Raumakustik und Beschallungstechnik

Anselm Goertz – IFAA und TU Berlin

Alfred Schmitz – IFAA und TU Braunschweig

Workshop Medientechnik

Praxis, Trends und Perspektiven der Arbeitsgemeinschaft der Medienzentren an Hochschulen und des ZKI AK Multimedia und Grafik

am 14./15. Januar 2014 an der Philipps-Universität Marburg

Übersicht

Raumakustik und Beschallungstechnik

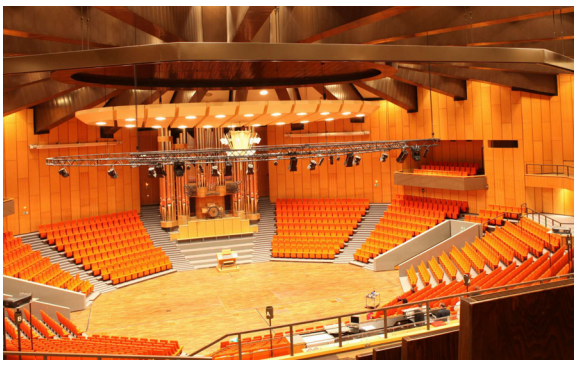
Grundlagen

1. Grundlagen zum Thema Sprachverständlichkeit 4 - 14
2. Sprachverständlichkeit und STI Werte 15 - 22
3. Normen für SAA und ENS sowie andere Vorgaben 23 - 24
4. Planung von Lautsprecheranlagen allgemein 25 - 30
5. Raumakustik 31 - 46
6. Lautsprecherdaten 47
7. Simulationen 48 - 49

Beispiel

8. Audimax und Modellbau 50 - 54
9. Simulationsergebnisse und Aussagen 55 - 57
10. Fazit 58 - 59

Räumlichkeiten

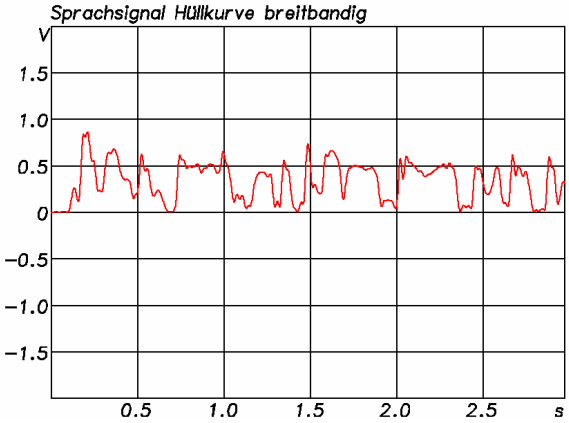


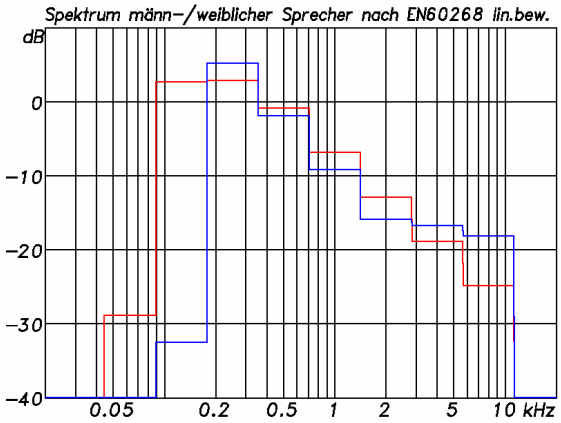
Die Beschallungsanlage

- Nur zur Information und Unterhaltung
- Sprachalarmanlage (SAA) oder Notfallwarnsystem (ENS)
- Gemeinsames minimales Ziel:
  Eine hinreichende Sprachverständlichkeit
- Störende Einflüsse:
  - Störgeräusche (Signal/Noise respektive Störabstand)
  - Nachhall (Raumakustik)
  - zu niedriger Pegel (Hörschwelle)
  - zu hoher Pegel (Maskierung)

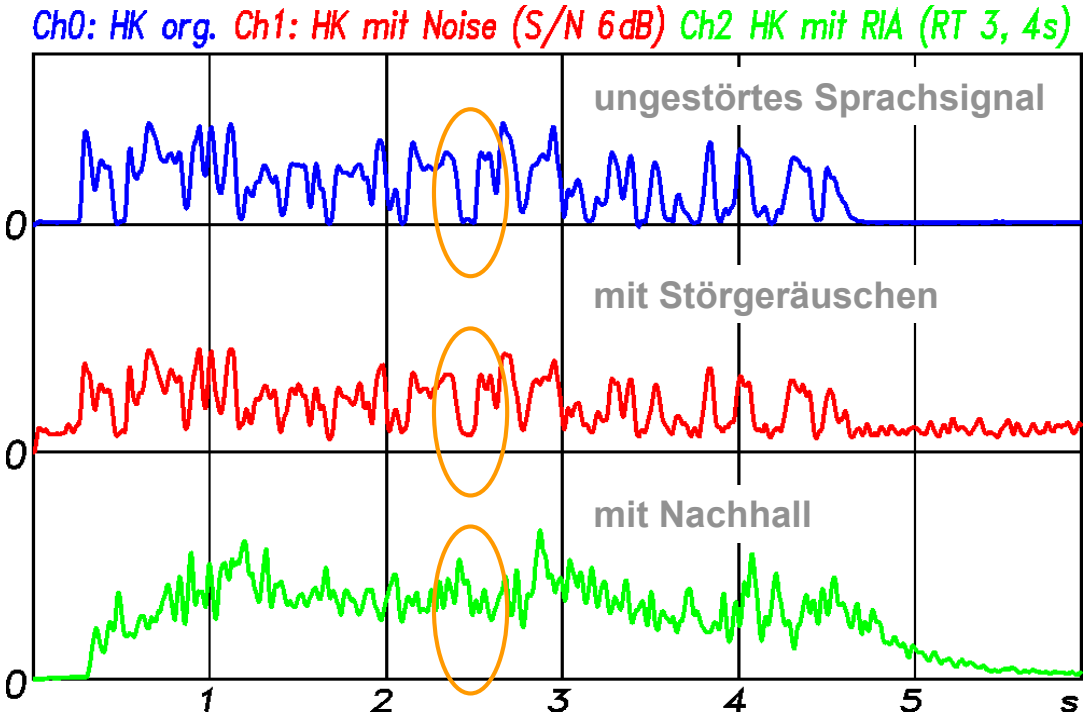
Wann ist Sprache gut verständlich?

- Sprache ist ein moduliertes Signal
  - ⇒ Der Informationsgehalt wird großteils über die Modulation transportiert
  - ⇒ Nachhall, Störgeräusche und Bandbegrenzungen führen zum Verlust von Modulationstiefe im Signal und somit zum Informationsverlust, d.h. zur einer reduzierten Sprachverständlichkeit
  - ⇒ Modulationsfrequenzen bis 20 Hz
  - ⇒ Spektrale Zusammensetzung in den 7 Oktavbänder von 125 Hz bis 8 kHz





Modulationsverlust durch Störgeräusche und Nachhall



Problem Störgeräusche

IFAA INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Störgeräusche sind meist sowohl zeitlich wie auch in der der spektralen Zusammensetzung stark schwankend und damit nur schwer eindeutig zu definieren
- Anhaltspunkt: ... bis zu 65, 75, 85, … dBA
- Entscheidend ist nicht das Störgeräusch als solches, ...
- ... sondern das Verhältnis vom Sprachsignalpegel zum Störpegel
- Lösung: hinreichend laute Sprachwiedergabe, aber ...
  - ab einem gewissen Pegel wird die Verständlichkeit durch den Maskierungseffekt wieder schlechter
  - Zeitlich schwankender Störpegel erfordert auf jeden Fall eine automatische Pegelnapassung, da die Anlage sonst zumindest zeitweise viel zu laut wäre
  - der Aufwand für die Beschallungsanlage sollte in einem angemessenen Verhältnis bleiben (z.B. Köln HBF: ca. 3 kW Leistung pro Bahnsteig)

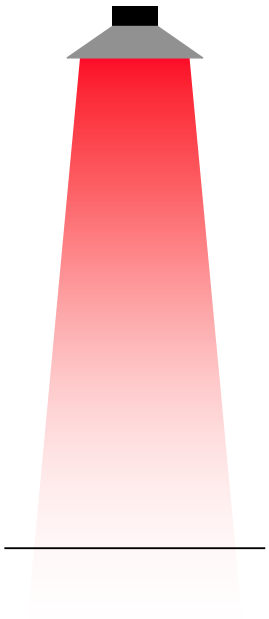
Problem Nachhall

IFAA INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Nachhall entsteht primär durch große Hallen mit vielen schallharten Flächen (Glas, Beton, Steinzeug, Blech, ...)
- Ab 1,5 s Nachhallzeit bedarf es spezieller Beschallungskonzepte
- Entscheidend ist es, hier möglichst viel Direktschall aus den Lautsprechern zu den Zuhörern zu bringen und den Nachhall so wenig wie möglich anzuregen
- Lösungen:
  - wenige stark bündelnde Lautsprecher auf die Hörerflächen richten (guter Ansatz für große Hallen etc., da große freie Weglängen erforderlich sind)
  - viele kleine Lautsprecher so nahe wie möglich an die Zuhörer bringen (guter Ansatz für Teilflächenbeschallung oder zerklüftete Flächen)
  - Raumakustische Maßnahmen (häufig nicht möglich)

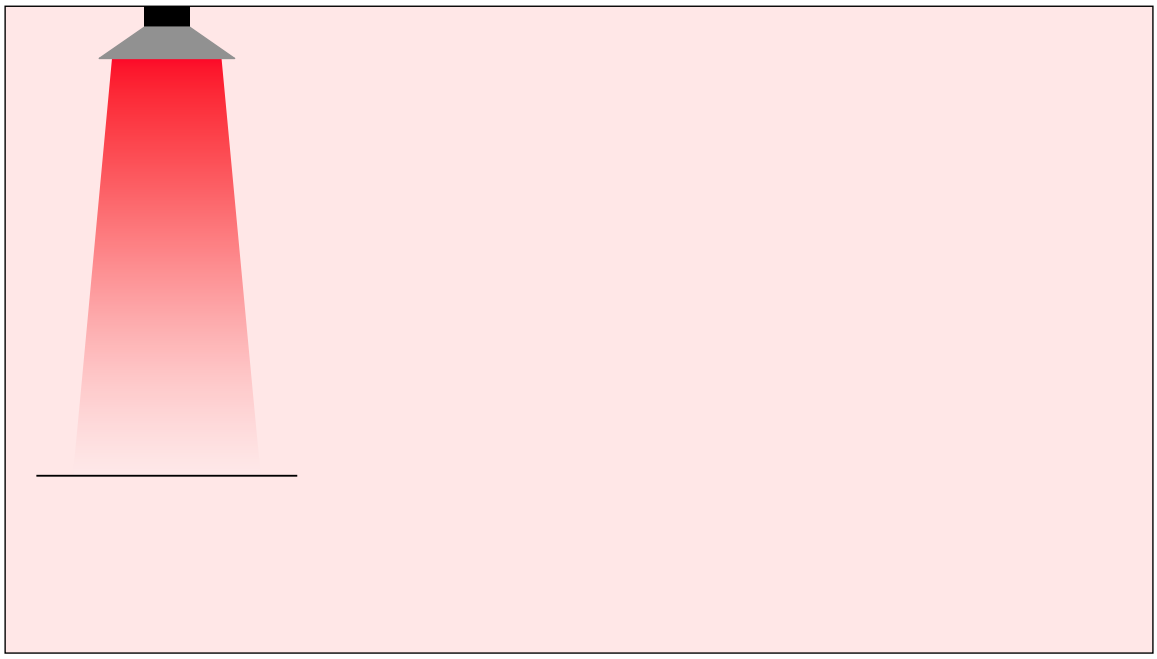
Problem vieler Lautsprecher bei Nachhall

