

# AKUSTIK 1

Vorlesung

Hören Verstehen - für jedes Diplomfachstudium

Dienstag 18.12.2007 13.00 - 14.30

## Raumakustik

Nächste Vorlesung - Dienstag 15.01.2008

Dr. Michael Jäger / [Michael.Jaeger@uibk.ac.at](mailto:Michael.Jaeger@uibk.ac.at) / +43 (676) 9675309

# Auflösung Lautstärke

Wie groß ist der Schallpegel  $L_1$  in dB wenn die Intensität

a)  $I = 10^{-10} \text{ W/m}^2$       b)  $I = 4 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$       beträgt?

a)  $10^{-10} / 10^{-12} = 10^2$  (20dB)

b)  $4$  (6dB)  $\times 10^{-7}$  (50dB) = 56 dB

# Raumakustik

## Allgemeines zur Raumakustik

Welche Aspekte bestimmen die akustischen Eigenschaften eines Raumes?

Was ist die Nachhallzeit, welchen Stellenwert nimmt diese in der Raumakustik ein und wie kann man diese messen?

Wie bestimmt man die Notwendigkeit einer elektrischen Beschallungsanlage?

Mit welchen Mitteln kann unser Gehör die Richtung und Entfernung von Schallquellen schätzen?

# Raumakustik

## Allgemeine Kriterien der Raumakustik

### Akustischen Eigenschaften eines Auditoriums

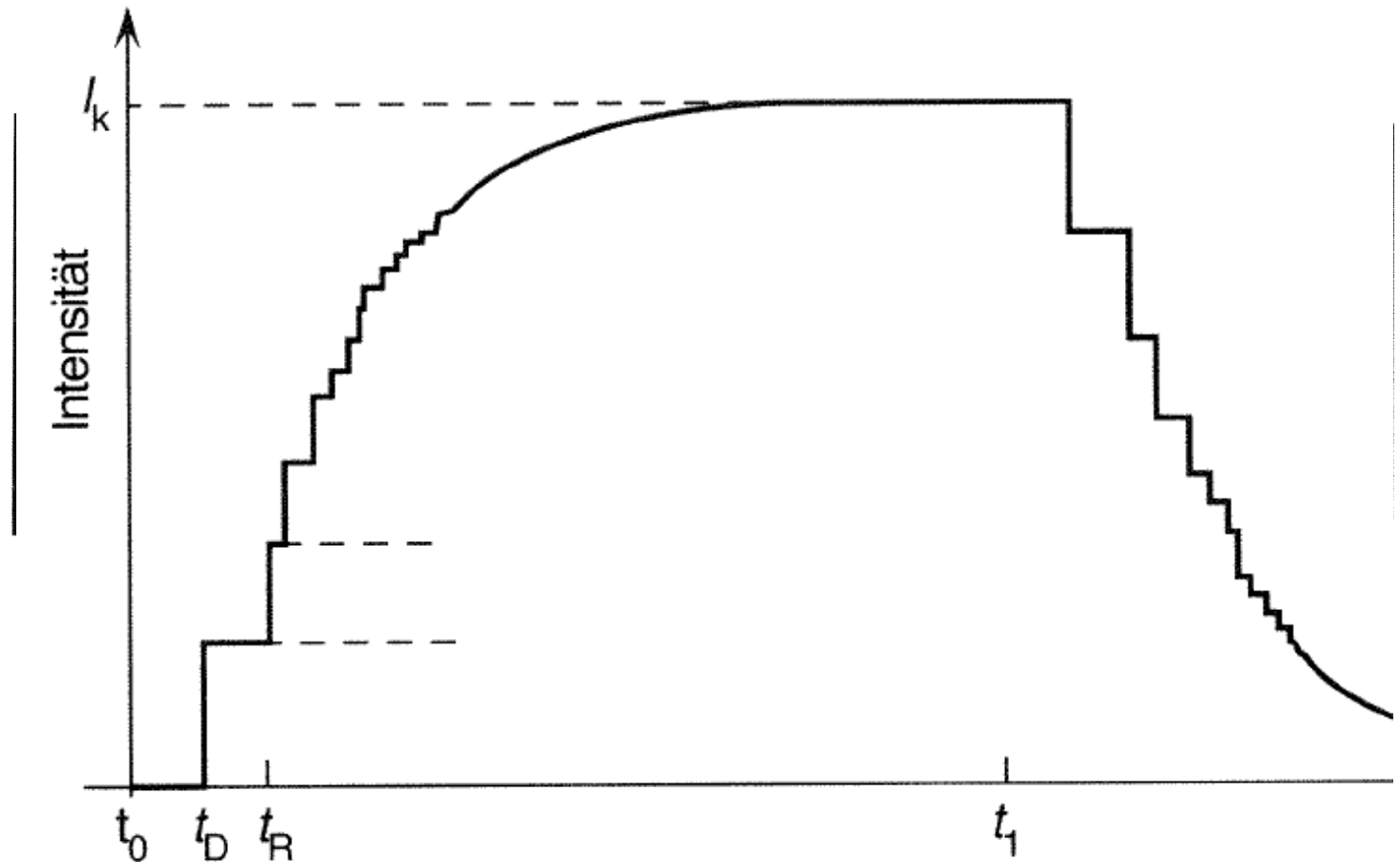
1. Klarheit: Jede einzelne Note muss klar, deutlich und unverdeckt vernehmbar sein.
2. Gleichmäßige Schallverteilung: An allen Positionen des Raumes sollte der Hörer eine möglichst gleiche Hörwahrnehmung haben.
3. Einbeziehung des Hörers: Der Hörer soll sich nicht akustisch von der Schallquelle getrennt fühlen, sondern eher von allen Seiten vom Klang umgeben werden.
4. Echovermeidung: Echo darf nicht als einzelnes Ereignis wahrgenommen werden, sondern alle Reflexionen müssen miteinander verschmelzen.
5. Halligkeit: Reflektierte Gesamtschall muss einen geeigneten Lautstärkewert relativ zum Ausgangsschall und eine geeignete Abklingzeit aufweisen.
6. Bühnenakustik: Die Position von Aufführenden muss frei von störenden Echos sein; man muss sich gegenseitig gut hören können.
7. Niedriger Geräuschpegel: Leise Passagen dürfen nicht gestört werden.

