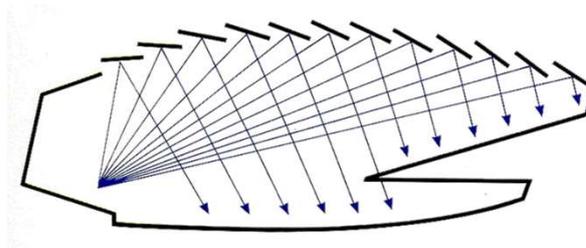


## Grundlagen der Raumakustik



Prof. Oliver Curdt  
Audiovisuelle Medien  
HdM Stuttgart

## Schallausbreitung im Raum

- Reflexion
- Absorption
  - Dissipation (Wärmeumwandlung)
  - Transmission (Durchlass)
- Beugung
- Brechung
  - Übergang in anderes Medium  
⇒ unterschiedl. Ausbreitungsgeschwindigkeiten

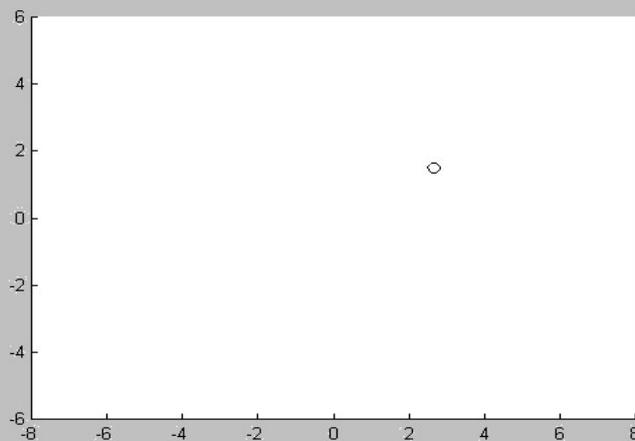
## Schallausbreitung im Raum

- Modell der Strahlverfolgung
- Modell mit Spiegelschallquellen
- Nachbildung des Schallfeldes mit WFS

Prof. Oliver Curdt

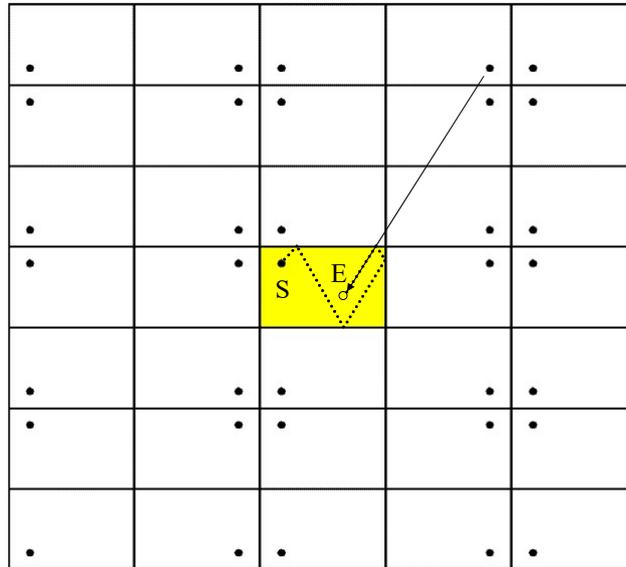
## Kugelschallquelle im Rechteckraum ( $\alpha = 0\%$ ) Impuls startet zur Zeit $t = 0$ , Strahlverfolgung

$$r = c \cdot t,$$
$$c = 343 \text{ m/s}$$

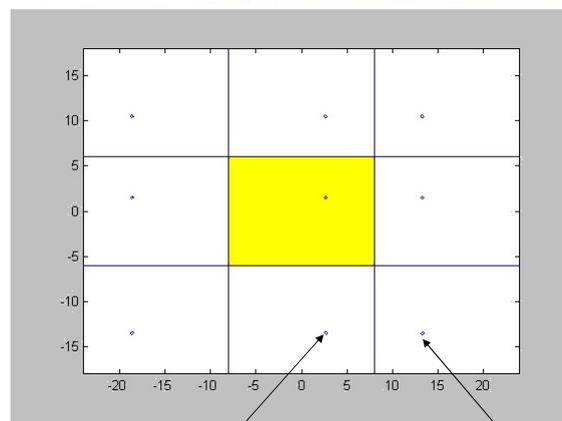


Prof. Oliver Curdt

## Spiegelschallquellen im ebenen Rechteckraum



## 8 Spiegelschallquellen im ebenen Rechteckraum



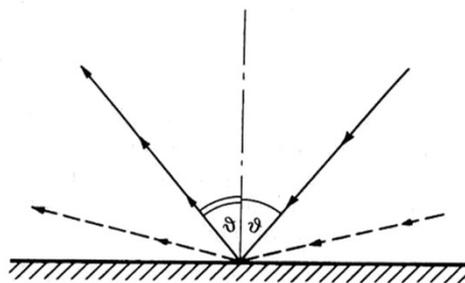
Prof. Oliver Curtt

Quelle 1.Ordnung

Quelle 2.Ordnung

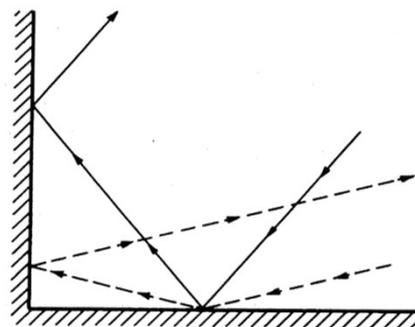
## Reflexion an ebenen Flächen

- Reflexion bei hinreichend großer Fläche
  - Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel  
( $\Rightarrow$  Wellencharakter)
  - Schallverlauf / Reflexionen beeinflussbar



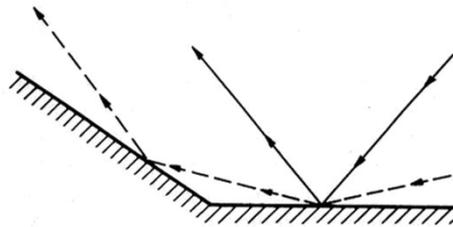
## Reflexion an ebenen Flächen

- Reflexion an zwei senkrechten Wänden:
  - doppelte Reflexion
  - Einfalls- und Ausfallsrichtung stets genau entgegengesetzt
  - Effekt unabhängig vom Einfallswinkel



## Reflexion an ebenen Flächen

- zwei Wände im stumpfen Winkel:
  - z. B. 6- oder 8-eckiger Raum
  - zwei Reflexionen nur bei flachem Einfallswinkel
  - Grenzfall, parallel
- ⇒ keine Reflexionen in Nähe der Winkelhalbierenden
- ⇒ Reflexionen hauptsächlich in Wandnähe