- Farbintensität = Lautstärke
- Kontrast zum Umfeld = Modulationstiefe = Sprachverständlichkeit



Problem vieler Lautsprecher bei Nachhall

- Farbintensität = Lautstärke
- Kontrast zum Umfeld = Modulationstiefe = Sprachverständlichkeit

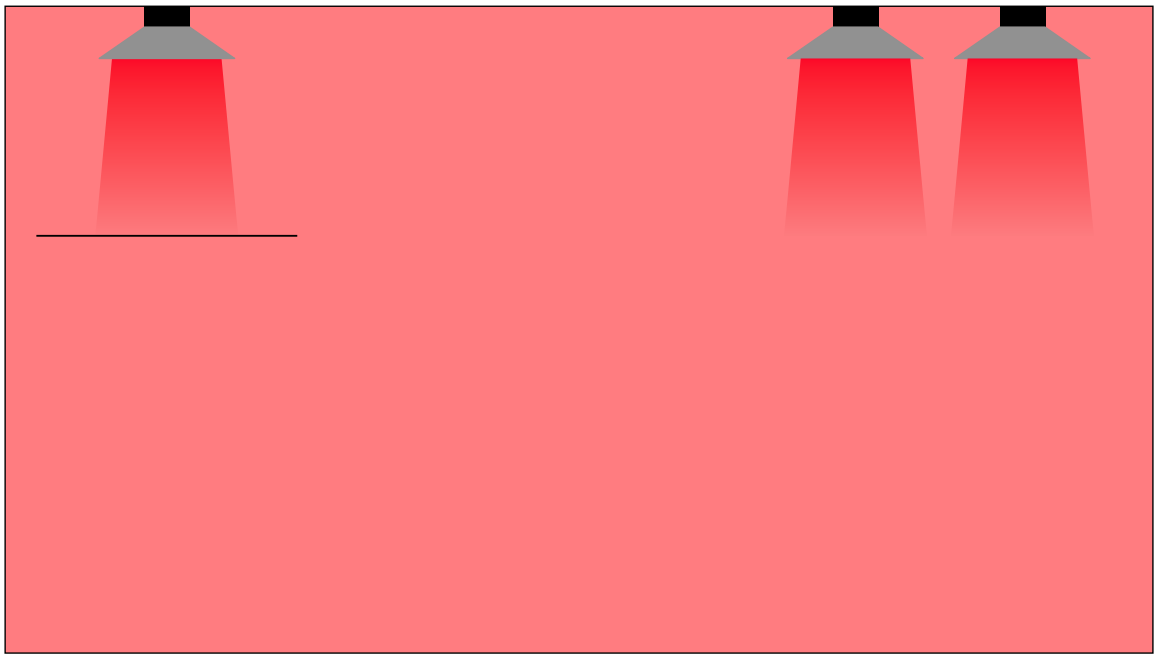


Problem vieler Lautsprecher bei Nachhall

- Farbintensität = Lautstärke
- Kontrast zum Umfeld = Modulationstiefe = Sprachverständlichkeit

Problem vieler Lautsprecher bei Nachhall

- Farbintensität = Lautstärke
- Kontrast zum Umfeld = Modulationstiefe = Sprachverständlichkeit



Problem vieler Lautsprecher bei Nachhall

- Farbintensität = Lautstärke
- Kontrast zum Umfeld = Modulationstiefe = Sprachverständlichkeit

Akustische Randbedingungen für Hörsäle

- Kurze bis mittlere Nachhallzeiten (1 – 2 s) ← Wichtige Randbedingung in großen Hallen !
  - Zum Vergleich
    - Kirchen 2 – 10 s
    - Straßentunnel 10 – 30 s
    - Stadien 2 – 6 s

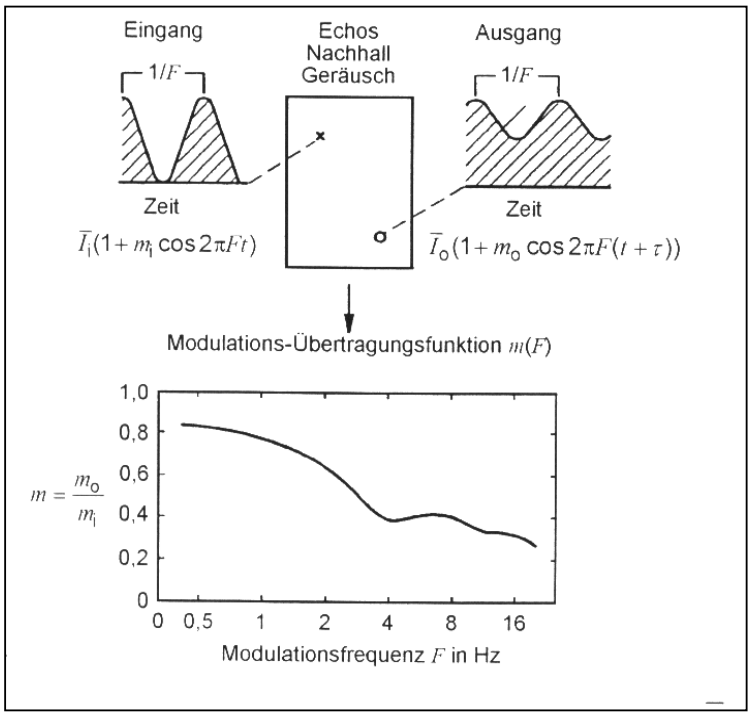
➔ erhöhte Anforderungen an das Richtverhalten der Lautsprecher

- Störpegel im Normalbetrieb ca. 65 dBA ← Wichtige Randbedingung in lauter Umgebung
  - Zum Vergleich
    - Kirchen <70 dBA ⇒ Signalpegel bei Sprache max. 80 dBA
    - Straßentunnel 95 dBA ⇒ Signalpegel bei Sprache min. 105 dBA
    - Sportstätten 95 dBA ⇒ Signalpegel bei Sprache min. 105 dBA

➔ Keine besonderen Anforderungen an den Maximalpegel

- Handelt es sich zusätzlich um eine SAA dann kommt hinzu:
  - Mindestwerte für die Sprachverständlichkeit im Normal- und Havariebetrieb nach VDE 0833-4
  - Überwachung der Anlage, Ausfallsicherheit, etc....
  - Komponenten nach EN54-...

Die Modulationsübertragungsfunktion (MTF)



Objektive messtechnische Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den STI (Speech Transmission Index)

Aus der Messung des Verlustes an Modulationstiefe in 98 Variationen wird der STI Wert berechnet.

Dabei werden berücksichtigt:

- **Nachhall**
- **Signal-/Störabstand**
- **Hörschwelle**
- **Maskierung**
- **div. Andere Effekte ...**

STI Wertebereich zwischen 0 und 1

Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den STI

STI-Wert	Einstufung nach EN 60268-16
0...0,3	schlecht
0,3..0,45	schwach
0,45..0,6	angemessen
0,6..0,75	gut
0,75..1	ausgezeichnet

0,5

Der Mindestwert nach EN 60849 für Elektroakustische Notfallwarnsysteme muß bei 0,5 liegen.

STI Anforderung aus der EN 60268-16 von 2011

Examples of STI qualification bands and typical applications

The information in the Table G.1 is presented as an example of usage.

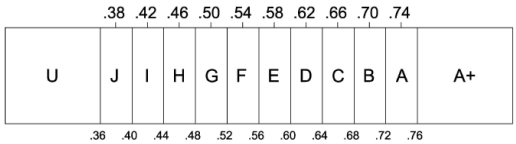
Table G.1 – Examples between STI qualification bands and typical applications

Category	Nominal STI value	Type of message information	Examples of typical uses (for natural or reproduced voice)	Comment
A+	>0,76		Recording studios	Excellent intelligibility but rarely achievable in most environments
A	0,74	Complex messages, unfamiliar words	Theatres, speech auditoria, parliaments, courts, Assistive Hearing Systems (AHS)	High speech intelligibility
B	0,7	Complex messages, unfamiliar words		
C	0,66	Complex messages, unfamiliar words	Theatres, speech auditoria, teleconferencing, parliaments, courts	High speech intelligibility
D	0,62	Complex messages, familiar words	Lecture theatres, classrooms, concert halls	Good speech intelligibility
E	0,58	Complex messages, familiar context	Concert halls, modern churches	High quality PA systems
F	0,54	Complex messages, familiar context	PA systems in shopping malls, public buildings offices, VA systems, cathedrals	Good quality PA systems
G	0,5	Complex messages, familiar context	Shopping malls, public buildings offices, VA systems	Target value for VA systems
H	0,46	Simple messages, familiar words	VA and PA systems in difficult acoustic environments	Normal lower limit for VA systems
I	0,42	Simple messages, familiar context	VA and PA systems in very difficult spaces	
J	0,38		Not suitable for PA systems	
U	<0,36		Not suitable for PA systems	

NOTE 1 These values should be regarded as minimum target values.

NOTE 2 Perceived intelligibility relating to each category will also depend on the frequency response at each listening position.

NOTE 3 The STI values refer to measured values in sample listening positions or as required by specific application standards.



- Anforderung detailliert nach Nutzung und Räumlichkeit
- die geforderten Werte sind als Mittelwerte abzüglich der Standardabweichung zu verstehen (?)
- Tabelle nur zur Orientierung !

Normen über Sprachverständlichkeit

- DIN EN 60849 (IEC 60849 und VDE 0828)
  Elektroakustische Notfallwarnsysteme
- IEC 60268-16
  Elektroakustische Geräte
  Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex
- DIN VDE 0833-4 Anhang G
  Messverfahren zur Bestimmung des Sprachübertragungsindex STI
- EN 54-24
  Brandmeldeanlagen — Teil 24: Komponenten für Sprachalarmierungssysteme - Lautsprecher

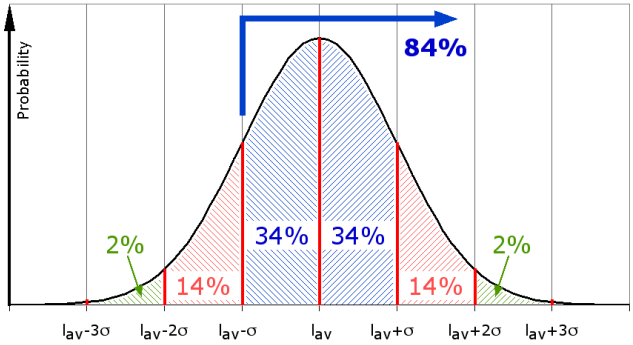
Bestimmung des Mindestwertes nach EN 60849

- Arithmetischer Mittelwert – Standardabweichung ≥ 0,5
- $I_{av} - \sigma \geq 0{,}5$
- Messraster: 6 m

$$I_{av} = \frac{1}{n}\left(a_1 + a_2 + \ldots.. + a_n\right)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \cdot \sum_1^n a^2 - \left(\sum_1^n a\right)^2}{n(n-1)}}$$

