VPLT Seminar zur PLS am 24.3.2010 zum Thema:

Planung von Beschallungsanlagen mit dem Schwerpunkt Sprachverständlichkeit

Prof. Dr.-Ing. Anselm Goertz

Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz

Paper Download

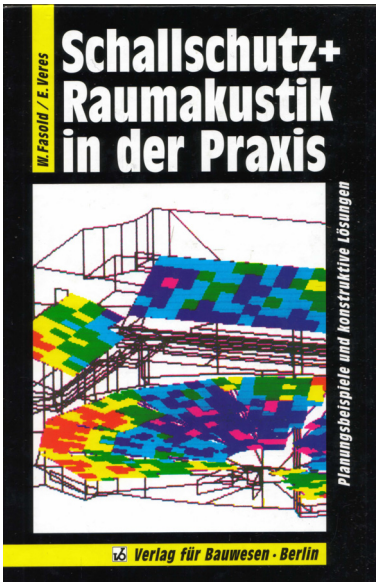
www.ifaa-akustik.de

Übersicht

1. Einleitung
2. Sprachverständlichkeit - Grundlagen
   1. Modulation und Modulationsverlust
   2. Messung von Sprachverständlichkeit über den Modulationsverlust
   3. Nutzsignal und Störpegel
   4. Hörschwelle und Verdeckung
3. Zielsetzung
   1. Sprachverständlichkeit für verschiedene Anwendungen
   2. Normen und sonstige Vorgaben
4. Planung von Beschallungsanlagen
   1. Einfache Ansätze
   2. Simulationen
5. Nachweis und Messung
6. Fazit

Literatur

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

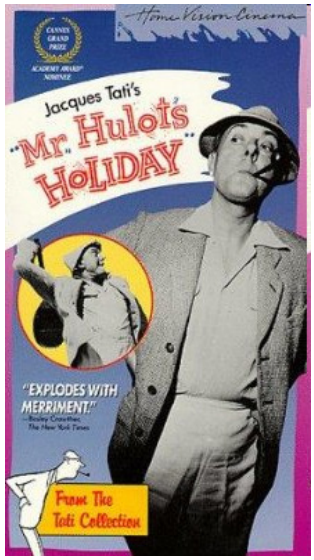


S. Weinzierl
Handbuch der Audiotechnik
Springer Verlag

Sprachverständlichkeit, wozu ?

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Jacques Tati: 1952 Die Ferien des Monsieur Hulot
  (Les vacances de Monsieur Hulot)



Ziel: Realisierung einer guten Hörsamkeit

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

Definition und Feststellung der Sprachverständlichkeit

IFAA INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Subjektive Messung mit Hilfe von Sprechern und Zuhörern mit definierten Sätzen, Wortfolgen, Silben o.ä.
  Beispiel: TNO Satztest
- Vorhersage anhand messtechnischer Werte
  Nachhallzeit RT *(ca. 1s)*
  Deutlichkeitsmaß C_{50} *(>0dB)*
  Störabstand S/N *(>10dB)*
  Bandbreite f_o, f_u *(min. 300 Hz – 3 kHz)*
  Verzerrungen THD *(<10%)*
- Objektive Messung mit speziellen Testsignalen → **STI**

Hörbeispiele

IFAA INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Original Sprechersignal

äußere Einflüsse

- Störgeräusche
  Pinknoise
  Noise mit S nspektrum
  1 kHz O vband Noise
  zw Sprecher

Raumakustik

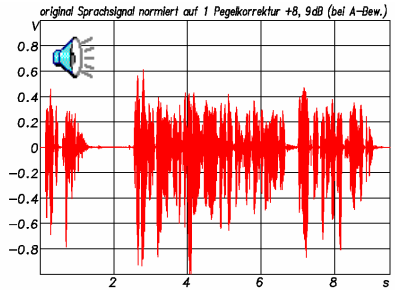
- Nachhall
  kurz 0,6 s
  mittel 1,0 s
  lang 3,5
- Ec

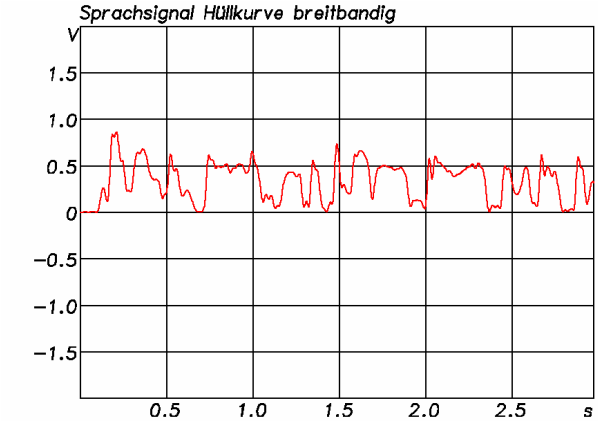
Lautsprecheranlage

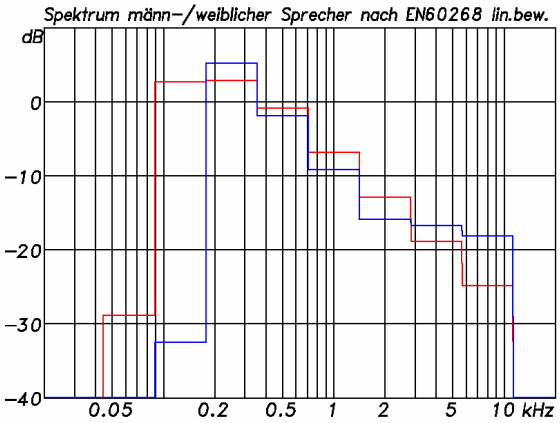
- Bandbegrenzung
  100 Hz – 10 kHz
  300 Hz bis 3,4 kH
  1 kHz Oktavb
- Verzer en
  Cl g bei –20 dBfs
- Dynamikkompression
  Kompression auf –20 dBfs

Sprachsignal

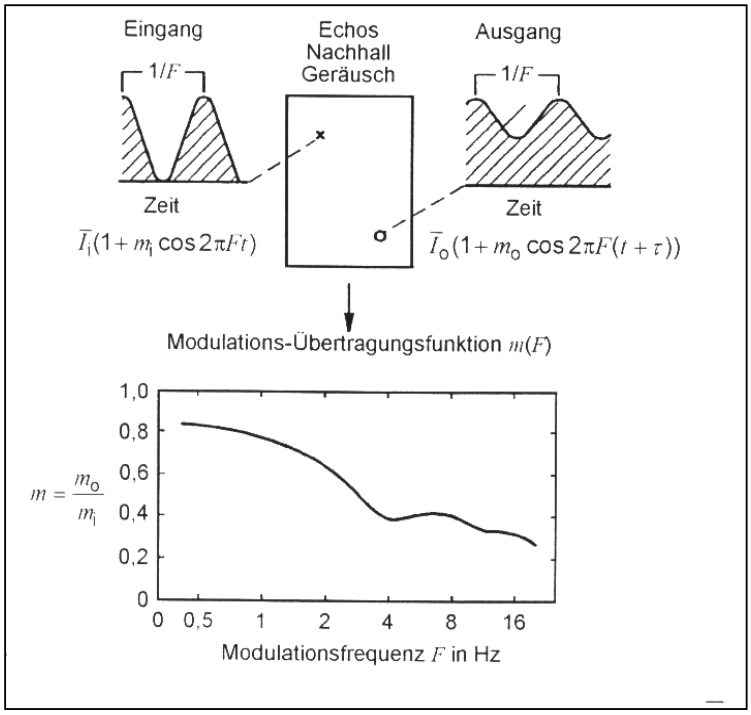
- Sprache ist ein moduliertes Signal
- Modulationsfrequenzen bis 20 Hz
- Frequenzbereich der 7 Oktavbänder von 125 Hz bis 8 kHz







Die Modulationsübertragungsfunktion (MTF)