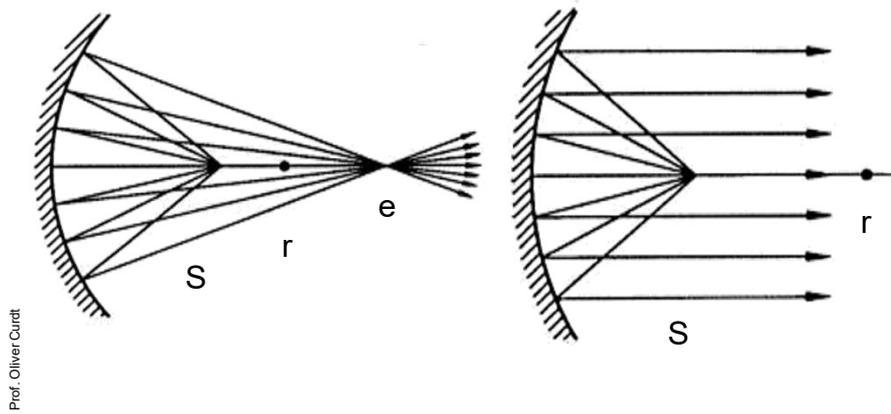
Prof. Oliver Curdt

## Reflexion an gewölbten Flächen

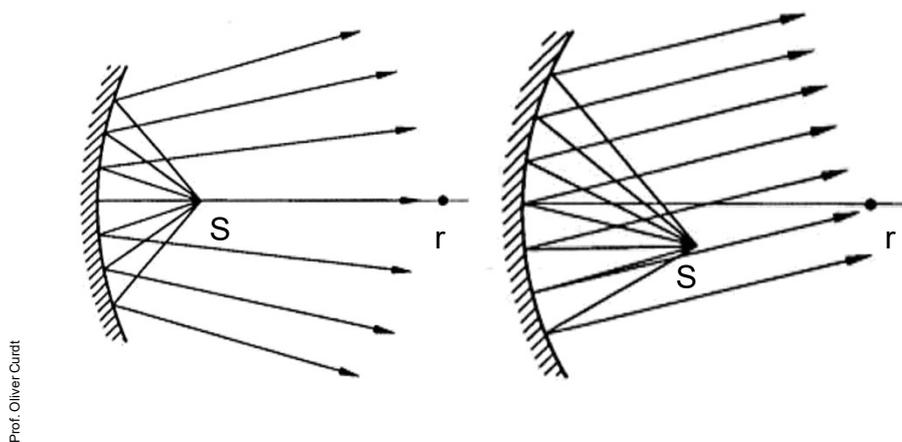
- gewölbte Wandflächen  $\triangleq$  optische Hohlspiegel
- Fokussierungseffekte
- schallzerstreuende Wirkungen
- $1/S + 1/e = 2/r$ 
  - S Abstand Sender-Wand
  - e Abstand Brennpunkt-Wand
  - r Krümmungsradius der Wand

Prof. Oliver Curdt

## Reflexion an gewölbten Flächen



## Reflexion an gewölbten Flächen



## Reflexion an gewölbten Flächen

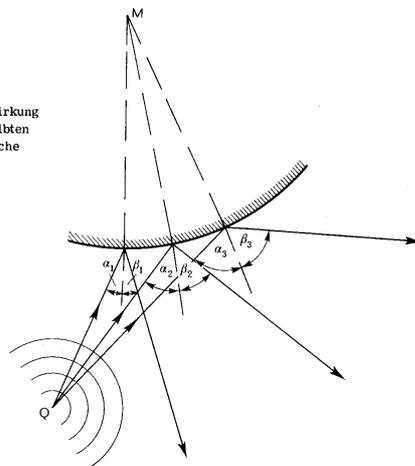
- ⇒ Gefahr von Inhomogenität an einzelnen Stellen im Raum durch Fokussierungen
- Balanceverschiebungen
- in Konzertsälen unerwünscht !!!
- nützlich für Sprachverständlichkeit in überakustischen Räumen (z. B. Kirchen)

Prof. Oliver Cürdt

Quelle: Jürgen Meyer, Kirchenakustik

## Reflexion an gewölbten Flächen

Schallzerstreuende Wirkung  
einer nach innen gewölbten  
Wand- oder Deckenfläche



Prof. Oliver Cürdt

## Einfluss der Wellenlänge

- Voraussetzung für Reflexion: hinreichend große Fläche bezogen auf die Wellenlänge
  - ⇒ mindestens mehrere Wellenlängen
  - ⇒ sonst Schallbeugung um das Hindernis bzw. Teilreflexion
- Wand mit Breite von 3 Wellenlängen:
  - ⇒ kurzer Schallschatten auf der Rückseite, fast vollständige Reflexion

Prof. Oliver Curdt

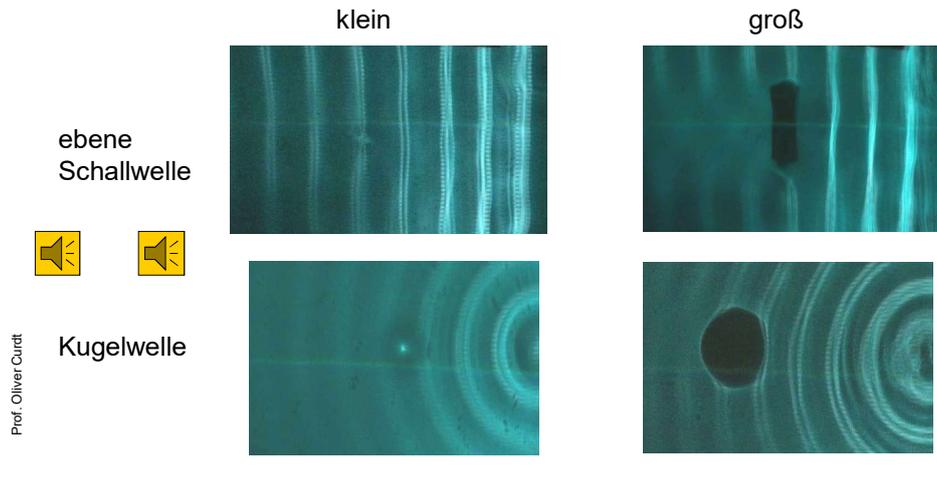
## Einfluss der Wellenlänge

- Wand mit Breite von 1 Wellenlänge:
  - ⇒ sehr wenig Reflexion, fast vollständige Beugung um das Hindernis
- ⇒ akustische Wirkung von Reflektoren oder Hindernissen ist frequenzabhängig (tiefe f weit hörbar)

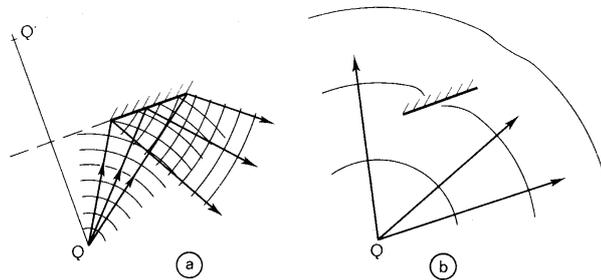
Prof. Oliver Curdt

## Einfluss der Wellenlänge

Hindernisse im Schallfeld im Vergleich mit der akustischen Wellenlänge



## Einfluss der Wellenlänge



- Schallwellen beim Auftreffen auf eine kleine Reflexionsfläche,
- Schallanteile mit kurzen Wellenlängen, d.h. hohen Frequenzen, werden reflektiert,
  - Schallanteile mit großen Wellenlängen, also tiefen Frequenzen, werden gebeugt

## Wirkungsbereich von Reflektoren

- reicht zu umso tieferen Frequenzen herab
  - je größer der Reflektor ist
  - je kleiner der Abstand zur Schallquelle ist
  - je kleiner der Abstand zum Hörer ist
  - je steiler der Schall auf den Reflektor auftrifft