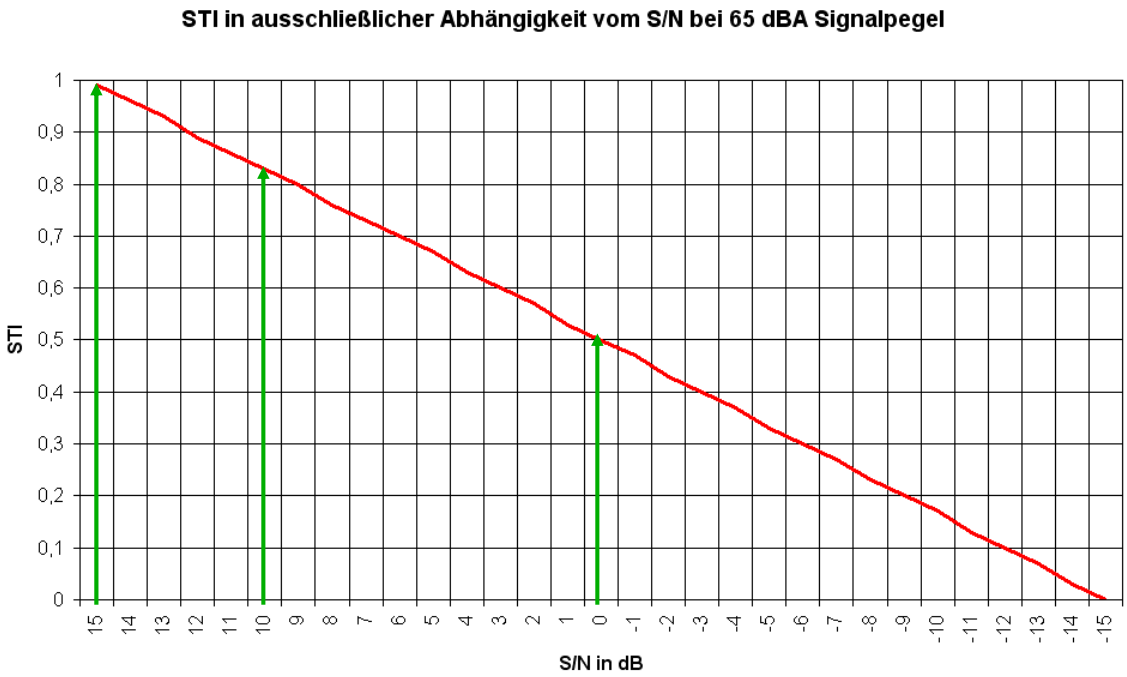
Normal Distribution



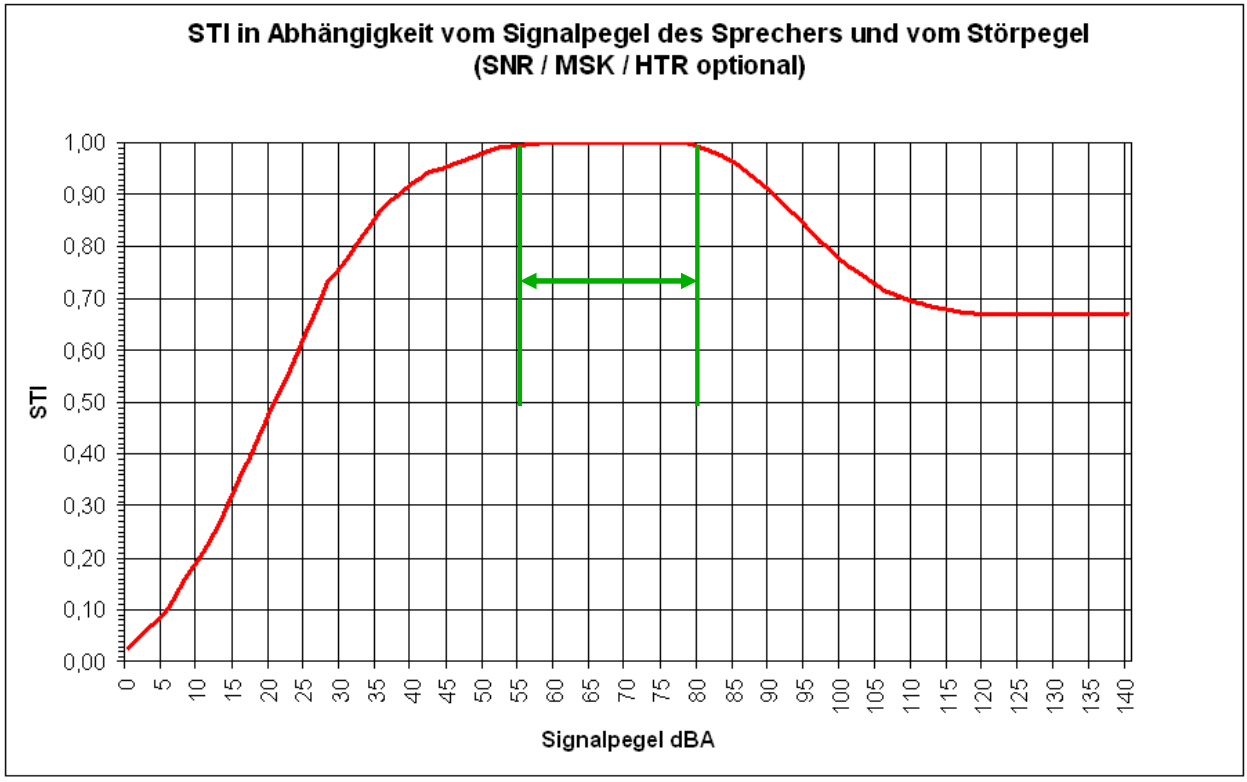
Zusammenhang des STI mit subjektiven Testmethoden

STI-Wert	CIS-Wert	Alcons in %	Einstufung EN 60268	Silbenverständ-lichkeit in %	Wortverständ-lichkeit in %	Satzverständ-lichkeit in %
0...0,3	0...0,48	100...36	schlecht	0...32	0...37	0...75
0,3...0,45	0,48...0,65	36...17	schwach	32...61	37...68	75...93
0,45...0,6	0,65...0,78	17...8	angemessen	61...85	68...88	93...98
0,6...0,75	0,78...0,87	8...3,6	gut	85...98	88...98	98...100
0,75...1	0,87...1	3,6...1	ausgezeichnet	98...100	98...100	100

Signal- und Störpegel beim STI



Verdeckung und Hörschwelle beim STI



Normen über Sprachverständlichkeit

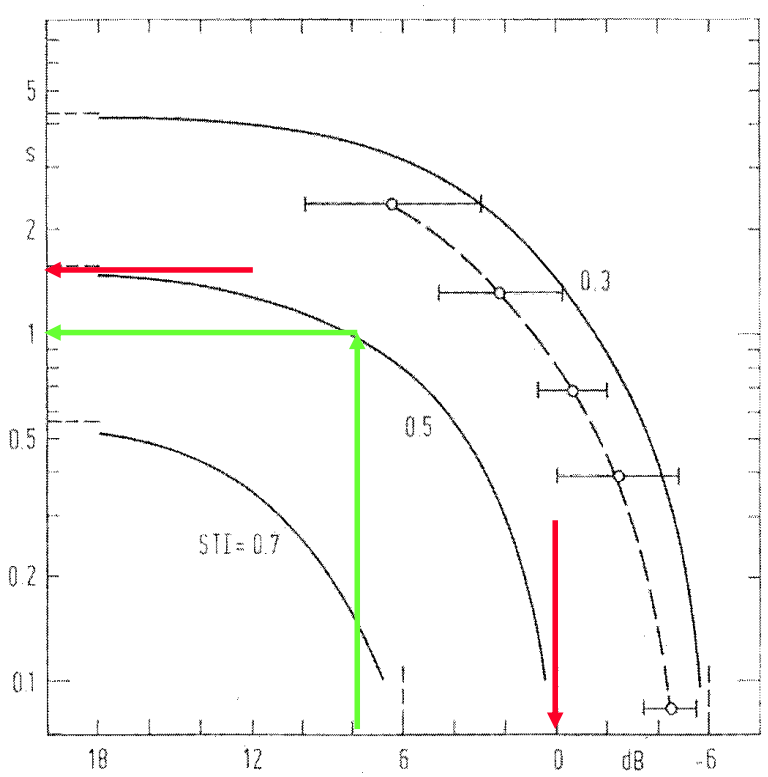
datierter Verweis

- **DIN EN 60849 (VDE 0828)**, Ausgabe:1999-05
  Elektroakustische Notfallwarnsysteme (IEC 60849:1998); Deutsche Fassung EN 60849:1998
- **DIN EN 60268-16**, **Ausgabe: 1998**
  Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (ohne Berücksichtigung des Verdeckungseffektes)

undatierter Verweis

- **DIN VDE 0833-4, VDE 833-4: 2007-09**
  Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall - Teil 4: Festlegungen für Anlagen zur automatischen Sprachalarmierung im Brandfall
- **DIN EN 60268-16**, **Ausgabe: 2004-01**
  Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2003); Deutsche Fassung EN 60268-16:2003
  (mit Berücksichtigung des Verdeckungseffektes)

Abhängigkeit des STI von der Nachhallzeit und vom S/N

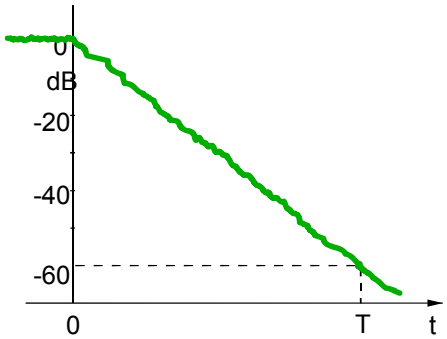


- Kurven für eine nicht gerichtet Quelle. z.B.:
- Deckenlautsprecher
- Einfache Breitbandsystem etc.
- Bei mehr als 1,5 s Nachhallzeit sind entweder raumakustische Maßnahmen oder speziell richtende Lautsprecher erforderlich

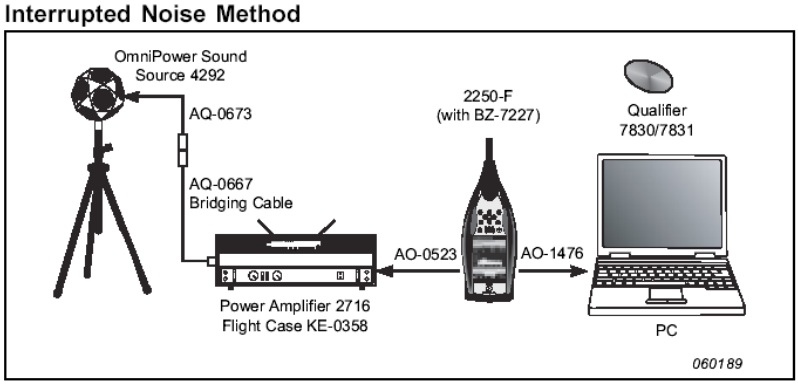
Wie plant man die Beschallungsanlage ?

