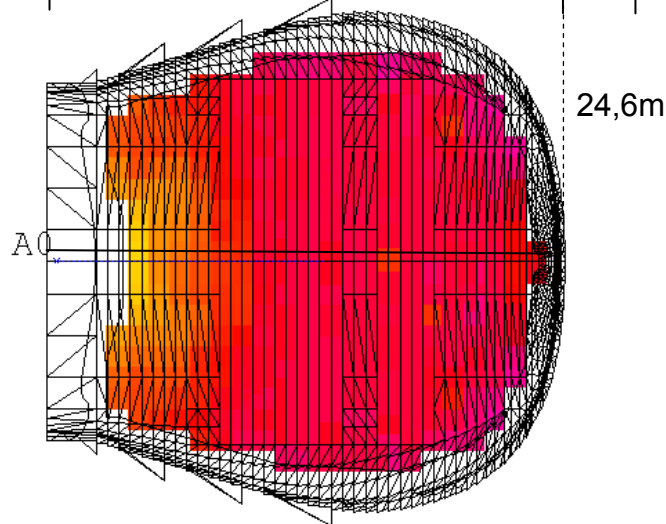
D-50 [%]

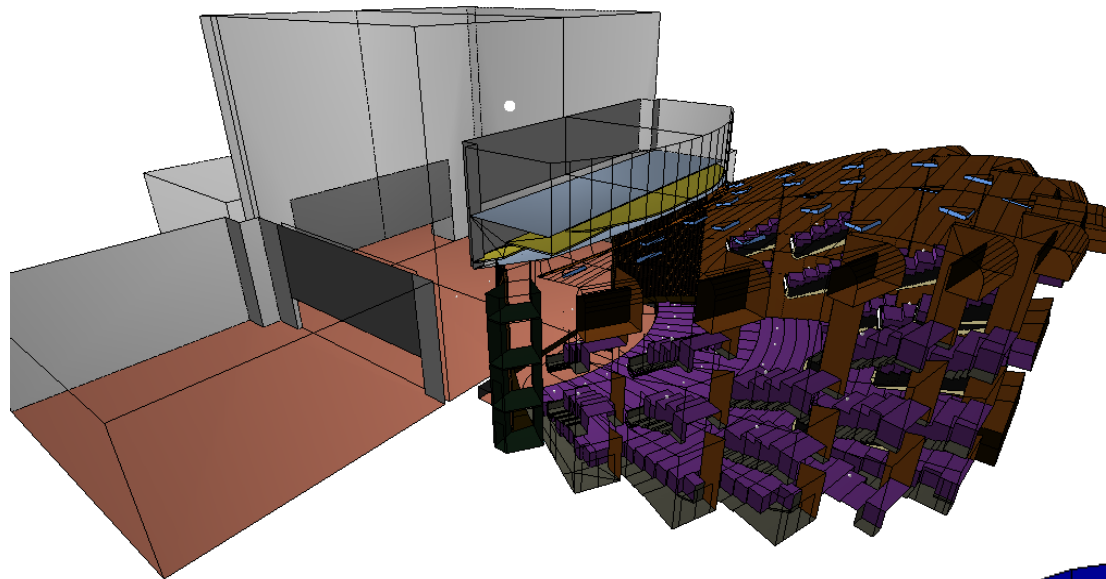


Alt  
(Bestand)

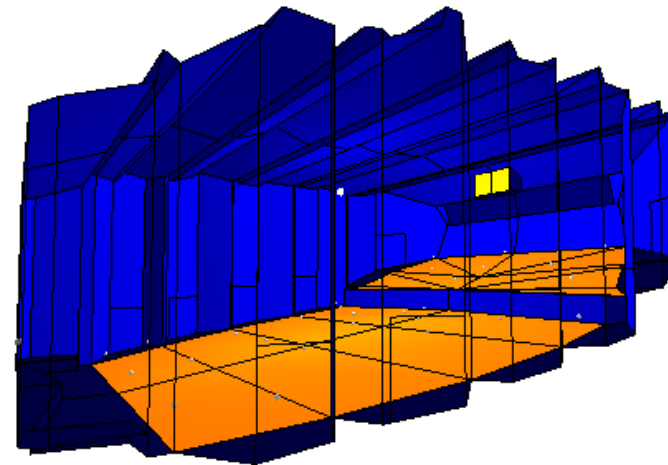


Neu





**Digitale Modelle**  
Oper und Schauspiel Köln



## Simulation der Akustik mittels Software

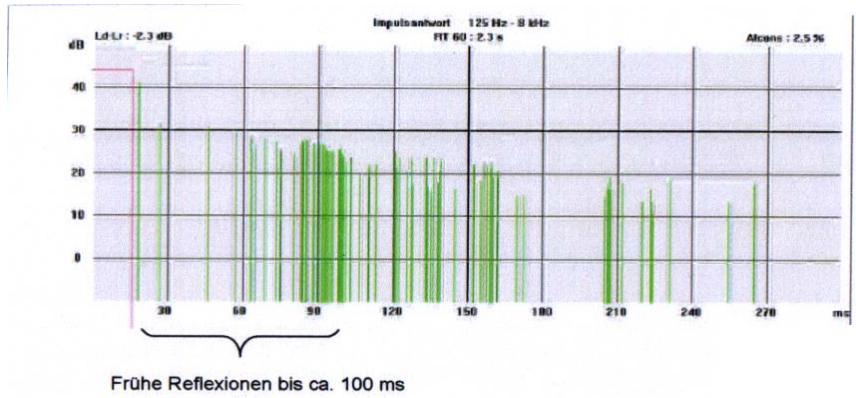


Bild 14: Impulsantwort Sitzposition 1

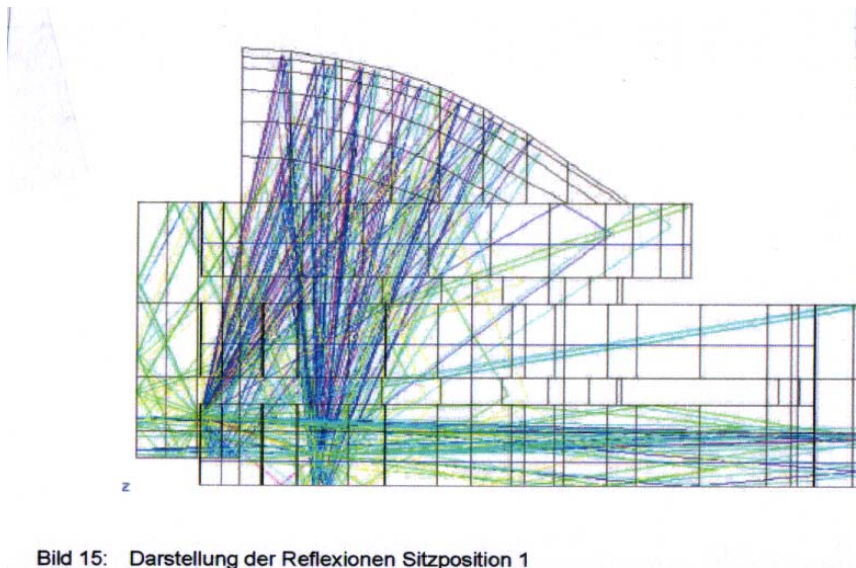


Bild 15: Darstellung der Reflexionen Sitzposition 1

IMPULSANTWORT

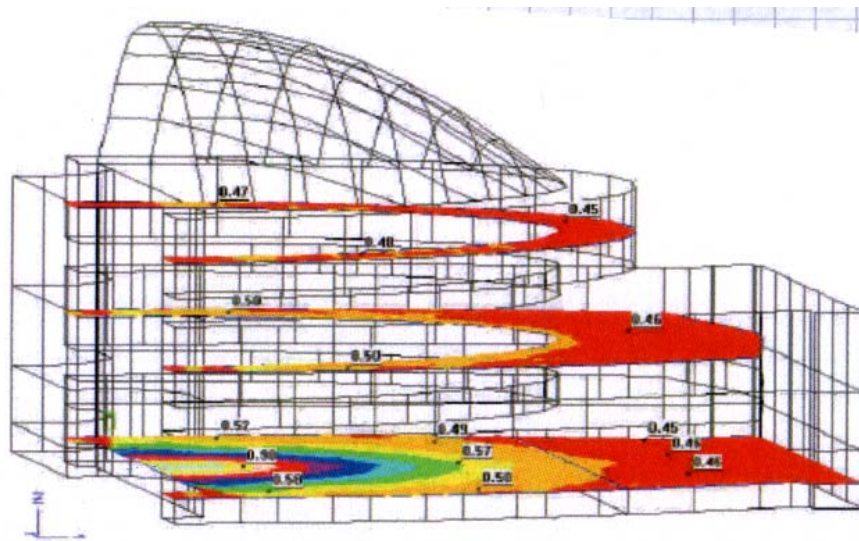
ZUGEHÖRIGE REFLEXIONSWEGE

Fazit: Echogefahr an Sitzposition 1

Weitere Möglichkeiten von Softwareprogrammen:

z.B.

Berechnung der Sprachverständlichkeit

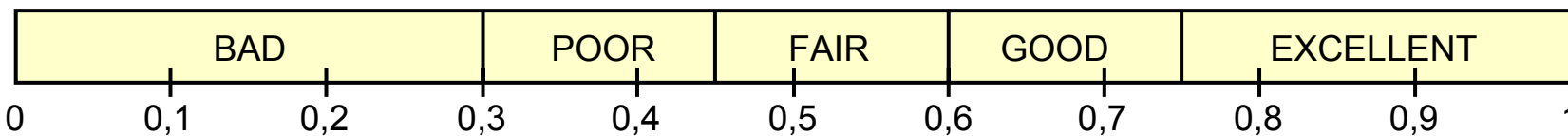


Sprachtransmission Index

- ein Kriterium, welches aus analytisch zerlegten Sprachelementen synthetisch gebildet und moduliert wird.

Bild 9: Sprachverständlichkeit im unbesetzten Zustand

STI



## Und noch ein Beispiel



Hier sehen wir verschiedene Reflexionsflächen in der Berliner Philharmonie

- Um Musik zu reflektieren sollen Flächen

$\geq 30 \text{ kg / m}^2$  schwer sein und  $\geq 2 \text{ m}$  Kantenlänge haben

- Für Sprache genügen

$\geq 15 \text{ kg / m}^2$  und  $\geq 1 \text{ m}$  Kantenlänge

- Warum: Bei Musik sind tiefere Frequenzen mit größeren Wellenlängen wichtiger.  
Und diese „ignorieren“ kleinere, leichtere Flächen.

$\lambda = c / f$	mit	$\lambda$	Wellenlänge
		$c$	Schallgeschwindigkeit
		$f$	Frequenz



## Noch ein Beispiel aus der akustischen Premium – Klasse.

### Die Kölner Philharmonie

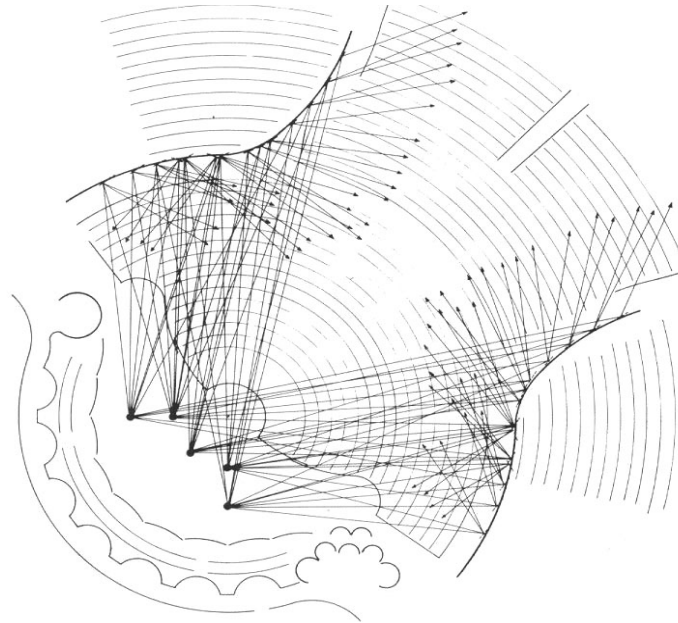


Hier geht es um

- vermeiden langer Laufzeitdifferenzen vertikal
- Reflexionen für die Musiker untereinander
- Reflexionen in das Publikum, diffus gestreut ...

## Noch ein Beispiel aus der akustischen Premium – Klasse.

Die Kölner Philharmonie



... und es geht um seitliche Reflexionen für das Publikum.