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

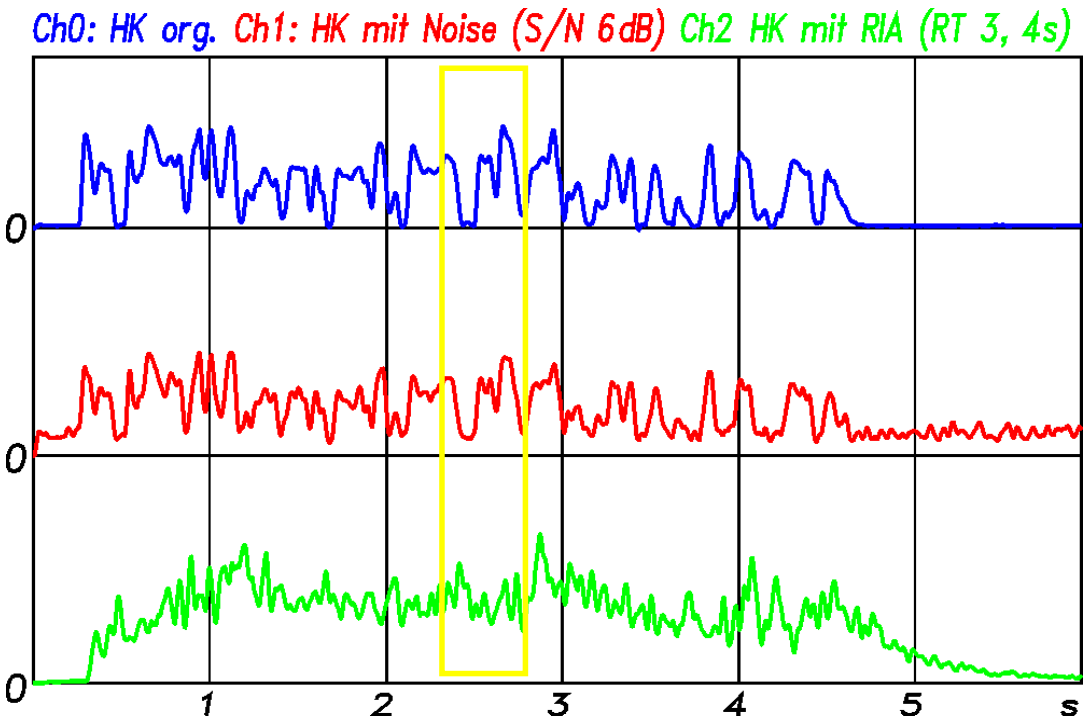
Aus der Messung des Verlustes an Modulationstiefe in 98 Variationen wird der STI Wert berechnet.

Dabei werden berücksichtigt:

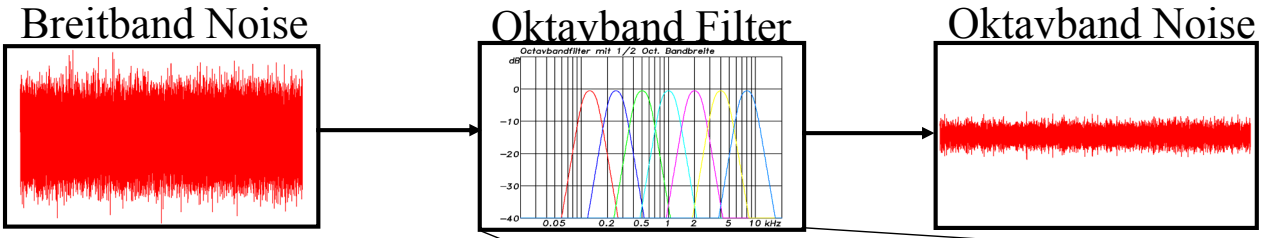
- **Nachhall**
- **Signal-/Störabstand**
- **Hörschwelle**
- **Maskierung**
- **div. Andere Effekte ...**