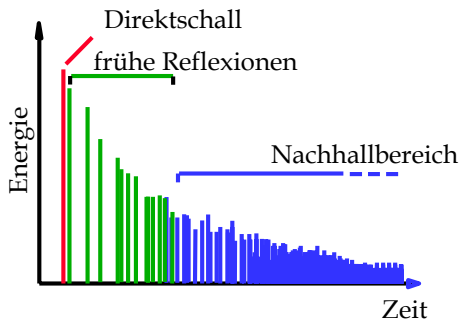
- Ausgangssituation:
  - Nachhallzeit in Oktav- oder Terzbändern (Mittelwert nur als Anhaltspunkt)
  - Störpegel in Oktav- oder Terzbändern (A-bew. Summenpegel nur als Anhaltspunkt)
    - zeitlicher Verlauf des Störpegels
  - einzuhaltenden Normen
    - 60849 für Notfallwarnsysteme (ENS)
    - VDE 0833-4 für Sprachalarmanlagen (SAA)
  - weitere Randbedingungen
    - Denkmalschutz
    - spätere Ein- oder Umbauten
    - Störung des Umfeldes
  - weitere Fragen
    - Welche Lautsprecherpositionen sind möglich ?
    - Sind aktive Lautsprecher möglich (VDE 0833-4 und EN54) ?
    - Wie sieht die Notstromversorgung aus ?

Nachhallzeitmessung



Interrupted Noise Method





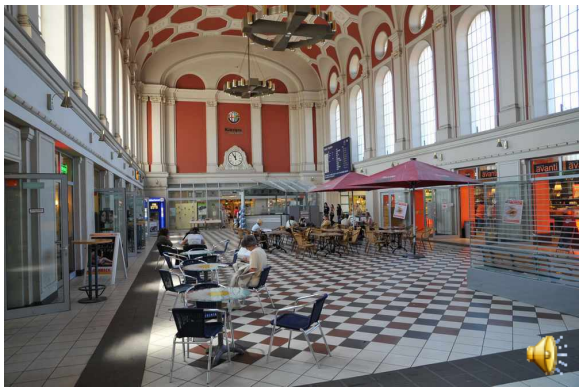
Gehörschützer

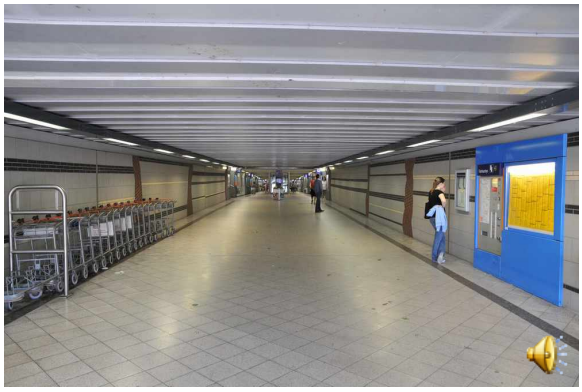
Knallquelle

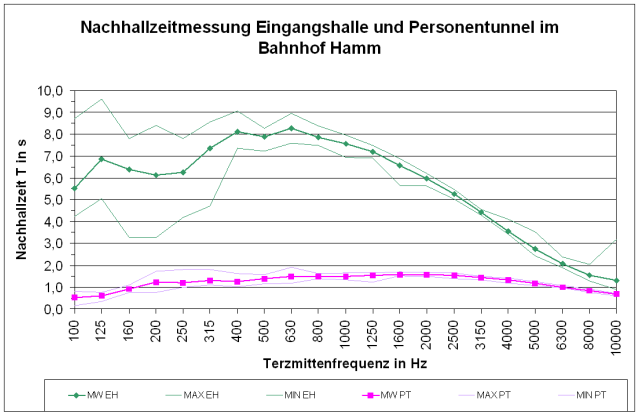
Handschallpegelmesser

Stativ

Beispiel einer Nachhallzeitmessung

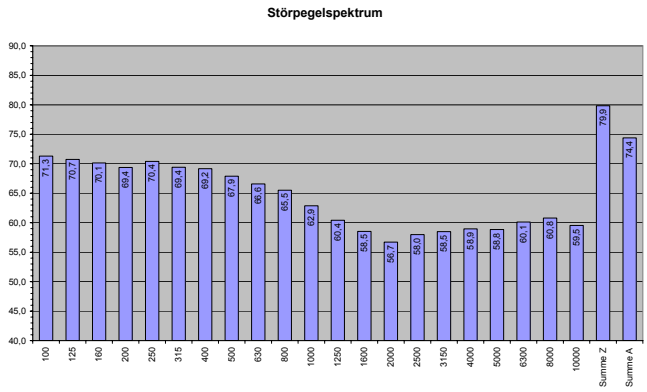


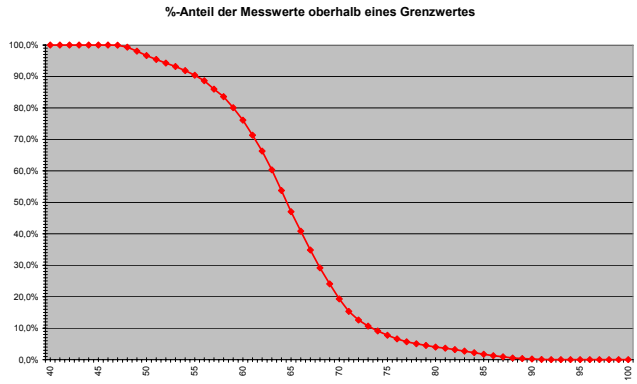




- In der Halle extrem hohe Werte von bis zu 9 s im tieferen Frequenzbereich
- Abfall erst zu den hohen Frequenzen hin
- keine raumakustischen Maßnahmen
- Im Personentunnel mit ca. 1,8 s gemäßigte Werte, die jedoch ohne Raumakustik auch grenzwertig sind.

Analyse des Störpegels





- Mittlungsdauer
- Frequenzselektive Bewertung
- Häufigkeit lauter Ereignisse
- Dauer in Relation zu einer Ansage
- Werden Ansagen ständig wiederholt?
- Welche spektrale Verteilung liegt vor?
- Relation zum Sprachsignal?

Welche Bandbreite wird benötigt?

Oktavband [Hz]	STI	Oktavbänder [Hz]	STI
125	1	125 , 250	0,951
250	1	250 , 500	0,871
500	0,913	500, 1k	0,691
1k	0,843	1k , 2k	0,581
2k	0,749	2k , 4k	0,620
4k	0,918	4k , 8k	0,745
8k	0,922	-	-

Tabelle 5.2 STI für einen männlichen Sprecher bei völligem Modulationsverlust in einem oder zwei benachbarten Oktavbändern bei ansonsten optimalen Bedingungen.

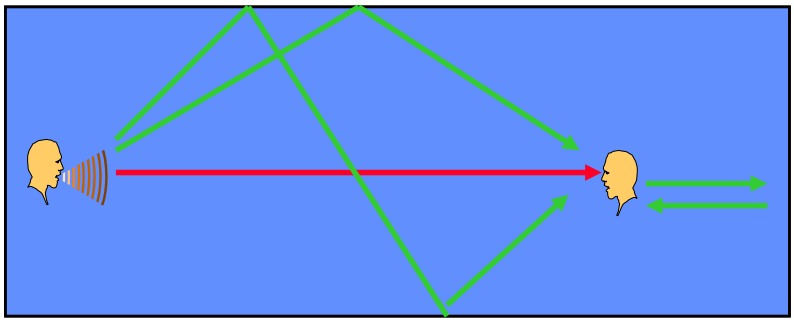
Wird das Sprachsignal mit Telefonbandbreite 300 Hz – 3 kHz übertragen, dann reduziert sich der maximal erreichbare STI Wert auf ca. 0,7.

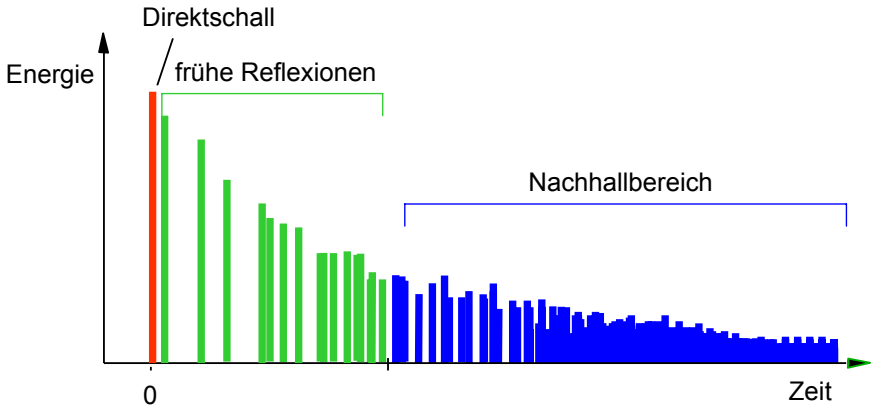
Die spektrale Zusammensetzung möglicher Störgeräusche hat in der Realität eine so große Spannweite, dass in den Berechnungen nur in Form einer Annäherung mit gemittelten Spektren gearbeitet werden kann.

Anforderungen an eine Beschallung

- Hinreichende Sprachverständlichkeit $STI_{MW\text{-}STABW} \geq 0{,}5$
- Ausreichend hoher Sprachsignalpegel S/N > 10 dB
- Flexible Anpassung an den aktuellen Bedarf (Zonenbeschallung)
- Störpegelmessung und Anpassung ?
- Möglichst wenig Übersprechen in andere Bereiche
- Eigenschaften bei Sammelruf beachten
- Havariebetrieb ist zu beachten
- Ständige Funktionskontrolle

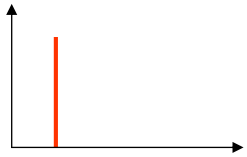
Schallausbreitung im Raum für Impulsanregung



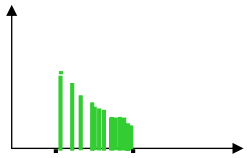


Wirkung der verschiedenen Reflexionen

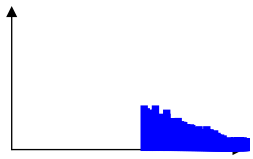
- Direktschall
  - Schalleinfallsrichtung
  - bestimmt Grundpegel
  - meist stark ortsabhängig



- frühen Reflexionen (0- 50ms oder 0-80ms)
  - Unterstützung des Direktschalls hinsichtlich Intensität
  - seitliche Reflexionen (hier wirkt bereits eine) geben Räumlichkeitseindruck
  - „akustischer Fingerabdruck des Raumes“
  - <u>stark ortsabhängig !!!</u>



- Nachhallbereich
  - bestimmt die empfundene Raumgröße („Klangvolumen“)
  - führt zur Verschmelzung von zeitlich strukturierten Signalanteilen
  - Verschlechterung der Deutlichkeit und Sprachverständlichkeit



Designkriterien und Konstruktionsparameter

Designkriterien

- Hinreichender Direktschall
- Viele frühe Reflexionen
- Keine Flatterechos
- Angemessener Nachhall
- Hohe Diffusität im Nachhallbereich
- Gleichmäßige Akustik auf allen Plätzen
- Geringe Abhängigkeit von der Besetzung
- Niedriges Störgeräusch
- keine Fokuseffekte

Konstruktionsparameter

- Raumvolumen
- Raumform
- Anzahl der Sitze und deren Anordnung
- Material der Raumbegrenzungsflächen