# Raumakustik

Allgemeine Kriterien der Raumakustik

Untersuchung eines Schallfeldes beim Spielen einer einzelnen Note.

Extrem kurzer perkussiver Klang

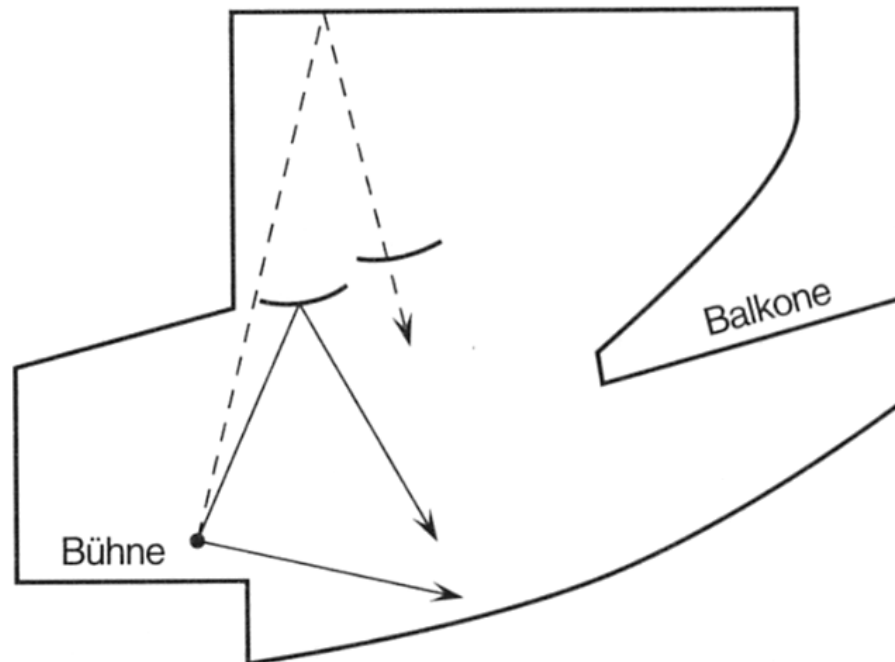


# Raumakustik

1. Klarheit: Der Direktschall sollte so stark und ungestört wie möglich sein. Hörer sollte so nah wie möglich an der Bühne sein. Direkte Sicht zur gesamten Bühne. Ein Maximum an Klarheit kann nur durch einen Verzicht auf Halligkeit erreicht werden.

