Beschallungsanlagen Teil 2 (Planung und Simulation)

Anselm Goertz

Alfred Schmitz

DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung am 26.Sept.2012 13:00 - 14:30





Übersicht Planung und Simulationen Raumakustik und Sprachverständlichkeit Grundlagen 1. Anforderungen, Zielsetzungen und akustische Randbedingungen 3-6 2. Sprachverständlichkeit und STI Werte 7-12 3. Normen und andere Vorgaben 13-19 4. Planung der Lautsprecheranlagen 20-28 Beispiele 5. Bahnsteighallen 29-34 6. Problemfall Crestfaktor 35-37 7. Problemfall Nachhall 38-42 8. Simulationsergebnisse 43-52 9. Weitere Beispiele 53-61 10. Fazit 62-64 # / TA

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)

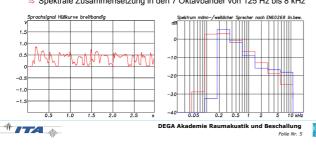




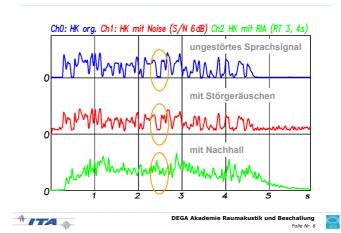
Wann ist Sprache gut verständlich?

■ 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







A.Goertz Seite 1 von 11

Problem Nr. 1 Störgeräusche

- 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
 - ein zeitlich schwankender Störpegel erfordert auf jeden Fall eine automatische Pegelnapassung, da die Anlage sonst zumindest zeitweise viel zu lauf wäre
 - der Aufwand für die Beschallungsanlage sollte in einem angemessenen Verhältnis bleiben (z.B. Köln HBF: ca. 3 kW Leistung pro Bahnsteig)





Problem Nr. 2 Nachhall

- 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, 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 wären der Königsweg, sind aber nur in den seltensten Fällen möglich.



DEGA Akademie Raumakustik und Beschall



Akustische Randbedingungen z.B. für Bahnhöfe

- Lange Nachhallzeiten (2 8 s)
- Wichtige Randbedingung in großen Hallen!
 - Zum Vergleich Kirchen 2 – 10 s

 - Straßentunnel 10 30 s Stadien 2 6 s
- → hohe Anforderungen an das Richtverhalten der Lautsprecher
- Störpegel (ca. 85 dBA nach Vorgabe)
- 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
- → Gehobene 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-...

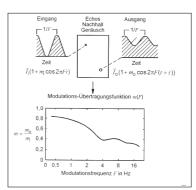


DEGA Akademie Raumakustik und Beschall





Die Modulationsübertragungsfunktion (MTF)



Objektive messtechnische Bewertung der Sprachverständ-lichkeit durch den STI (<u>Speech T</u>ransmission <u>I</u>ndex)

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



DEGA Akademie Raumakustik und Beschall



Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den STI

STI-Wert	Einstufung nach EN 60268-16
00,3	schlecht
0,30,45	schwach
0,450,6	angemessen
0,60,75	gut
0,751	ausgezeichnet

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



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung
Folie Nr. 11



STI Anforderung aus der EN 60268-16 von 2011

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

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	High speech intelligibility	
В	0.7	Complex messages, unfamiliar words	Hearing Systems (AHS)		
С	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, Good sp concert halls intelligi		
ε	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	s. Shopping malls, public Target value buildings offices, VA systems system		
н	0,46	Simple messages, familiar words	VA and PA systems in difficult Normal lower li acoustic environments VA system		
1	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		
IOTE 2 Pero stening posit	ceived intelligib ion. STI values re		im target values. egory will also depend on the fre in sample listening positions o	.,,	