Normen und Richtlinien

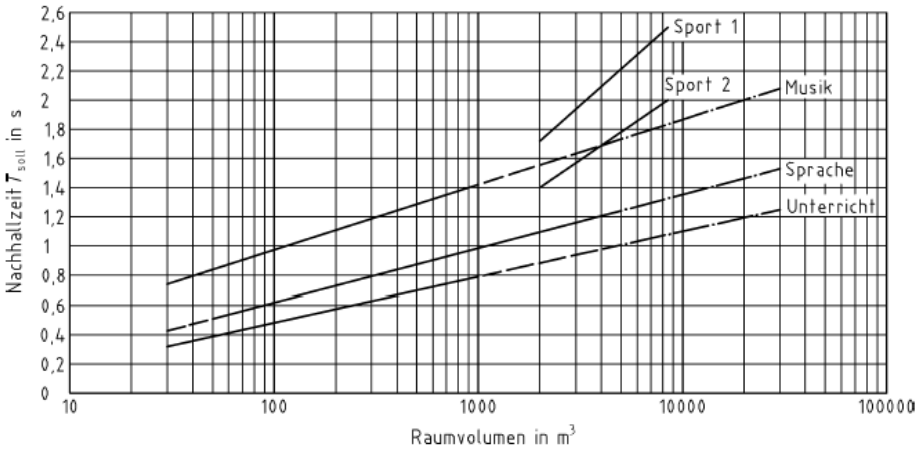
Planung

- DIN 18041 Mai 2004
  Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen

Messung

- DIN EN ISO 3382 -1
  Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter

DIN 18041



Sollwert T_{soll} der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten im besetzten Zustand

Musik: $T_{soll} = \left(0{,}45 \lg \frac{V}{m^3} + 0{,}07\right)$ s

Sprache: $T_{soll} = \left(0{,}37 \lg \frac{V}{m^3} - 0{,}14\right)$ s

Unterricht: $T_{soll} = \left(0{,}32 \lg \frac{V}{m^3} - 0{,}17\right)$ s

Sport 1: $T_{soll} = \left(1{,}27 \lg \frac{V}{m^3} - 2{,}49\right)$ s

Sport 2: $T_{soll} = \left(0{,}95 \lg \frac{V}{m^3} - 1{,}74\right)$ s

DIN 18041 Sprache

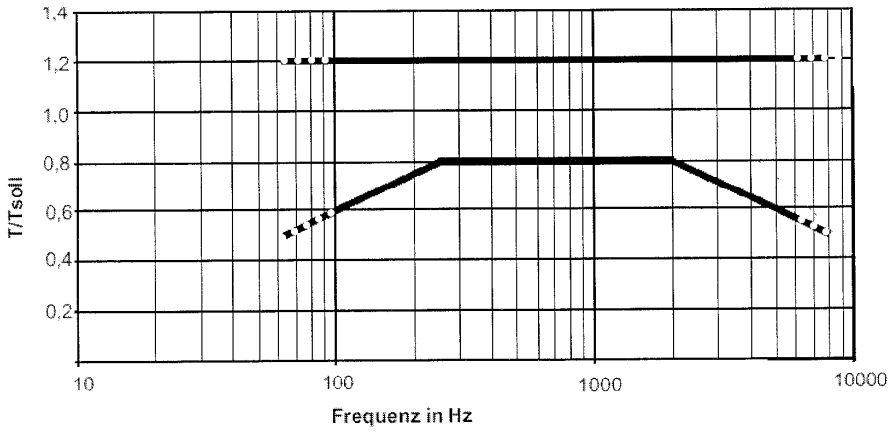


Bild 2 — Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Sprache

Für Hörgeschädigte wird eine Nachhallzeit von T = 0,8 T_{soll} als optimal angesehen!

DIN 18041 Musik

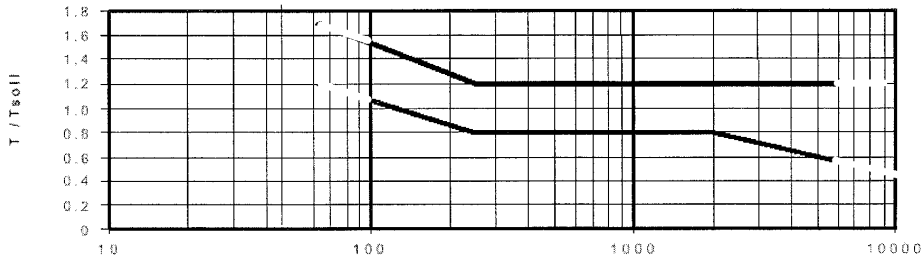


Bild 3 — Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Musik

DIN 18041

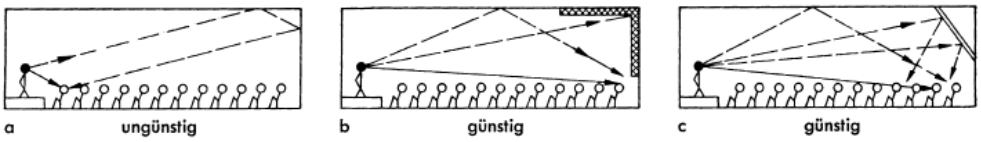
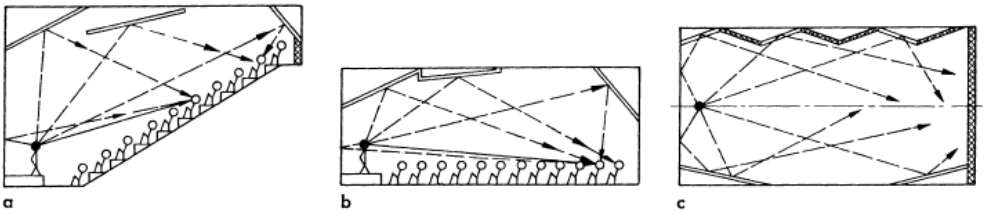


Bild 6 — Rückwandreflexion

Bild 7 — Parallele Wände



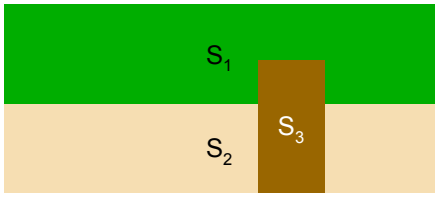
Nachhallzeitberechnung

- Sabine´sche Nachhallzeit (nur für diffuses Schallfeld)

$$T = 0{,}163 \frac{s}{m} \frac{V}{\sum S_i \alpha_i} = 0{,}163 \frac{V}{A}$$

V = Volumen
S_i = Teilflächen
α_i = Absorptionsgrad der Teilflächen
A = Äquivalente Absorptionsfläche

- Äquivalente Absorptionsfläche



=

S= 105
α = 1

S_1 = 100 m² α_1 = 0,9
S_2 = 100 m² α_2 = 0,1
S_3 = 10 m² α_3 = 0,5

A = 105 m²

Beispielrechnung

$$T = 0{,}163 \frac{s}{m} \cdot \frac{V}{S \cdot \alpha} = 0{,}163 \cdot \frac{V}{A}$$

Typischer Klassenraum
V = 180 m3
S_{Decke} = 65 m²
T_{soll} = 0,55 s (± 20%) – für besetzen Zustand

$$T = 0{,}163 \frac{s}{m} \cdot \frac{180 m^3}{65 m^2 \cdot 0{,}65} \approx 0{,}7 s$$

Standard-Akustikdecke

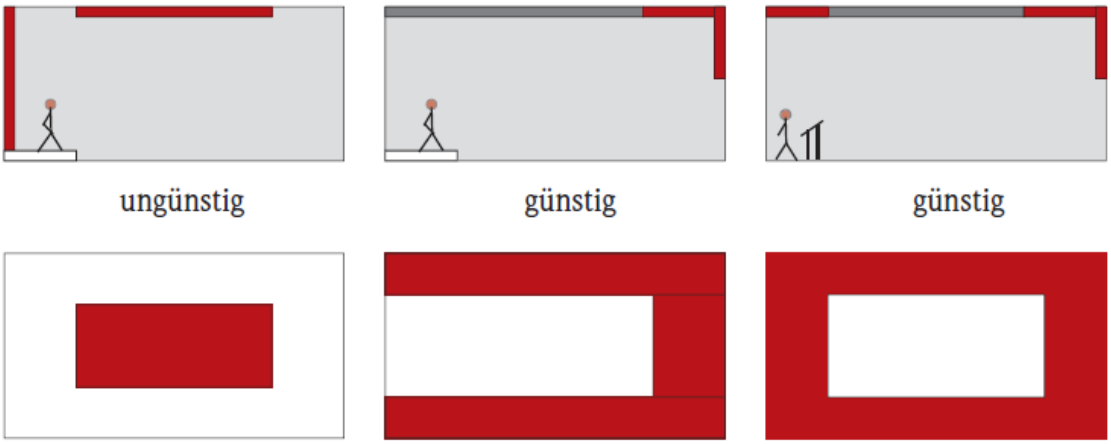
$$T = 0{,}163 \frac{s}{m} \cdot \frac{180 m^3}{65 m^2 \cdot 0{,}8} \approx 0{,}56 s$$

höherwertige Akustikdecke

Rechnung unbesetzt

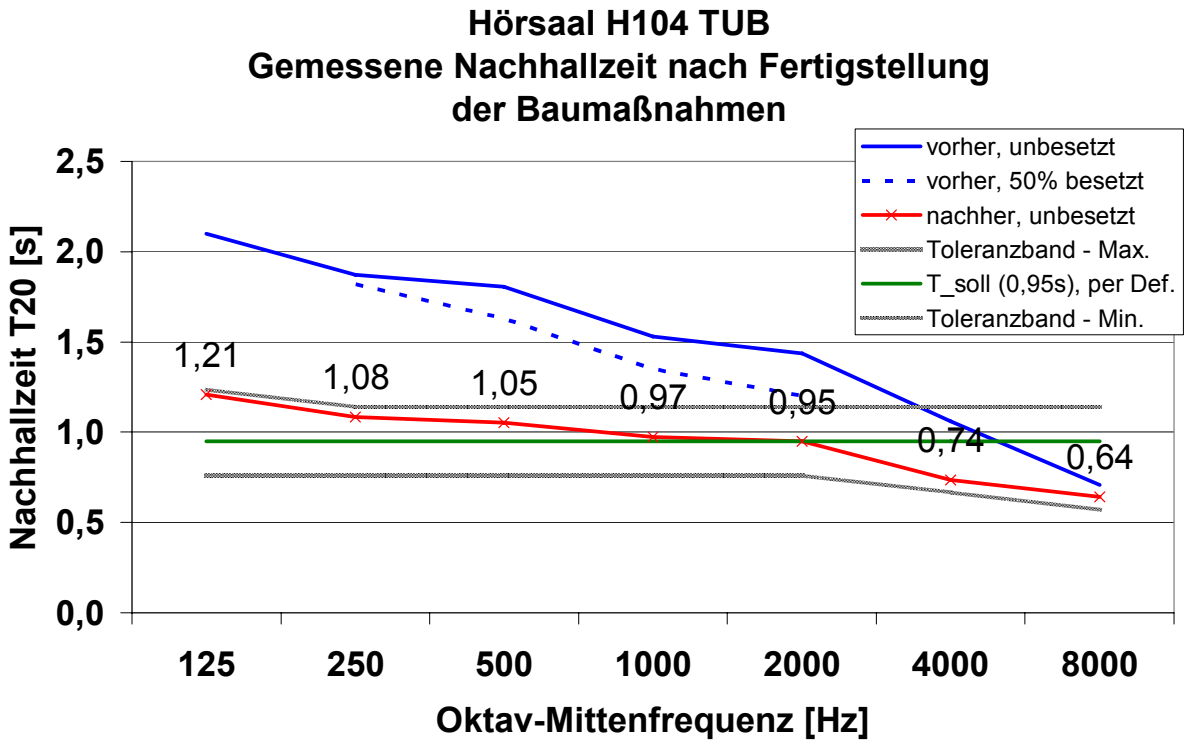
Frühe Reflexionen

- Günstige und ungünstige Absorberanordnung in kleinen und mittelgroßen Räumen nach **DIN 18041**