## Wirkungsbereich von Reflektoren

- hinreichende Masse für Wirkungsweise:
  - mittlere und hohe  $f$  (z. B. Sprache / Gesang):
    - ⇒ Flächengewicht  $10 \text{ kg/m}^2$
    - ⇒ 12 mm starke Holzplatte
  - Bassregion (Musik):
    - ⇒ Flächengewicht  $40 \text{ kg/m}^2$
    - ⇒ 50 mm starke Holzplatte

## Reflektoren über der Bühne



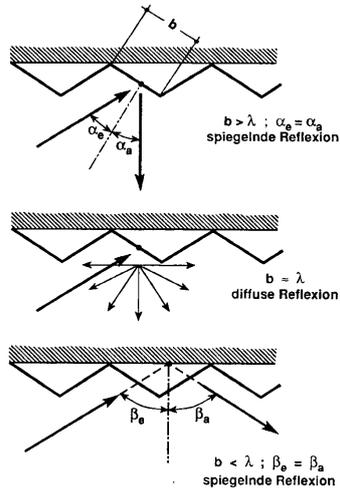
Prof. Oliver Curdt

## Wirkungsbereich von Reflektoren

- strukturierte Flächen mit Profil
  - glatte Wand für tiefe  $f$  (geometrische Mittelebene)
  - Einzelflächenreflexion für hohe  $f$
  - Diffusreflexion für mittlere  $f$
  - stärkste Diffusreflexion, wenn Tiefe der Struktur in Größenordnung  $\frac{1}{4} \dots \frac{1}{2}$  Wellenlänge
  
- $\Rightarrow$  Dreiteilung des Frequenzbereiches für zu unterschiedlicher Klangfärbung

Prof. Oliver Curdt

## Reflexionen an strukturierten Flächen



Prof. Oliver Curtit

Reflexionsverhalten bei verschiedenen Wellenlängen

hohe Frequenzen

mittlere Frequenzen

tiefe Frequenzen

## Reflexionen an strukturierten Flächen



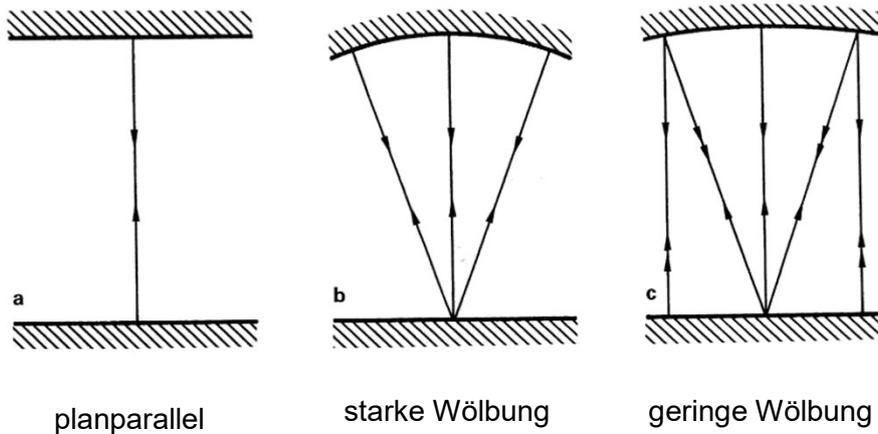
Prof. Oliver Curtit

## Reflexionen an strukturierten Flächen



Prof. Oliver Curtt

## Mehrfachreflexionen



Prof. Oliver Curtt

## Wirkungsbereich von Reflektoren

- Impulsfolge bei stufenförmigen Strukturen

- $\Rightarrow$  empfundene Tonhöhe,  $f$  entspricht  $\frac{1}{2} \lambda$  der Tiefe der einzelnen Stufen

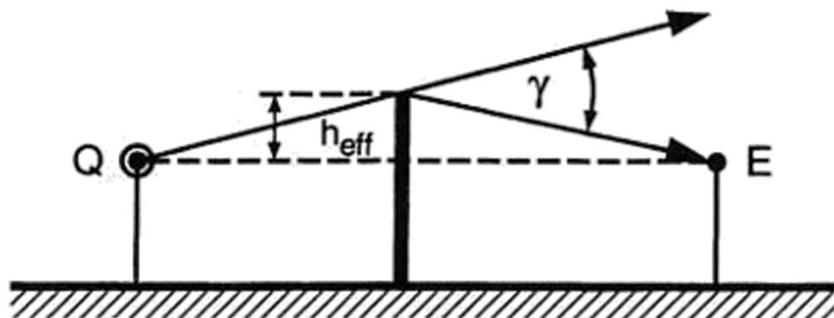
- Impuls   $\Rightarrow$  Flatterecho 

Prof. Oliver Curdt

Quelle: Jürgen Meyer, Akustik und musikalische Aufführungspraxis

## Einfluss einer Brüstung / Wand

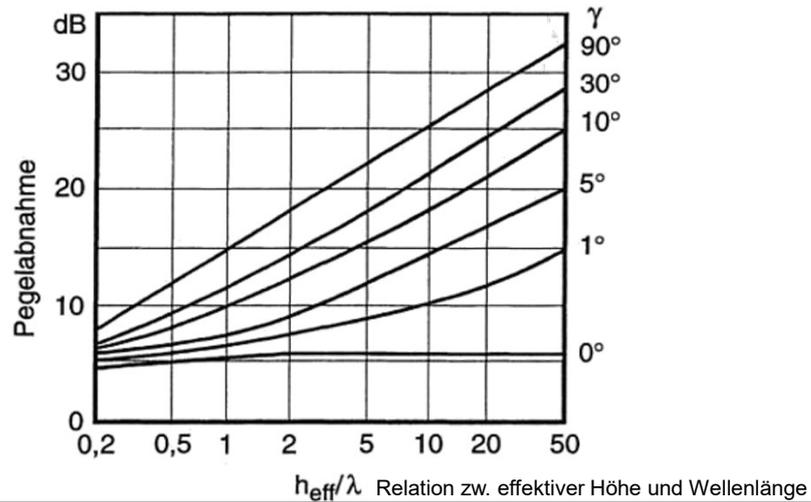
- abschattende Wirkung



Prof. Oliver Curdt

## Einfluss einer Brüstung / Wand

Prof. Oliver Cürdt



## Einfluss der Wellenlänge

- $0^\circ \Rightarrow 5 \dots 6$  dB Abschattung durch Energieumleitung, Beugung
- Stärke der Abschattung variiert
  - bei kleinen Winkeln sehr stark ( $0^\circ \dots 10^\circ$ )
  - relativ wenig im Bereich  $10^\circ \dots 90^\circ$
- Anwendungsbeispiele:
  - Trennwände in Aufnahmerräumen
  - Schallschutzmauern
  - Orchestergraben in einem Opernhaus

