

Planung und Ausführung der Beschallungsanlage für einen großen Hörsaal

Anselm Goertz – IFAA und TU Berlin

Alfred Schmitz – IFAA und TU Braunschweig

28. Tonmeistertagung in Köln

Session Acoustic Enhancement

20. - 23. Nov. 2014



Übersicht



Thema: Raumakustik und Beschallungstechnik

Grundlagen

- | | |
|--|---------|
| 1. Einleitung | 3 - 4 |
| 2. Grundlagen zum Thema Sprachverständlichkeit | 4 - 8 |
| 3. Sprachverständlichkeit und STI Werte | 9 - 16 |
| 4. Planung von Lautsprecheranlagen allgemein | 17 |
| 5. Raumakustik und Störpegel | 18 - 20 |

Beispiel

- | | |
|---|---------|
| 6. Audimax und Modellbau | 21 - 24 |
| 7. Lautsprecherpositionen | 25 - 28 |
| 8. Simulationsergebnisse | 29 - 32 |
| 9. Messung der Anlage nach Fertigstellung | 33 - 35 |
| 10. Fazit | 36 |
| 11. Literatur | 37 - 38 |



28. TMT in Köln
Hörsaalbeschallung · Anselm Goertz und Alfred Schmitz

Die Beschallungsanlage

- Nur zur Information und Unterhaltung
- Sprachalarmanlage (SAA) oder Notfallwarnsystem (ENS)
- Qualitativ hochwertig Sprachübertragung (Hörsaal, Theater, Kino, ...)
- Gemeinsames minimales Ziel:
Eine hinreichende Sprachverständlichkeit

- Störende Einflüsse:

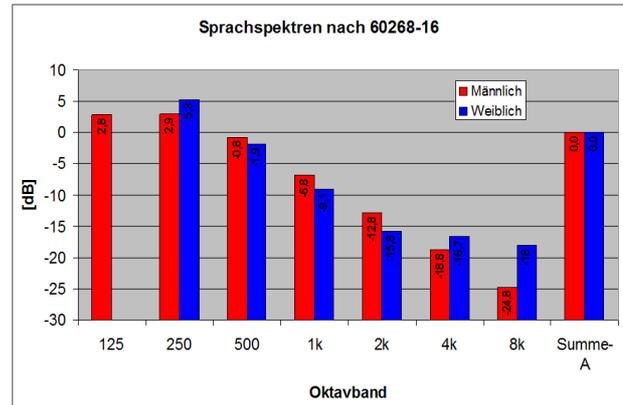
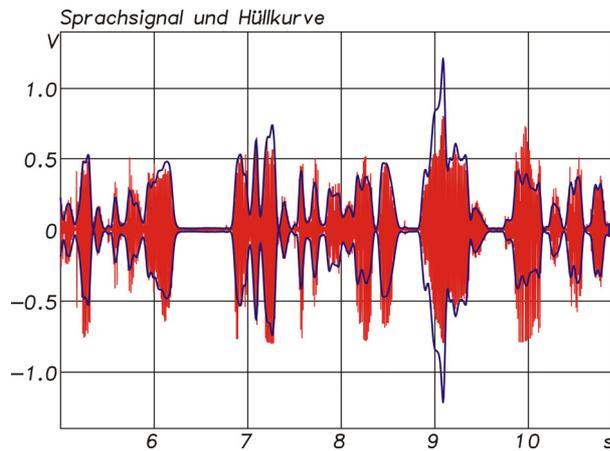
- Störgeräusche (Signal/Noise respektive Störabstand)
- Nachhall (Raumakustik)
- zu niedriger Pegel (Hörschwelle)
- zu hoher Pegel (Maskierung)



28. TMT in Köln
Hörsaalbeschallung · Anselm Goertz und Alfred Schmitz

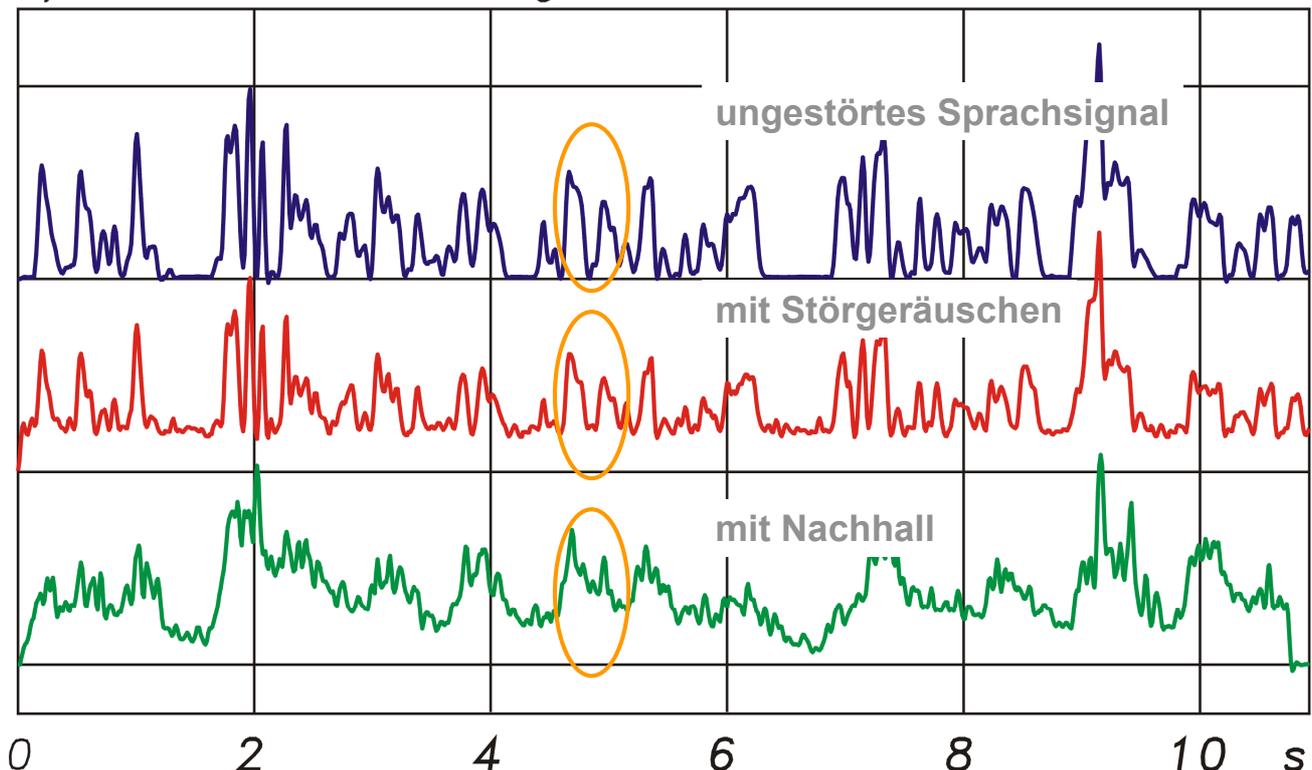
■ Sprache ist ein moduliertes Signal

- ⇒ Der Informationsgehalt wird größtenteils 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