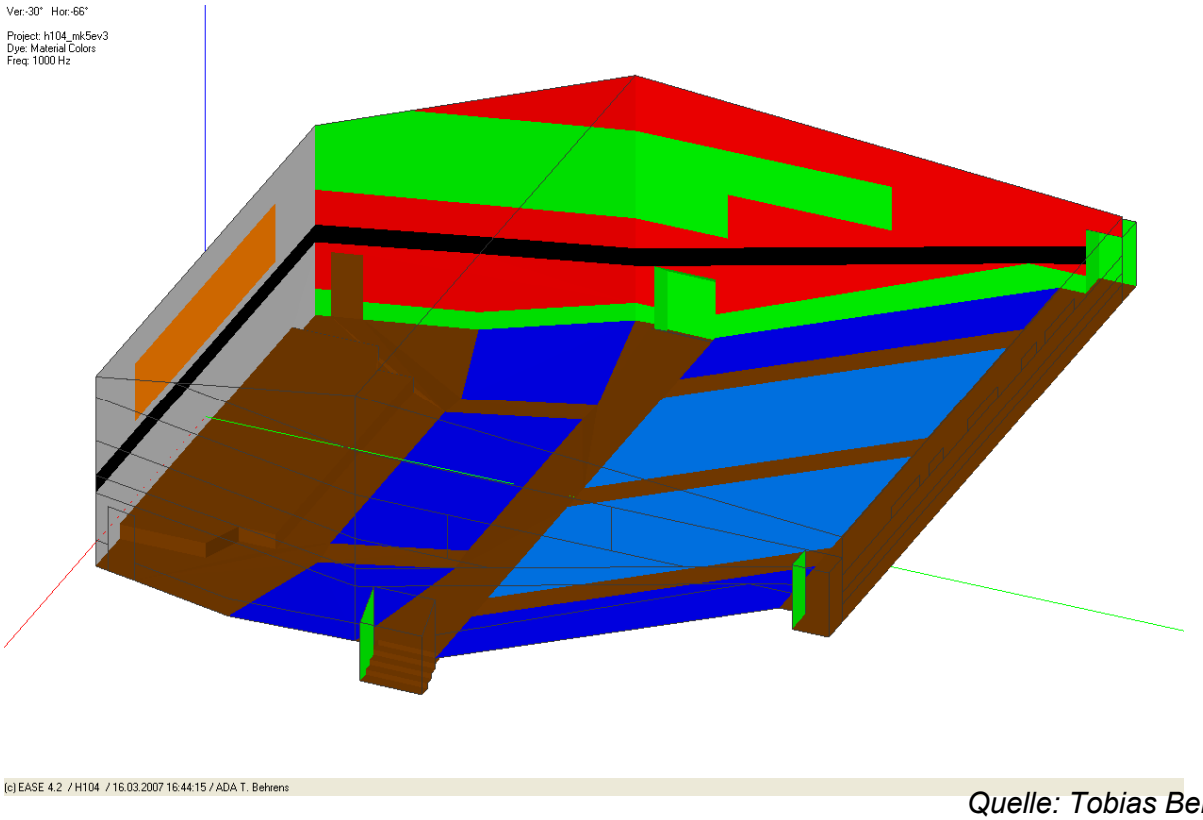
Beispiel H104 der TU Berlin

Nachhallzeiten vor und nach dem Umbau



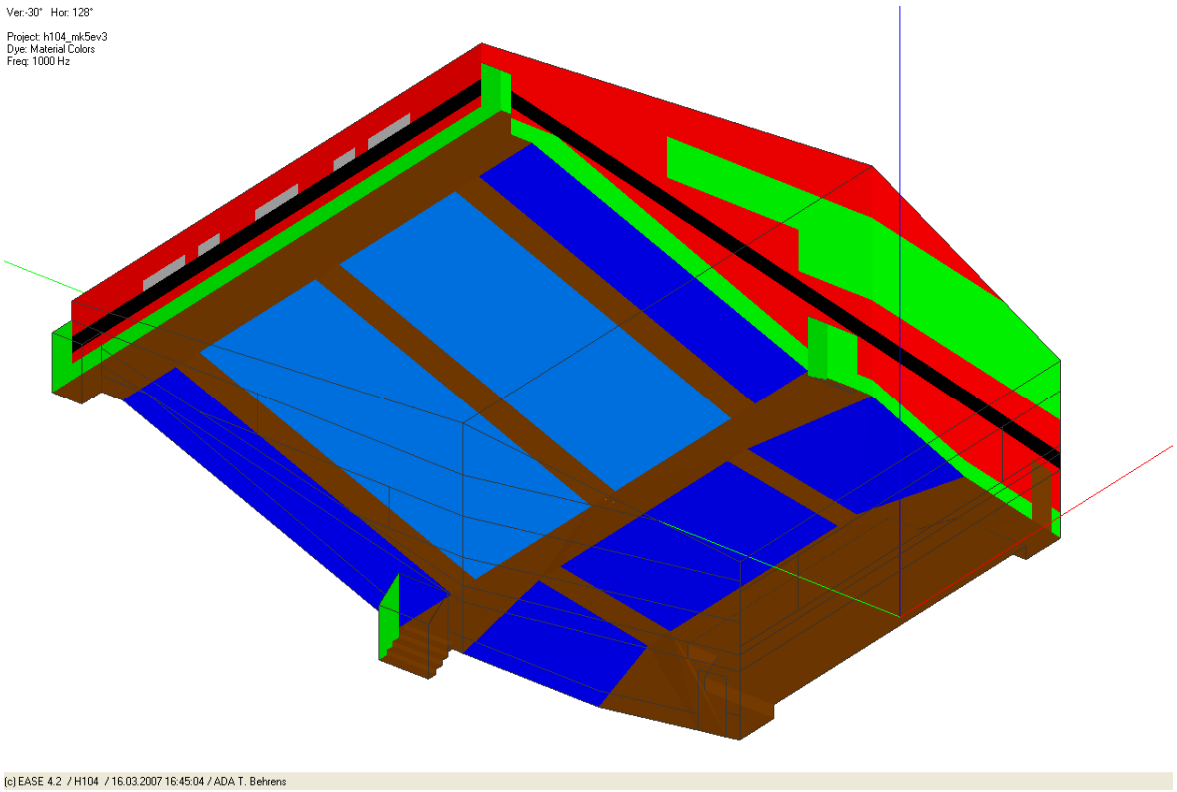
Quelle: Tobias Behrens

Neuplanung Raumakustik



Quelle: Tobias Behrens

Neuplanung Raumakustik

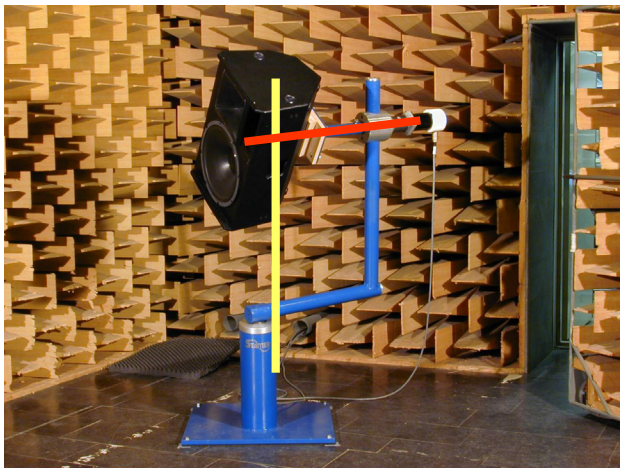


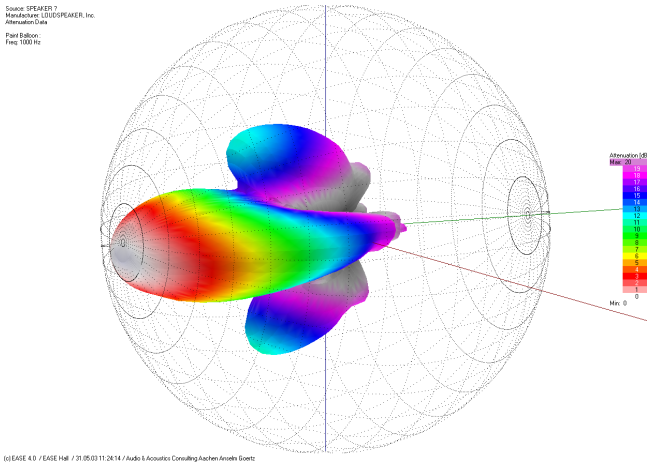
Quelle: Tobias Behrens

Der Hörsaal in der Bauphase

Lautsprecherdaten

- Nur vom Hersteller und Messlabor zertifizierte hoch aufgelöste Balloon Datensätze nach neusten Standards verwenden:
  - gemessen (nicht interpolierte) Daten mit min 5° Auflösung und Phaseninformation
  - Sensitivity und Belastbarkeitswerte beachten und prüfen
  - GLL (für Zeilen und Line-Arrays) oder SPK 4.0 für EASE
  - CLF2 für Catt Acoustic, Odeon, ...





Wann ist eine Simulation sinnvoll ?

- Warum ?
  - Bei schwierigen akustischen Verhältnissen
    - lange Nachhallzeit
    - Rückwirkungen verschiedener Bereiche aufeinander
    - Echogefahr
  - Bei grenzgängigen Konzepten
    - werden die Vorgaben knapp erreicht oder nicht?
      - Sprachverständlichkeit
      - Signal/Noise
      - Maximalpegel
  - Bei unbekannten Komponenten
    - neue Lautsprecher
    - neue Absorber
- Wofür ?
  - Berechnung der raumakustischen Verhältnisse bei neu zu bauenden oder einzurichtenden Räumen
  - Beurteilung und Vergleich
    - raumakustischer Maßnahmen
    - verschiedener Beschallungskonzepte
    - Auswirkung von Publikum und dem Besetzungsgrad
  - Funktionsnachweis bei der Ausschreibung oder Planung
    - EN 60849
    - VDE 0833-4
    - Frequenzgang /Pegelverteilung
    - Signal/Noise
    - Immissionsschutz
    - ....

Wie wird eine Simulation aussagekräftig ?