Prof. Oliver Cürdt

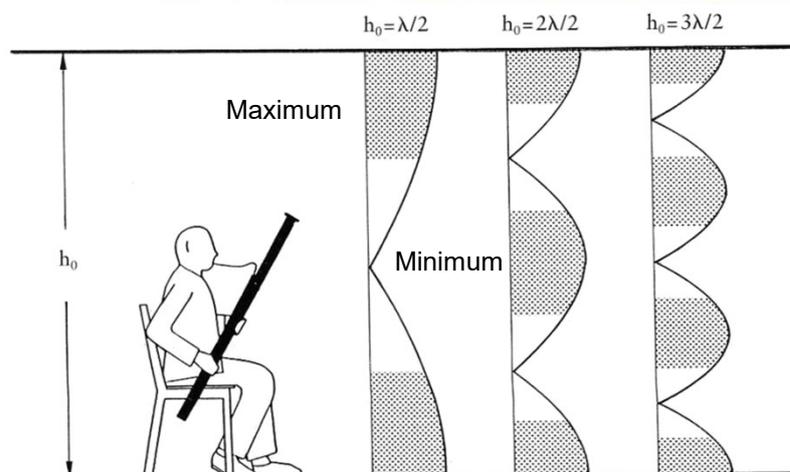
## „Stehende“ Wellen

- Reflexion zwischen planparallelen Wänden
- Schallwellen werden in sich selbst zurückreflektiert
- Auslöschungen bzw. Addition wenn Wandabstand =  $\frac{1}{2} \lambda \cdot n$  mit  $n = 1, 2, 3, \dots$ 
  - $\Rightarrow$  geringfügiges Verschieben des Mikrofons
- Minima, Maxima
- Flatterechos bei Impulsen

Prof. Oliver Curtt

Quelle: Jürgen Meyer, Kirchenakustik

## „Stehende“ Wellen



Prof. Oliver Curtt

## „Stehende“ Wellen

- Optimalmaße für Rechteckräume:
    - $h : b : t = 1 : 1,26 : 1,59$  oder  $1 : 1,59 : 2,52$   
 ⇒ entspricht etwa dem Schwingungsverhältnis einer Terz
  - $d = n \cdot \lambda / 2$  ;  $c = \lambda \cdot f$  ;  $d = n \cdot c / (2f)$
  - Raum 1    6,39 m x 4,02 m x 2,53 m  
               ⇒  $n \cdot 27$  Hz     $n \cdot 43$  Hz     $n \cdot 68$  Hz
  - Raum 2    4,02 m x 4,02 m x 4,02 m  
               ⇒  $n \cdot 43$  Hz     $n \cdot 43$  Hz     $n \cdot 43$  Hz
- ⇒ weniger Frequenzen aber mit stark erhöhtem Pegel !!!

<https://trikustik.at/raummoden-rechner/>

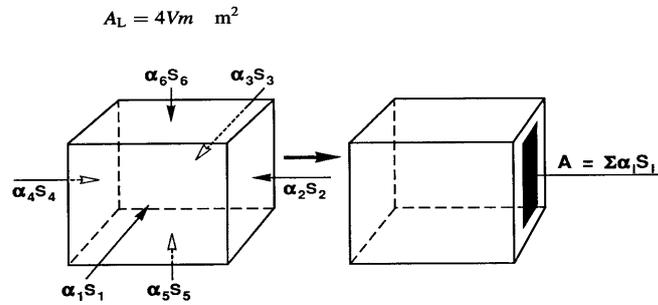
Prof. Oliver Curodt

## Absorption

- Dämpfung: Schallrückwürfe mit reduzierter Amplitude
  - $\triangleq$  dunkle Flächen in der Optik mit wenig Reflexion
- $A = \alpha \cdot S$
- $\alpha$  Absorptions**grad** (⇒ Leistung, Energie)
  - frequenzabhängig
  - Prozentsatz der absorbierten Energie
- A Absorptionsvermögen in  $m^2$ 
  - „Schallschluckung“ einer Fläche oder deren  $\Sigma$
  - Fläche für „offenes Fenster“
- S Größe der Fläche mit  $\alpha$

Prof. Oliver Curodt

# Äquivalente Absorptionsfläche



**A = Fläche eines offenen Fensters im total reflektierenden Raum**

weitere Absorptionsursachen werden zu A addiert:

**Einzelabsorber** mit  $A_n$  z.B. einzelne Personen

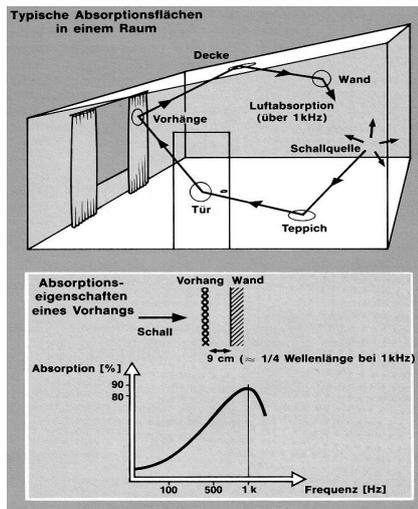
**Ausbreitungsdämpfung** in Luft  $A_L$

$m$  Energiedämpfungskonstante ( in  $m^{-1}$ )

$$T_{60} / s = 0,163 \cdot \frac{V / m^3}{A / m^2}$$

Prof. Oliver Curtit

# Absorptionsflächen



Prof. Oliver Curtit

## Absorption

### Vorhänge:

- vorzugsweise Höhenabsorber
- wirksam für alle  $f$  bei Wandabstand  $> \frac{1}{4} \lambda$   
 $\Rightarrow \frac{1}{4} \lambda + \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{2} \lambda$
- schwerer Stoff nötig, ca.  $300 \text{ g/m}^2$
- Vorhang sollte in Falten hängen
- $f_U = 8500 / d$  z. B.  $f_U = 283 \text{ Hz}$  für  $d = 30 \text{ cm}$
- $\Rightarrow f_U$  untere Grenzfrequenz in Hz
- $\Rightarrow d$  Wandabstand in cm

Prof. Oliver Cürdt

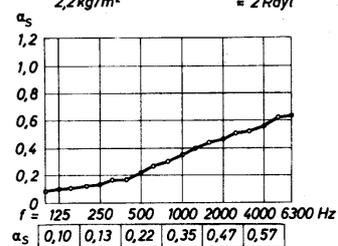
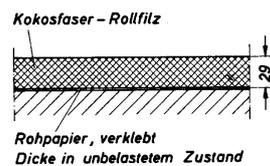
Quelle: Tabelle des Deutschen Normenausschusses (DNA)

## Absorption

### Höhenabsorber: poröser Struktur ( $f_g$ )

Kokosfaser - Rollfilz a3.1-1

$2,2 \text{ kg/m}^2$   $= 2 \text{ Rayl}$



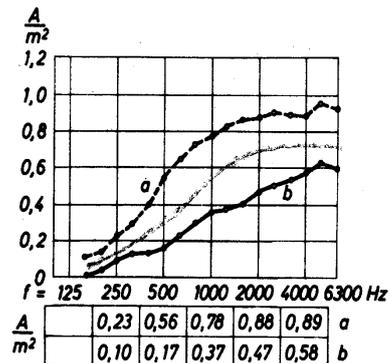
Prof. Oliver Cürdt

## Absorption durch Personen

Einzelpersonen, sitzend

m - 3

Absorptionsfläche der Stühle ist zur Absorptionsfläche des Leerraums hinzugeschlagen.  
Männliche Personen (a) im Anzug, weibliche Personen (b) im Sommerkleid