STI Wertebereich zwischen 0 und 1

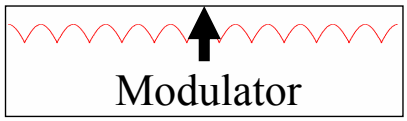
Modulationsverlust



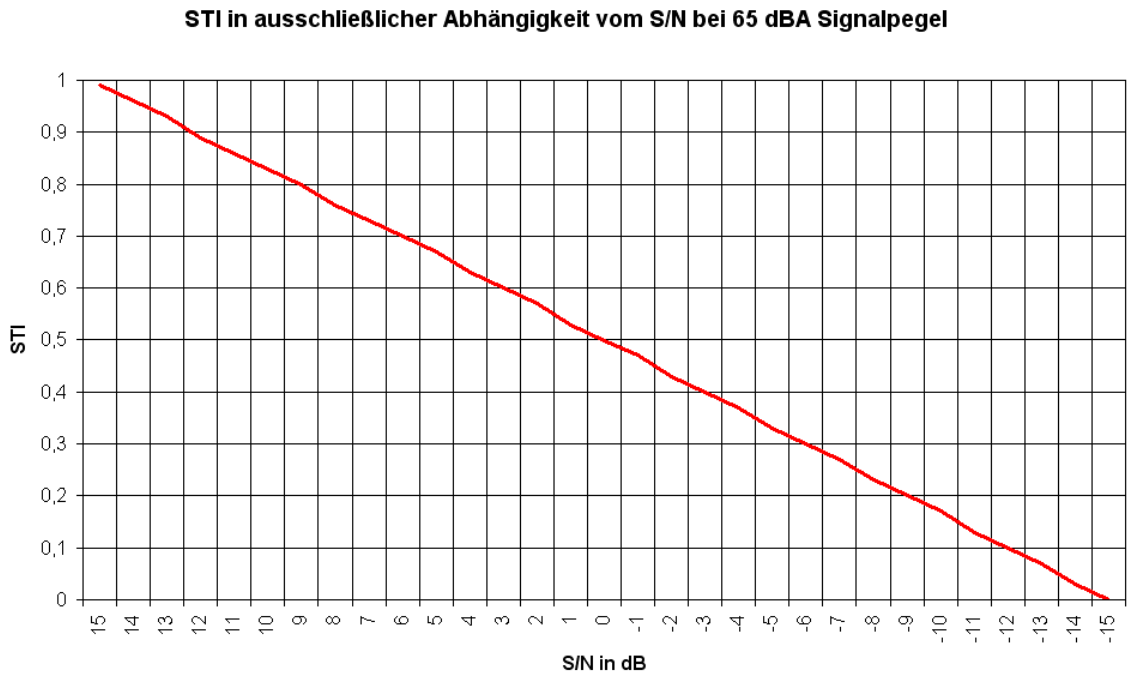
Matrix



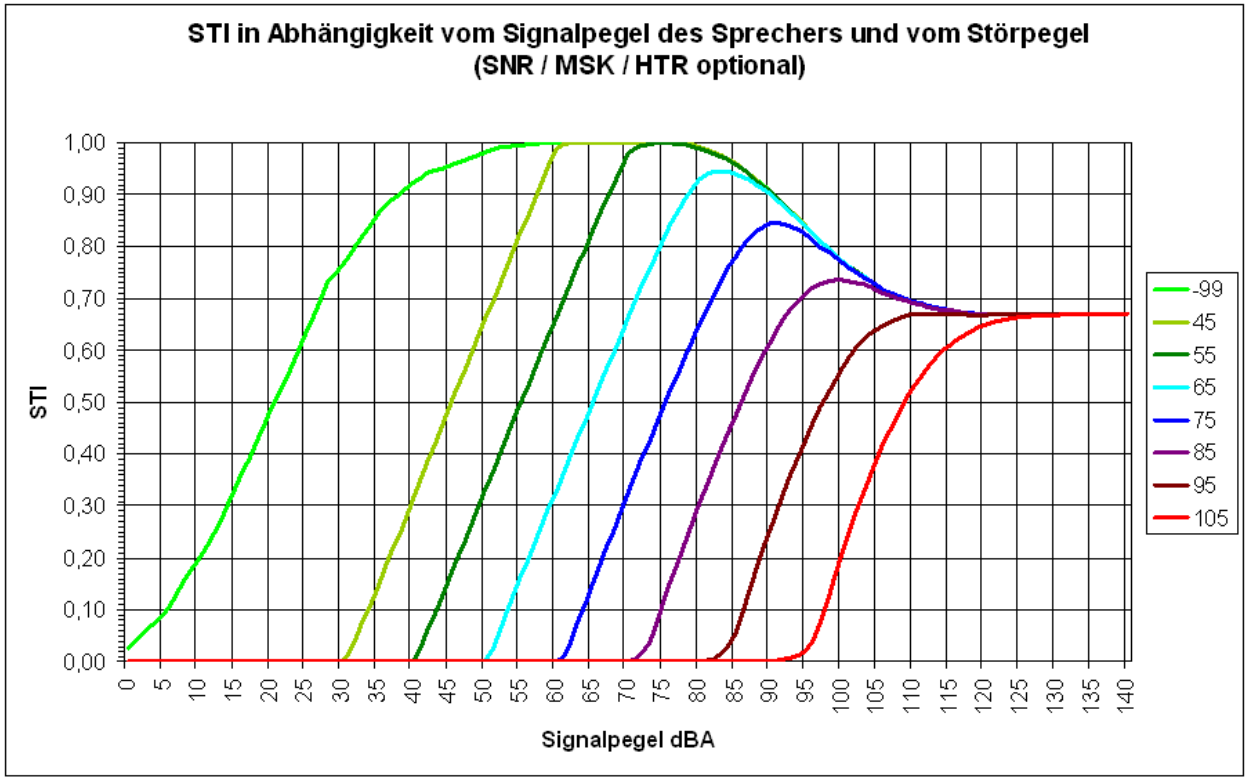
Octavband Nr.	-	k	1	2	3	4	5	6	7
Octavband Mittenfrequenz	**Hz**		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
	F[Hz]	f							
Modulationsfrequenz	**0,63**	1	0,61492	0,63433	0,71096	0,74323	0,79465	0,93494	0,99339
"	**0,8**	2	0,5475	0,56909	0,65291	0,6986	0,74626	0,91249	0,99067
"	**1**	3	0,47329	0,49423	0,58963	0,65391	0,69634	0,88577	0,98651
"	**1,25**	4	0,42455	0,40989	0,53317	0,61831	0,64925	0,85708	0,98322
"	**1,6**	5	0,37591	0,3177	0,49855	0,5891	0,60244	0,82768	0,97714
"	**2**	6	0,32873	0,26033	0,47709	0,56036	0,56429	0,80212	0,97191
"	**2,5**	7	0,26325	0,24494	0,43642	0,52833	0,53164	0,78004	0,96414
"	**3,15**	8	0,27836	0,2524	0,40583	0,50771	0,50469	0,76227	0,95457
"	**4**	9	0,30448	0,27341	0,41424	0,47877	0,48419	0,74187	0,94587
"	**5**	10	0,22861	0,2322	0,38552	0,47717	0,46186	0,72289	0,93561
"	**6,3**	11	0,12526	0,20446	0,38583	0,44943	0,46705	0,706	0,92367
"	**8**	12	0,10567	0,26767	0,3414	0,44252	0,45744	0,68524	0,91187
"	**10**	13	0,12026	0,1899	0,32927	0,4299	0,43287	0,64697	0,8961
"	**12,5**	14	0,090121	0,21126	0,31575	0,39218	0,37427	0,61032	0,87234



Störfaktor: Signal/Noise



Verdeckung und Hörschwelle beim STI



Bewertung des STI

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

STI-Wert	Einstufung nach EN 60268-16
0...0,3	schlecht
0,3..0,45	schwach
0,45..0,6 0,5	angemessen
0,6..0,75	gut
0,75..1	ausgezeichnet

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

Empfehlungen nach Anwendung

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

Table G.1. – Relationships 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	

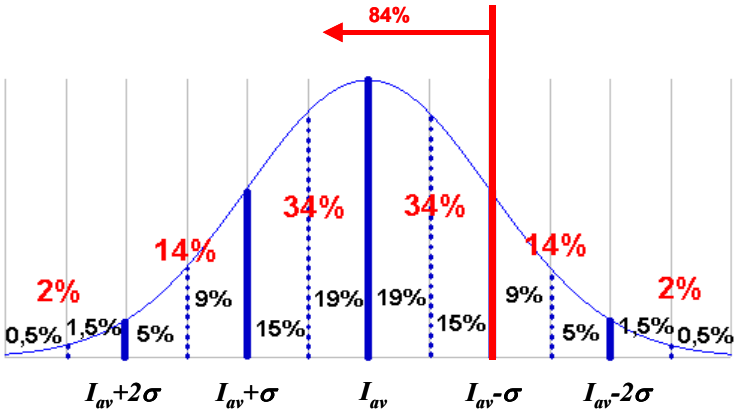
NOTE 1 These values should be regarded as minimum target values.

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

Mindestwert nach EN 60849

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

$$I_{av} = \frac{1}{n}\left(a_1 + a_2 + \ldots.. + a_n\right) \qquad \sigma = \sqrt{\frac{n \cdot \sum_1^n a^2 - \left(\sum_1^n a\right)^2}{n(n-1)}}$$



Zusammenhang 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

Normen

- DIN 18041 (5/2004)
  Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen
- IEC 60268-16
  Elektroakustische Geräte
  Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex
- DIN EN 60849 (IEC 60849 und VDE 0828)
  Elektroakustische Notfallwarnsysteme
- DIN VDE 0833-4 Anhang G
  Messverfahren zur Bestimmung des Sprachübertragungsindex STI

Normen über Sprachverständlichkeit

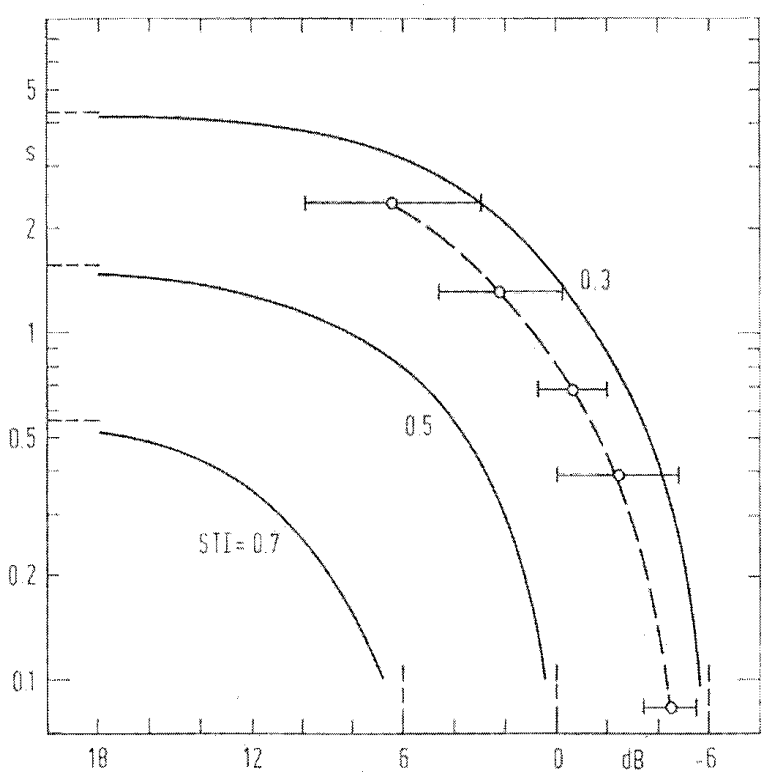
datierter Verweis

- **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
  Maskierung und Hörschwellenfaktor werden noch nicht berücksichtigt

undatierter Verweis

- DIN VDE 0833-4, VDE 833-4: 2007-09 **Norm** , 2007-09
  Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall - Teil 4: Festlegungen für Anlagen zur 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
  Maskierung und Hörschwellenfaktor sind zu berücksichtigen