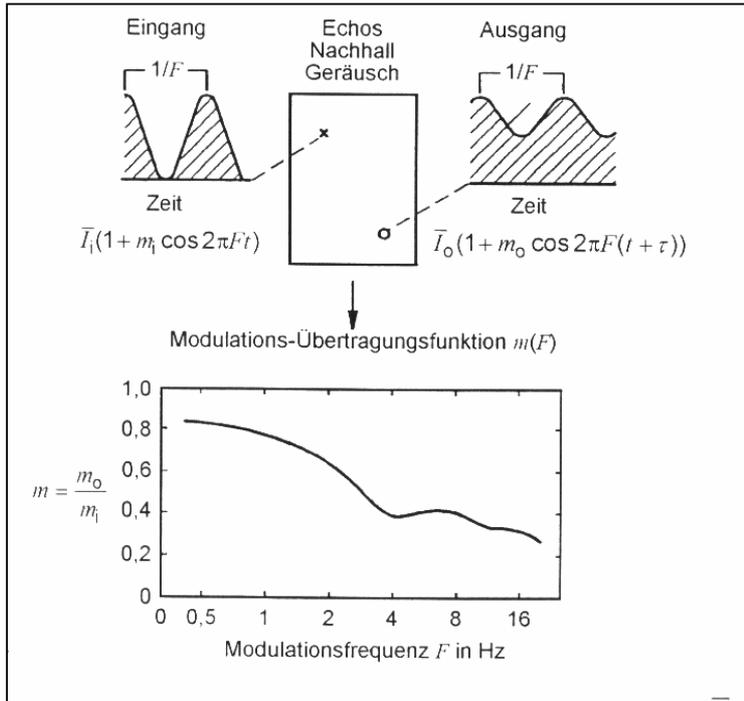
Modulationsverlust durch Störgeräusche und Nachhall

Sprache Hüllkurve: Original, mit Noise, mit Hall



- Störgeräusche sind meist sowohl zeitlich wie auch in 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 eine Pegelnapassung, da die Anlage sonst zeitweise viel zu laut sein kann
 - der Aufwand für die Beschallungsanlage sollte in einem angemessenen Verhältnis bleiben

- 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)



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

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

Der Mindestwert für eine SAA oder ENS liegt bei 0,5 (0,45).

Examples of STI qualification bands and typical applications

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

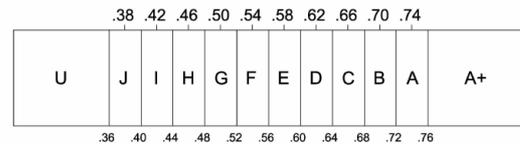
Table G.1 – Examples between STI qualification bands and typical applications

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
- Tabelle nur zur Orientierung, nicht normativ !

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
- DIN 18041 Mai 2004
Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen

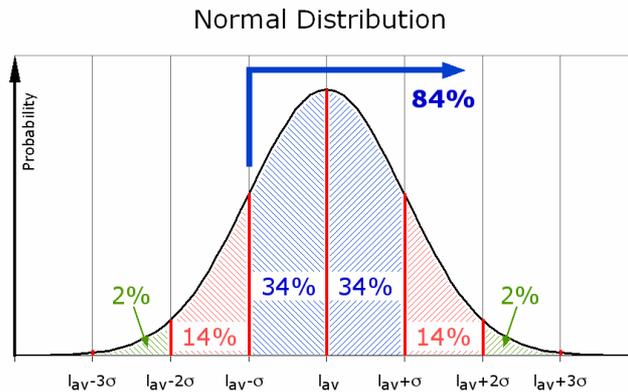
- Arithmetischer Mittelwert – Standardabweichung $\geq 0,5$

- $I_{av} - \sigma \geq 0,5$

$$I_{av} = \frac{1}{n} (a_1 + a_2 + \dots + a_n)$$

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

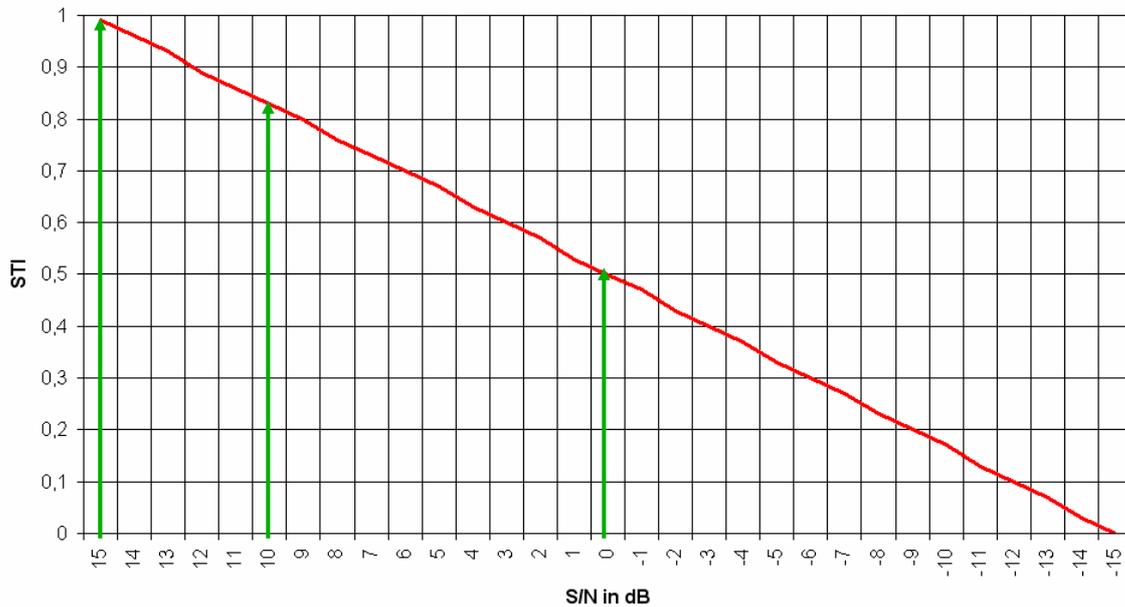
- Empfohlenes Messraster: 6 m



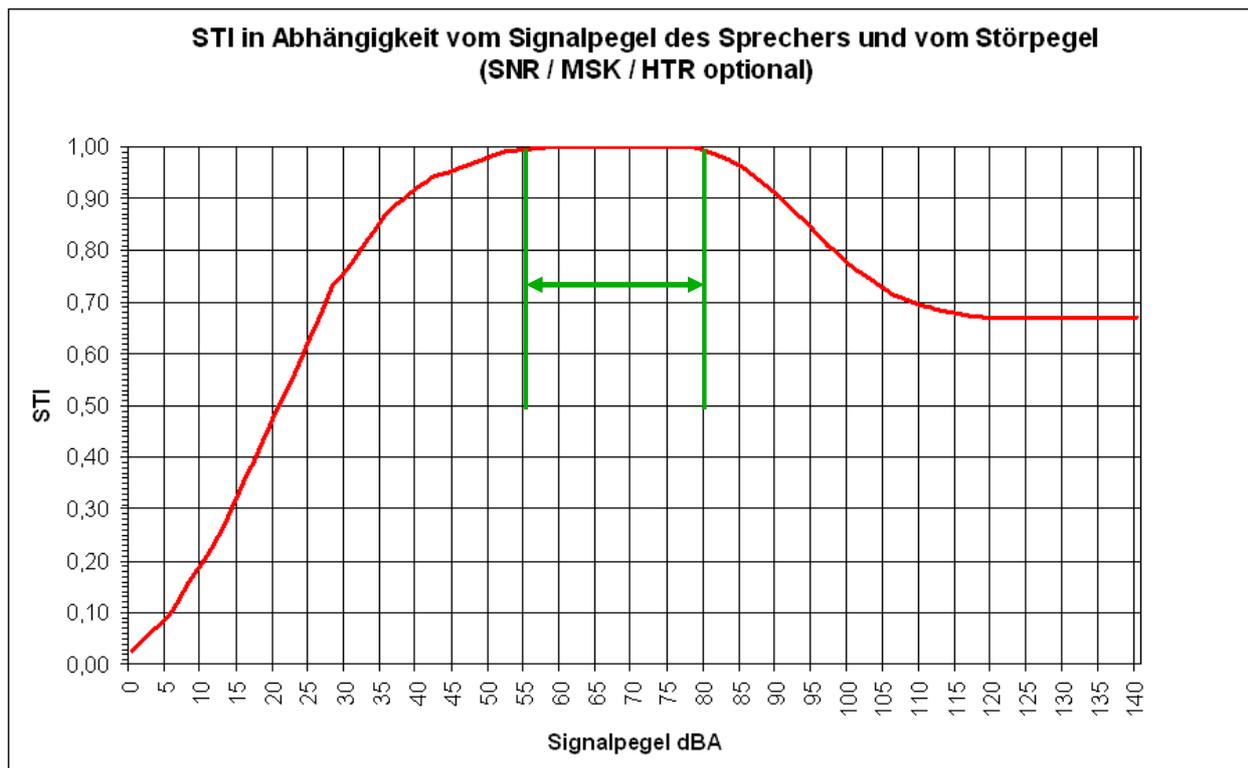
Zusammenhang des STI mit subjektiven Testmethoden