Prof. Oliver Cürdt

## Absorption

- Publikumsabsorption bei 1,5 Pers/m<sup>2</sup>

f in Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0,2	0,4	0,8	0,85	0,95	0,9

- Schallausbreitung über Publikumsreihen hinweg
  - Höhe der Schallquelle  $\Rightarrow$  Bühnenhöhe
  - ansteigende Publikumsreihen
- Orgel:  $\alpha \approx 0,55 \dots 0,6$  (125 ... 4000 Hz)

Prof. Oliver Cürdt

## Absorption

- Publikum  $f_g \approx 500$  Hz

- besetzte Fläche wichtiger als Sitzdichte

Verteilung von 200 Personen auf eine Fläche von	Absorptionsvermögen bei 1000 Hz
100 m <sup>2</sup>	95 m <sup>2</sup>
200 m <sup>2</sup>	140 m <sup>2</sup>
300 m <sup>2</sup>	165 m <sup>2</sup>

Prof. Oliver Curdt

## Absorption

- gelegentlich  $\alpha > 1$ , d. h.  $> 100\%$

- Gründe in der praktischen Anwendung:

- wirksame Fläche eines Absorbers etwas größer als seine geometrische Fläche.

- Kantenflächen fließen in die Berechnung des Absorptionsgrades zusätzlich zur Absorptionsleistung der Oberfläche

Prof. Oliver Curdt

## Absorption

- Tiefenabsorber: schwingungsfähige Platte vor Hohlraum (als Feder)
  - Feder-Masse-System
  - Helmholtzresonator
  
  - Luft in der Öffnung: mitschwingende Masse
  - Luft im Hohlraum: akustische Feder
  
  - hohe Energieentnahme bei Anregung der Resonanzfrequenz  
→ schmalbandige Wirkung

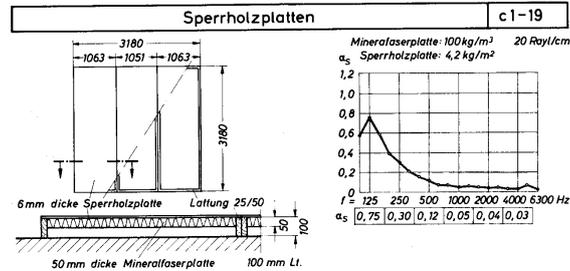
Prof. Oliver Curdt

## Absorption

- Tiefenabsorber:
  - reflektiert hohe  $f$
  - Frequenzbereich max. Absorption desto tiefer
    - ⇒ je tiefer der Hohlraum
    - ⇒ je schwerer die Platte
  
  - ⇒ noch besserer Wirkungsgrad, wenn Hohlraum mit Mineralfaserwolle bedämpft ist

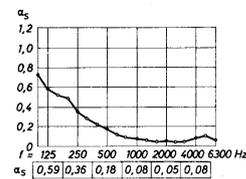
Prof. Oliver Curdt

## Tiefenabsorber



c1-20

Prüfanordnung wie c1-19, aber Luftraum  
vollständig mit Mineralfaserplatten ausgefüllt



## Absorption

- poröser Tiefenabsorber (massiv, ohne Hohlraum)
  - Positionierung idealerweise in Ecken von Räumen, weil dort am meisten Druckstau  
→ Eckenabsorber, Bassfallen
  - große Materialdicke für  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge nötig

# Absorption

## Mittenabsorber:

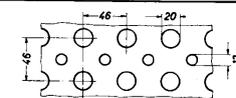
- höher abgestimmter Tiefenabsorber (250 ... 500 Hz)
- dünne Platten
- Hohlraum mit geringerer Tiefe, durch Schlitze oder Löcher zum Raum hin geöffnet  
⇒ Verkleinerung der schwingenden Masse

Prof. Oliver Curtt

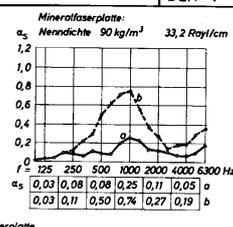
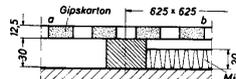
Quelle: Tabelle des Deutschen Normenausschusses (DNA)

# Mittenabsorber

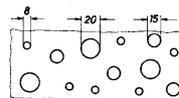
Gipskarton – Lochplatte **b.2.1-1**



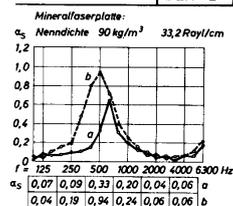
20,2% Lochflächenanteil  
a) ohne Hinterlegung  
b) mit Mineralfaser-Hinterlegung, Nenndicke 20mm



**b.2.1-2**

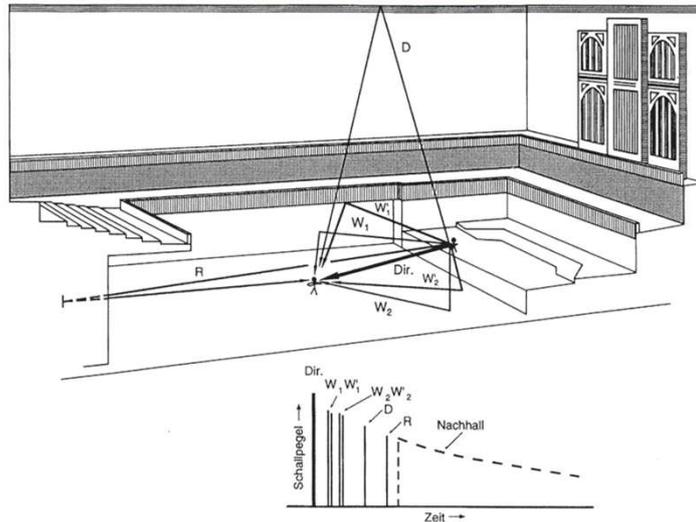


6% Lochflächenanteil  
Lochung unregelmäßig  
Aufbau der Prüflfläche wie b.2.1-1  
a) ohne Hinterlegung  
b) mit Mineralfaser-Hinterlegung,  
Nenndicke 20 mm



Prof. Oliver Curtt

## Nachhall im Raum



Prof. Oliver Curdt

## Nachhall

- Raumreaktion nach „Abschalten“ der Schallquelle
- Schallrückwürfe in zeitlich immer dichter werdender Folge
- Nachhalldauer (subjektiv), abhängig von Ausgangs- und Störpegel, unabhängig von Schallquelle

Prof. Oliver Curdt

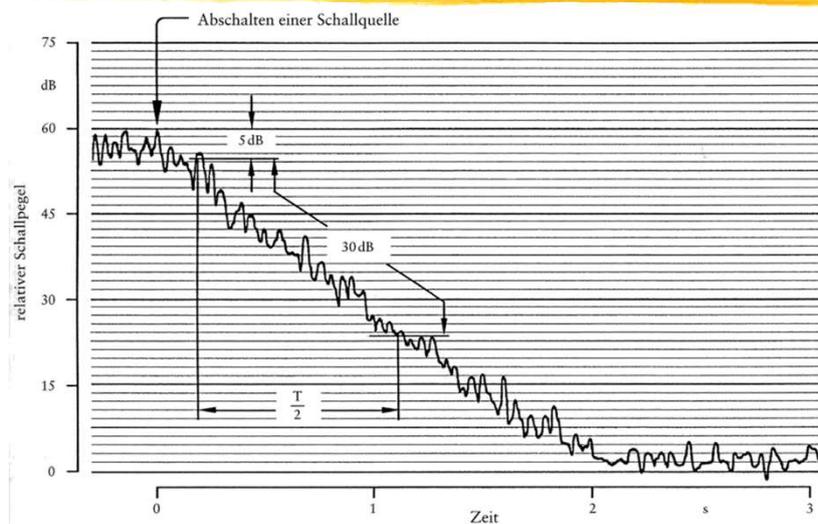
# Nachhall

- „Sabinesche“ Nachhallzeit  $T_{60}$ 
  - Wallace Clement Sabine (1868 – 1919), amerikanischer Physiker
  - - 60 dB gegenüber Anfangswert  
⇒ Dynamik großes Orchester
- Nachhallzeit
  - Diffusschallfeld erforderlich
- Abklingzeit
  - relevant für kleine Räume