## Beispiel:

Der sächsische Landtag



Hier geht es darum, eine Brennpunktbildung aus der runden Grundrissform zu vermeiden:

## Beispiel:

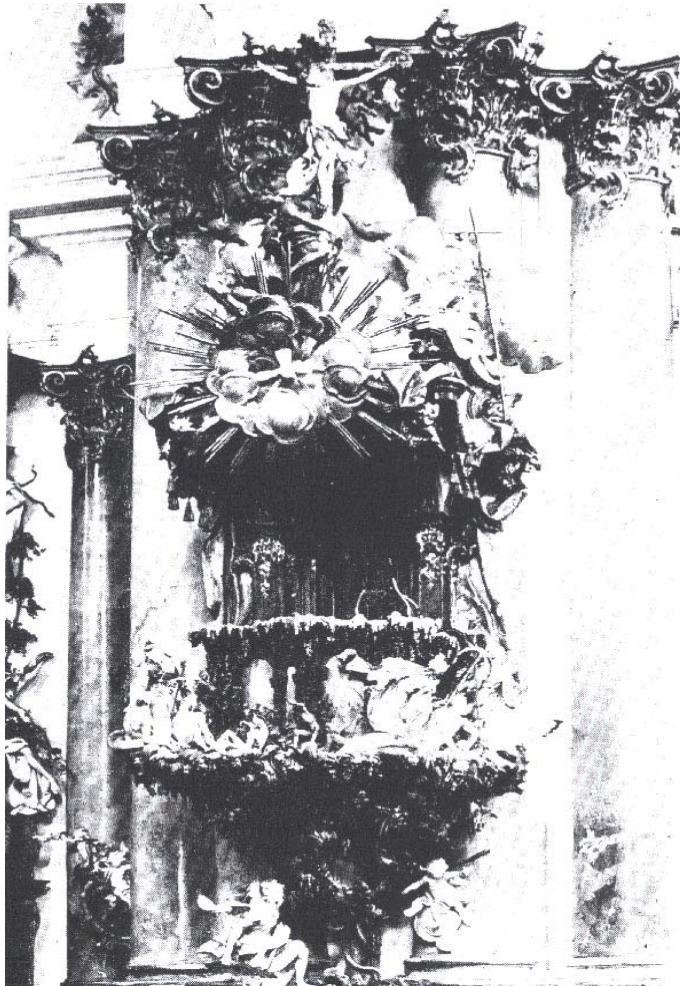
Der sächsische Landtag



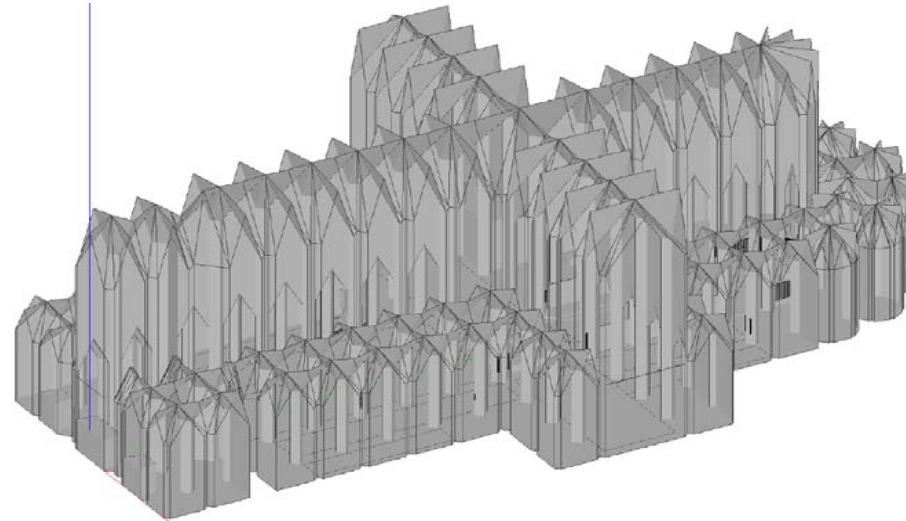
Zur Vermeidung der Brennpunktbildung wurden Glasreflektoren schräg gestellt.



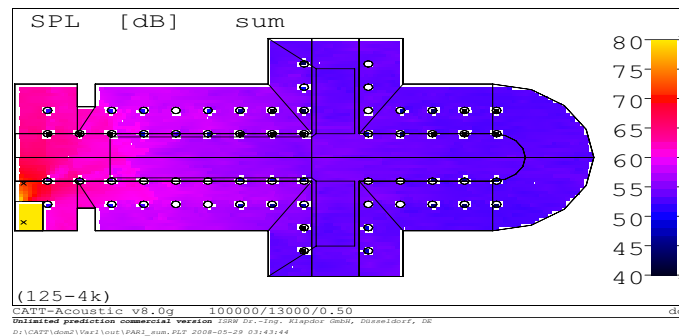
Auch früher schon wusste man etwas über geometrische Raumakustik



Kanzel in der Abteikirche  
Zwiefalten.



### Kölner Dom

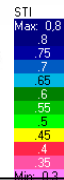
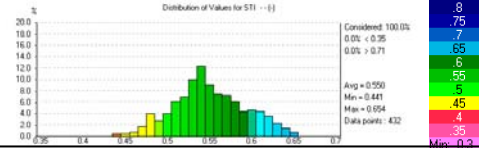
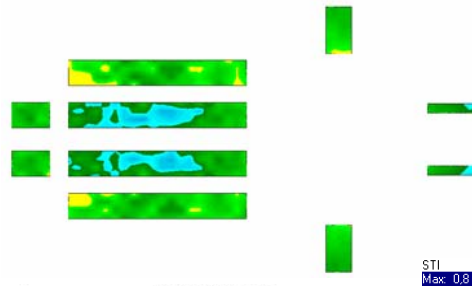
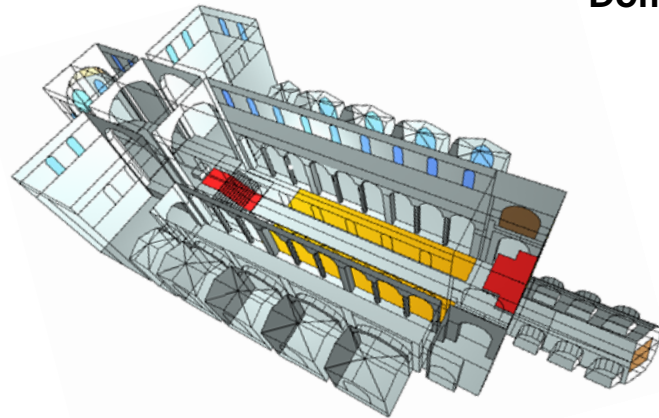


- Simulation
- Auralisation

**Deutsche Staatsoper  
Unter den Linden**



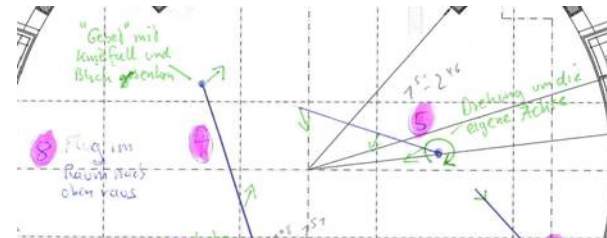
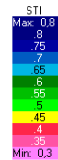
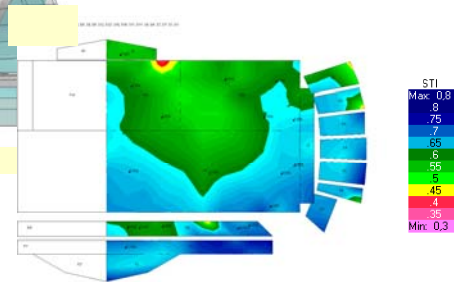
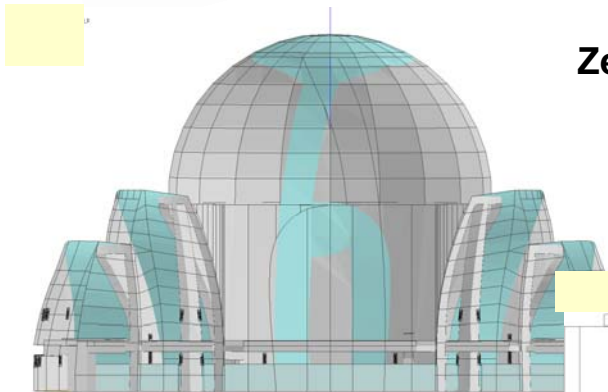
### Dom Hildesheim



- Simulation
  - Auralisation
- Orgelakustik  
Nachhallzeit



### Zentralmoschee Köln



- Simulation
- Auralisation



## Physikalische Modelluntersuchungen

Maßstab: 1:20

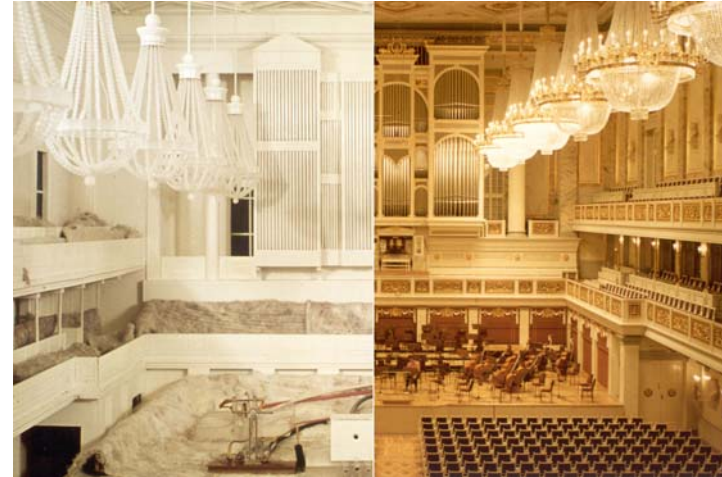
Lange Tradition (50 Jahre) mit  
permanenter Weiterentwicklung

- 50er Jahre: Prof. Reichardt, Dr. Winkler
- 70er Jahre: Tennhardt / Behr (1995)

### Materialien

- Früher Gips  
Handarbeit
- Heute MDF, moderne Kunststoffe, Holz  
CNC + Handarbeit
- Wichtig Oberflächenimpedanzen  
Oberflächenbeschichtungen  
und Materialien

### Konzerthaus Berlin

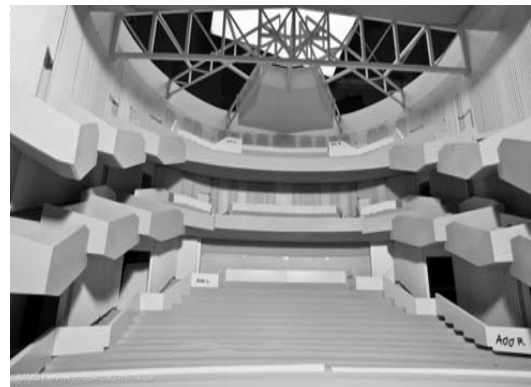


Modell

Realität

### Semperoper

### MiR Gelsenkirchen



## Physikalische Modelluntersuchungen

Einzigartig:

Akustisch **richtige** Nachbildung von Schallquellen und Empfänger

- Kugelsender
  - Orchesterinstrumentengruppen
  - Sprecher/Sänger
  - ELA
- 
- Kunstkopf

### ELA - Lautsprecher



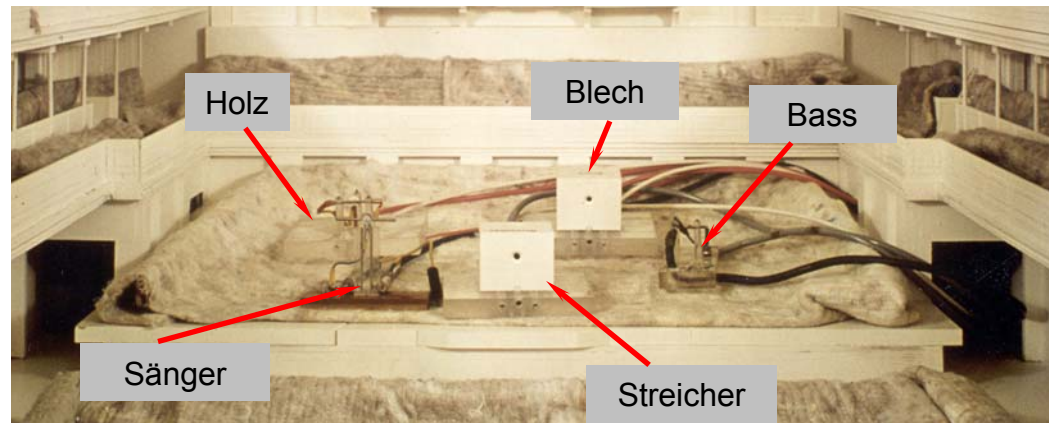
### Sprecher/Sänger



### Modellkunstkopf



### Orchester



## ANWENDUNGSFALL:

## BÜRO - & VERWALTUNGSBAU

### Akustik im Büro

**Störfaktor LÄRM**



### Ziel:

**Akustische Behaglichkeit**

### Schallpegel

am

### Arbeitsplatz

### Bürolärm

- Arbeitsstättenverordnung
- Richtlinie für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten DIN EN ISO 11690-1

### Geräusche aus haustechnischen Anlagen

- Richtlinie VDI 2569
- Richtlinie VDI 2081
- DIN 1946
- DIN 4109

## Grundtypen von Büros

Büros sind entsprechend ihrer Nutzung in folgende Kategorien einzuteilen:

- Einzelbüros
- Mehrpersonenbüros
- Großraumbüros
- Kombibüros

## Grundtypen von Büros

### Definition der Einheit dB(A)

Da die vom Menschen wahrnehmbaren Schallereignisse einen unübersichtlich großen Schalldruckbereich (6 Zehnerpotenzen) überstreichen, hat man zur Kennzeichnung der Lautstärke ein logarithmisches Maß, den Schallpegel eingeführt.

Mit der Einführung des logarithmischen Schallpegels ergibt sich ein Pegelbereich von 0 dB(A) (Hörschwelle) bis 130 dB(A) (Schmerzgrenze).



## Grundtypen von Büros

### Schallpegel am Arbeitsplatz

In landesspezifischen Vorgaben z.B. der Arbeitsstättenverordnung werden Werte für den max. zulässigen Schallpegel am Arbeitsplatz angegeben:

In Arbeitsräumen ist der Schallpegel so niedrig zu halten, wie es nach Art des Betriebes möglich ist. Der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz in Arbeitsräumen darf auch unter Berücksichtigung der von außen einwirkenden Geräusche höchstens betragen:

- |   |          |
|---|----------|
| 1. bei überwiegend geistigen Tätigkeiten:   | 55 dB(A) |
| 2. bei einfachen und überwiegend mechanisierten Bürotätigkeiten und vergleichbaren Tätigkeiten: | 70 dB(A) |

Als Lärminderungsziel zur Behandlung von Lärmproblemen empfiehlt die DIN EN ISO 11690-1 - Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten - die Einhaltung folgender Geräuschimmissionspegel:

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. für routinemäßige Büroarbeit  | 45 bis 55 dB(A) |
| 2. für Sitzungsräume oder bei Tätigkeiten, die Konzentration verlangen | 35 bis 45 dB(A) |

## Grundtypen von Büros

### Geräusche aus haustechnischen Anlagen

Weitergehende Richtlinien wie z.B. die VDI 2569 gibt diesbezüglich folgende Empfehlungen:

Geräuscheinwirkungen von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung, wie Lüftung, Klima, Heizung, Wasserinstallation, sollten im eigenen Nutzungsbereich im Einpersonnbüro einen Schallpegel von 35 dB(A) nicht überschreiten.