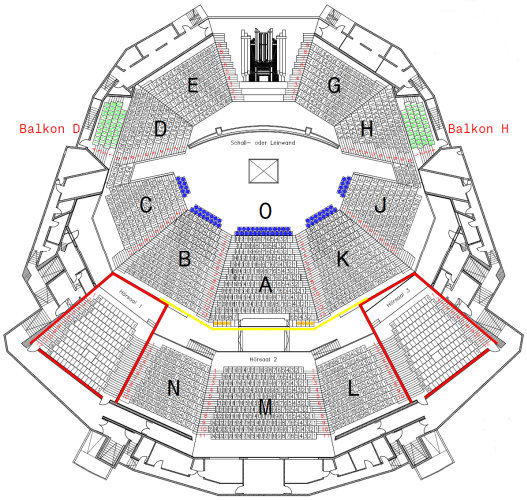
IFAA INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

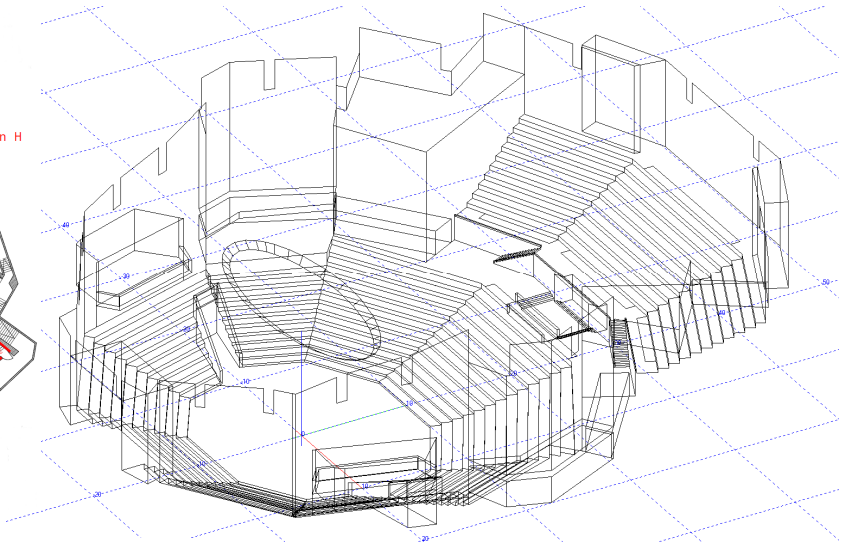
- Ausgangsparameter
  - Raumakustik
    - Modellbau nach Planlage
    - Absorberdaten aus Datenbanken oder von den Herstellern
    - Streugrade aus Datenbanken oder Schätzwerte
    - Publikumsflächen und Besetzungsgrade
  - Lautsprecher
    - vertrauenswürdige Datensätze ?
    - Plausibilitätscheck !!
    - Vergleich mit anderen Messungen
  - Mit welchem Anregungssignal wird gerechnet?
    - spektrale Verteilung
    - Crestfaktor
  - Welcher Störpegel wird angenommen?
  - Werden psychoakustische Aspekte wie Maskierung und Hörschwelle berücksichtigt?
- Ergebnisdarstellung
  - Nachhallzeiten
    - statistisch nach Sabine oder Eyring
    - mit Raytracing berechnet
  - Pegelverteilung
    - Gleichmäßige HF Abdeckung
    - ausgeglichener Frequenzgang
    - DSPL (Direktschallpegel)
    - TSPL (Gesamtschallpegel)
  - Sprachverständlichkeit
    - Exciter nach 60268-16
    - Störpegelannahme
    - Maskierung/Hörschwelle
  - Musik
    - Exciter EIA-426B oder angepasst
  - Allgemeine Angaben
    - Raster des Mappings
    - Symmetrien genutzt
    - Berechnete Impulsantwortlänge
    - Teilchenzahl bei der Berechnung

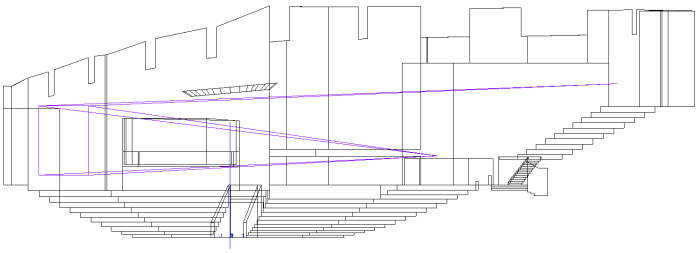
Beispiel: AM der Ruhr Universität Bochum

IFAA INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

Simulationsmodell

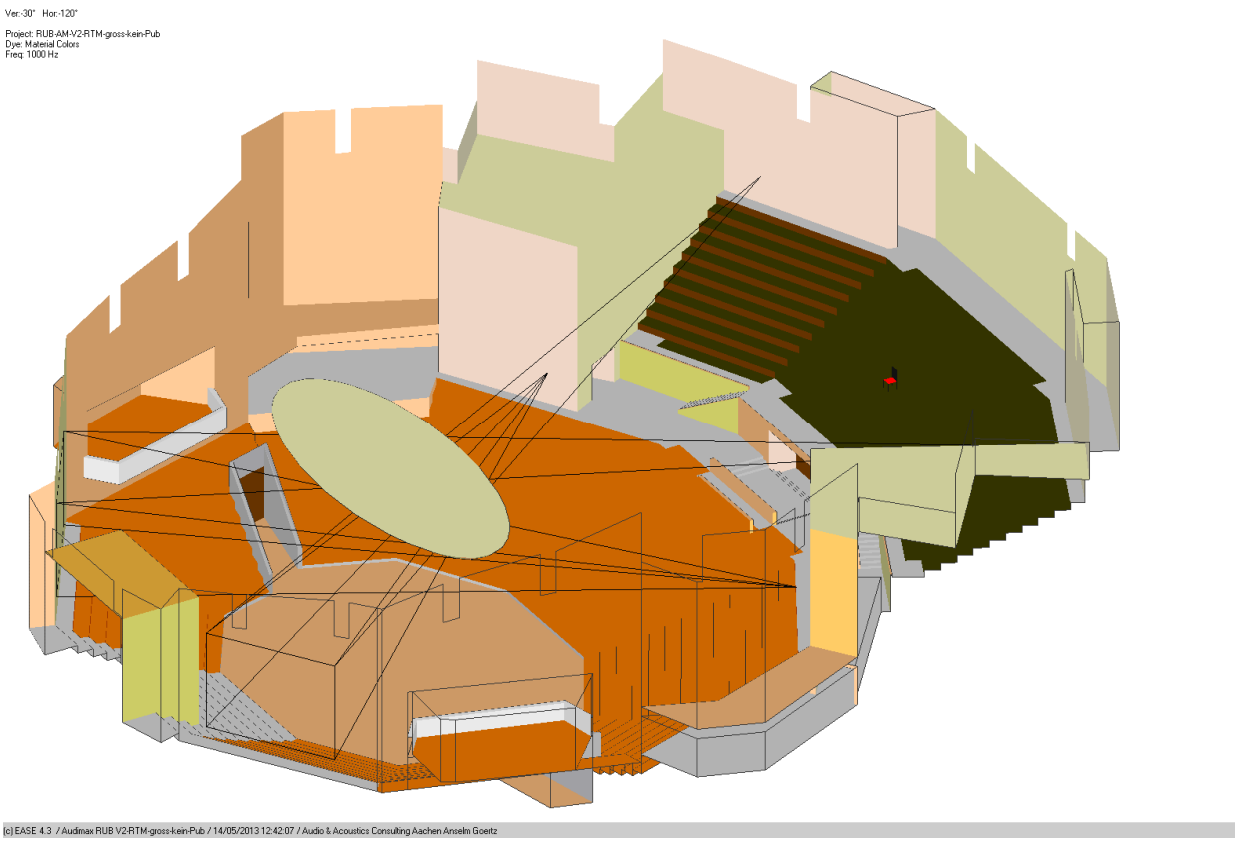




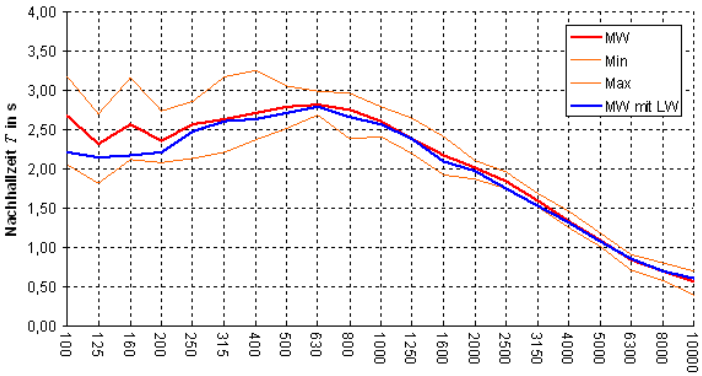


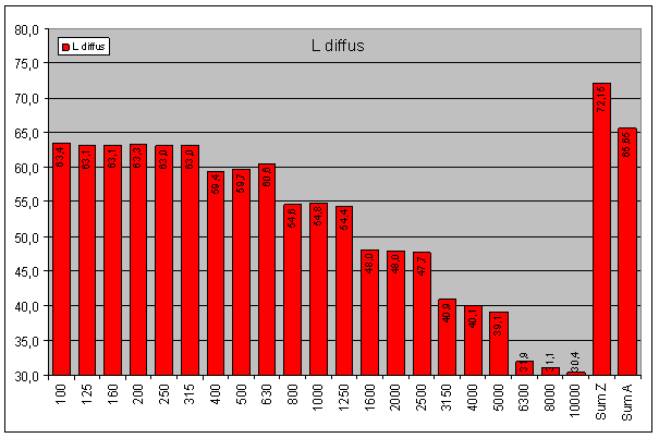
- Drahtgittermodell mit Projektionslinien

Simulationsmodell



Nachhallzeitmessung und Störpegelfestlegung



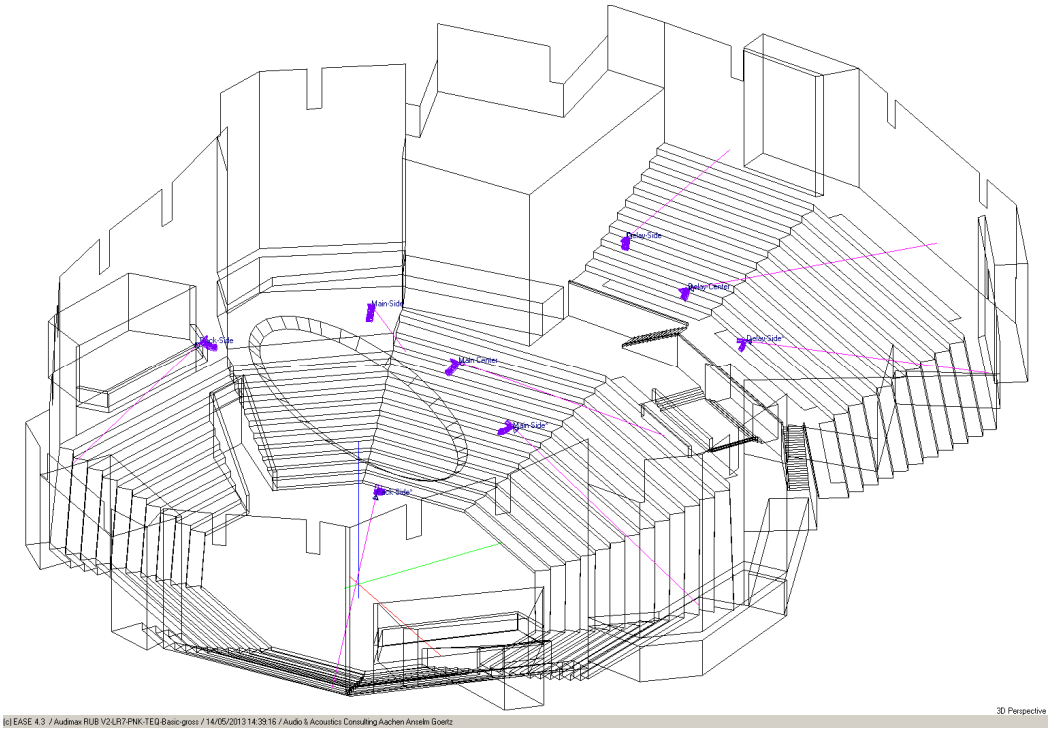


- Nachhallzeitmessung ohne Publikum in verschiedenen Betriebszuständen
  - der Saal ist in der Vergangenheit primär als Konzertsaal mit Orgel ausgelegt worden
  - mittlere Nachhallzeit 2,3 s bei 33.100m³ Volumen
  - Zielwert für Sprache wären ca. 1,2s
  - Ausgleich über stark richtende Lautsprecher

- Störpegelabschätzung:
  - Für das Störgeräusch im Audimax wird angenommen, dass sich 1000 Personen mit einem Schallleistungspegel von je 70 dB dezent unterhalten. Zusammen mit der spektralen Verteilung eines männlichen Sprecher sowie der Nachhallzeit und dem Raumvolumen berechnet sich daraus ein Diffusfeld Summenpegel von 65 dBA.
  - V = Raumvolumen in m³
    T = Nachhallzeit in s
  - V beträgt ca. 33.100 m³.
    Die mittlere Nachhallzeit mit Publikum liegt bei ca. 2,3 s.
  - Daraus ergibt es sich ein Diffusfeldpegel von ca. 72 dB(lin) bzw. 65 dBA.
  - Für das Nutzsignalspektrum wird das eines männlichen Sprecher nach 60268-16 angenommen.