Prof. Oliver Curtt

Quelle: Jürgen Meyer, Akustik und musikalische Aufführungspraxis

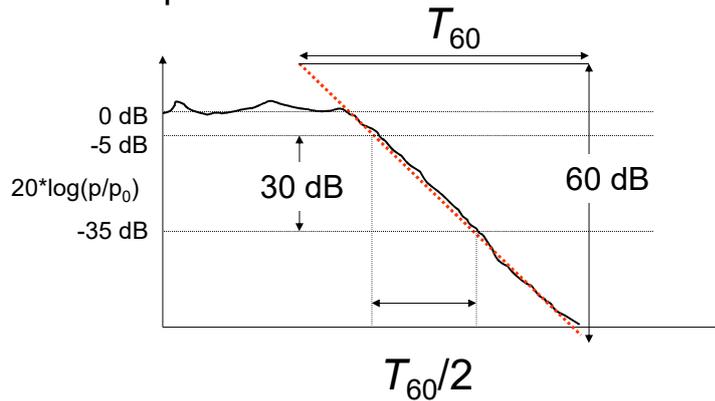
# Nachhall



Prof. Oliver Curtt

## Nachhallzeiten

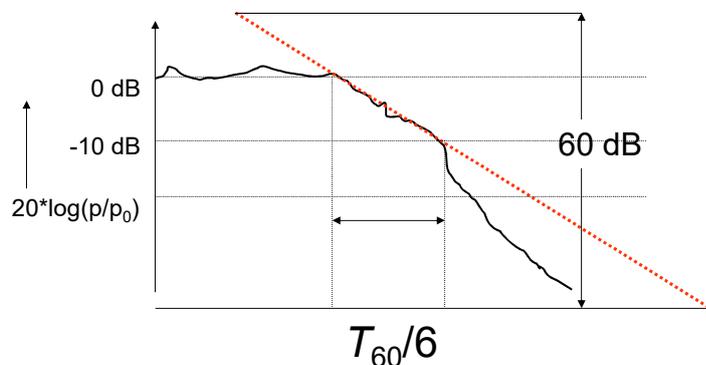
- $T_{30}$ , Pegelverlauf nach Abschalten der Schallquelle



Prof. Oliver Curdt

## Nachhallzeiten, Early Decay Time

- Definition: Pegelabfall um 10 dB unmittelbar nach Abschalten der Quelle
- $EDT$ , stärker ortsabhängig als  $T_{30}$



Prof. Oliver Curdt

## Nachhall

- in der Praxis
  - 30 dB Pegelabfall ab 5 dB unter Maximum, Faktor 2
  - 10 dB Pegelabfall (Early Decay Time, EDT) für musikalische Feinstruktur
  
- Nachhallzeit abhängig von
  - Stärke der einzelnen Reflexionen
  - zeitlicher Abstand zwischen den einzelnen Reflexionsvorgängen („freie Weglängen“)
  - Frequenz, hohe  $f$  zusätzlich Dissipationsverluste während Schallausbreitung

Prof. Oliver Curdt

## Nachhall und Anhall

- grundsätzlich:
  - Frequenzabhängigkeit hat große Bedeutung für subjektiven Klangeindruck
    - ⇒ Klangfarbenänderung beim Ausklingen
    - ⇒ Anstieg von  $T_s$  bei tieferen  $f$  kommt dem menschlichen Gehör entgegen
  
- Einschwingzeit ⇒ Anhall eines Raumes (- 3 dB)  
< 1/20 Nachhallzeit

Prof. Oliver Curdt

## Nachhall

- Sabinesche Nachhallformel:  $T = 0,163 \cdot V / A$ 
  - T in s, V in  $m^3$ , A in  $m^2$  ( $\Sigma$  der A-Werte aller Flächen)
- menschlichen Wahrnehmbarkeitsgrenzen:
  - etwa 0,02 s, bei  $T < 0,8$  s
  - etwa 0,1 s, bei  $T > 0,8$  s, dann etwas ansteigend

## Beurteilungskriterien für Raumklang

- Nachhallzeit und Frequenzgang
- Bündelung
  - Fokussierung des Direktschalls auf die Zuhörer
- Diffusität
- Ruhegeräusch und Fremdgeräusche

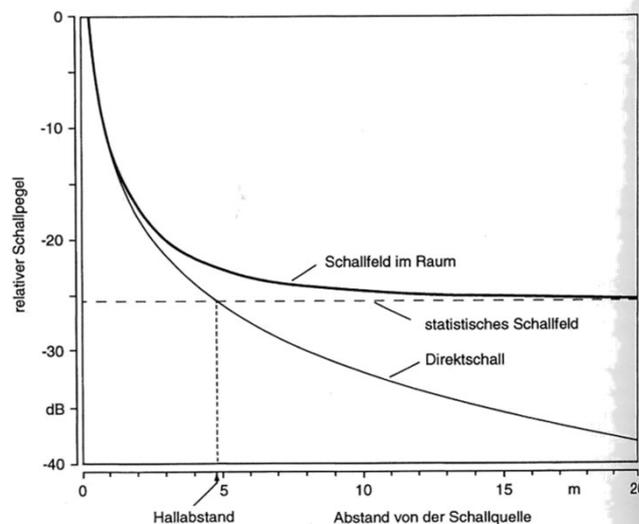
## Nachhallzeiten verschiedener Räume

■ Sprecherstudio	0,3 s
■ Hörspielstudio	0,3 ... 0,6 ... 1,2 s
■ großes Fernsehstudio	0,8 s
■ Saal Sprache	0,7 ... 1,2 s
■ Oper	1,5 s
■ Konzertsaal (Orchester)	2,0 s
■ Kirchen	2,5 ... 3,0 ... 12 ... s

Prof. Oliver Curtt

Quelle: Jürgen Meyer, Akustik und musikalische Aufführungspraxis

## Schallfeld



Prof. Oliver Curtt

## Hallradius / Hallabstand

- Direktschall + statistisches Schallfeld  
= Schallfeld im Raum

- $r_H = 0,057 \cdot \Gamma_{st} \cdot \sqrt{(V / T)}$

- $r_H$  Hallradius / Hallabstand in m  
⇒ unabhängig von Leistung der Schallquelle
- $\Gamma_{st}$  statistischer Richtfaktor der Schallquelle
- $V$  Raumvolumen in  $m^3$
- $T$  Sabinesche Nachhallzeit in s