Bei Dauergeräuschen aus Lüftungstechnischen Anlagen ohne auffällige Einzeltöne sind im Einpersonnbüro Schallpegel von bis zu 40 dB(A) angemessen. Im Mehrpersonnbüro sollten Schallpegel von 40 dB(A) nur dann um bis zu 5 dB(A) überschritten werden, wenn das zur Verdeckung informationshaltiger Geräusche (z.B. Sprache) wünschenswert ist.

Die Regelungen hinsichtlich des Schallschutzes zwischen fremden Nutzungen bleiben davon unberührt.

## GROßRAUMBÜRO



### Raumbedämpfung

Pegel des nicht informationshaltigen Hintergrundgeräusches

### Schallabschirmung

Abschirmung durch raumgestaltende Trennelemente



## Das Büro der Zukunft

zepten die Nachteile moderner Grossraumbüros vermeiden



Arbeitsplatz Grossraumbüro.

CHRISTIAN DITSCH

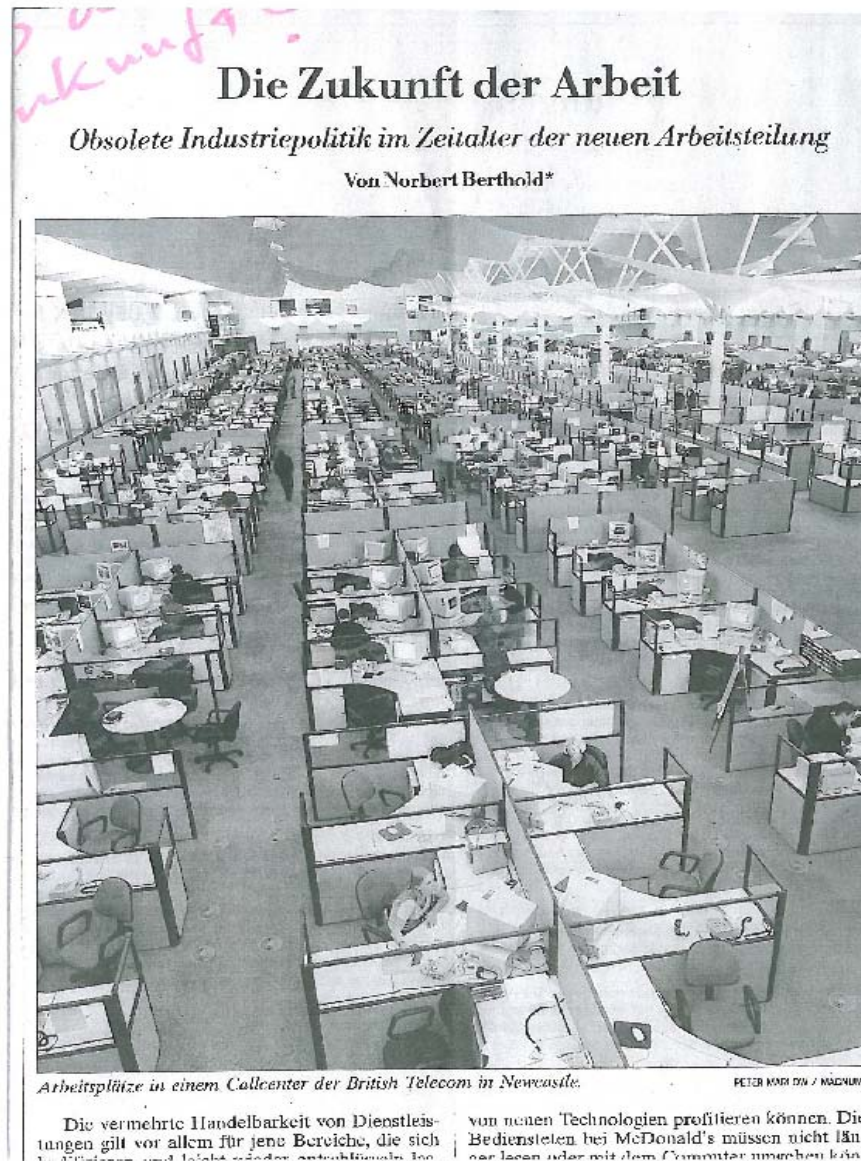
### Auf ein Wort

#### «Beim Ma Konditione

Herr De Maesein  
möglichen 40 Mita.  
Ihres Unternehm.  
Sonntag am New-Y  
thon teilzunehmen.  
chem Ziel?

Patrick G. De M.  
In den vergangenen  
Barry Callebaut r  
wachsen, und dami  
Zahl der Mitarbeite  
Förderung von Tear  
Teamarbeit in unse  
war das zentrale  
Gleichzeitig wollten  
ses Ziel erreichen. Y  
als Sport? In diesem  
mer hautnah, was e  
beginnt mit einem  
hohes Mass an Aus  
eine Frage der Leist  
gleich und gesunde  
eine wichtige Rolle  
schäftsleben.

Gäbe es nicht einfac  
Gernot Kubacki, Raum 316





*Das «Net'n'Nest»-Konzept von Sevil Peach und Vitra mit den Bouroullec-Sofas, 2007. MARC EGGERMANN / VITRA*

Schrankelemente, aber auch an der Disziplin der Privatsphäre bedienen die französischen Desi-

## Großraumbüro

### Besonderheiten des Großraumbüros

Für Großraumbüros und Büros mit mehr als 10 Arbeitsplätzen ist eine hohe **Raumbedämpfung** und **Schallabschirmung** notwendig, um den allgemein durch Arbeitsgeräusche verursachten Lärmpegel zu senken.

Außerdem sind Bedingungen zu schaffen, bei denen der einzelne Mitarbeiter sich auf seine Arbeit konzentrieren kann, ohne von ständigen, informationshaltigen akustischen Signalen (Gesprächen, Telefonruf, Schreibmaschinen etc. abgelenkt zu werden.

Mit dem **Sinken des allgemeinen Lärmpegels** sinkt jedoch auch die **Reizschwelle für die Wahrnehmung** von Geräuschen. Ob diese Geräusche als störend empfunden werden, hängt unter anderem von der subjektiven Einstellung ab. Es besteht aber eine höhere Wahrscheinlichkeit, daß Störungen auftreten werden, wenn die akustischen Signale nicht aus dem eigenen, auch optisch überschaubaren Arbeitsbereich kommen.

Erfahrungen haben gezeigt, daß die Gruppenraumsituation eher als konzentrationsschädlich bezeichnet wird, wenn keine Möglichkeit besteht, sich vor häufigen informationshaltigen Fremdgeräuschen zurückzuziehen. In akustische Parameter umgesetzt, ergeben sich daraus zwei voneinander abhängige Variablen:

- der Pegel des nicht informationshaltigen Hintergrundgeräusches
- die Abschirmung der raumgestalterischen Trennelemente.

## Großraumbüro

### Besonderheiten des Großraumbüros

Für den Fall, daß das Hintergrundgeräusch durch anwesende Personen oder auch Lüftungstechnische Einrichtungen im Bereich von 40 - 45 dB(A) liegen, halten sich die durch fremde Gespräche in 4 m Abstand hervorgerufenen Störungen im Bereich des Hintergrundgeräusches auf und werden nicht mehr als "so" störend empfunden.

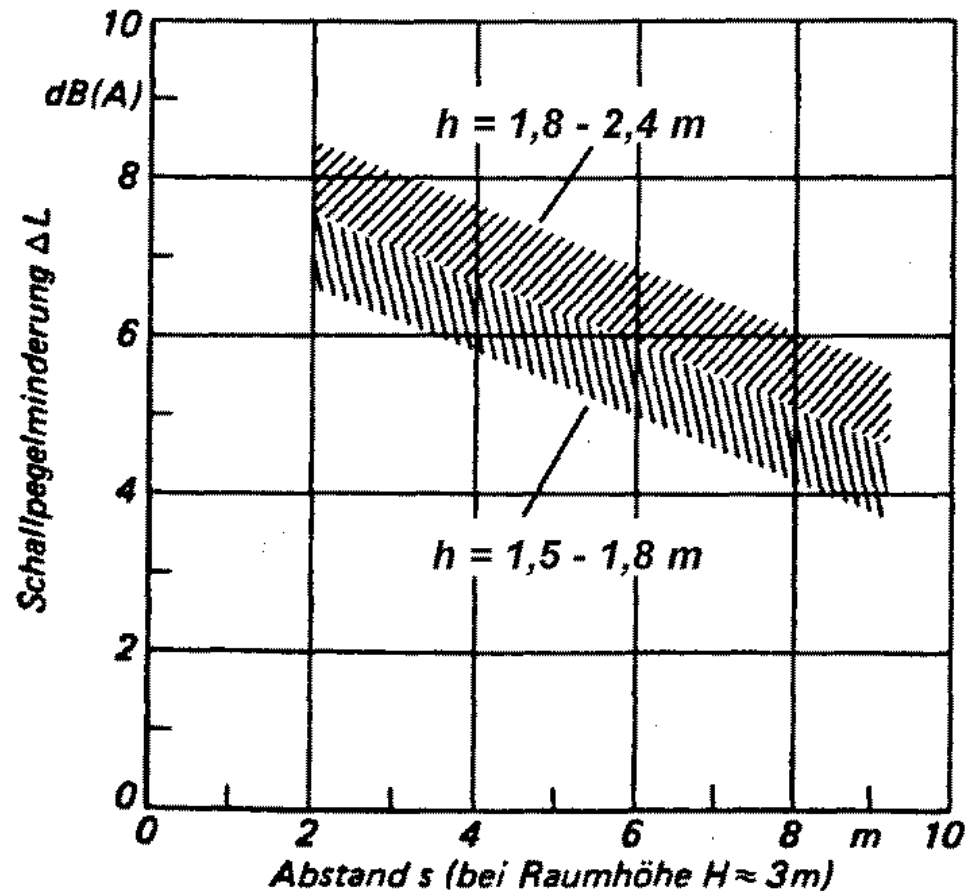
Aus diesem Grunde ist es auch sehr wichtig, den durch Lüftungstechnische Anlagen hervorgerufenen Grundgeräuschpegel nicht zu stark abzusenken und in dem v.g. Bereich von 40 - 45 dB(A) zu verbleiben.

Allgemein muß gefordert werden, daß die von anderen, nicht unmittelbar benachbarten Arbeitsplätzen übertragenen Geräusche nicht dem allgemeinen Hintergrundgeräusch herausragen.

In Bild 1 sind als Diagramm Erfahrungswerte für die Schallpegelminderung üblicher Stellwände in Büros mit raumakustischen Abhangdecken dargestellt.

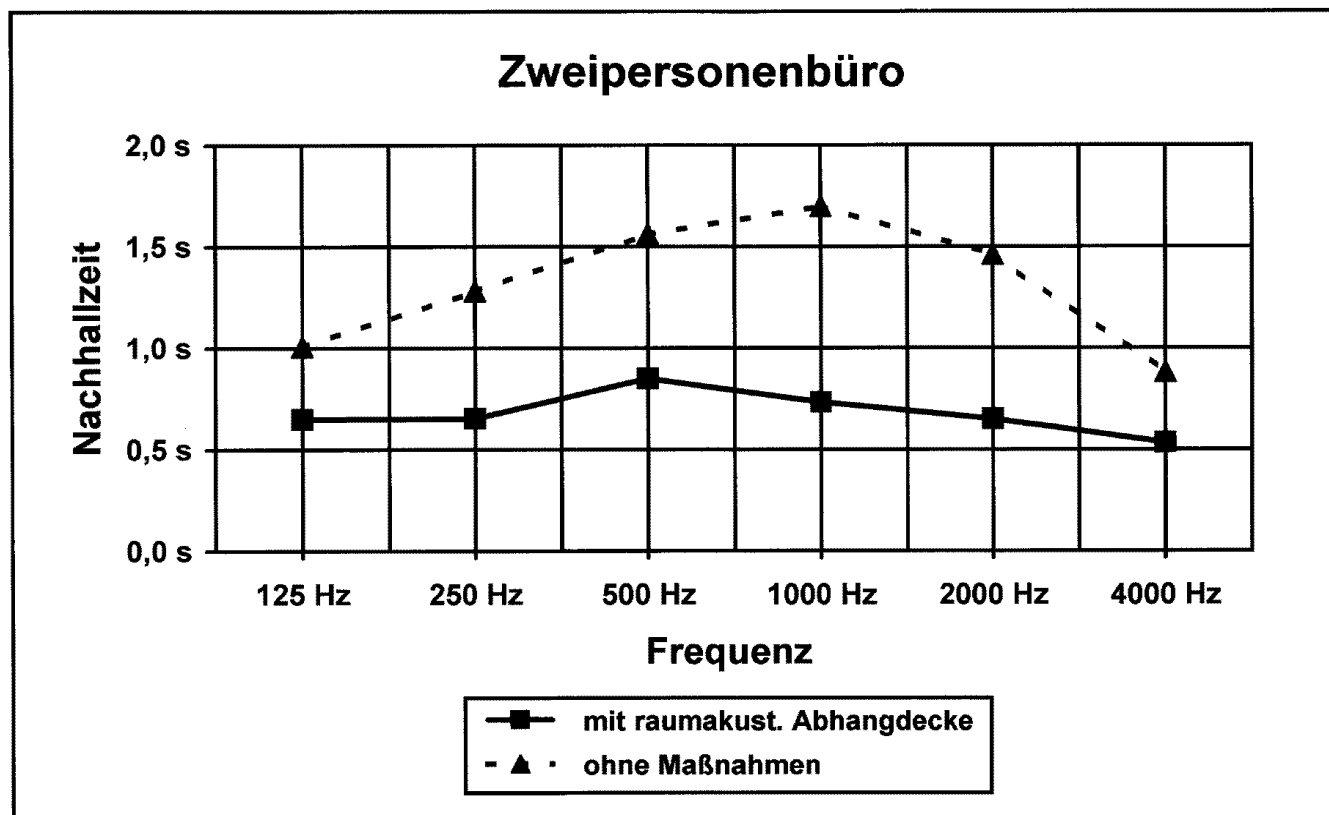
**Zum Vergleich:  
Eine Schallpegelminderung um 10 dB(A) wird als eine Halbierung  
der Lautstärke empfunden.**

Erfahrungswerte für die Schallpegelminderung bei Verwendung handelsüblicher Stellwände



**Merke:**  
Eine Schallminderung um 10 dB(A) wird als Halbierung der Lautstärke empfunden

## Nachhallzeit in einem Zweipersonenbüro



## Großraumbüro

### Besonderheiten des Großraumbüros

Die Nachhallzeit als Kriterium für die Beurteilung der raumakustischen Qualität reicht bei Großraumbüros allein nicht aus. Aufgrund ihrer Abmessungen (Höhe gering im Verhältnis zur Breite und Länge) bilden Großraumbüros den akustischen Sonderfall des "gedämpften Flachraumes" und werden daher gesondert betrachtet.