J I H G F E D C B A A+

Anforderung detailliert nach Nutzung und Räumlichkeit



DEGA Akademie Raumakustik und Beschall





A.Goertz Seite 2 von 11

Zusammenhang des STI mit subjektiven Testmethoden

STI-Wert	CIS-Wert	Alcons in %	Einstufung EN 60268	Silbenverständ- lichkeit in %	Wortverständ- lichkeit in %	Satzverständ- lichkeit in %
00,3	00,48	10036	schlecht	032	037	075
0,30,45	0,480,65	3617	schwach	3261	3768	7593
0,450,6	0,650,78	178	angemessen	6185	6888	9398
0,60,75	0,780,87	83,6	gut	8598	8898	98100
0,751	0,871	3,61	ausgezeichnet	98100	98100	100



DEGA Akademie Raumakustik und Besch



Normen über Sprachverständlichkeit

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



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallu

Bestimmung des Mindestwertes nach EN 60849

- Arithmetischer Mittelwert Standardabweichung ≥ 0,5
- I_{av} σ ≥ 0,5

■ Messraster: 6 m (Empfehlung)

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

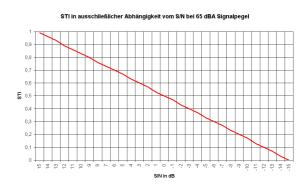




EGA Akademie Raumakustik und Beschallui

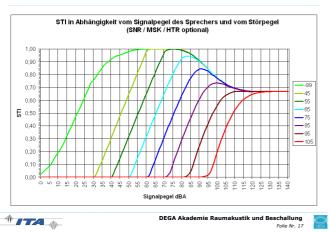


Signal- und Störpegel beim STI



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung
Folie Nr. 16

Verdeckung und Hörschwelle beim STI



Normen über Sprachverständlichkeit



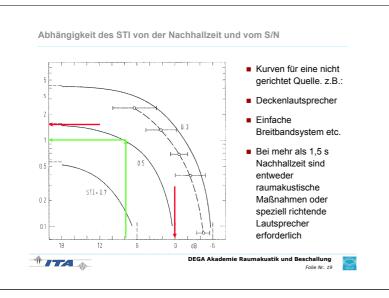
- DIN EN 60849 (VDE 0828), Ausgabe:1999-05
 Elektroakustische Notfallwarnsysteme (IEC 60849:1998); Deutsche Fassung EN 60849:1998
- DIN EN 60268-16, <u>Ausgabe</u>: 1998
 Elektroakustische Geräte Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (ohne Berücksichtigung des Verdeckungseffektes)
- DIN VDE 0833-4, VDE 833-4: 2007-09
 Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall Teil 4:
 Festlegungen für Anlagen zur <u>automatischen</u> Sprachalarmierung im
 - DIN EN 60268-16, <u>Ausqabe: 2004-01</u>
 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)



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung



Seite 3 von 11



Wie plant man die Beschallungsanlage?

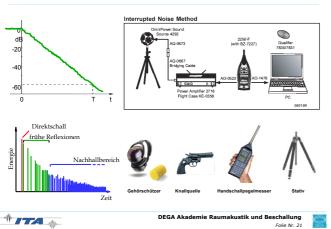
- Ausgangssituation:
 - Nachhallzeit in Oktav- oder Terzbändern (Mittelwert nur als Anhaltspunkt)
 - Störpegel in Oktav- oder Terzbändern (A-bew. Summenpegel nur als Anhaltspunkt)
 - zeitlicher Verlauf des Störpegels
 - einzuhaltenden Normen
 - 60849 für Notfallwarnsysteme (ENS)
 - VDE 0833-4 für Sprachalarmanlagen (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 ?



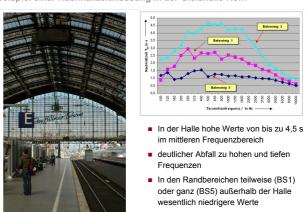
DEGA Akademie Raumakustik und Bese



Nachhallzeitmessung



Beispiel einer Nachhallzeitmessung in der Gleishalle Köln



DEGA Akademie Raumaku

Beschallung

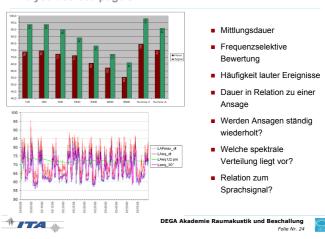
nallung lie Nr. 22

Beispiel einer Nachhallzeitmessung



Analyse des Störpegels

W 174 W



A.Goertz Seite 4 von 11

Störpegelbetrachtung ■ Summenpegel (A-bew.) Oktavbandwerte unterschiedliche Bedeutung der Oktavbänder für die Sprachverständlichkeit

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		

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.