Abhängigkeit des STI von der Nachhallzeit und vom S/N



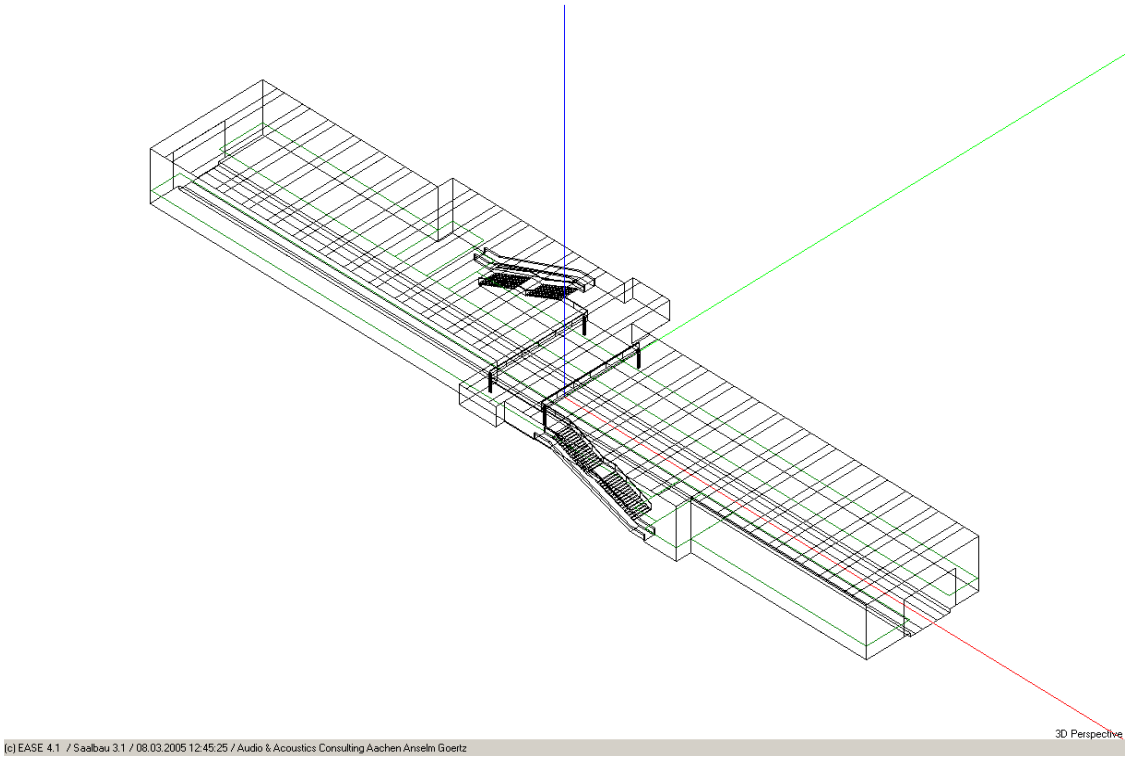
- Kurven für eine nicht gerichtet Quelle. z.B.:
- Deckenlautsprecher
- Einfache Breitbandsystem etc.

→ Bei mehr als 1,5 s Nachhallzeit sind entweder raumakustische Maßnahmen oder speziell richtende Lautsprecher erforderlich

Simulationen

- Simulationen erhöhen die Planungssicherheit und dienen in der Angebotsphase als Leistungsnachweis
- Was ist für eine aussagekräftige Simulation erforderlich ?
  - → Ein adäquates Raummodell
  - → Genaue, zuverlässige und passende Lautsprecherdaten
  - → Der richtige Rechenalgorithmus
  - → Eine passende Einstellung der Software
  - → Die Fähigkeit zur Deutung der Ergebnisse

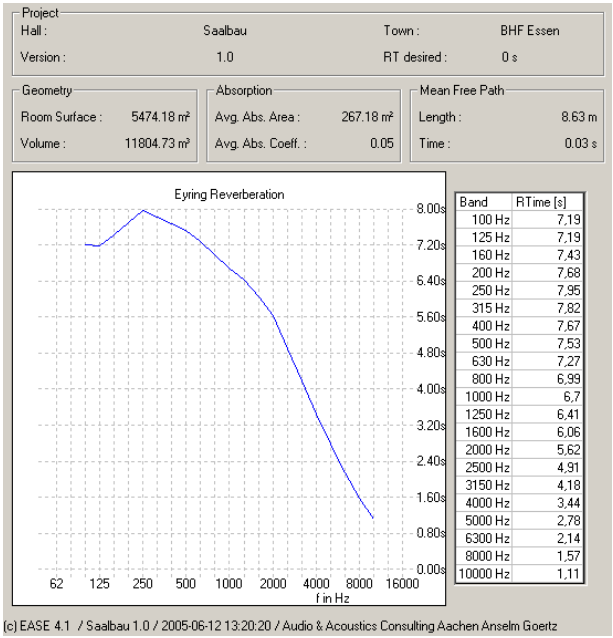
Beispiel Bahnhofsmodell (langer flacher Raum)



Beispiel U-Bahnhof

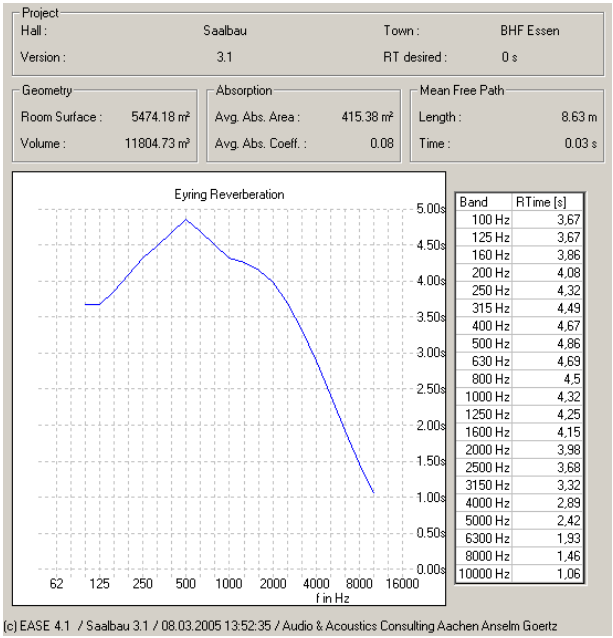
Anpassung des Modells

Nur über Materialdaten angepasstes Modell



Band	RTime [s]
100 Hz	7,19
125 Hz	7,19
160 Hz	7,43
200 Hz	7,68
250 Hz	7,95
315 Hz	7,82
400 Hz	7,67
500 Hz	7,53
630 Hz	7,27
800 Hz	6,99
1000 Hz	6,7
1250 Hz	6,41
1600 Hz	6,06
2000 Hz	5,62
2500 Hz	4,91
3150 Hz	4,18
4000 Hz	3,44
5000 Hz	2,78
6300 Hz	2,14
8000 Hz	1,57
10000 Hz	1,11

Nach Messwerten angepasstes Modell



Band	RTime [s]
100 Hz	3,67
125 Hz	3,67
160 Hz	3,86
200 Hz	4,08
250 Hz	4,32
315 Hz	4,49
400 Hz	4,67
500 Hz	4,86
630 Hz	4,69
800 Hz	4,5
1000 Hz	4,32
1250 Hz	4,25
1600 Hz	4,15
2000 Hz	3,98
2500 Hz	3,68
3150 Hz	3,32
4000 Hz	2,89
5000 Hz	2,42
6300 Hz	1,93
8000 Hz	1,46
10000 Hz	1,06

Abgleich der Streugrade

- Streugrade liegen in der Regel nicht vor
- Pauschal können in EASE 20% eingestellt werden
  - Nicht frequenzabhängig
  - Werte teilweise zu gering
- Aura Simulation mit Kugelquelle und Empfänger für mehrere Positionen
- Bestimmung der Nachhallzeit aus den berechneten Impulsantworten
- Erhöhung der Streugrade bis die Nachhallzeiten mit den Messungen übereinstimmen
- Teilweise recht hohe Werte erforderlich (20-30%)