Stark vereinfacht "funktioniert" die Raumakustik in Großraumbüros nach folgendem Schema:  
Die einzelnen Arbeitsplätze sollen akustisch von einander gut "entkoppelt" sein. Dazu ist eine möglichst große Schallpegelabnahme mit der Entfernung notwendig. Das verbleibende Restgeräusch soll einen gleichmäßigen, nicht zu hohen Geräuschpegel ergeben, der von entfernteren Arbeitsplätzen herrührende Sprachreste verdeckt.



Die Auslegung der raumakustischen Maßnahmen von Großraumbüros erfolgt nach folgenden Zielgrößen

$$A/V = 0,3 \text{ bis } 0,35$$

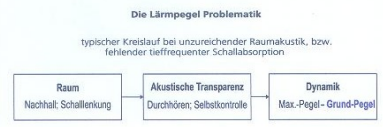
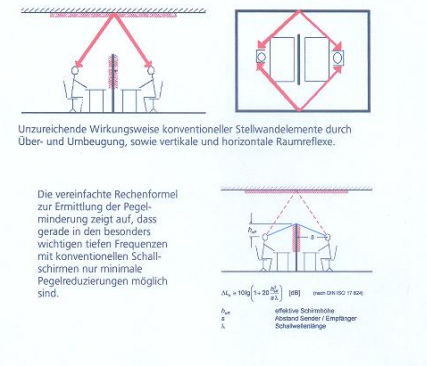
Die Bestimmung von  $A/V$  bzw. die Auslegung zur Erreichung der empfohlenen Werte erfolgt nach folgender Formel:

$$A = \alpha_D S_D + 2\alpha_S n S_S + \alpha_W S_W$$
$$V = H S_B$$

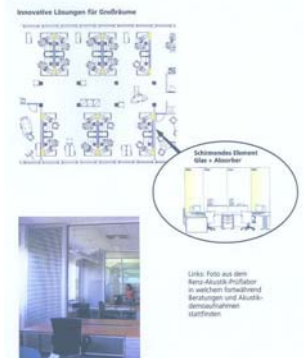
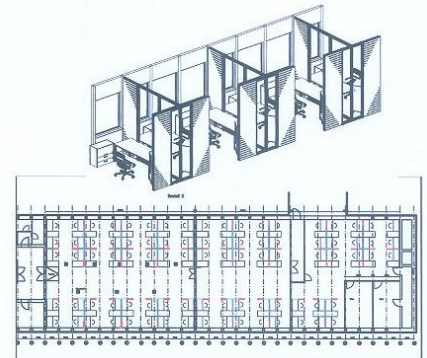
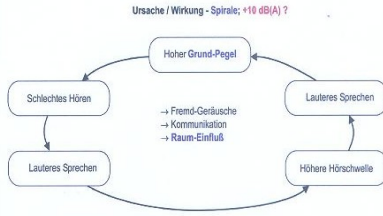
Dabei bedeuten:

A:	äquivalente Absorptionsfläche in $m^2$
$\alpha_D$ :	mittlerer Absorptionsgrad der Decke (Mittelwert im Bereich zwischen 250 Hz bis 2000 Hz)
$S_D$ :	Deckenfläche in $m^2$
$\alpha_S$ :	mittlerer Absorptionsgrad der Raumgliederungswände bzw. Stellwände (Mittelwert im Bereich zwischen 250 Hz bis 2000 Hz)
n:	Anzahl der Raumgliederungswände
$S_S$ :	einseitige Fläche der Raumgliederungswand in $m^2$
$\alpha_W$ :	mittlerer Absorptionsgrad fester absorbierender Wandflächen (Mittelwert im Bereich zwischen 250 Hz bis 2000 Hz)
$S_W$ :	Fläche absorbierender fester Wände in $m^2$
V:	Raumvolumen in $m^3$
H:	Raumhöhe bzw. Deckenhöhe bis zur Absorberschicht in m
$S_B$ :	Grundfläche des Büroraumes in $m^2$

Die Schallabsorption von textilen Bodenbelägen wird bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da die Schallabsorption nur gering ist und keinen wesentlichen Einfluß auf die Raumakustik in Großraumbüros hat.



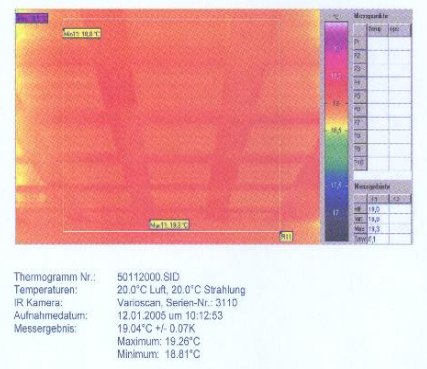
Aufbau einer üblichen Standardsituation mit durchschnittlich absorbierender Mineralfaser-Akustikdecke. Zwischen die Schreibtische wurden hochwertige, schallabsorbierende Stellwände platziert mit einer Abmessung von 1,8 x 2m.



Die Transparenz bzw. die Raumdurchsicht ist ausreichend gegeben, bei einer gleichzeitig hervorragenden Akustik und einem vorbildlichen Raumgefühl.



Die umstehenden Bilder zeigen eine als Musterzone vorab ausgeführte Großraumpange mit Deckenabsorbern:



## Bauteilaktivierung - raumakustische Maßnahme / Widerspruch?!

Schallabsorbierende Maßnahmen an Raumoberflächen werden üblicherweise an Decken vorgenommen, da

- sie im allgemeinen die größte Fläche hierfür bieten,
- eine abgehängte Decke zur Verdeckung von Installationsleitungen und

Kanälen häufig ohnehin vorzusehen ist.

Nachteilig wirkt sich hier die Abkopplung der Speichermasse der Massivdecke aus.

Zubehör wie Luftauslässe, Leuchten, Sprinkler etc. lassen sich problemlos in die Deckenelemente integrieren.

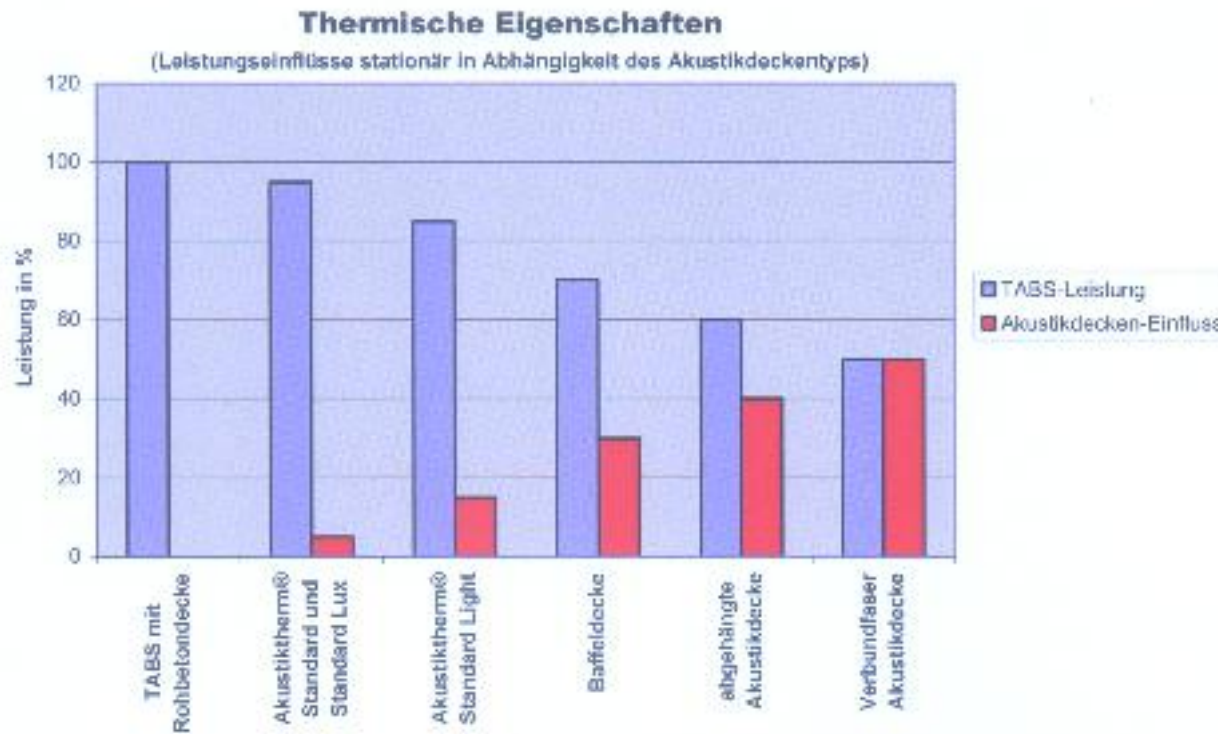
Vorteile von aufs Bauteil aufgesetzten Elementen gegenüber einer "konventionellen"; d. h. integrierten tabs-Lösung sind:

- Kühlen, Heizen und Akustik in einem
- Flexibilität (z. B. bei Umnutzungen)
- Nachrüstbarkeit (interessant bei Sanierungen)
- Zugänglichkeit
- Geringe Einbauhöhe
- Thermisch flinkes Reagieren
- Verkürzte Bauzeit

## Bauteilaktivierung - raumakustische Maßnahme / Widerspruch?!

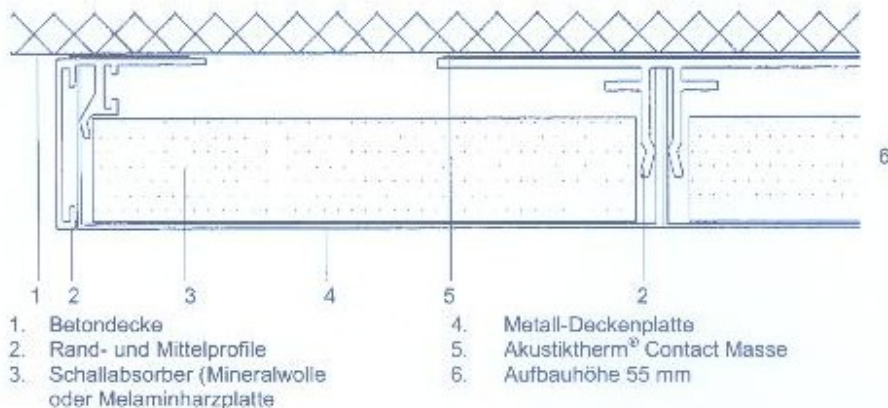
Im Gegensatz zu konventionellen Lösungen wie z.B. abgehängte Akustikdecken werden die mit Akustiktherm<sup>®</sup> belegten Flächen nicht isoliert.

Dies wird in nachstehender Darstellung verdeutlicht:



## Bauteilaktivierung - raumakustische Maßnahme / Widerspruch?!

### Aufbau der Akustiktherm® Standard und Standard Light Deckenelemente



Die Modulrahmen inkl. Rand- und Mittelprofile werden mittels Akustiktherm® Contact Masse direkt an die Betondecke geklebt und mit Dübeln verschraubt. Die Betonoberfläche muss plan und frei von Überzähnen sein. Die direkte Kontaktierung mit der Betonoberfläche garantiert die thermische Wärmeleitfähigkeit.