## Hallradius / Hallabstand

- Hallradius = Hallabstand für  $\Gamma_{st} = 1$
- ca. 5 ... 6 m als Größenordnung für Konzertsaal  
bei mittleren Frequenzen
- bei  $3 \cdot r_H$  ist der Direktschall ca. 10 dB unter dem  
statistischen Schallfeld  
⇒ erste Wellenfront („Haas-Effekt“)  
⇒ Lokalisation noch möglich

## Hallradius / Hallabstand

### ■ Hallabstand für Trompete im Konzertsaal:

Frequenz	frontaler Abstand	max. seitr. Ausdehnung
500 Hz	5 m	10 m
2 kHz	12 m	12 m
10 kHz	38 m	18 m



## 1. Beispielrechnung für $T_{60}$

### ■ Regieraum: 6,39 m • 4,02 m • 2,53 m

$$\Rightarrow V = 65 \text{ m}^3$$

■ Holzdecke  $\alpha = 0,03$  ;  $S = 6,39 \text{ m} \cdot 4,02 \text{ m} = 25,7 \text{ m}^2$

■ Linoleumboden  $\alpha = 0,03$  ;  $S = 25,7 \text{ m}^2$

■ Tapete  $\alpha = 0,1$

$$S = 2 \cdot (6,39 \text{ m} + 4,02 \text{ m}) \cdot 2,53 \text{ m} = 52,7 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \text{Nachhallzeit } T_{60} = 1,55 \text{ s}$$

$$\Rightarrow \text{Hallradius } r_H = 0,37 \text{ m}$$

## 2. Beispielrechnung für $T_{60}$

■ modifizierter Regieraum: 6,39 m • 4,02 m • 2,53 m  
⇒  $V = 65 \text{ m}^3$

■ Deckenplatten  $\alpha = 0,6$  ;  $S = 25,7 \text{ m}^2$

■ Teppichboden, schwer  $\alpha = 0,2$  ;  $S = 25,7 \text{ m}^2$

■ Wandplatten  $\alpha = 0,4$  ;  $S = 52,7 \text{ m}^2$

⇒ Nachhallzeit  $T_{60} = 0,25 \text{ s}$

⇒ Hallradius  $r_H = 0,92 \text{ m}$

Prof. Oliver Curtt

## Zeitlicher Aufbau des Schallfeldes

■ Direktschall:

■ Deutlichkeit (z. B. Sprache, schnelle Tonfolgen)

■ Durchsichtigkeit des Klangbildes

■ räumliche Aufstellung der Musiker, 1. Wellenfront

■ Lokalisation

■ Entfernungseindruck

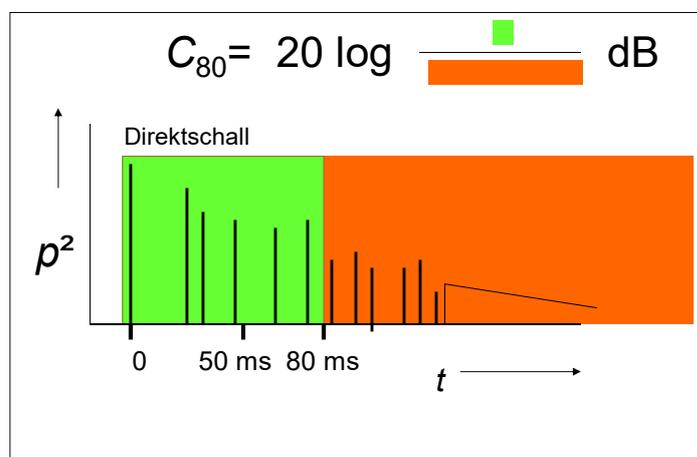
Prof. Oliver Curtt

## Zeitlicher Aufbau des Schallfeldes

- verzögerte Reflexionen:
  - $\Sigma$  = Nachhall
  - Verschmelzen zu einem Gesamtklang
  - Überbrückung von Lücken in zeitlichen Abläufen
  - Erhöhung des Lautstärkeindrucks
  - Bedeutung der ersten Reflexionen (Zeit, Richtung)
  - „Haas-Effekt“ ... 10 dB Pegeldifferenz ausgleichbar !!!

Prof. Oliver Curtz

## Klarheitsmaß (Clarity, Musik)



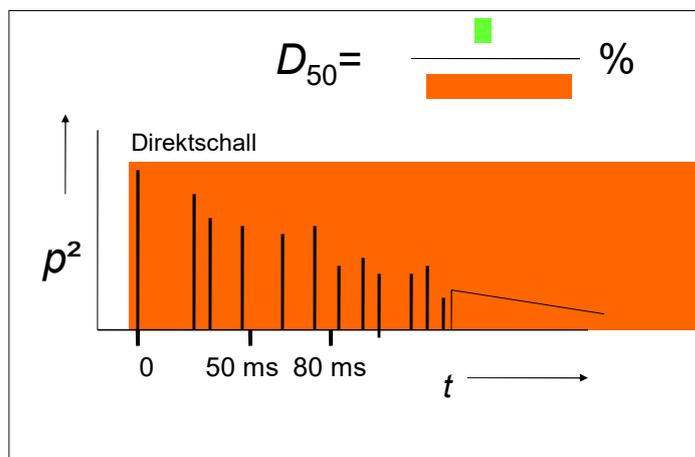
Prof. Oliver Curtz

## Zeitlicher Aufbau des Schallfeldes

■ Klarheitsmaß  $C_{80} = 20 \lg \{E_{80}/(E_{\infty} - E_{80})\}$  dB

- $E_{\infty}$  gesamte eintreffende Schallenergie
- $E_{80}$  eintreffende Schallenergie von 0 ... 80 ms
- Anwendung bei Musik
- üblicher Wert - 2 ... + 4 dB (Konzertsaal)

## Deutlichkeitsmaß (Definition, Sprache)



## Zeitlicher Aufbau des Schallfeldes

- Deutlichkeitsmaß  $D_{50} = E_{50} / E_{\infty}$  in %
  - Anwendung Sprache
  
- Relationen beachten !!!
  - Horizontalebene („interaurale Korrelation“)
  - Vertikalebene (Verstärkung, keine räuml. Wirkung)
  - fließende Übergänge
  - guter Höreindruck, wenn erste Seitenreflexion **vor** der ersten Deckenreflexion beim Zuhörer eintrifft

## „Räumlichkeit“

- subjektive Empfindung:
  - räumliche Ausweitung des Klages zur Seite und nach oben
  - erweiterter Raumbereich wirkt „schallerfüllt“ ohne Beeinträchtigung der Lokalisation
  - Voraussetzung: hinreichende Lautstärke
    - ⇒ *piano* – Stellen auch in mittelmäßigen Sälen gut
    - ⇒ überzeugende Klangentfaltung im *forte* nur in akustisch guten Sälen (emotionales Erlebnis)
  - Seitenschallmaß