2. Gleichmäßige Schallverteilung: Ansteigende Hörerebenen usw. . Wichtiger ist aber, dass die Summe aller reflektierter Schallwellen überall gleich groß sein soll.

3. Einbeziehung der Hörer: Die Erstreflexionen sollten nicht nur von der Vorder- und Rückseite, sondern von der Decke und vor allem von den



ch 100 ms nach dem  
e weniger als 30 ms

Die Anbringung von hängenden Reflektoren für die Erstreflexion verbessert die Situation, wenn die Decke zu hoch ist.

# Raumakustik

5. Halligkeit: Ein guter Kompromiss liegt zwischen trockenem, reflexionsarmem und wabernd-halligem Raum. Die Halligkeit wird durch die Größe des Auditoriums sowie durch den Absorptionsgrad und Reflexionsgrad der Materialien an Decken, Wänden und Boden beeinflusst.

6. Bühnenakustik: Die Rückenwand darf kein einzelnes starkes Echo auf die Bühne zurückwerfen. Der Aufführende sollte ein Gefühl dafür bekommen was die Zuhörer wahrnehmen. Schlecht sind parallele Seitenwände.

7. Geräuschfreiheit: Solide Bauweise, doppelte Türen und abgedichtete luftdichte Türfugen sind Voraussetzung, um äußeren Lärm auch draußen zu halten. Das Grundgeräusch sollte 30 dB nicht überschreiten.

# Raumakustik

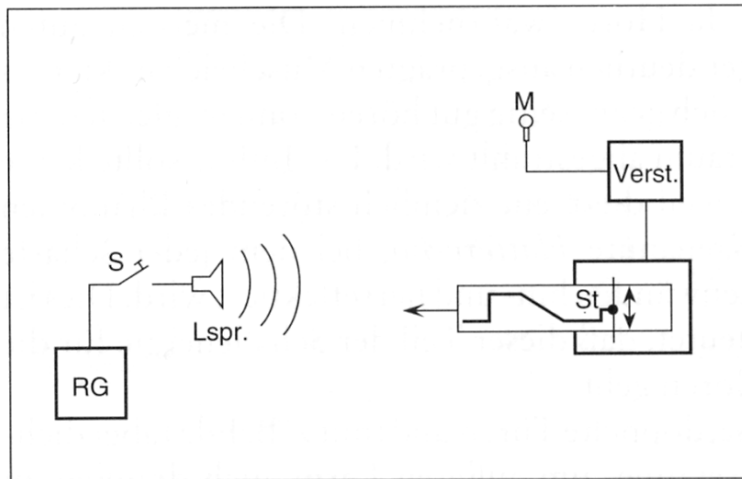
## Nachhallzeit

Da der Schall zwar immer schwächer und schwächer wird, aber niemals gegen Null geht, kann man die Nachhallzeit eines Raumes nie mit exakten Zahlen definieren.