Lautsprecherdaten

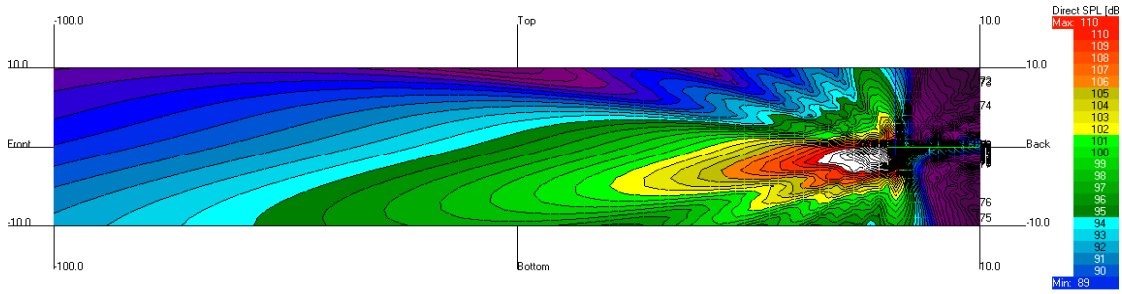
INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Balloon Daten
  - 5° Raster oder feiner
  - Terzbänder von 100 Hz bis 10 kHz oder höher aufgelöst (SPK-Files)
  - Phasendaten bezogen auf den Schnittpunkt der Drehachsen (hohe Genauigkeit erforderlich für korrekte Cluster-Berechnung)
  - große Messentfernung erforderlich (min. 4-8m je nach Größe der Lautsprecher)
  - Nur im Fernfeld gültig
- DLL oder GLL für Line-Arrays, Zeilen, Flächenstrahler, …
  - Messung der einzelnen kleinen Quellen eines Arrays im Fernfeld mit möglichst hoher Auflösung und mit Phasendaten !
  - Flexible Filter und Geometrien
  - Die Software setzt daraus das Verhalten der gesamten Anordnung mit korrekter Nahfeld – Fernfeld Betrachtung zusammen

DLL-Daten

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

Source: Q Line Array
Manufacturer: d&b
Computed Direct SPL Balloon
Interference :
Interference Sum
Bandwidth : 1/3 Octave
Map Radius: 50.00m
x - Plane Map :
Freq: 1000 Hz



(c) EASE 4.1 / EASE Hall / 2005-06-12 20:41:11 / Audio & Acoustics Consulting Aachen Anselm Goertz

Aura Mapping

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Das Aura Modul arbeitet als hybrides Verfahren mit Spiegelquellen (Mirror Image) bis zur 3.Ordnung und Strahlenverfolgung (Ray Tracing)
- D.h., auch das Diffusfeld wird abhängig vom Richtverhalten der Lautsprecher berechnet.
  - hohe Richtwirkung auf gut absorbierende Publikumsfläche bewirkt entsprechend wenig Diffusfeld
- Die Schallanteile aller Einzelquellen, Reflexionen etc. werden immer nur rein energetisch summiert.
- Keine komplexe Addition von Einzelquellen
- Für Lautsprecher Arrays, Line-Arrays, etc. immer Cluster berechnen oder besser noch eine DLL oder GLL verwenden
  - Nur dann wird die komplexe Summation innerhalb der Arrays richtig berechnet !
- Ausreichende Teilchenzahl (100.000 oder mehr) und ausreichende Länge der Impulsantworten (min. 2/3 RT) verwenden

Simulationen

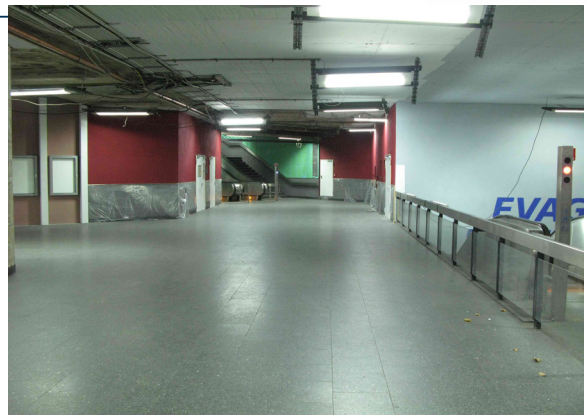
INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Die Raummodelle nicht zu komplex bauen
- Nachhallzeiten, falls möglich, messen und das Modell anpassen
- Streugrade mit Hilfe der Nachhallzeiten aus Aura Responses anpassen
- Für Line Arrays immer eine DLL oder GLL verwenden
- Andere Arrays immer als Cluster rechnen
- Standard Mapping möglichst nur für Direktschall mit Interference verwenden
- STI über Standard Mapping nur bei wenig gerichteten Quellen und bei Räumen mit gleichmäßigen Seitenverhältnissen und gleichmäßig verteilter Absorption
- Im Aura Modul Arrays immer nur als Cluster oder mit DLL/GLL rechnen
- Aura Mapping mit ausreichend vielen Teilchen und Länge rechnen
- Symmetrien und andere Vereinfachungen ausnutzen
- Positionen der Berechnungspunkte auf den Hörerflächen beachten

Ein Beispiel aus der Planung

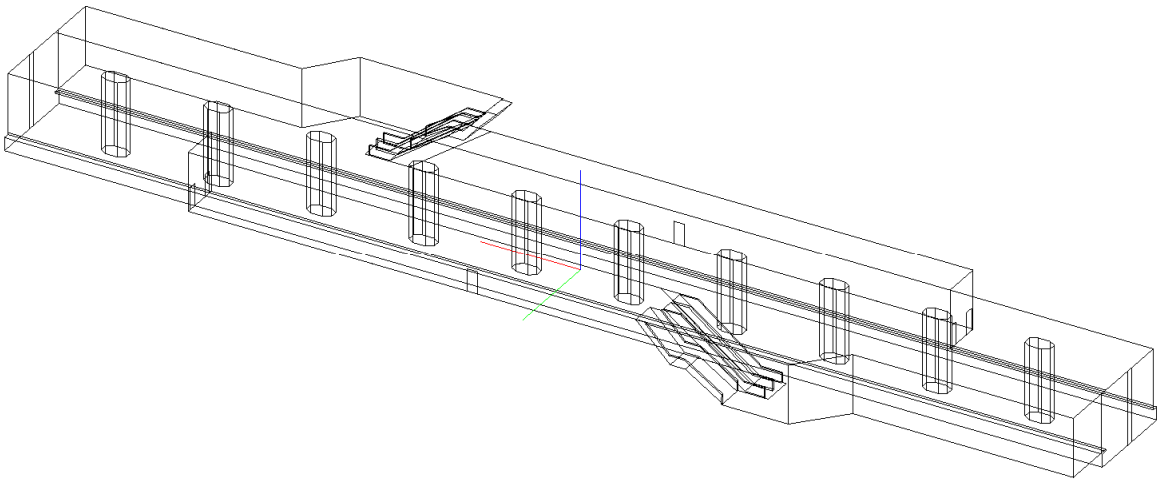
INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- U-Bahnhof
- Verkehrsstation mit relativ geringem Personendurchsatz und niedrigem Störpegel
- Aber, raumakustisch schwierig !
- Keine raumakustischen Maßnahmen möglich
- Gute Erfahrungen aus ähnlichen Stationen mit DSP gesteuerten Lautsprecherzeilen
- Verteilerebene und Bahnsteigebene
- Wichtiger Aspekt: Schutz der Lautsprecher vor Vandalismus



Modellbau Bahnsteigebene

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK



3D Perspective

(c) EASE 4.2 / U-BHF Hirschlandplatz Bahnsteigebene 1_4 / 30/12/07 11:12:34 / Audio & Acoustics Consulting Aachen Anselm Goertz