STI-Wert	CIS-Wert	Alcons in %	Einstufung EN 60268	Silbenverständlichkeit in %	Wortverständlichkeit in %	Satzverständlichkeit 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
<u>0,45...0,6</u>	0,65...0,78	17...8	angemessen	<u>61...85</u>	<u>68...88</u>	<u>93...98</u>
<u>0,6...0,75</u>	0,78...0,87	8...3,6	gut	<u>85...98</u>	<u>88...98</u>	<u>98...100</u>
0,75...1	0,87...1	3,6...1	ausgezeichnet	98...100	98...100	100

STI in ausschließlicher Abhängigkeit vom S/N bei 65 dBA Signalpegel



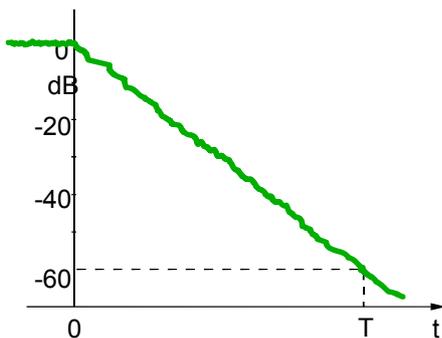
STI in Abhängigkeit vom Signalpegel des Sprechers und vom Störpegel (SNR / MSK / HTR optional)



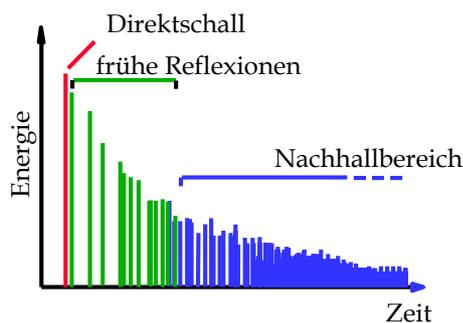
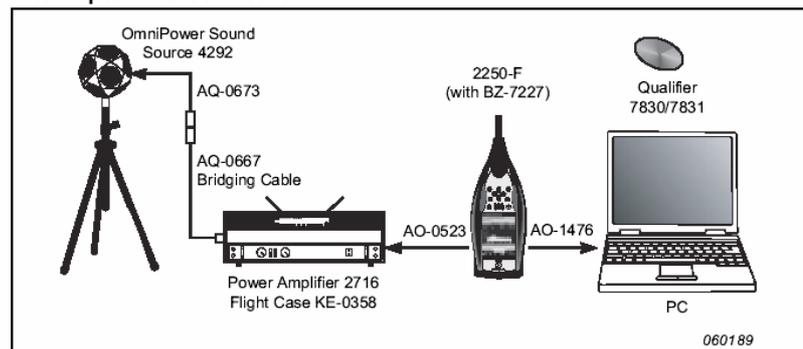
■ Ausgangssituation:

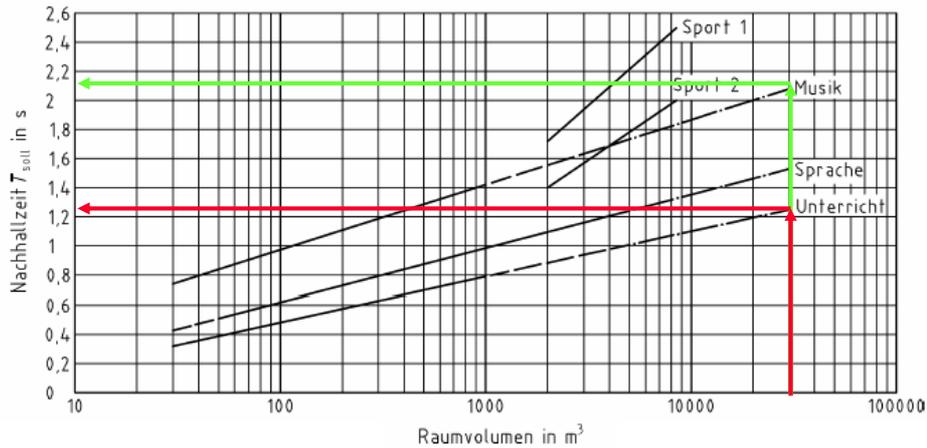
- Nachhallzeit in Oktav- oder Terzbändern (Mittelwert nur als Anhaltspunkt)
- Störpegel in Oktav- oder Terzbändern (A-bew. Summenpegel nur als Anhaltspunkt)
- einzuhaltenden Normen
 - 60849 für Notfallwarnsysteme (ENS)
 - VDE 0833-4 für Sprachalarmanlagen (SAA)
- Anwendung der Beschallung (Sprache, Musik, Anspruch, ...)
- 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





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

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

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

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

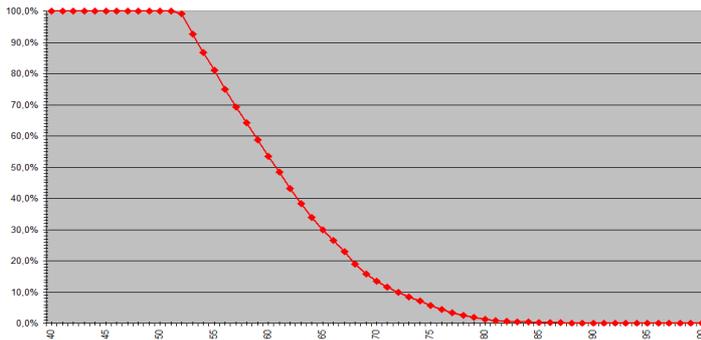
Sport 2: $T_{soll} = \left(0,95 \lg \frac{V}{m^3} - 1,74 \right) s$

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

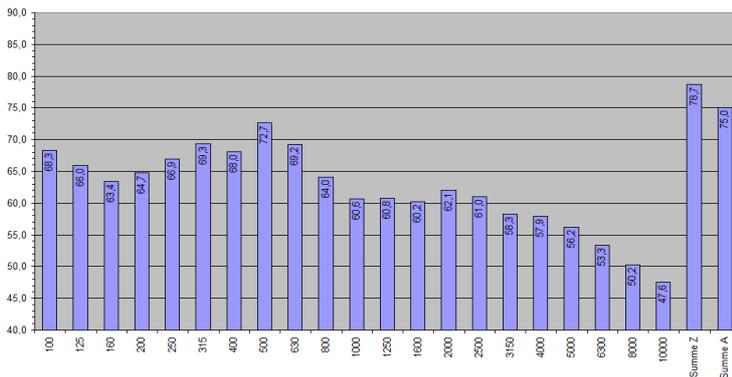
$T_{soll} = \left(0,32 \cdot \log \left(\frac{33.000 m^3}{m^3} \right) - 0,17 \right) s = 1,27 s$