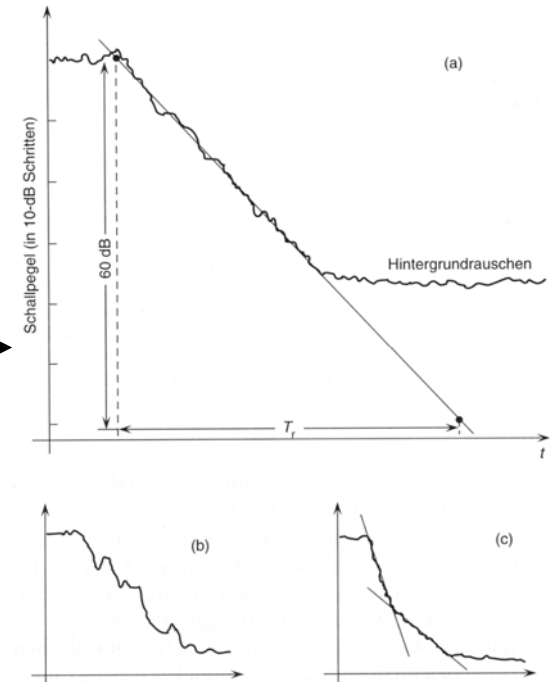
Nachhallzeit  $T_r$ : Zeit in der der Schallpegel um 60 dB von seinem Ausgangspegel abnimmt!

Standard-Meßmethode:

Schmalbandiges Rauschen!



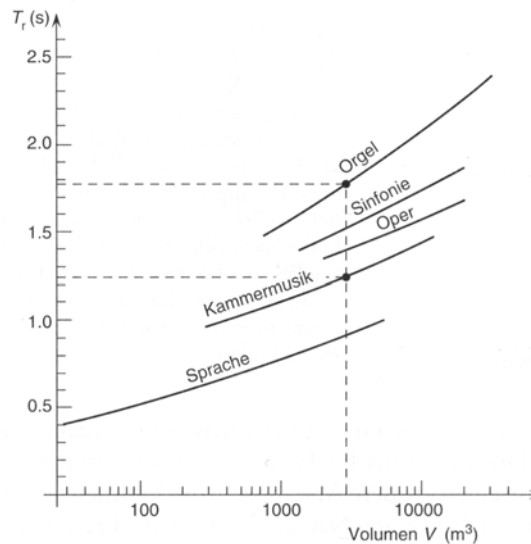
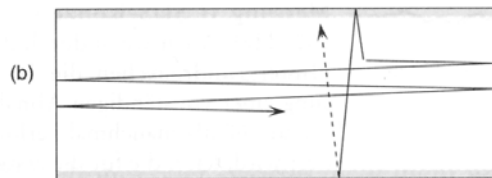
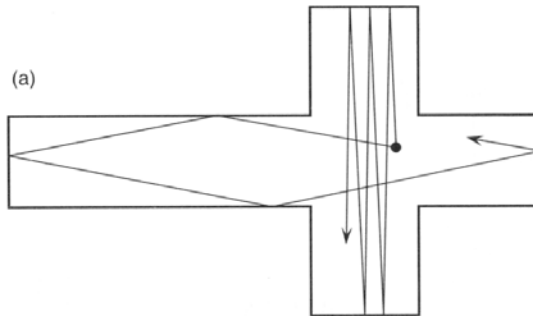
Messung der Nachhallzeit: Das Rauschen des Rauschgenerators RG wird vom Lautsprecher lange genug abgestrahlt.





# Raumakustik

## Nachhallzeit



Einige der reflektierten Schallewellen erreichen nicht alle Teile des Kirchenraumes gleichmäßig.

Ungeschickte Anordnung von schallabsorbierendem Material.

Beziehung zwischen optimaler Nachhallzeit, Raumgröße und verschiedenen Musikarten.

# Raumakustik

Um eine gleichmäßige Abnahme des Nachhalls (und gleichmäßige Schallverteilung) zu erhalten, sind nicht-parallele Wände, viele Hindernisse und Ecken vorteilhaft.

Schall wird in möglichst alle Richtungen reflektiert.

Absorbierende Materialien: gleiche Nachhallzeiten für alle Frequenzen bzw. Eigenschwingungen.

Genau wie die gewünschte relative Stärke des Nachhalls hängt auch die gewünschte Nachhalldauer von der Art der Musik ab.

Organist: Barockfuge Nachhallzeit (1,5 s)

Organist: romantisches Werk Nachhallzeit (2,5 s)

Einstellungen zur Nachhallzeit wird stark durch den jeweiligen kulturellen Hintergrund geformt.

Katholische weisen einen längeren Nachhall als protestantische auf.