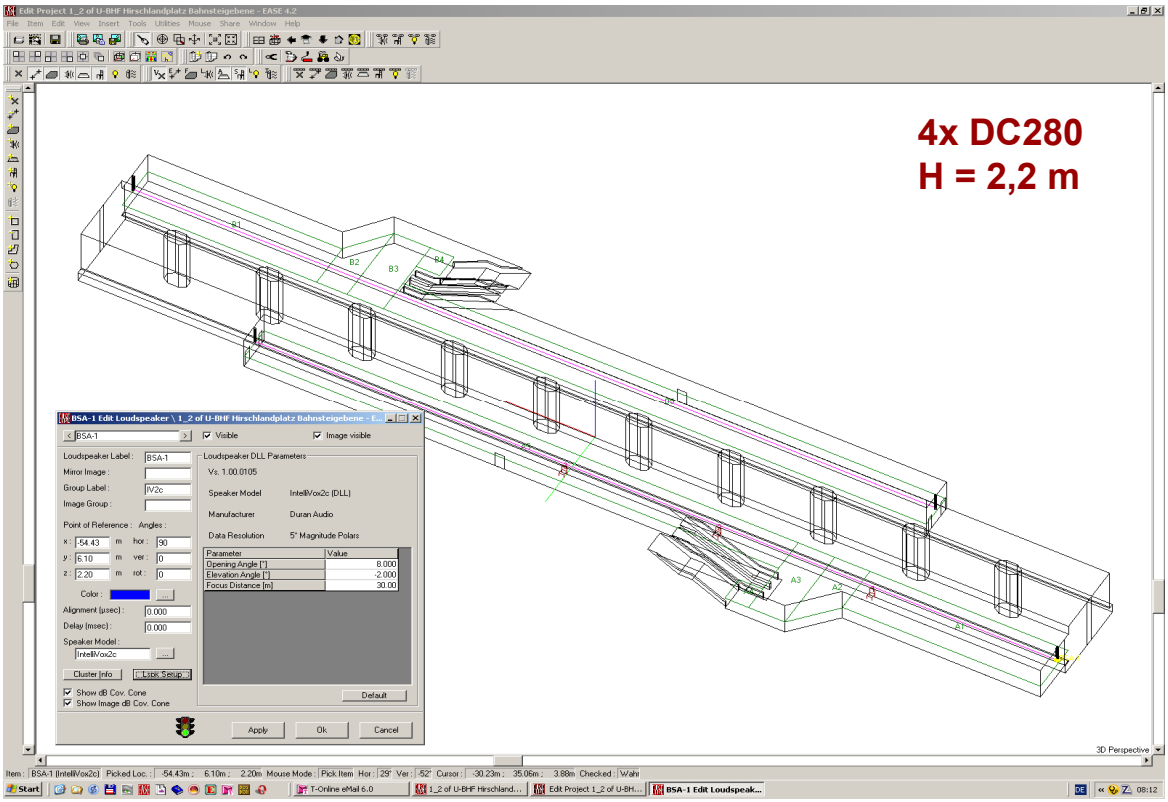
Simulationsparameter für alle Versionen BSE

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- *AURA simulation*
- *EASE 4.3*
- *Resolution: 2.00m*
- *Number Of Particles: 212000 (High Resolution, Slow)*
- *Length [ms]: 3960 (Standard, Fast)*
- *Absorption Model: Energy Loss*
- *20% Default Scattering: On*
- *Höhe der Hörerflächen: 1,7 m über der Bodenfläche*
- *Area Data Points: 177*

Lautsprecheranordnung Verteilerebene V12

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK



Direktschallverteilung V12

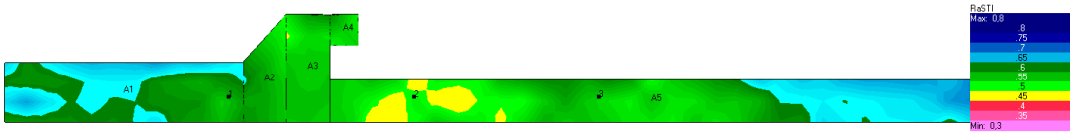
U-BHF Hirschlandplatz Bahnsteigebene
Used :
Lspk: BSA-1, BSB-2, BSA-2, BSB-1
Map: Direct SPL
Freq: 1000 Hz
(Three Octaves Average)
Energy: 2 * Epot
(Sinus only)

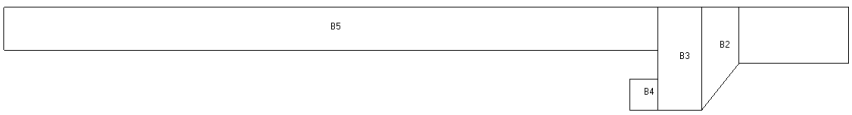
(c) EASE 4.2 / U-BHF Hirschlandplatz Bahnsteigebene 1_2 / 30/12/07 12:03:03 / Audio & Acoustics Consulting Aachen Anselm Goertz

Sprachverständlichkeit V12

U-BHF Hirschlandplatz Bahnsteigebene
Used :
Lspk: BSA-1, BSB-2, BSA-2, BSB-1
Map: STI
Warning: --- Rough Approximation Only ---
Energy: 2 * Epot
(Sinus only)

- **Spiegelsymmetrischer Aufbau erlaubt die Berechnung für nur eine Seite**
- **Aber alle LS in Betrieb !**



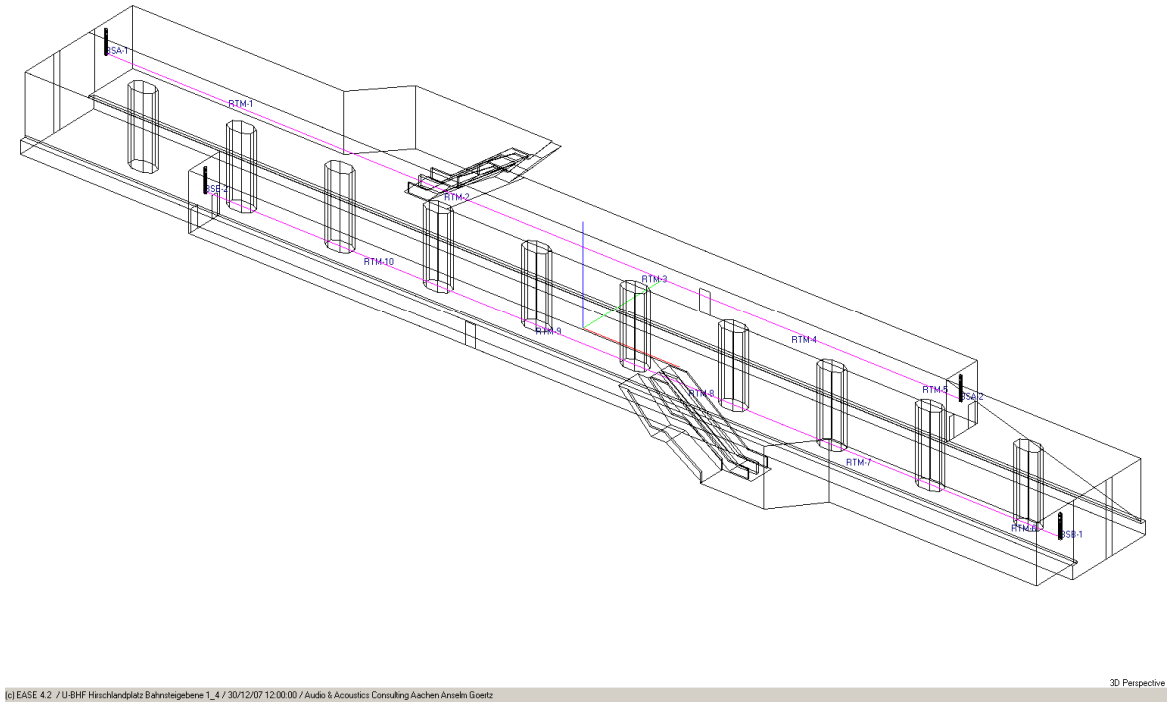


(c) EASE 4.2 / U-BHF Hirschlandplatz Bahnsteigebene 1_2 / 30/12/07 12:05:24 / Audio & Acoustics Consulting Aachen Anselm Goertz