### Abmessungen der Deckenfelder

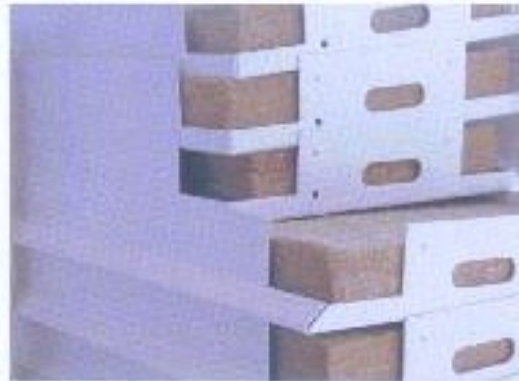
Die optimalen Abmessungen zur Gewährleistung der Wärmeleitfähigkeit und zur Montage sind:

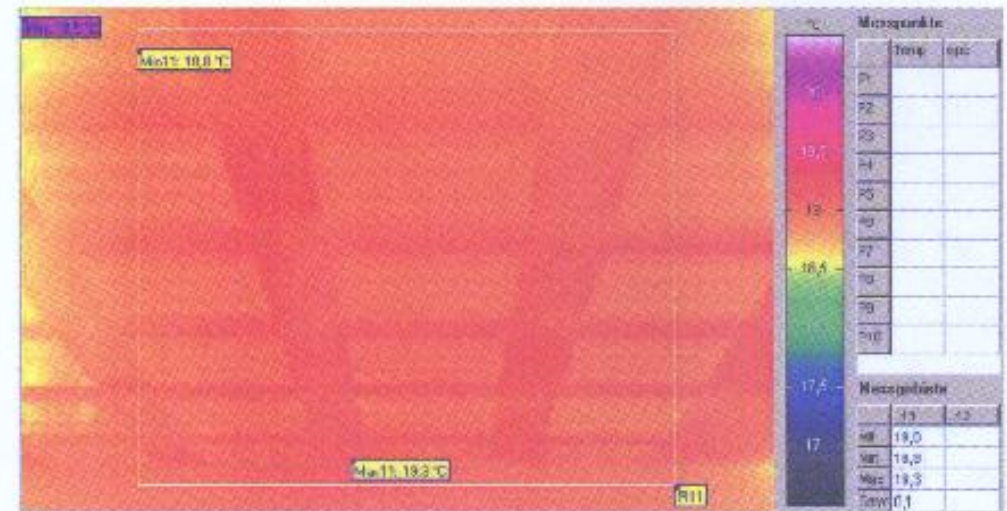
#### Akustiktherm® Standard und Akustiktherm® Standard Light

Deckenspiegel:	Breite:	750 mm	bis	1'150 mm
	Länge:	1'200 mm	bis	2'000 mm
Metalldeckenplatte:	Breite:	250 mm	bis	350 mm
	Länge:	750 mm	bis	1'150 mm
Elementrahmen:	Breite:	750 mm	bis	1'150 mm
	Länge:	1'200 mm	bis	2'000 mm

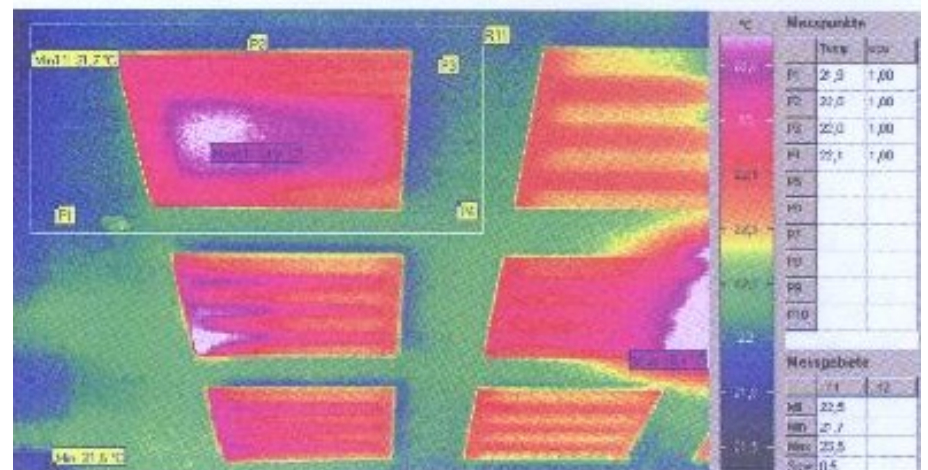
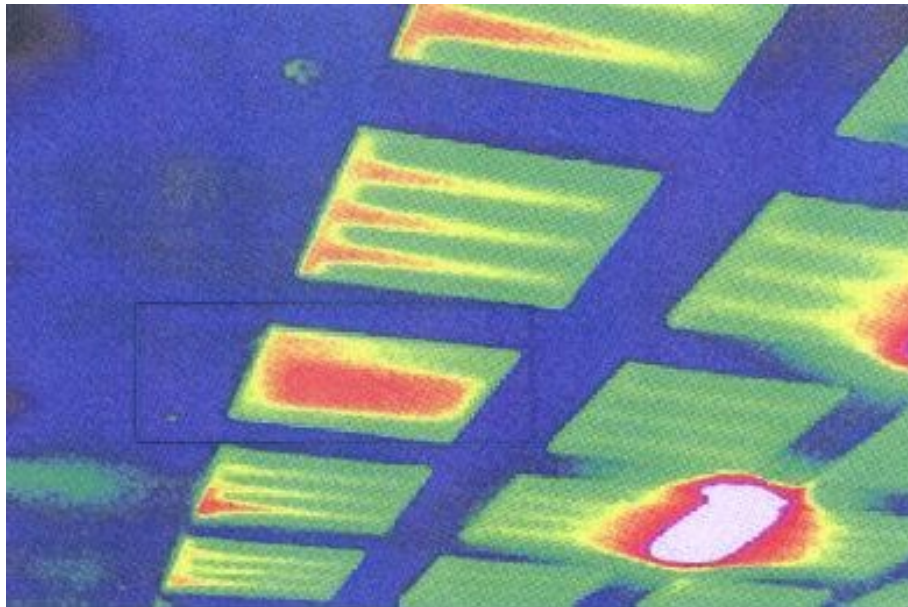
## Großraumbüro

### Raumakustische Maßnahmen - Bauteilaktivierung





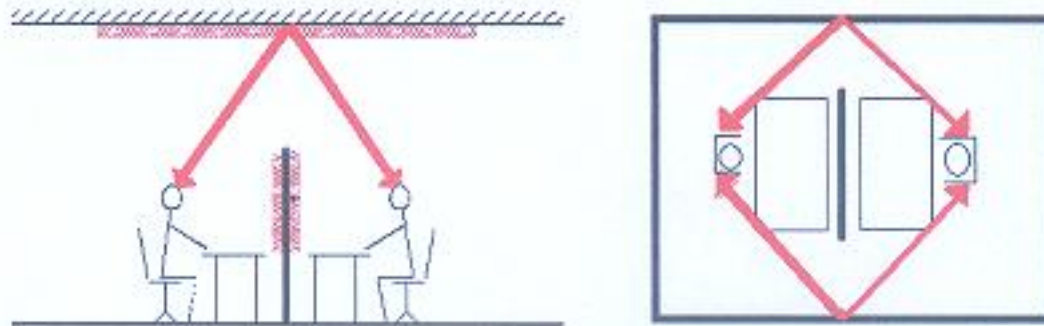
Thermogramm Nr.: 50112000.SID  
 Temperaturen: 20.0°C Luft, 20.0°C Strahlung  
 IR Kamera: Varioscanner, Serien-Nr.: 3110  
 Aufnahmedatum: 12.01.2005 um 10:12:53  
 Messergebnis: 19.04°C +/- 0.07K  
 Maximum: 19.26°C  
 Minimum: 18.81°C





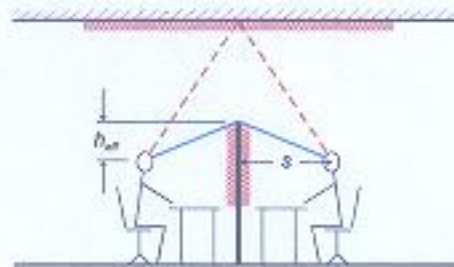






Unzureichende Wirkungsweise konventioneller Stellwandelemente durch Über- und Umbeugung, sowie vertikale und horizontale Raumreflexe.

Die vereinfachte Rechenformel zur Ermittlung der Pegelminderung zeigt auf, dass gerade in den besonders wichtigen tiefen Frequenzen mit konventionellen Schallschirmen nur minimale Pegelreduzierungen möglich sind.

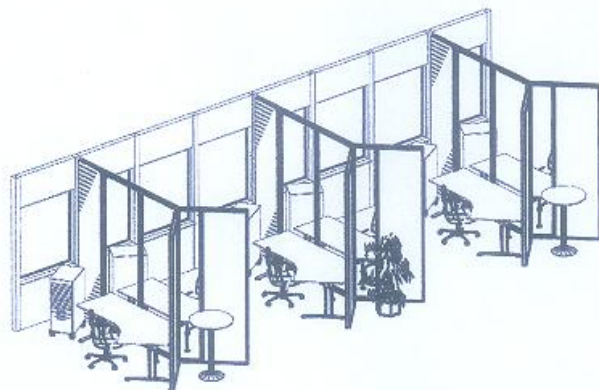
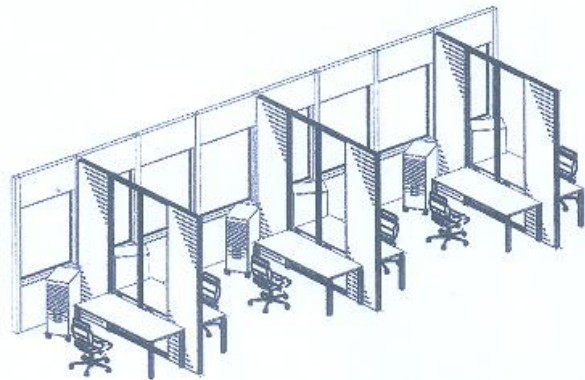


$$\Delta L_{\text{eff}} \approx 10 \lg \left( 1 + 20 \frac{h_{\text{eff}}^2}{s \lambda} \right) \quad [\text{dB}] \quad (\text{nach DIN ISO 17 624})$$

$h_{\text{eff}}$  effektive Schirmhöhe  
 $s$  Abstand Sender / Empfänger  
 $\lambda$  Schallwellenlänge

## hochwirksame, pegelmindernde Schallschirme:

Da neben der Hauptforderung an Großräume kleiner Flächenbedarf je Arbeitsplatz 6 bis 10 qm auch der Nutzerwunsch bzw. die Gewohnheit im Großraum Team- und Gruppenbüro das Zusammengehörigkeitsgefühl, die Übersicht über den Raum nicht verloren gehen darf, galt es, beide Punkt in die neuen Elemente zu integrieren. So stellten großflächige, transparente Gläser, das Kernstück der Schirmung, die Mittel- fläche.



Raum mit  
Hochleistungsschallschirmen  
1 Sprecher mit 62 dB



Raum mit  
Hochleistungsschallschirmen  
4 Sprecher mit je 62 dB

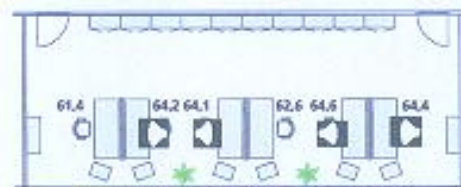


**Aufbau einer üblichen Standardsituation mit durchschnittlich absorbierender Mineralfaser-Akustikdecke. Zwischen die Schreibtische wurden hochwertige, schallabsorbierende Stellwände platziert mit einer Abmessung von 1,8 x 2m.**

Raum mit zusätzlichen  
Akustikstellwänden 1,8 x 2m  
1 Sprecher mit 62 dB



Raum mit zusätzlichen  
Akustikstellwänden 1,8 x 2m  
4 Sprecher mit je 62 dB

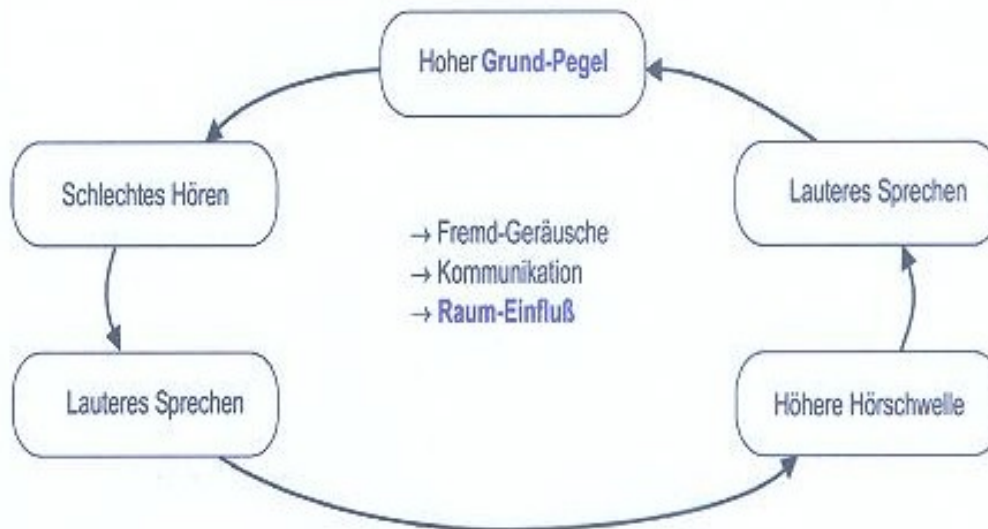


### Die Lärmpegel Problematik

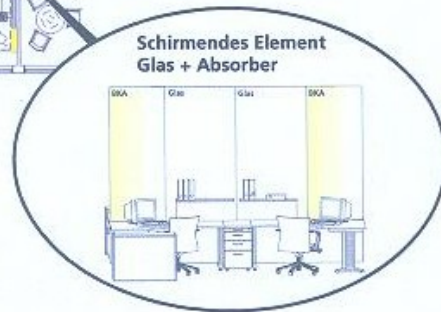
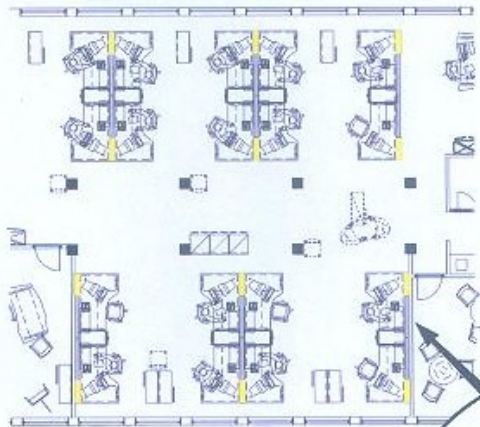
typischer Kreislauf bei unzureichender Raumakustik, bzw. fehlender tieffrequenter Schallabsorption