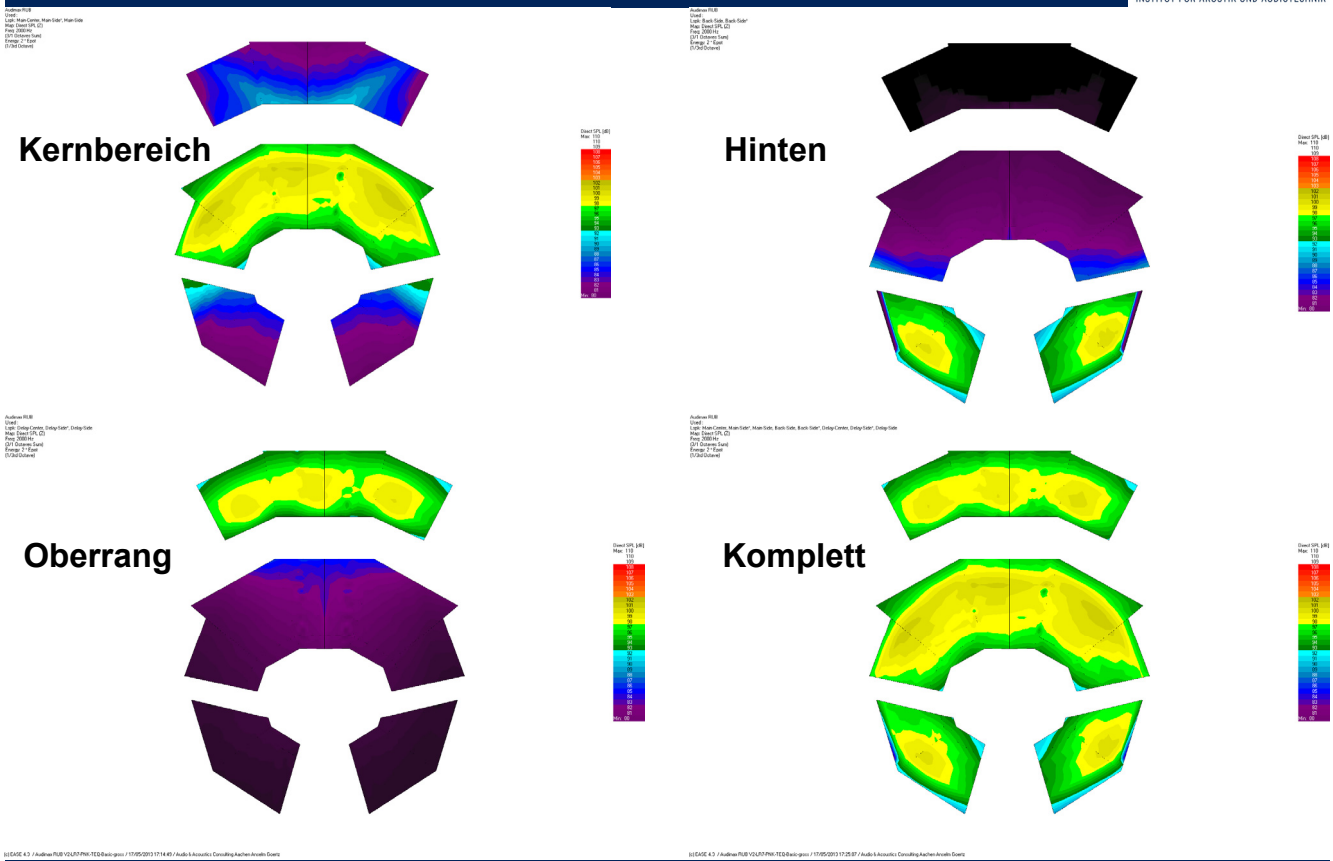
$$L_{Pdiff} = L_W + 10 \cdot \log(Anzahl) + 14 - 10 \cdot \log \frac{V}{T}$$

Beschallungskonzept

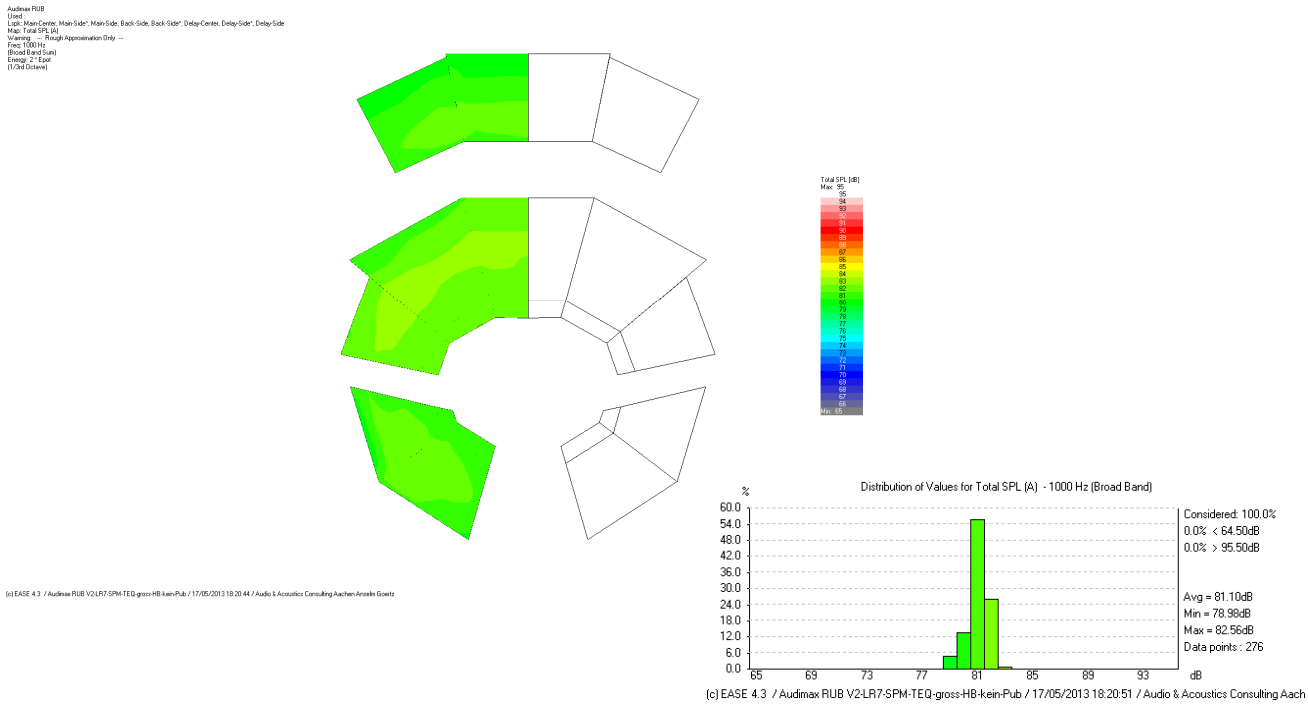


- 8x Line-Array für die selektive Beschallung der einzelnen Blöcke

Pegelverteilung Direktschall 1- 4 kHz Exciter: Pinknoise



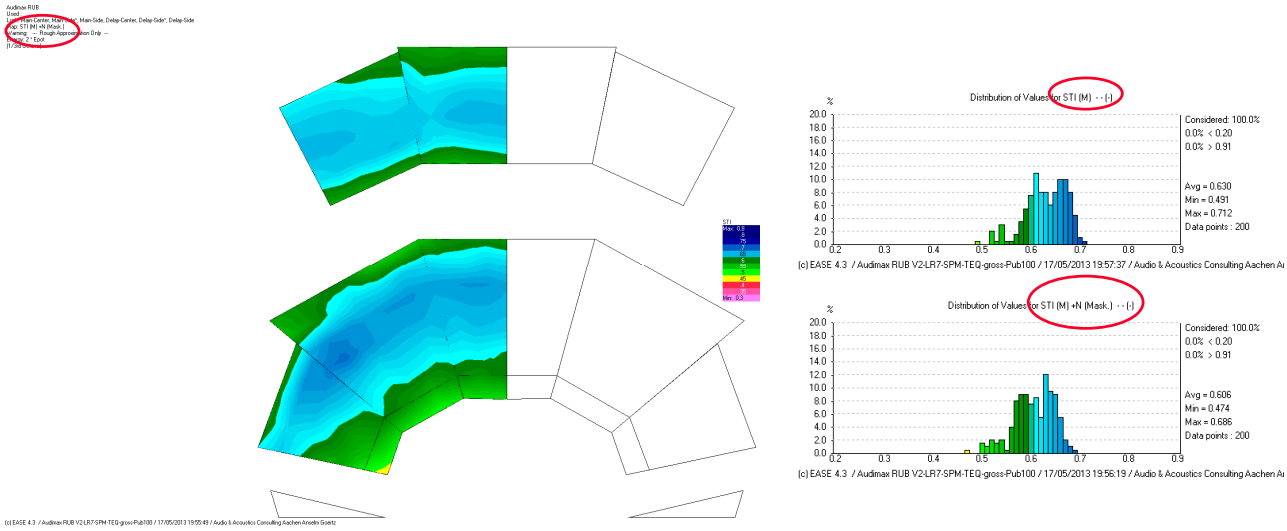
Pegelverteilung Gesamtschall breitbandig Exciter: Sprecher (m)



- Zielpegel 80 dBA mit 20 dB Headroom bei 12 dB Crestfaktor

Sprachverständlichkeit Vorlesungsbetrieb (groß)

- Publikum im Kernbereich und Oberrang: 100%
- Hintere Bereiche ohne Publikum
- Störpegel 65 dBA
- Signalpegel: 80 dBA Sprecher (m)
- STI als MW-STABW ohne Maskierung und Noise: 0,63-0,04 = 0,59
- STI als MW-STABW mit Maskierung und Noise: 0,61-0,03 = 0,57



Fazit

- Raumakustik
  - bei Neuplanung passend zur Anwendung gestalten
  - im Bestand falls möglich nachbessern
  - Wichtig:
    - viele frühe Reflexionen
    - nicht zu viel Nachhall
    - keine Echos, Flatterechos oder Fokuseffekte
    - möglichst gut absorbierende Bestuhlung
- Sinnvolle Festlegung des zu erwartenden Störpegelniveaus
- Beschallungstechnik
  - gezielte Beschallung der Zuhörer mit hinreichend richtenden Lautsprechern
  - keine Wände, Decken, o.ä. beschallen !
  - Vorschriften beachten, falls die Beschallungsanlage auch ENS oder SAA ist
    - EN 60849
    - VDE 0833-4
    - Sonderzulassungen
    - EN54 Komponenten

Paper Download

IFAA
INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

www.ifaa-akustik.de

Manuskript zu diesem Vortrag mit Text und Grafiken als PDF File

Stefan Weinzierl (Hrsg.)

Handbuch der Audiotechnik

Springer Verlag