Europäische Kathedralen (6-8 s), Amerikanische Kirchen (1-2 s)

# Raumakustik

Wenn die Nachhallzeit nur mit einer einzigen Zahl ausgedrückt wird, bezieht sich diese meist auf den mittel- bis hochfrequenten Bereich:

**60 dB Nachhallzeit** wird mit abnehmender Frequenz allmählich länger – tiefsten Frequenzen etwa **50% längerer Nachhall!**

Berechnung des Nachhalls:

Die Nachhallzeit bildet sich als Ergebnis zweier widerstreitender Faktoren: Je mehr sich der Schall verlustfrei in offener Luft ausbreiten kann, umso länger hält er an; je öfter er auf eine feste Oberfläche trifft und je weicher diese Oberfläche ist, umso schneller wird er um die 60 dB unter seinen Ausgangspegel abgeschwächt.

$$T_r = (0,163 \text{ s/m}) V/S_e$$

$T_r$  ist die Nachhallzeit in Sekunden,  $V$  ist das Raumvolumen in  $\text{m}^3$  und  $S_e$  ist die effektive Schallabsorptionsfläche in  $\text{m}^2$ .

$$S_e = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 \text{ usw.}$$

Vollständig reflektierte Oberfläche  $\alpha=0$

Vollständig absorbierte Oberfläche  $\alpha=1$

# Raumakustik

Oberflächenart	Absorptionsgrad $\alpha$ bei der Frequenz (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Akustikplatte, hart aufgehängt	0,2	0,4	0,7	0,8	0,6	0,4
Akustikplatte, in Rahmen aufgehängt	0,5	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5
Akustik-Rauhputz	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7	0,7
Normaler Putz auf Latten	0,2	0,15	0,1	0,05	0,04	0,05
Gipsplatten 16 mm auf Kanthölzern	0,3	0,1	0,05	0,04	0,07	0,1
Sperrholzplatte 8 mm auf Kanthölzern	0,6	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Betonsteine, unbehandelte Oberfläche	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
Beton, gestrichen	0,1	0,05	0,06	0,07	0,1	0,1
Gießbeton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Ziegel	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Vinylplatten auf Beton	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Schwerer Teppich auf Beton	0,02	0,06	0,15	0,4	0,6	0,6
Schwerer Teppich auf Filzunterlage	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Podiumsbelag, Holz	0,4	0,3	0,2	0,2	0,15	0,1
Gewöhnliches Fensterglas	0,3	0,2	0,2	0,1	0,07	0,04
Schweres Panzerglas	0,2	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Wandbehang, mittleres Velour	0,07	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6
Gepolsterte Sitze, unbesetzt	0,2	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6
Gepolsterte Sitze, besetzt	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9
Holz-oder Metallsitze, unbesetzt	0,02	0,03	0,03	0,06	0,06	0,05
Hölzerne Kirchenbänke, unbesetzt	0,4	0,4	0,7	0,7	0,8	0,7

# Raumakustik

## Symbole und Begriffe

$T_r$  60 dB-Nachhallzeit

$V$  (Raum-)volumen

$S$  Oberfläche (der Innenwände eines Raumes)

Direktschall

Erste Reflexionen  
= Anhall

Raumschall

Flatterecho

$\alpha$  Absorptionsgrad oder -koeffizient

$\bar{\alpha}$  durchschnittlicher Absorptionsgrad aller Raumflächen

$E$  Gesamte abgegebene Schallenergie

$I_r$  Äquivalente Intensität des Raumschalls

$$T_r \cong 0,163 \cdot V / S_e$$

$$S_e = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots$$

$$I_r \cong 36 \cdot E \cdot T_r / V$$

Rückkopplung, positive Präzedenzeffekt,  
= Gesetz der 1. Wellenfront

Lokalisation, Ortung

Lateralization = seitliche Ortung

Binaurale Laufzeitunterschiede

Binaurale Phasendifferenz

Binaurale Pegeldifferenz

Wenn ein Raum der Größe 30x20x8 m den Wert  $T_r = 1,2$  s aufweist, was ist dann der Wert  $S_e$ ?