Lautsprecheranordnung Verteilerebene V14

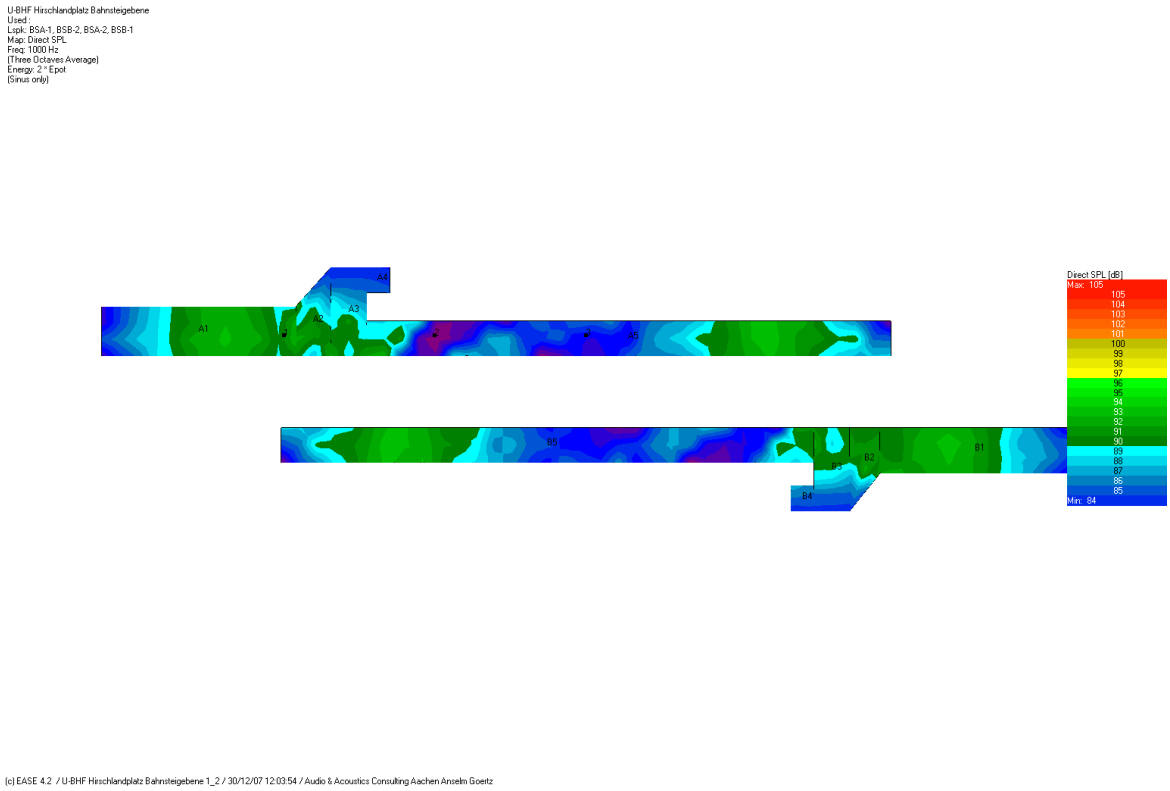
INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