Störpegelbetrachtung

%-Anteil der Messwerte oberhalb eines Grenzwertes VST BS 8

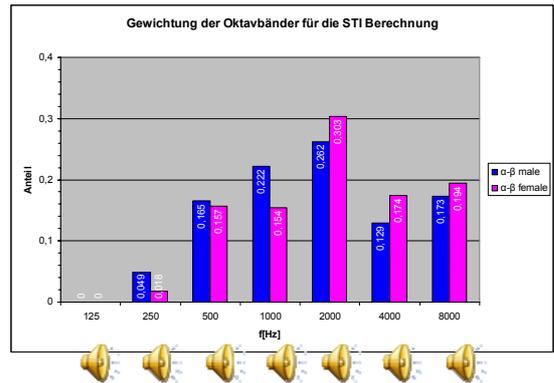


Störpegelspektrum VST BS 8



- Summenpegel (A-bew.)
- Oktavbandwerte
- unterschiedliche Bedeutung der Oktavbänder für die Sprachverständlichkeit
- Nutzsignal Bandbreite beachten

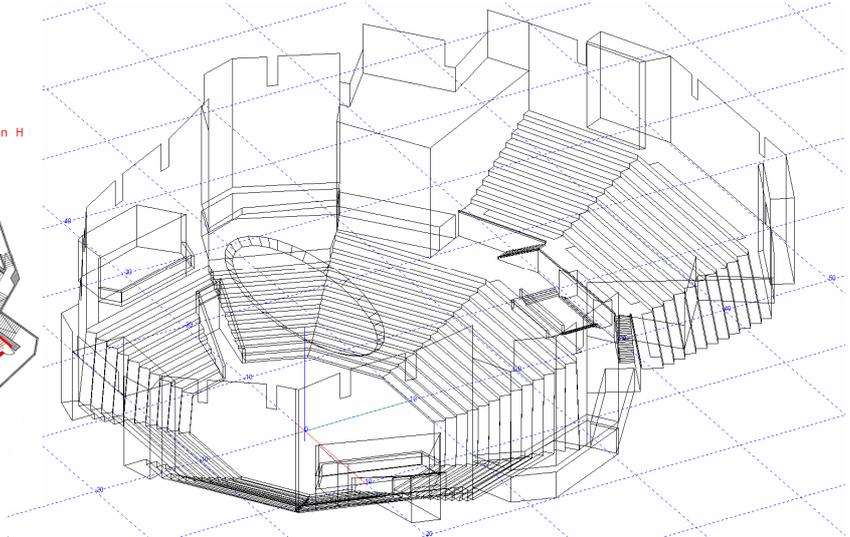
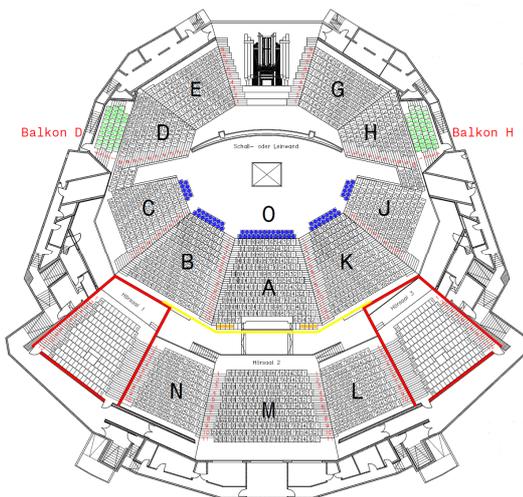
Gewichtung der Oktavbänder für die STI Berechnung





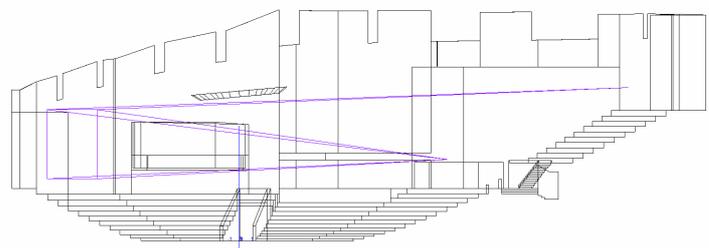
28. TMT in Köln
Hörsaalbeschallung · Anselm Goertz und Alfred Schmitz

Simulationsmodell



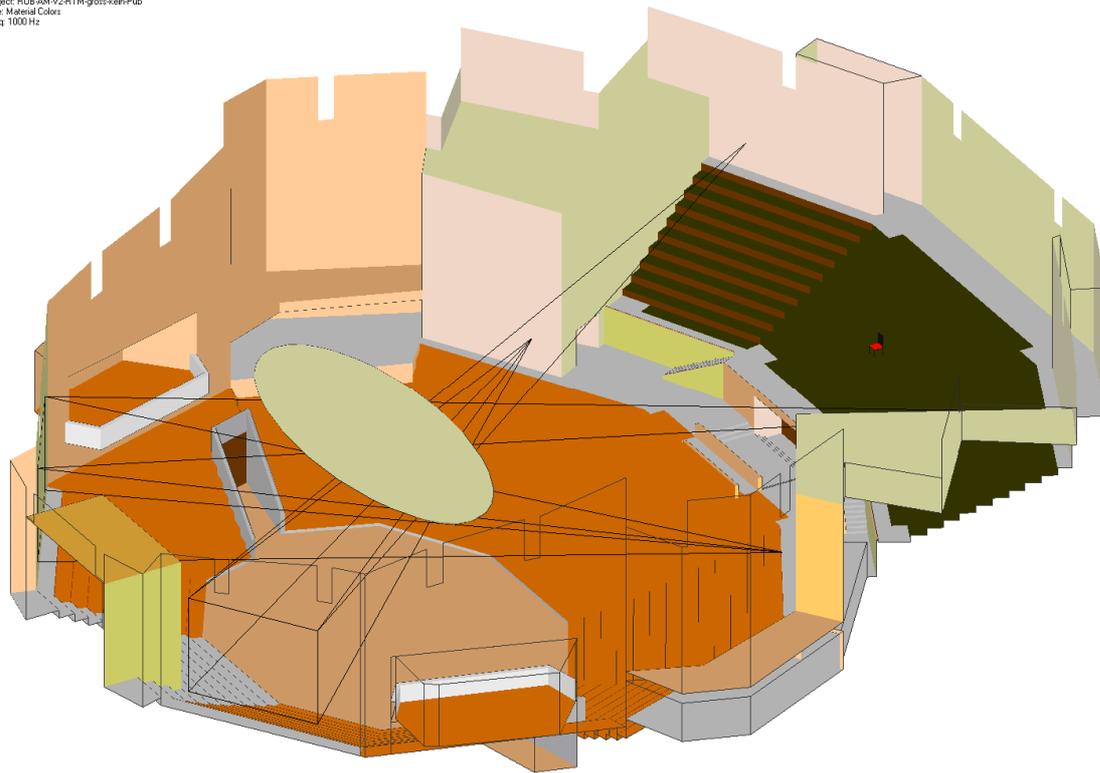
■ Drahtgittermodell

- Flächen mit Materialdaten belegen
 - Absorptionsgrad
 - Streugrad
- Anpassung an die gemessene Nachhallzeit (falls möglich)
- Projektionslinien beachten