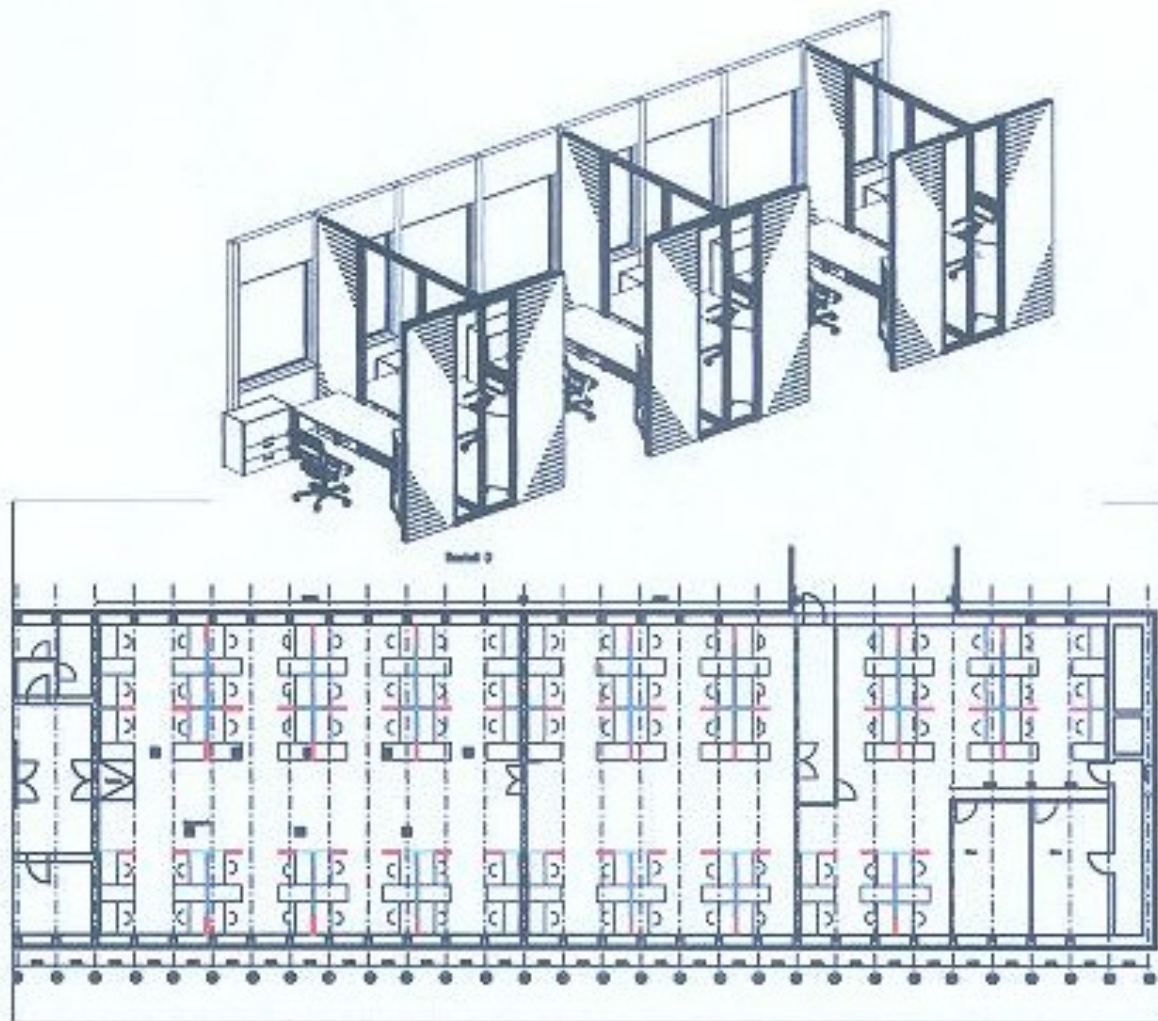
Ursache / Wirkung - Spirale; +10 dB(A) ?



Innovative Lösungen für Großräume



Links: Foto aus dem  
Renz-Akustik-Prüflabor  
in welchem fortwährend  
Beratungen und Akustik-  
demoaufnahmen  
stattfinden





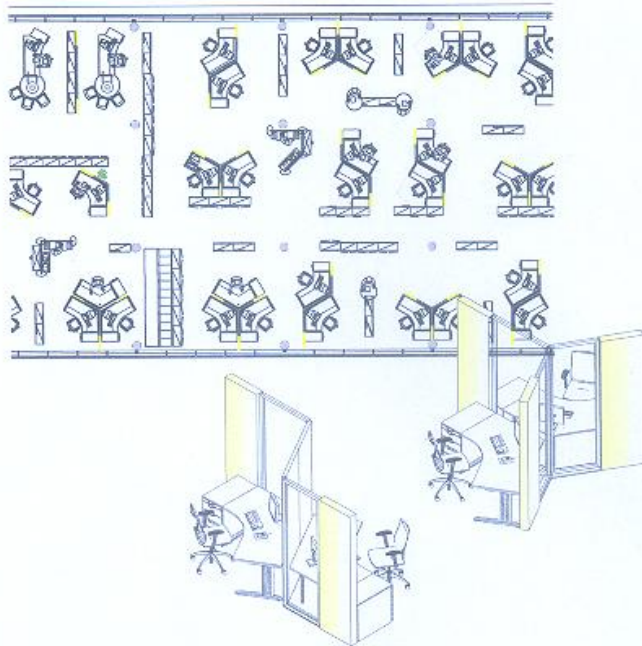
Die Transparenz bzw. die  
Raumdurchsicht ist ausreichend  
gegeben, bei einer gleichzeitig  
hervorragenden Akustik und  
einem vorbildlichen Raumgefühl.



**Akustik-Element Frei-Form  
mit Glasfeldern in allen Größen, Formen  
und Winkeln**

Der Erfolg der neuen Akustik Schallschirme führte zwangsläufig zum Wunsch, jede Raumkonstellation mit diesen Elementen und deren ausgezeichnete Schallpegelreduzierung auszuführen.

Es lassen sich praktisch alle Grundrisse und beliebige Möbelkonstellationen durch die entsprechenden Akustikelemente ergänzen. So wird jede Mitarbeitergruppierung möglich. Alle Team-, Gruppen- und Arbeitskonstellationen sind realisierbar.



Die untenstehenden Bilder zeigen eine als Musterzone vorab ausgeführte Großraumspange mit Deckenabsorbern:



Hochleistungs-Akustikelemente:

Verbund-Platten-Resonatoren  
und Breitband-Kompakt-Absorber  
im Musterbereich noch ohne  
Oberflächenlackierung



## RAUMAKUSTISCHE MAßNAHMEN

### Einzelbüro

Büroräume für Einzelpersonen können im Normalfall ohne raumakustische Maßnahmen ausgeführt werden.

Eine absorbierend gestaltete Decke bringt hier Vorteile in Bezug auf die akustische Behaglichkeit und die sprachliche Verständigung am Telefon.

Ausgenommen hiervon sind in der Regel hochwertige Einzelbüros (Chefbüros etc.), für die eine schallabsorbierende Ausstattung (mind. raumakust. Abhangdecke und Teppichboden) und eine Nachhallzeit von  $T \leq 0,7$  s anzustreben ist.



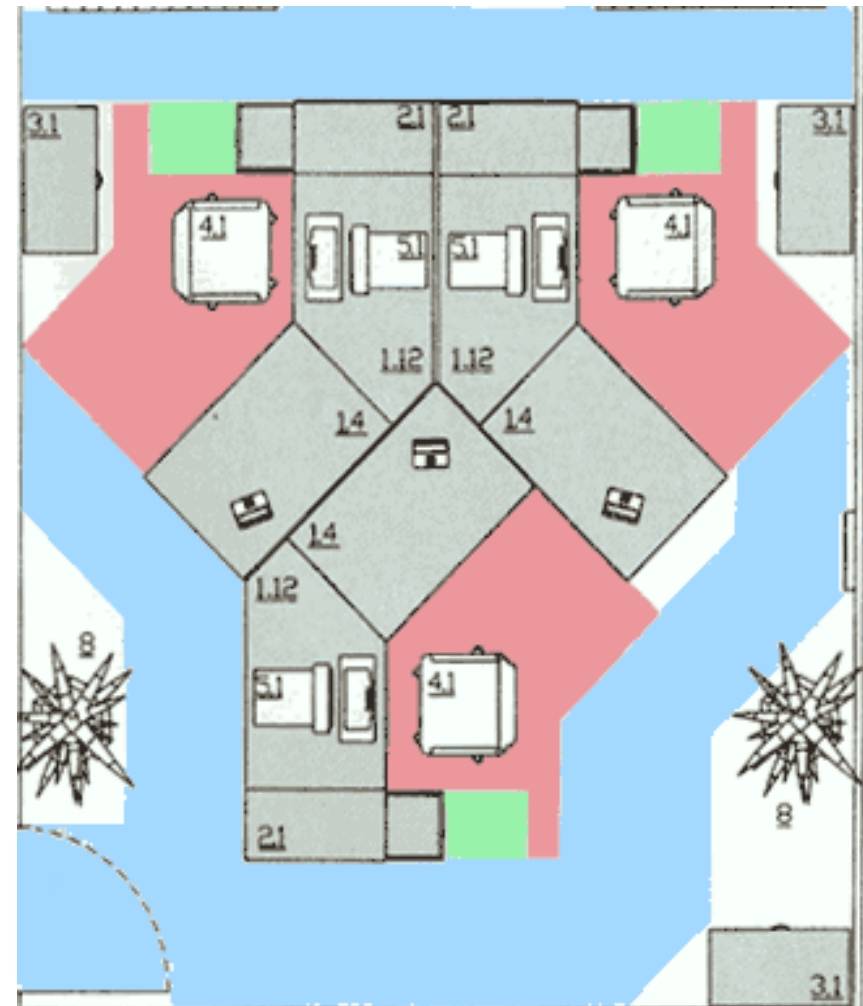
## Mehrpersonenbüro

Bei Mehrpersonenbüros muß allgemein vorausgesetzt werden, daß es sich um gleichwertige und nicht ständig lärm erzeugende Arbeitstätigkeiten, ohne besondere Konzentrationsanforderungen handelt. Ansonsten gelten auch hier Bedingungen an die Abschirmung (siehe Großraumbüros).

Es sind folgende Nachhallzeitverhältnisse üblicherweise anzustreben:

- in Normalbüros mit max. 2 Arbeitsplätzen:  
 $T \leq 1,0$  s
- in Normalbüros mit 3 bis 10 Arbeitsplätzen:  
 $T \leq 0,7$  s

Erreichbar ist dies durch eine raumakustische Abhangdecke, Teppichboden und ggf. zusätzlichen schallabsorbierenden Stellwänden.



## Großraumbüro

In Büros dieses Typs ist in üblicherweise eine raumakustische Abhangdecke mit einem hohen Schallabsorptionsgrad ( $\alpha \geq 0,6$  im Mittel) erforderlich. Die Abschirmung der Arbeitsplätze und die zusätzlich erforderliche Raumbedämpfung erfolgt über schallabsorbierende Stellwände. Wenn die Anzahl der Stellwände aus Platzgründen begrenzt ist, kann um die erforderliche Raumbedämpfung zu erreichen, zusätzlich die Büroeinrichtung (i.d.R. Schranktüren) schallabsorbierend ausgestattet werden. Dies hat zudem den Vorteil, daß an diesen Flächen keine Schallreflexion mehr stattfindet und die Entkopplung der Arbeitsplätze verbessert. Die Sorge, daß ein Büroraum durch zu hohe Schallabsorption „überdämpft“ sein könnte, erscheint nach heutiger Erfahrung unbegründet.

Bei der Ausführung der Stellwände ist folgendes zu beachten:

Die akustische Wirkung von Stellwänden ist um so höher,

- je höher der Schirm im Vergleich zur Raumhöhe ist.
- (in der Regel ist eine Höhe von 1,8 m jedoch ausreichend)
- je besser die Absorptionsfähigkeit der Decke ist,
- je größer die Fläche der Stellwand ist,
- je besser die Stellwände an Wänden, Fenstern oder Schränken abschließen
- je kleiner ihr Abstand zur Schallquelle und/oder zum Empfänger ist und
- je höher die Absorptionsfähigkeit der Stellwand ist, die der Schallquelle zugewendet ist.

Die bei Stellwänden häufig anzutreffende Bodenfreiheit ist bei Abständen der unteren Kante bis zum Boden von weniger als 0,2 m ohne besondere Bedeutung.

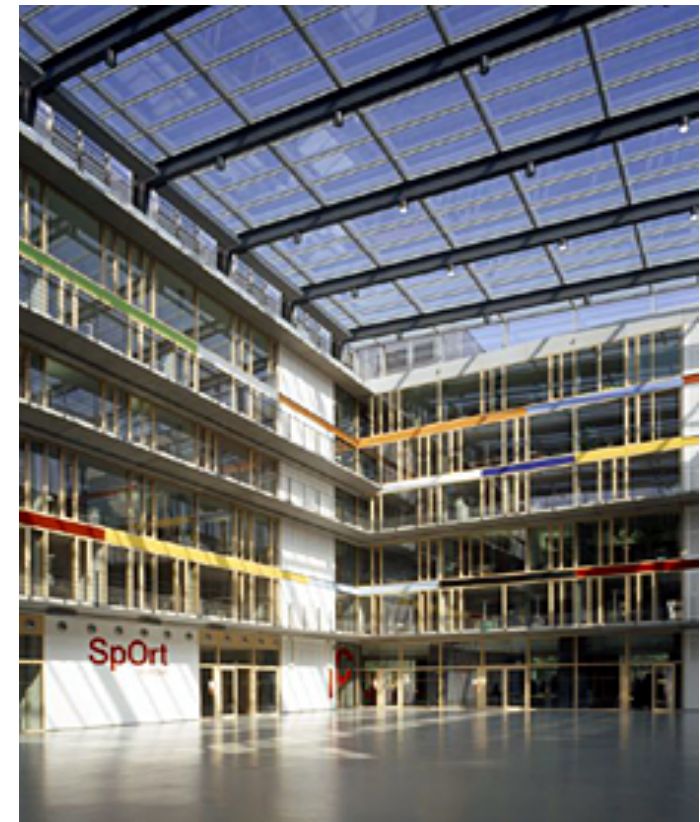


## Flure & Erschließungsflächen

Derartige Räume sollen ein möglichst niedriges Geräuschniveau erhalten, um zu vermeiden, daß durch Gespräche durchgehender Personen die Nutzung in den angrenzenden Räumen beeinträchtigt wird. Auch wenn die Flurwände zu Büros eine, der jeweiligen Nutzung entsprechenden, ausreichende Schalldämmung aufweisen, ist der Schalldämmmaß der Tür mit wirtschaftlichem Aufwand auch nicht annähernd auf diesen Standard zu bringen.