4x DC280
H = 3,08 m

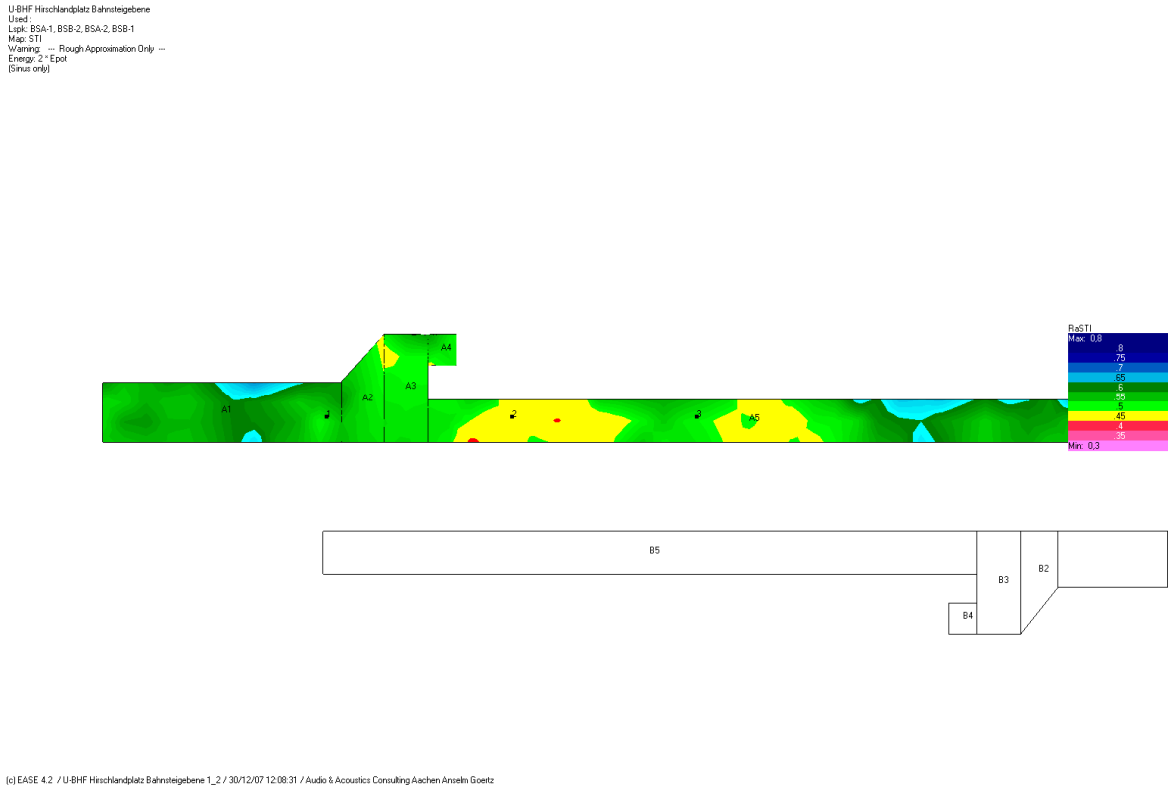


Direktschallverteilung V14

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

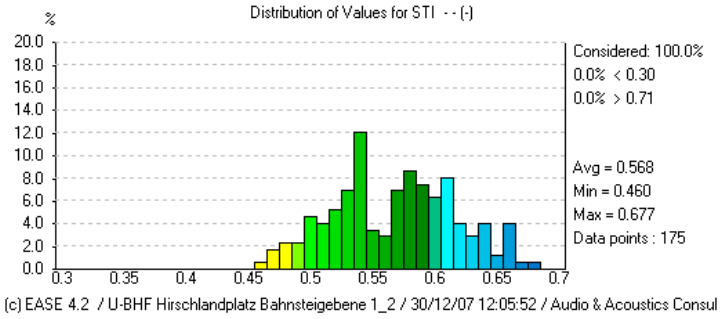


Sprachverständlichkeit V14

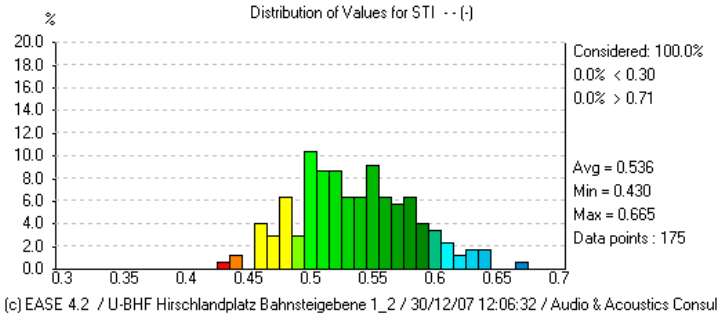


Sprachverständlichkeit der BSE im Vergleich

V12
MW = 0,568
MW-STABW = 0,52



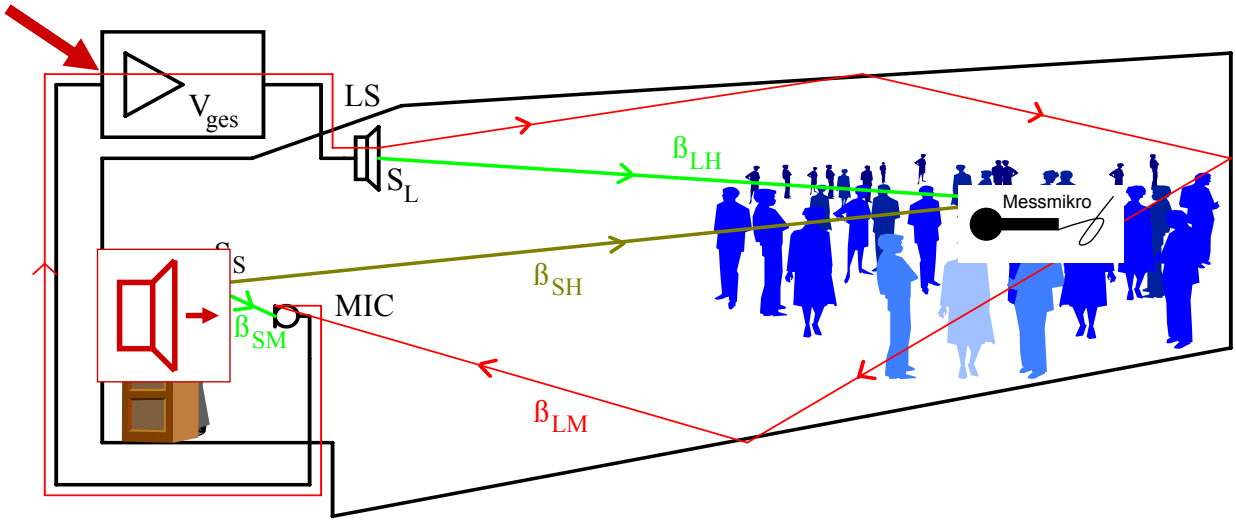
V14
MW = 0,536
MW-STABW = 0,49



Messung der STI-Werte

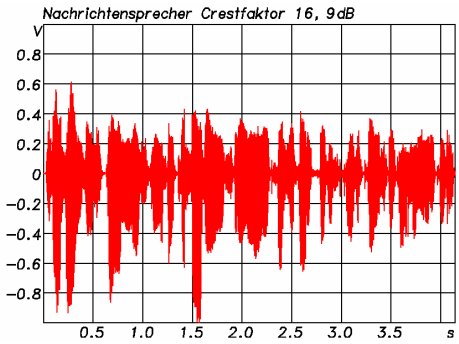
- ~~Direkte Methode~~ mit moduliertem Rauschen und Einzelauswertungen
  - Zu zeitaufwendig !
- Vereinfachte Verfahren mit RASTI oder STI-PA Messungen
  - Schnell und einfach durchzuführen
  - Keine Einzelerfassung und auch keine spätere Einzelanalyse möglich
  - Teilweise kritisch bei Störungen durch Zeitvarianzen
- ~~Indirekte STI Bestimmung~~ über die Impulsantwort (Schröder Methode)
  - Einflussgrößen können einzeln erfasst und bewertet werden
  - Hohe Genauigkeit der Messung
  - Komplizierter in der Durchführung

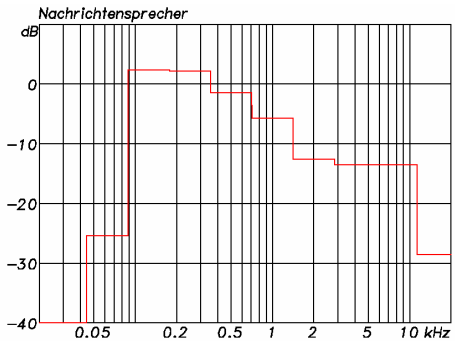
Genereller Messaufbau

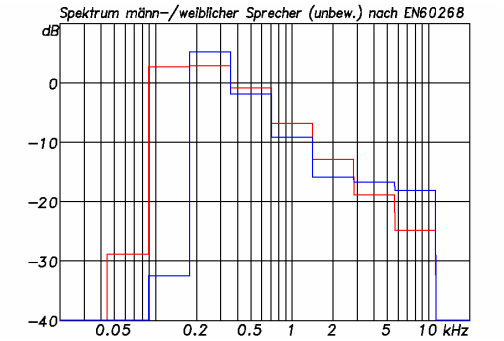


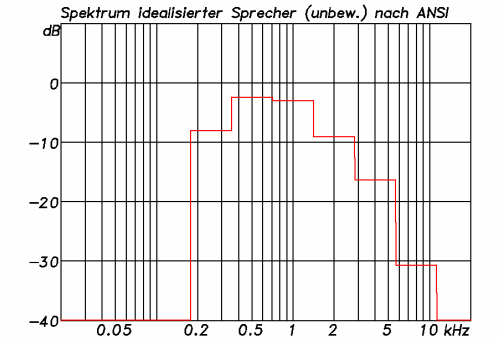
- Messmikrophon im Publikumsbereich
- Messsignal als Line-Signal einspeisen
- Bei Sprechstellen ggf. über eine Sprechernachbildung einspeisen

Sprachpegel und Spektren sowie Ersatzsignale

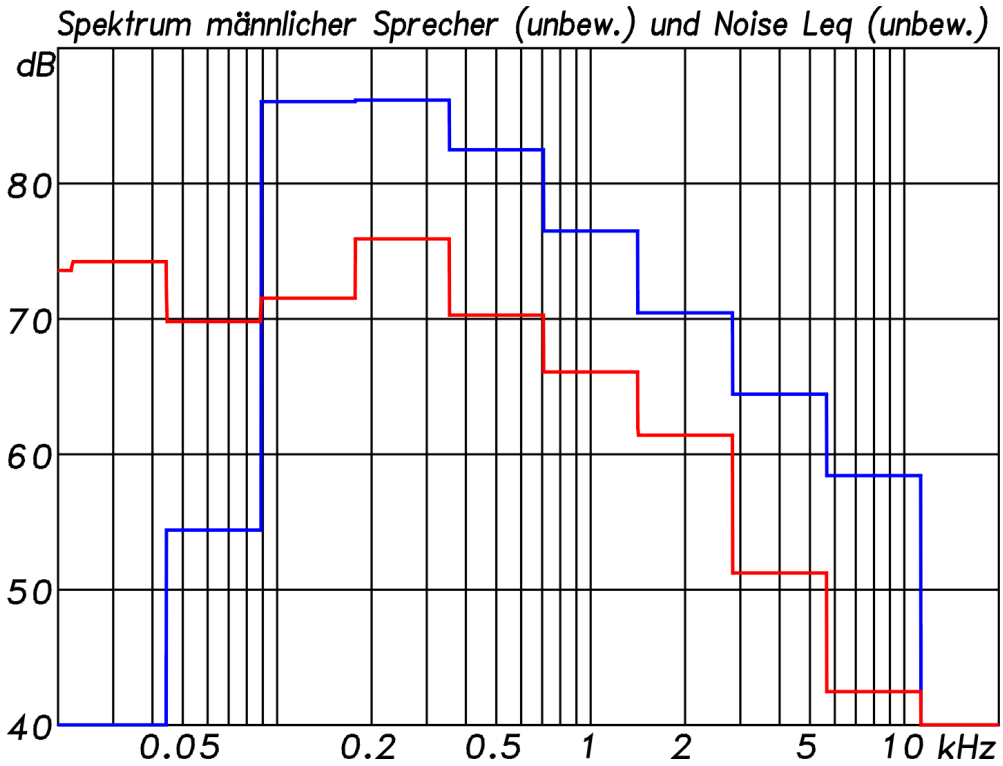








Nutz- und Störsignalpegel



Zusammenfassung

INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

- Anforderungen festlegen
  - Normen und andere mögliche Richtlinien beachten
  - Personenkreis prüfen (Hörgeschädigte, nicht Muttersprachler,
- Randbedingungen prüfen
  - Nachhallzeit
  - Störpegel
- Lautsprechertypen nach Bedarf auswählen
  - Richtverhalten
  - Maximalpegel
- Simulation
  - STI Berechnung
  - Direktschallpegel Verteilung
- Nachweis durch Messung
  - Störpegel und Nutzsignalpegel Messung
  - STI Messungen und Auswertung