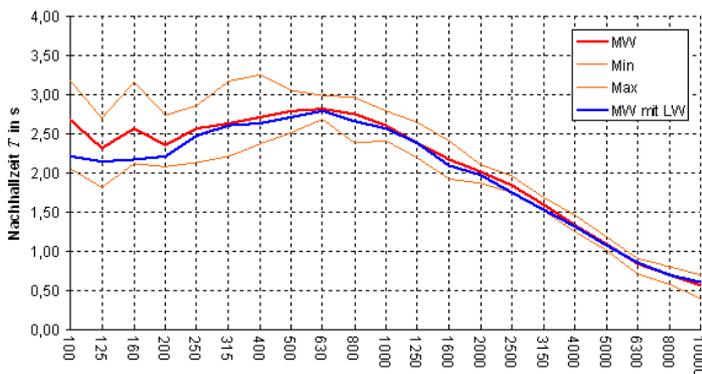
28. TMT in Köln
Hörsaalbeschallung · Anselm Goertz und Alfred Schmitz

Ver: 30° Hor: 120°
 Project: RUB AM V2RTM-gross-kein-Pub
 Day: Material Color
 Freq: 1000 Hz



© EASE 4.3 / Audimax RUB V2RTM-gross-kein-Pub / 14/05/2013 12:42:07 / Audio & Acoustics Consulting Aachen Anselm Goertz

Nachhallzeitmessung und Störpegelfestlegung

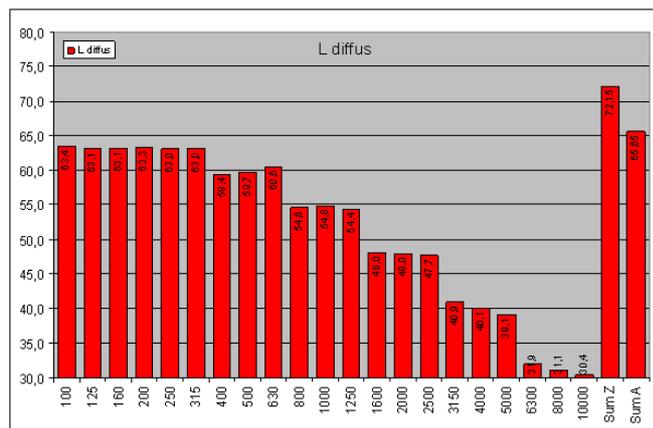


■ Nachhallzeitmessung ohne Publikum in verschiedenen Betriebszuständen

- der Saal ist in der Vergangenheit primär als Konzertsaal mit Orgel ausgelegt worden
- mittlere Nachhallzeit 2,3 s bei 33.100m³ Volumen
- Gut absorbierende Bestuhlung. Daher ändert sich die Nachhallzeit mit Publikum nur wenig.
- Zielwert für Sprache wären ca. 1,26s
- Ausgleich über stark richtende Lautsprecher

■ Störpegelabschätzung:

- Für das Störgeräusch im Audimax wird angenommen, dass sich 1000 Personen mit einem Schalleistungspegel 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.



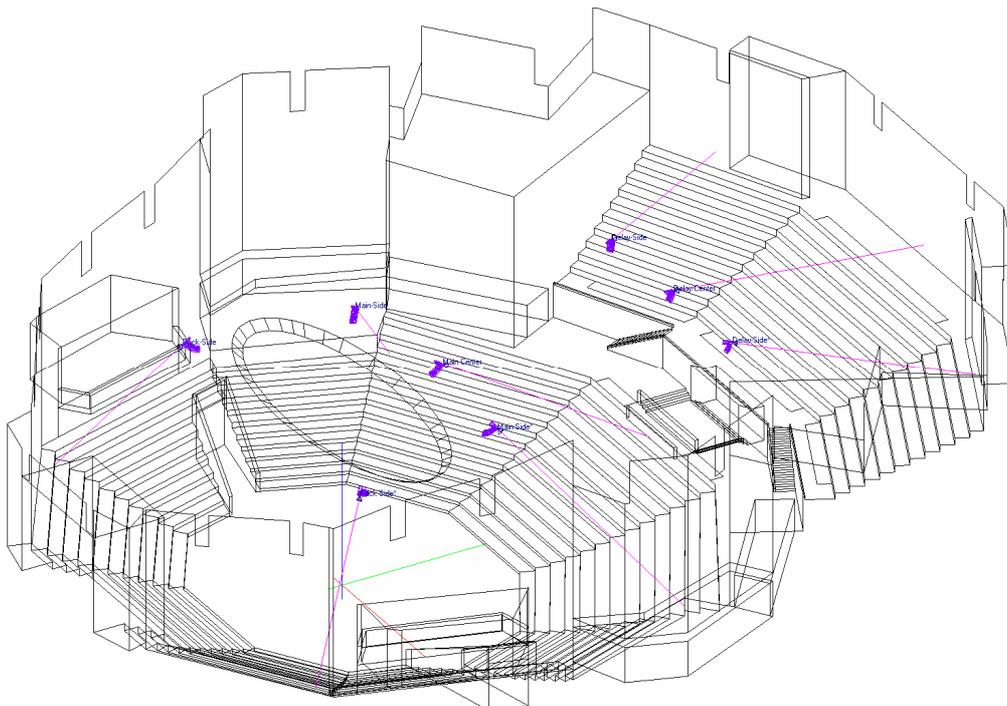
$$L_{Pdiff} = L_W + 10 \cdot \log(\text{Anzahl}) + 14 - 10 \cdot \log \frac{V}{T}$$