## Historische Konzertsäle

Prof. Oliver Cürdt

Umfrage von 1950-1955	Bj	Volumen	Zuhörer- plätze	Nachhallzeit, voll besetzt, 500 ... 1000 Hz
Großer Wiener Musikvereinssaal	1870	14600 m <sup>3</sup>	1680	$T_m = 2,05$ s $T_t = 2,4$ s
Theatro Colon, Buenos Aires	1908	20500 m <sup>3</sup>	2490	$T_m = 1,8$ s
Concertgebouw Amsterdam	1887	18700 m <sup>3</sup>	2200	$T_m = 2,0$ s $T_t = 2,2$ s
Symphony Hall, Boston	1900	18750 m <sup>3</sup>	2630	$T_m = 1,8$ s $T_t = 2,2$ s
Konzerthus Göteborg	1935	11900 m <sup>3</sup>	1370	$T_m = 1,7$ s $T_t = 1,9$ s

## „Neue“ Konzertsäle

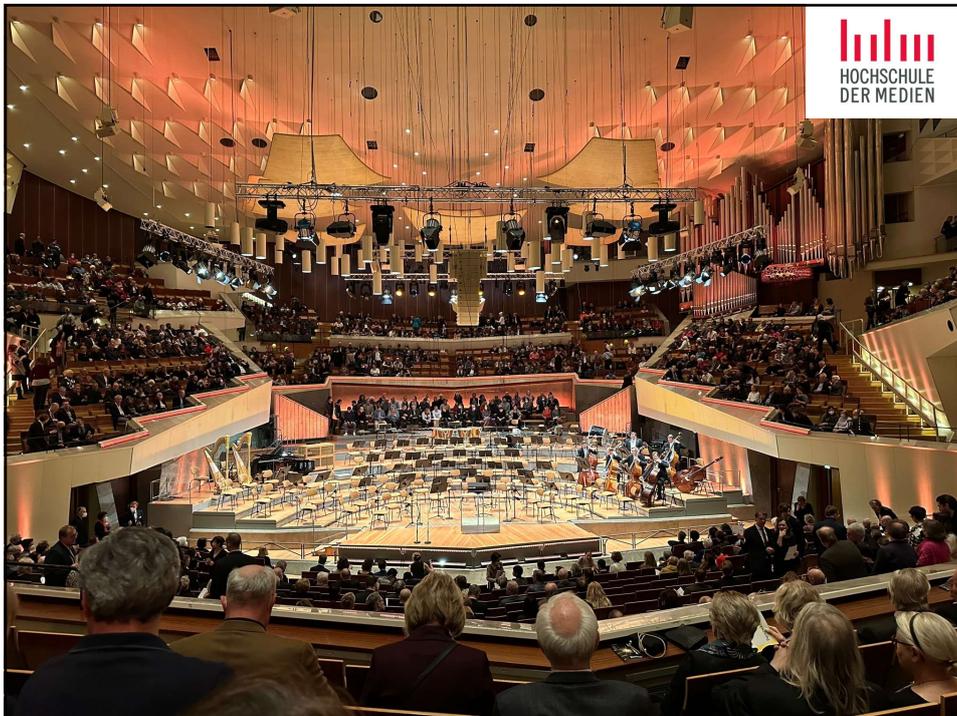
Prof. Oliver Cürdt

	Bj	Volumen	Zuhörer- plätze	Nachhallzeit, voll besetzt, 500 ... 1000 Hz
Royal Festival Hall London	1951	22000 m <sup>3</sup>	3000	$T_m = 1,45$ s $T_t = 1,35$ s
Liederhalle Stuttgart	1956	16000 m <sup>3</sup>	2000	$T_m = 1,65$ s $T_t = 1,8$ s
Beethovenhalle Bonn	1959	15700 m <sup>3</sup>	1410	$T_m = 1,7$ s $T_t = 2,0$ s
Philharmonie Berlin	1963	26000 m <sup>3</sup>	2220	$T_m = 2,0$ s $T_t = 2,4$ s
Meistersingerhall e Nürnberg	1963	23000 m <sup>3</sup>	2000	$T_m = 2,05$ s $T_t = 2,2$ s

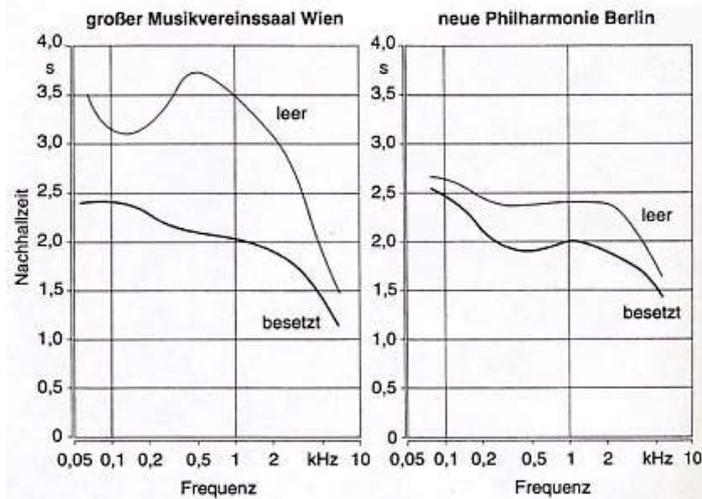
## „Neue“ Konzertsäle

	Bj	Volumen	Zuhörer- plätze	Nachhallzeit, voll besetzt, 500 ... 1000 Hz
„Neues“ Gewand- haus Leipzig	1981	21560 m <sup>3</sup>	1905	$T_m = 2,0$ s $T_t = 2,0$ s
Alte Oper Frankfurt	1981	22200 m <sup>3</sup>	2350	$T_m = 1,95$ s $T_t = 1,55$ s !!!
Schauspielhaus Berlin	1984	15000 m <sup>3</sup>	1675	$T_m = 2,0$ s $T_t = 2,2$ s
Gasteig München	1985	30000 m <sup>3</sup>	2500	$T_m = 1,9$ s $T_t = 1,9$ s
Philharmonie Köln	1986	21000 m <sup>3</sup>	2000	$T_m = 1,65$ s $T_t = 2,0$ s

Prof. Oliver Cürdt



## Konzertsäle



Prof. Oliver Curtt

## Konzertsäle

- optimale Nachhallzeit für Orchester  $\approx 2,0$  s
- optimale Nachhallzeit für Orgel  $\approx 4 \dots 5$  s
- Hallradius für Kugelschallquelle  $\Gamma_{st} = 1$ 
  - $r_H = 0,057 \cdot \Gamma_{st} \cdot \sqrt{V / T}$
  - $\Rightarrow$  Wiener Musikvereinssaal: 4,75 m
  - $\Rightarrow$  Berliner Philharmonie: 6,50 m

Prof. Oliver Curtt

## Weitere Aufführungsorte

- Opernhäuser
- Kirchen
- Kammermusikräume
- Studioräume
- Spezialräume
- Freiluftbühnen
- antikes griechisches Theater

Prof. Oliver Curdt

## Tempo und Nachhall

- Nachhall länger als optimal:
  - mehr Fülle weniger Deutlichkeit
  - schnelle Sätze langsamer
  - langsame Sätze langsamer
- Nachhall kürzer als optimal:
  - schnelle Sätze langsamer
  - langsame Sätze schneller

⇒ Verlust der Temporelation !!!

Prof. Oliver Curdt

## **Tempo und Nachhall**



- künstlicher Nachhall bei Aufnahmen
- Einfluss von Monitoring und Beschallung
- schnelleres / langsames Tempo nicht durch Timetwist ausgleichbar !!!  
→ rhythmische Feinstruktur maßgeblich !!!