Mit einem gedämpften Flurbereich wird daher indirekt die Schalldämmung der Türen unterstützt.

Aus diesem Grunde empfiehlt sich z.B. ein Ergänzung zu einem textilen Bodenbelag eine raumakustische Abhangdecke mit  $\alpha \geq 0,6$  im Mittel.



## Literatur



## Akustik

- ◇ Möser M.  
**Technische Akustik**  
Springer-Verlag, Berlin 2005. 6. Auflage
- ◇ Kuttruff H.  
**Akustik - Eine Einführung**  
Hirzel, Stuttgart 2004.
- ◇ Müller, G., Möser M. (Hrsg.).  
**Taschenbuch der Technischen Akustik**.  
Springer-Verlag, Berlin 2004. 3., erweiterte und überarbeitete Auflage
- ◇ Christopher L Morfey  
**Dictionary of Acoustics**  
Academic Press, London 2001.
- ◇ Charles M. Salter Assoc. Ing.  
**Acoustics. Architecture - Engineering - The Environment**.  
William Stout Publishers. San Francisco 1998
- ◇ Crocker M. J. (Editor).  
**The Handbook of Acoustics**.  
John Wiley & Sons, New York 1998
- ◇ Crocker M. J. (Editor).  
**Encyclopedia of Acoustics**.  
Vol. 1 - 4. John Wiley & Sons, New York 1997
- ◇ Schmidt H.  
**Schalltechnisches Taschenbuch**.  
VDI Verlag, Düsseldorf 5. Aufl. 1996
- ◇ Irvine L.K., Richards R.L.  
**Acoustics and Noise Control Handbook for Architects and Builders**.  
Krieger Publishing, 1998
- ◇ Ando Y  
**Architectural Acoustics. Blending Sound Sources, Sound Fields, and Listeners**.  
Springer, AIP Press, 1998
- ◇ Kang J.,  
**Acoustics of long spaces**.  
Thomas Telford Publishing. 1998
- ◇ Tohyama, M., Suzuki Y., Ando Y.  
**The nature and technology of acoustic space**.  
Academic Press, San Diego CA, 1995
- ◇ Bobran H., Bobran I.  
**Handbuch der Bauphysik**.  
Vieweg Braunschweig 1995
- ◇ Jouhaneau J.  
**Acoustique des salles et sonorisation**.  
TEC & DOC Lavoisier, Paris 1997
- ◇ Maekawa Z., Lord P.y  
**Environmental and Architectural Acoustics**.  
E&FN Spon, London 1994
- ◇ Römer C.  
**Schall und Raum**.  
Eine kleine Einführung in die Raumakustik vde verlag, Berlin, 1994
- ◇ Acoustical Society of America.  
**Wallace Clement Sabine Centennial Symposium**.  
Cambridge Massachusetts USA 5 to 7 June 1994
- ◇ Templeton, T. (Editor)  
**Acoustics in the Built Environment. Advice for the Design Team**.  
Butterworth Architecture, Oxford 1993
- ◇ Moore J. E.  
**Design for Good Acoustics and Noise Control**.  
MacMillan Education Ltd, 1988
- ◇ Adam M.  
**Raum- und Bauakustik**  
Schweizer Baudokumentation, Blauen, 1985
- ◇ Cremer L., Müller H. A.  
**Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik**.  
2 Bände S. Hirzel-Verlag, Berlin, 1978

## Raumakustik - allgemein

- ◇ Fasold W., Veres E.  
**Schallschutz und Raumakustik in der Praxis**.  
Verlag für Bauwesen. 2003
- ◇ Schrickler, R.  
**Kreative Raum-Akustik für Architekten und Designer**. DVA, Stuttgart 2001
- ◇ Kuttruff H.  
**Room Acoustics**.  
Applied Science Publishers, London. 4th Edition 2000
- ◇ Cowan J.  
**Architectural Acoustics Design Guide**.  
McGraw-Hill, 2000
- ◇ Sendra J. J. (Editor)  
**Computational Acoustics in Architecture**.  
WIT Press 1999
- ◇ Mehta M., Johnson J. Rocafort J.  
**Architectural Acoustics. Principles and Design**.  
Prentice Hall, 1999
- ◇ Cavanaugh W. J.  
**Architectural Acoustics**  
Principles and Practice. John Wiley & Sons, 1998
- ◇ Apfel, R.  
**Deaf Architects and Blind Acousticians? A Guide to the Principles of Sound Design**.  
New Haven, Connecticut: Apple Enterprises Press, 1998.
- ◇ Blauert J. (Ed.)  
**Communication Acoustics**  
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2005
- ◇ Hellbrück J., Ellermeier W.  
**Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie**  
Hogrefe Verlag, 2., aktualisierte und erweiterte Auflage 2004
- ◇ Stickel A.  
**Faszination Gehör. Eine Entdeckungsreise in die Welt des Klangs. Funktion, Risiken, Schutz**.  
Ppv Medien 2003

## Psychoakustik - Hören

- ◇ Terhardt, Ernst  
**Grundlagen der akustischen Kommunikation.**  
Springer 1998
- ◇ Blauert J.  
**Räumliches Hören / Räumliches Hören. Nachschrift. Neue Ergebnisse und Trends seit 1972.**  
S. Hirzel Verlag, Berlin, 1974 und 1985

## Theater - Konzertsaal - Kirche

- ◇ Beranek Leo L.  
**How they Sound - Concert and Opera Halls.**  
Acoustical Society of America, 2nd edition, 2004
- ◇ Barron M.  
**Auditorium Acoustics and Architectural Design.**  
E. & FN SPON, London, (2005) 1993
- ◇ Meyer, Jürgen  
**Kirchenakustik**  
Bochinski 2002
- ◇ Weinzierl S.  
**Beethovens Konzerträume. Raumakustik und symphonische Aufführungspraxis.** Bochinsky 2001
- ◇ Ando Y, Nosen D. (Editors).  
**Music & Concert Hall Acoustics**  
Conference Proceedings from MCHA 1995. Academic Press, London 1997
- ◇ Izenour G.C.  
**Theatre Design.**  
Yale University Press, 1996
- ◇ Karlen R., Honegger A., Zelger-Vogt M.  
**Ein Saal in dem es herrlich klingt. Hundert Jahre Tonhalle Zürich.**  
Verlag Neue Zürich Zeitung, 1995
- ◇ Sáenz A.L., Arranz A.M. (Editors).  
**Proceedings of the Inter-national Conference on Acoustical Quality of Concert Halls. State of the Art and Research Trends.**  
Spanish Acoustical Society, 1994
- ◇ Wisniewski E.  
**Die Berliner Philharmonie und ihr Kammermusiksaal.**  
Gebr. Mann Verlag Berlin 1993
- ◇ Talaske R. H., Boner R. E. (Editors).  
**Theatres for Drama and Performance. Recent Ex-  
perience in Acoustical Design.**  
Acoustical Society of America, 1989
- ◇ Ham R.  
**Theatres. Planning Guidance for Design and Ad-  
aptation.**  
Butterworth Architecture, London, 1988
- ◇ Forsyth M.  
**Auditoria. Designing for the Performing Art.**  
Mitchell, London, 1987
- ◇ Skoda R.  
**Das Gewandhaus Leipzig.**  
Ernst, Leipzig 1986
- ◇ Ando Y.  
**Concert Hall.**  
Acoustics Springer Verlag 1985
- ◇ Talaske R. H., Wetherill E. A., Cavanaugh W. J.  
(Editors).  
**Halls for Music Performance Two Decades of Ex-  
perience**  
1962-1982 Acoustical Society of America, 1982.
- ◇ Jordan V.L.  
**Acoustical Design of Concert Halls and Theatres.**  
Applied Science Publishers, London, 1980
- ◇ Mackenzie Robin (Editor).  
**Auditorium Acoustics.**  
Applied Science Publishers Ltd, London 1975

## Musikproberäume

- ◇ **Music Accommodation in Secondary Schools.**  
Building Bulletin 86. Architects and Building  
Branch, Department for Education and Employment.  
London 1997
- ◇ McCue E., Talaske R. H. (Editors)  
**Acoustical Design of Music Education Facilities.**  
Acoustical Society of America, 1990

## Schulzimmer - Hörsaal

- ◇ Carl C. Crandell, Gary Siebein, Joseph J. Smaildino  
**Classroom Acoustics for Normal and Hearing-  
Impaired Children.**  
Delmar 2006
- ◇ Carl Crandell, Joseph Smaildino, Carol Flexer  
**Sound field amplification : applications to speech  
perception and classroom acoustics**  
Clifton Park, NY : Thomson Delmar Learning, 2005
- ◇ Ludowika Huber, Joachim Kahlert, Maria Klatte  
(Hg)  
**Die akustisch gestaltete Schule: Auf der Suche  
nach dem guten Ton.**  
Edition Zuhören Band 3, Vandenhoeck & Ruprecht  
2002.
- ◇ **Don't limit your senses**  
St. Gobain Ecophone AB 2002.
- ◇ Terhardt, Ernst  
**Grundlagen der akustischen Kommunikation.**  
Springer 1998
- ◇ Blauert J.  
**Räumliches Hören / Räumliches Hören. Nach-  
schrift. Neue Ergebnisse und Trends seit 1972.**  
S. Hirzel Verlag, Berlin, 1974 und 1985
- ◇ Beranek Leo L.  
**How they Sound - Concert and Opera Halls.**  
Acoustical Society of America, 2nd edition, 2004
- ◇ Barron M.  
**Auditorium Acoustics and Architectural Design.**  
E. & FN SPON, London, (2005) 1993
- ◇ Meyer, Jürgen  
**Kirchenakustik**  
Bochinski 2002
- ◇ Weinzierl S.  
**Beethovens Konzerträume. Raumakustik und  
symphonische Aufführungspraxis.** Bochinsky 2001
- ◇ Ando Y, Nosen D. (Editors).  
**Music & Concert Hall Acoustics**  
Conference Proceedings from MCHA 1995. Academic Press, London 1997
- ◇ Izenour G.C.  
**Theatre Design.**  
Yale University Press, 1996
- ◇ Karlen R., Honegger A., Zelger-Vogt M.  
**Ein Saal in dem es herrlich klingt. Hundert Jahre  
Tonhalle Zürich.**  
Verlag Neue Zürich Zeitung, 1995
- ◇ Sáenz A.L., Arranz A.M. (Editors).  
**Proceedings of the Inter-national Conference on  
Acoustical Quality of Concert Halls. State of the  
Art and Research Trends.**  
Spanish Acoustical Society, 1994
- ◇ Wisniewski E.  
**Die Berliner Philharmonie und ihr Kammermu-  
siksaal.**  
Gebr. Mann Verlag Berlin 1993
- ◇ Diverse Autoren Proceedings. Institute of Acoustics.  
Vol. 14: Part 2 (1992).
- ◇ **Acoustics, Architecture and Auditoria.**
- ◇ Diverse Autoren Proceedings. Institute of Acoustics.  
Vol. 14: Part 2 (1992).
- ◇ **Opera and concert halls.**
- ◇ Forsyth M., Dickreiter R. & M.  
**Bauwerke für Musik. Konzertsäle und  
Opernhäuser, Musik und Zuhörer vom 17. Jahr-  
hundert bis zur Gegenwart.**  
Saur, München 1991.
- ◇ Breton, Gaëlle.  
**Theater.**  
Karl Krämer Verlag Stuttgart + Zürich 1990 (Editi-  
ons de Moniteur)
- ◇ Diverse Autoren.  
**Auditorium s.**  
Editions de Moniteur, 1990.