28. TMT in Köln
Hörsaalbeschallung · Anselm Goertz und Alfred Schmitz

V10
Folie 25 von 38

Beschallungskonzept

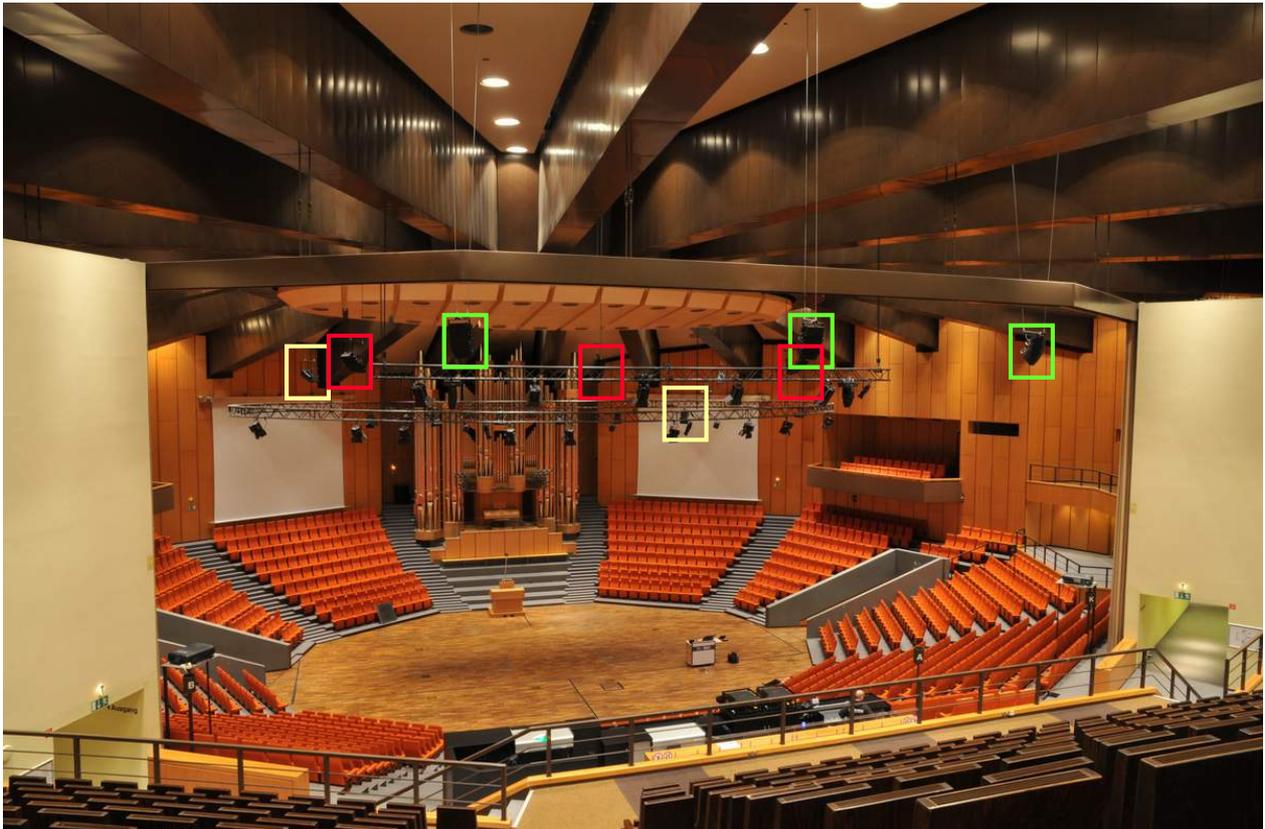


(c) EASE 4.3 / Audimax RUB VQLR7PNKTED Basic gross / 14.05/2013 14.3916 / Audio & Acoustics Consulting Aachen Anselm Goertz

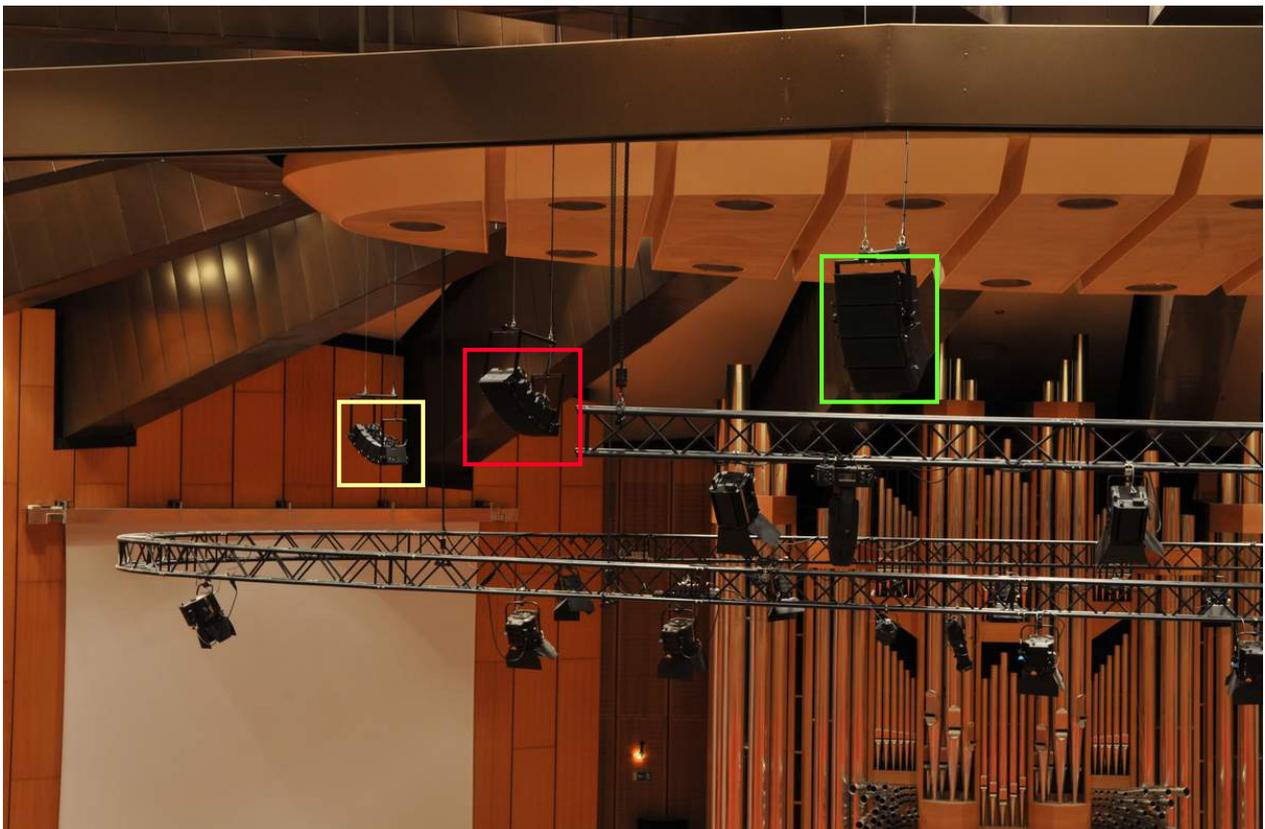
3D Perspective

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

V10
Folie 26 von 38



28. TMT in Köln
Hörsaalbeschallung · Anselm Goertz und Alfred Schmitz

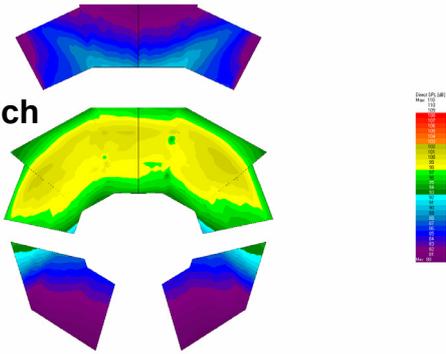


28. TMT in Köln
Hörsaalbeschallung · Anselm Goertz und Alfred Schmitz

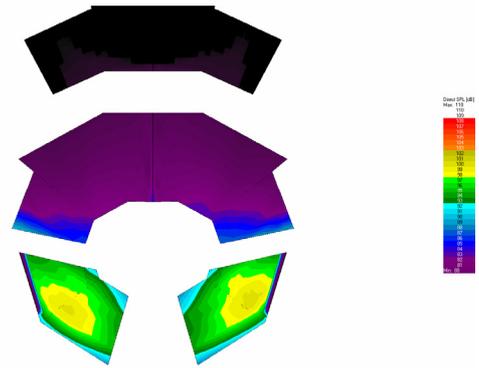
Audimax R18
Date: 11/05/2013 17:14:41 / Audio & Acoustics Consulting Achim-Anselm Goertz

Audimax R18
Date: 11/05/2013 17:14:41 / Audio & Acoustics Consulting Achim-Anselm Goertz

Kernbereich



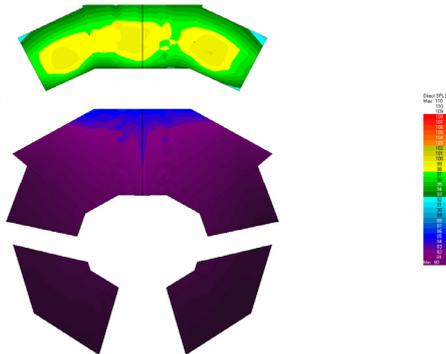
Hinten



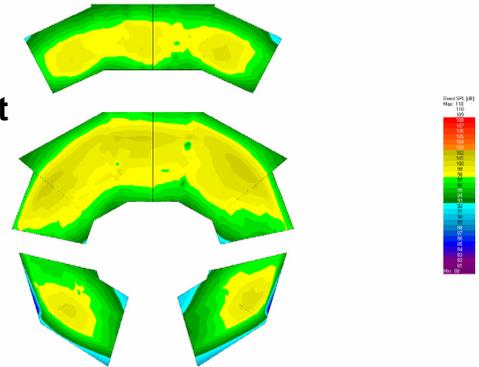
Audimax R18
Date: 11/05/2013 17:14:41 / Audio & Acoustics Consulting Achim-Anselm Goertz

Audimax R18
Date: 11/05/2013 17:14:41 / Audio & Acoustics Consulting Achim-Anselm Goertz

Oberrang



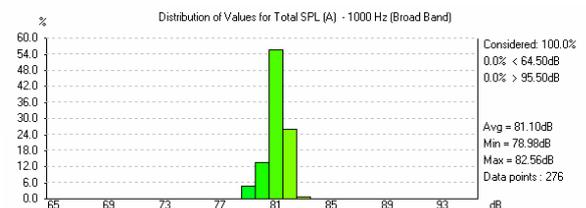
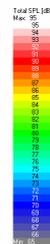
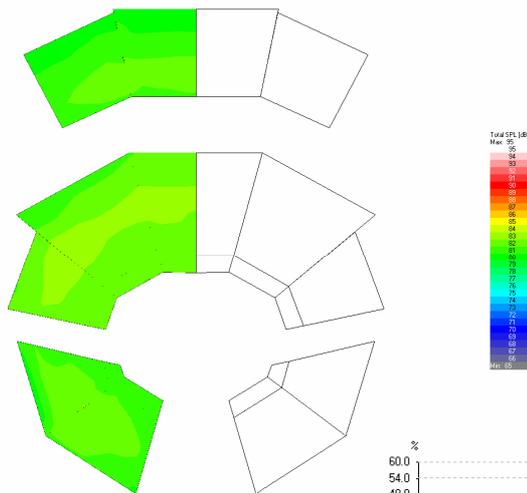
Komplett



(c) EASE 4.3 / Audimax R18 V10-LR7-PM-TEQ-gross / 11/05/2013 17:14:41 / Audio & Acoustics Consulting Achim-Anselm Goertz

(c) EASE 4.3 / Audimax R18 V10-LR7-PM-TEQ-gross / 11/05/2013 17:14:41 / Audio & Acoustics Consulting Achim-Anselm Goertz

Audimax R18
Client: ...
Lsp: Main Centre, Main Side, Main Side, Back Side, Back Side, Back Side, Delay Center, Delay Side, Delay Side
Map: Total SPL (dB)
Warning: ...
Time: 1000 Hz
Broad Band Sum
Range: 2, 1, 1
(1/3rd Octave)



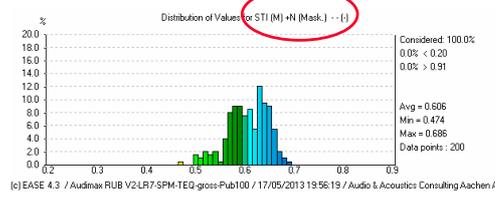
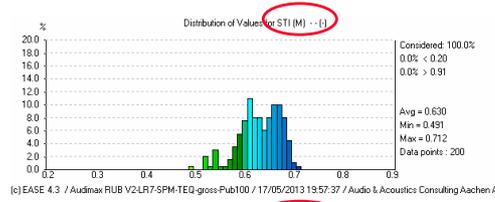
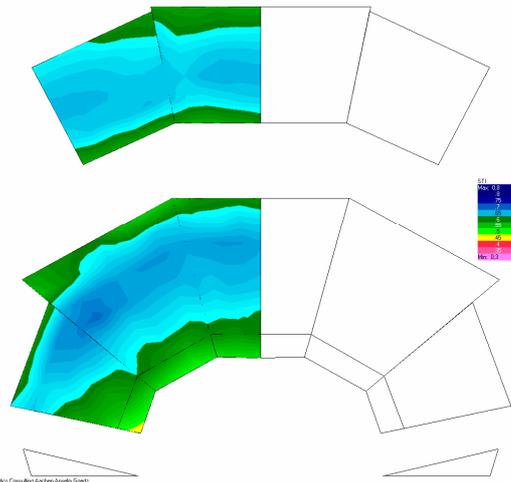
(c) EASE 4.3 / Audimax R18 V10-LR7-SPM-TEQ-gross-HB-kein-Pub / 17/05/2013 18:20:41 / Audio & Acoustics Consulting Achim-Anselm Goertz

(c) EASE 4.3 / Audimax R18 V10-LR7-SPM-TEQ-gross-HB-kein-Pub / 17/05/2013 18:20:51 / Audio & Acoustics Consulting Achim-Anselm Goertz

- Pegel: 81 dBA bei 20 dB Headroom für Signale mit 12 dB Crestfaktor

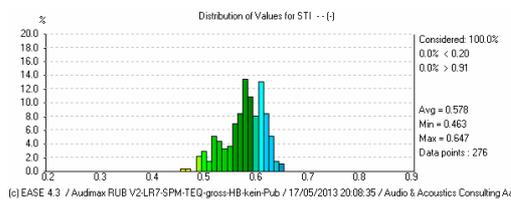
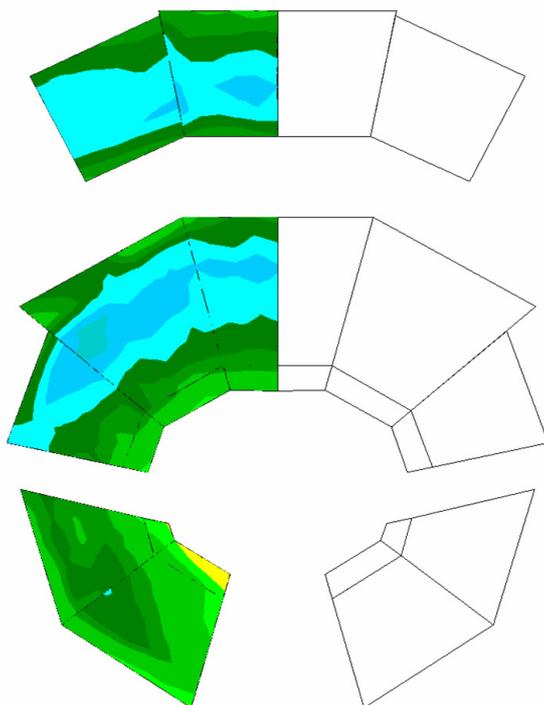
- Publikum im Kernbereich und Oberrang: 100%
- Hintere Bereiche ohne Publikum
- Störpegel 65 dBA
- Signalpegel: 80 dBA Sprecher (m)
- STI als MW-STABW ohne Maskierung und Noise: $0,63 - 0,04 = 0,59$
- STI als MW-STABW mit Maskierung und Noise: $0,61 - 0,03 = 0,58$

Audio File
 (c) EASE 4.3 / Audimax RUB V2:LR7-SPM-TEQ-gross-Pub100 / 17/05/2013 19:57:37 / Audio & Acoustics Consulting Aachen GmbH