- ◇ ASA  
**Classroom acoustics. A resource for creating learning environments with desirable listening conditions**  
Acoustical Society of America. Download:  
<http://asa.aip.org>. 2000
- ◇ Aschoff V.  
**Hörsaalplanung. Grundlagen und Ergebnisse der Auditorologie. Empfehlung für den Bau von Hörsälen.**  
Vulkan Verlag 1971
- ◇ Haase K., Senf M.  
**Materialien zur Hörsaalplanung.**  
HIS, Hannover 1995
- ◇ Glogau H.-U.  
**Der Konzertsaal. Zur Struktur alter und neuer Konzerthäuser.**  
Georg Olms Verlag, Hildesheim 1989
- ◇ Diverse Autoren.  
**Räume zum Hören.**  
arcus. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 1989
- ◇ Diverse Autoren.  
**Räume für Musik.**  
db deutsche bauzeitung 5/89.
- ◇ Schneider, W.  
**Sinn und Un-Sinn. Umwelt sinnlich erlebbar gestalten in Architektur und Design.**  
Bauverlag, Wiesbaden und Berlin, 1987

## Raumakustik - Musik

- ◇ Hall, Donald E.  
**Musikalische Akustik.**  
Schott, 1997
- ◇ Meyer J.  
**Akustik und musikalische Aufführungspraxis.**  
Verlag das Musikinstrument, Frankfurt am Main, 3. Auflage 1995
- ◇ Taylor Charles.  
**Der Ton mach die Musik. Die Wissenschaft von Klängen und Instrumenten.**  
Vieweg, Braunschweig 1994
- ◇ Klotz,  
**Hans Das Buch von der Orgel.**  
Bärenreiter-Verlag, Kassel, 1938, 1994
- ◇ Brüderlin R.,  
**Akustik für Musiker. Eine Einführung.**  
Gustav Bosse Verlag, Regensburg, 1978, 4. Auflage 1990
- ◇ Diverse Autoren.  
**Die Physik der Musikinstrumente.**  
Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg, 1988
- ◇ Dickreiter.  
**Musikinstrumente. Moderne Instrumente. Historische Instrumente. Klangakustik.**  
dtv/Bärenreiter. 1987
- ◇ Campbell M., Greate C..  
**The Musician's Guide to Acoustics.**  
J.M. Dent & Sons Ltd London, 1987
- ◇ Pierce J.R.  
**Klang. Musik mit den Ohren der Physik.**  
Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg, 1985
- ◇ Lottermoser W.  
**Orgeln, Kirchen und Akustik, Band 1 und 2.**  
Verlag das Musikinstrument, Frankfurt, 1983.
- ◇ Diverse Autoren.  
**Musik und Raum.**  
GS-Verlag, Basel, 1986
- ◇ Diverse Autoren.  
**Der hörbare Raum.**  
Daidolos (17)1985
- ◇ Begault, Durand R.  
**3D Sound for Virtual Reality and Multimedia.**  
AP Professional. Boston 1994
- ◇ Diverse Autoren.  
**Computer Modeling and Auralisation of Sound Fields in Rooms.**  
Applied Acoustics 38(1993) p. 89-355
- ◇ Diverse Autoren.  
**Auralisation.**  
J. Audio Eng. Soc. Vol. 41, No 11, Nov. 1993

## Raumakustik in Industrie und Büro

- ◇ SUVA.  
**Industrielle Raumakustik.**  
Bestellnummer 66008 d, SUVA, 6002 Luzern 1994
- ◇ VDI.  
**Schallausbreitung in Werkhallen; Schallschutz durch raumakustische Massnahmen.**  
VDI-Bericht Nr. 860, VDI-Verlag 1990
- ◇ VDI.  
**Neue Technologien und Materialien zum Schallschutz.**  
VDI-Bericht Nr. 437. VDI-Verlag 1982
- ◇ Akustik und das moderne Büro  
Ecophone AB 1998.

## Schallabsorber

- ◇ PTB  
α - Datenbank,  
PTB Braunschweig,  
<http://www.ptb.de/de/org/1/17/173/absttab.wf.xls>

## Der hörbare Raum

- ◇ Schrickler, R.  
**Kreative Raum-Akustik für Architekten und Designer.**  
DVA, Stuttgart 2001

- ◇ Lips, W.  
**Akustik für den Heizungs-, Lüftungs- und Klimaingenieur.**  
Anhang A: Tabelle Schallabsorptionskoeffizienten. Eigenverlag W. Lips, Emmenbrücke
- ◇ D'Antonio P., Cox Trevor  
**Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application.**  
Spon Press 2004
- ◇ Fuchs H., Zha X., Babuke G.  
**Schallabsorber und Schalldämpfer** .  
Springer, Berlin 2004
- ◇ Mechel, F.P.  
**Schallabsorber.**  
Band 1: Äußere Schallfelder, Wechselwirkungen. S. Hirzel, Stuttgart 1989 Band 2: Innere Schallfelder - Strukturen. S. Hirzel, Stuttgart 1995 Band 3: Anwendungen. S. Hirzel, Stuttgart 1998
- ◇ Ingard, U.  
**Sound Absorbing Technology.**  
Noise Control Foundation, Poughkeepsie, NY, 1994
- ◇ Ballou, G. (Editor).  
**Handbook for Sound Engineers.**  
The New Audio Encyclopedia. SAMS, USA, 1991
- ◇ Football Studio Advisory Design Council.  
**Stadium Public Address Systems.**  
Football Stadia Advisory Design Council, London 1991
- ◇ Albrecht F.-W., Mayer-Fasold C., Veit I.  
**Beschallungstechnik.**  
Kontakt & Studium Band 194, expert Verlag 1989
- ◇ Eargle J., Foreman C.  
**Audio Engineering for sound reinforcement**  
Hall Leonard Corporation, USA 2002
- ◇ Davis D., Davis C.  
**Sound System Engineering.**  
Second Edition. Howard W. Sams & Co., USA 1987
- ◇ Ahnert W., Reichert W.  
**Grundlagen der Beschallungstechnik.**  
S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1981

## Tonstudio

- ◇ Dickreiter M.  
**Mikrofon-Aufnahmetechnik.**  
S. Hirzel Verlag Stuttgart, 3. Auflage, 2003
- ◇ Grueneisen P.  
**Soundspace. Architektur für Ton und Bild**  
Birkhäuser 2003
- ◇ Shea Mike, Everst F. Alton.  
**How to Build a Small Budget Recording Studio.**  
**From Scratch .. with 12 Tested Designs**  
McGrawHill, 2002
- ◇ Henle H.  
**Das Tonstudio Handbuch**  
GC Carstensen Verlag, München, 2001
- ◇ Dickreiter M.  
**Handbuch der Tonstudioteknik.**  
Band 1 & 2 K.G. Saur, München 1987
- ◇ Baumann D., Breh K. Flury Roman, Godel Arthur, Jecklin J.  
**Mono - Stereo - Quadro.**  
Radio DRS, 1986

## Beschallung - Elektroakustik

- ◇ Conrad J. F.  
**Lexikon Beschallung Das gesamte Fachvokabular der Elektroakustik im Überblick.**  
Ppv Medien 2004
- ◇ Everst F. Alton  
**The Master Handbook of Acoustics.**  
McGraw-Hill 2001
- ◇ Ahnert W., Steffen F.  
**Beschallungstechnik. Grundlagen und Praxis.**  
S. Hirzel, Stuttgart 1993
- ◇ Zollner M, Zwicker E.  
**Elektroakustik.**  
Hochschultexte, Springer-Verlag, 1993

## Geschichte - Ältere Bücher zur Raumakustik

- ◇ Thompson Emily  
**The soundscape of modernity.**  
MIT Press Cambridge, Massachusetts, 2000
- ◇ Beyer Robert T.  
**Two hundred years of acoustics.**  
Springer, 1999.
- ◇ Ullmann D.  
**Chladni und die Entwicklung der Akustik von 1750-1860.**  
Birkhäuser, Basel 1996
- ◇ Aschoff V.  
**Über die Beschreibung des Echos durch Aristoteles.**  
Fabri Verlag, Ulm/Donau 1993
- ◇ Sabine W. C.  
**Collected Paper on Acoustics.**  
Peninsula Publishing, Los Altos, California 1992
- ◇ Reichhardt W.  
**Gute Akustik - aber wie?**  
Verlag Technik, Berlin, 1979
- ◇ Hunt F. V.  
**Origins in Acoustics. The Science of Sound from the Antiquity to the Age of Newton.**  
London, 1978
- ◇ Furrer W., Lauber A.  
**Raum- und Bauakustik.**  
Birkhäuser 1972
- ◇ Knudsen H.  
**Acoustical Designing in Architecture.**  
John Wiley & Sons, New York 1968
- ◇ Beranek Leo L. Music,  
**Acoustics & Architecture.**  
John Wiley & Sons, New York 1962
- ◇ Wiedefeld J.  
**Akustik in Mehrzwecksälen**  
Schrifttum Holz, Düsseldorf 1961

- ◇ Hanus K.  
**Raumakustik.**  
Werner Verlag, Düsseldorf 1959
- ◇ Bagnal H., Wood A.  
**Planning for Good Acoustics.**  
London, 1931
- ◇ SGA  
**SGA-Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache**  
Schweizerische Gesellschaft für Akustik, 2004.
- ◇ SGA  
**Beschallungsanlagen für Sprache. Empfehlungen für Architekten und Bauherren.**  
Schweizerische Gesellschaft für Akustik, 2001.

## Normen, Richtlinien

- ◇ BS 6259:1997.  
**British Standards: Code of practice for the design, planning, installation, testing and maintenance of sound systems.**
- ◇ BS 7594:1993.  
**British Standards: Code of practice for audio-frequency induction-loops systems (AFILS)**
- ◇ BS 7827: 1996.  
**British Standards: Code of practice for Designing, specifying, maintaining an operating emergency sound systems at sport venues.**
- ◇ DIN 15906.  
**Tagungsstätten**  
2003-05
- ◇ DIN 15996.  
**Elektronische Laufbild und Tonbearbeitung in Film**  
Video- und Rundfunkbetrieben. Anforderungen an den Arbeitsplatz.
- ◇ DIN 18041.  
**Hörsamkeit in kleinen bis mittleren Räumen**
- ◇ DIN EN ISO 9921  
**Ergonomie - Beurteilung der Sprachkommunikation (ISO 9921:2003)**
- ◇ DIN EN ISO 14257:2002.  
**Akustik - Messung und Parametrisierung von Schallausbreitungskurven in Arbeitsräumen zum Zweck der Beurteilung der akustischen Qualität der Räume.**
- ◇ EBU Tech. 3276 E.  
**Listening Conditions for the Assessment of Sound Programm Material: Monophonic and Two-Channel Stereophonie**  
European broadcast union, CH-1218 Grand-Saconnex
- ◇ EBU Tech. 3286 E.  
**Assessment methods for the subjective evaluation of the quality of sound programme materials.**  
European broadcast union, CH-1218 Grand-Saconnex
- ◇ EN ISO 354. **Measurement of sound absorption in a reverberation room.**
- ◇ FIFA.  
**Fussball Stadien. Technische Empfehlungen und Anforderungen.**  
[www.fifa.com](http://www.fifa.com).
- ◇ ISO/TR 4870:1991  
**Acoustics - The construction and calibration of speech intelligibility tests**
- ◇ SN EN 12354-6  
**Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaft von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 6: Schallabsorption in Räumen**
- ◇ SN EN ISO 3382:2000 **Akustik - Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter (ISO 3382:1997)**
- ◇ SN EN ISO 11654 \* SIA 181.087 **Akustik - Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden - Bewertung der Schallabsorption (ISO 11654:1997)**
- ◇ SN EN ISO 17624:2005  
**Akustik - Leitfäden für den Schallschutz in Büros und Arbeitsräumen durch Schallschirme.**
- ◇ SN EN 60268-16.  
**Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2003)**
- ◇ SN EN 60849:1998 IEC 60849:1998.  
**Tonsysteme für Notrufzwecke; Sound systems for emergency purposes.**
- ◇ SN EN 60118-4: 1998 IEC 60118-4: 1998.  
**Hörgeräte Teil 4: Magnetische Feldstärke in Sprachfrequenz-Induktionsschleifen für Hörgeräte.**
- ◇ SUVA  
**Raumakustische Richtwerte für Arbeitsräume.**  
SUVA, 6002 Luzern. Nr. 86048/1
- ◇ SUVA  
**Akustische Richt- und Grenzwerte II.**  
SUVA, 6002 Luzern. Nr. 86048/2.
- ◇ VD/2081 **Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumlufttechnischen Anlagen** Blatt 1 2001, Blatt 2 2005
- ◇ VDI 2569 **Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro.** 1990
- ◇ VDI 3760 **Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen.** 1996

## Tondokumente

- ◇ CD.  
**Dave Moulton's Golden Ear.** CD-based audio ear-training course for musicians, engineers and producers 4 Volumes 8 CDs  
DELTA Acoustics and Vibration Division, DK-2800 Lyngby Denmark

- ◇ CD.
- ◇ **Auditory Demonstrations IPO - NIU - ASA.** Philips 1126-061
- ◇ CD.
- ◇ **Audio Demo 3.** SUVA, Bereich Akustik, Luzern
- ◇ CD.
- ◇ **Anechoic Orchestral Music Recording.** Denon PG-6006 (vergriffen?)
- ◇ CD.
- ◇ **Music for Archimedes.** Bang & Olufson CD B&O 101
- ◇ CD.
- ◇ **EBU - Parameters for the subjective Evaluation of the Quality of Sound programme material.** EBU, CH-1218 Grand-Saconnex
- ◇ CD-ROM. Sethares W. A., **Tunig, Timbre, Spectrum, Scale.** Springer 1997
- ◇ CD. Max Adam.
- ◇ **Beispiele zur Raum- und Bauakustik.** Schweizer Baudokumentation, Blauen, 1985
- ◇ **Applied Acoustics.** Applied Science Publishers Ltd. London

## Konferenzen

- ◇ **ICA.** Internationaler Kongress für Akustik Meeting of the
- ◇ **ASA.** Acoustical Society of America, American Institute of Physics, New York
- ◇ **Forum Acusticum.** Convention of the European Acoustics Association - EAA.
- ◇ **AES Convention.** Audio Engineering Society
- ◇ **DAGA.** Tagung der Deutschen Gesellschaft für Akustik
- ◇ **VDT-Tonmeistertagung.** Verband deutscher Tonmeister
- ◇ **internoise.** International Congress on Noise Control

## Gesellschaften

- ◇ **SGA** Schweiz, Schweizerische Gesellschaft für Akustik, <http://www.sga-ssa.ch>
- ◇ **DEGA** Deutsche Gesellschaft für Akustik, <http://www.dega-akustik.de>
- ◇ **EAA** European Acoustics Association, <http://www.eaa-fenestra.de>
- ◇ **ASA** Acoustical Society of America, <http://asa.aip.org/>
- ◇ **AES** Audio Engineering Society, <http://www.aes.org/>  
Swiss Section: <http://www.swissaes.org/>
- ◇ **VDT** Verband Deutscher Tonmeister, <http://www.tonmeister.de/>

## Zeitschriften

- ◇ **ACUSTICA + acta acoustica.** S. Hirzel Verlag, Stuttgart (seit 1996)
- ◇ **ACUSTICA.** S. Hirzel Verlag, Stuttgart (bis Ende 1995)
- ◇ **acta acoustica.** Les éditions de physik. Les Ulis Cedex (F) (bis Ende 1995)
- ◇ **The Journal of the Acoustical Society of America (JASA).** Acoustical Society of America, American Institute of Physics, New York Building Acoustics Multi Science Publishing, Brentwood Essex
- ◇ **Journal of the Audio Engineering Society.** Audio Engineering Society AES, New York