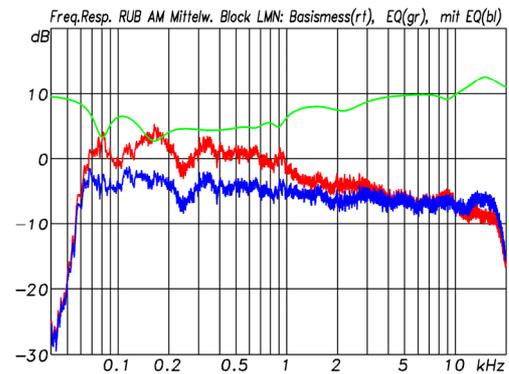
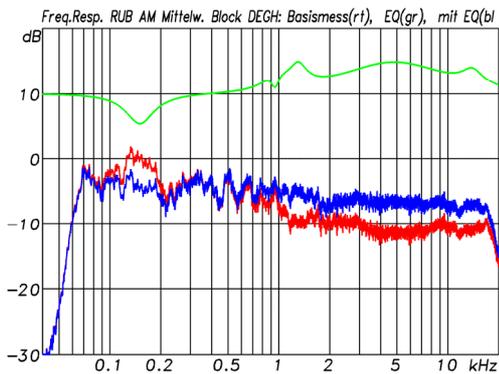
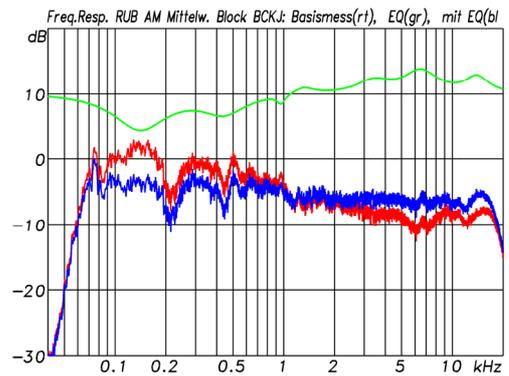
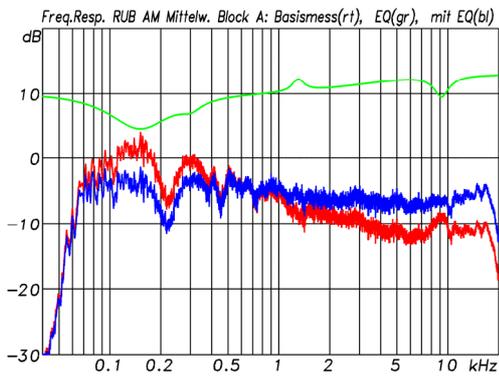


(c) EASE 4.3 / Audimax RUB V2:LR7-SPM-TEQ-gross-Pub100 / 17/05/2013 19:57:37 / Audio & Acoustics Consulting Aachen GmbH

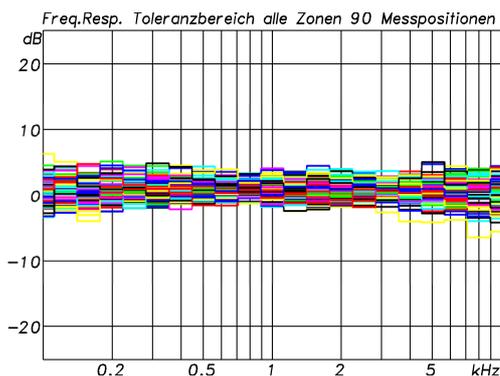
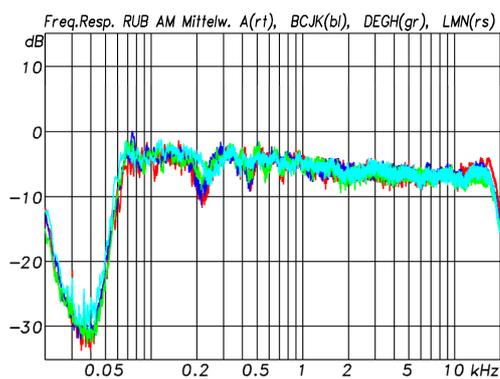
- Publikum: 0%
- Beschallung für alle Bereiche aktiv
- Zum Vergleich mit der späteren Kontrollmessung
- STI als MW-STABW ohne Maskierung und Noise: $0,58 - 0,04 = 0,54$



(c) EASE 4.3 / Audimax RUB V2:LR7-SPM-TEQ-gross-HB-kein-Pub / 17/05/2013 20:08:35 / Audio & Acoustics Consulting Aachen GmbH



Frequenzgänge und Pegelverteilung



- Filter für jeden Bereich (Block) separat einstellen
- Zielfunktion nach Anwendung (Sprache, Musik, Alarm, ...)
- Pegel möglichst gleichmäßig über alle Plätze
- Tonal geringe Schwankungen

- Messung der STI Werte im leeren Saal beim Betrieb der kompletten Beschallungsanlage für alle Bereiche
- Messwerte: $0,58 - 0,03 = 0,55$
- Simulation: $0,58 - 0,04 = 0,54$
- Alte Anlage: $0,51 - 0,03 = 0,48$

Bereich	Anzahl-Messpositionen	Mittelwert	Standardabweichung	MW-STABW
A	24	0,60	0,03	0,57
B und K	24	0,58	0,03	0,55
C und J	16	0,56	0,03	0,53
D und H	20	0,54	0,03	0,51
E und G	16	0,56	0,03	0,53
M	20	0,58	0,03	0,55
L und N	36	0,59	0,03	0,56
Alles	156	0,58	0,03	0,55

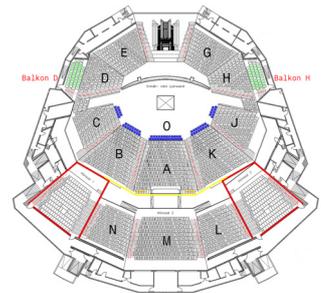
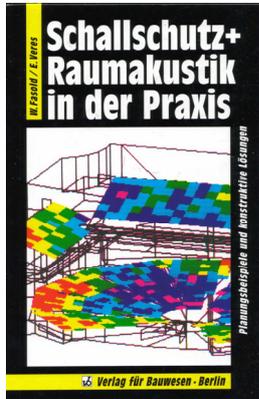


Tabelle 9.1: Sprachverständlichkeit aus den Bereichsmessungen ohne Publikum.

Fazit

- Planungsgrundlagen:
 - Beschreibung der Raumakustik durch die Nachhallzeit
 - Festlegung des zu erwartenden Störpegelniveaus
 - zu beachtenden Vorschriften:
 - EN 60849
 - VDE 0833-4
 - Sonderzulassungen
 - EN54 Komponenten
 - Qualität der Signalzuspielung beachten
 - Anforderung an die Sprachverständlichkeit entsprechend der Anwendung definieren
- Bei schwieriger Raumakustik:
 - Absorber einbringen, falls möglich.
 - Bei flächendeckender Beschallung stark richtende Lautsprecher einsetzen (z.B. Line-Arrays für große Hallen)
 - Bei selektiver Beschallung dezentrale Systeme so nahe wie möglich an die Zuhörer bringen
 - Lautsprechertyp und Leistung entsprechend den Erfordernisse für einen hinreichenden S/N auswählen.

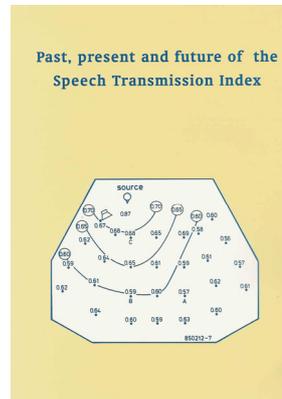
Fasold, W. / Veres, E.
Schallschutz +
Raumakustik
in der Praxis
Verlag für Bauwesen Berlin



Stefan Weinzierl
Handbuch der Audiotechnik
Springer Verlag 2008



Houtgast, T; Steeneken, H.
Past, present and future of
speech transmission index



Andreas Simon
Fachkraft für Sprachalarm-
anlagen nach DIN 14675



28. TMT in Köln
Hörsaalbeschallung · Anselm Goertz und Alfred Schmitz

V10
Folie 37 von 38

www.ifaa-akustik.de

Manuskript zu diesem Vortrag mit Text und Grafiken als PDF File