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallu



Anforderungen an eine Beschallung

- <u>Hinreichende</u> Sprachverständlichkeit STI_{MW-STABW} ≥ 0,5
- Ausreichender hoher Sprachsignalpegel S/N > 10 dB
- Flexible Anpassung an den aktuellen Bedarf (Tag/Nacht/Alarm)
- Störpegelmessung und Anpassung?
- Möglichst wenig Übersprechen in andere Bereiche
- Eigenschaften bei Sammelruf beachten
- Havariebetrieb ist zu beachten
- Ständige Funktionskontrolle



* 17A ...

DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung
Folie Nr. 27





Wann ist eine Simulation sinnvoll?

- Warum ?
 - Bei schwierigen akustischen Verhältnissen

 - Rückwirkungen verschiedener Bereiche aufeinander
 - 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 /PegelverteilungSignal/Noise

 - Immissionsschutz



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung
Folie Nr. 28





Wie wird eine Simulation aussagekräftig?

- Ausgangsparameter
 - Raumakustik

 - Modellbau nach Planlage Absorberdaten aus Datenbanken oder von den Herstellern
 - Streugrade aus Datenbanken oder Schätzwerte Publikumsflächen und Besetzungsgrade

Mit welchem Anregungssignal wird

- Vergleich mit anderen Messunger
- gerechnet? spektrale Verteilung
- Welcher Störpegel wird angenommen? Werden psychoakustische Aspekte wie
- Maskierung und Hörschwelle berücksichtigt?

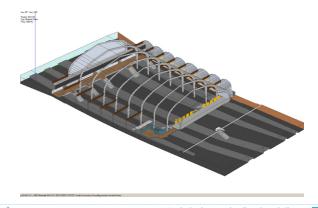
- Ergebnisdarstellung
 - Nachhallzeiten
 - statistisch nach Sabine oder Eyring mit Raytracing berechnet
 - Pegelverteilung
 - - ausgeglichener Frequenzgang DSPL (Direktschallpegel)
 - TSPL (Gesamtschallpegel)
 - Sprachverständlichkeit Exciter nach 60268-16
 - Störpegelannahme Maskierung/Hörschwelle
 - Musik
 - · Allgemeine Angaben
 - Raster des Mappings Symmetrien genutzt Berechnete Impulsantwo Teilchenzahl bei der Ber



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung
Folie Nr. 29



Beispiel Gleishalle



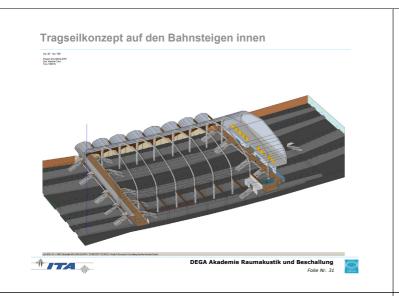
/TA ...

DEGA Akademie Raumakustik und Beschallu



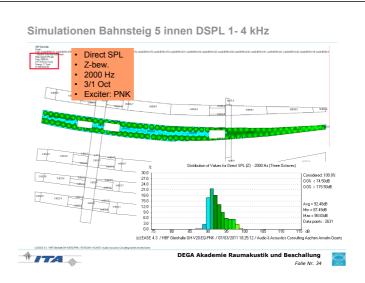


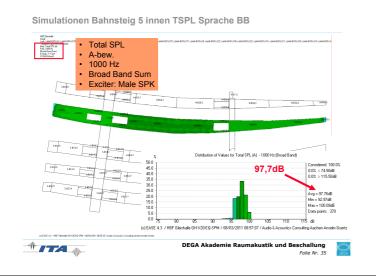
A.Goertz Seite 5 von 11







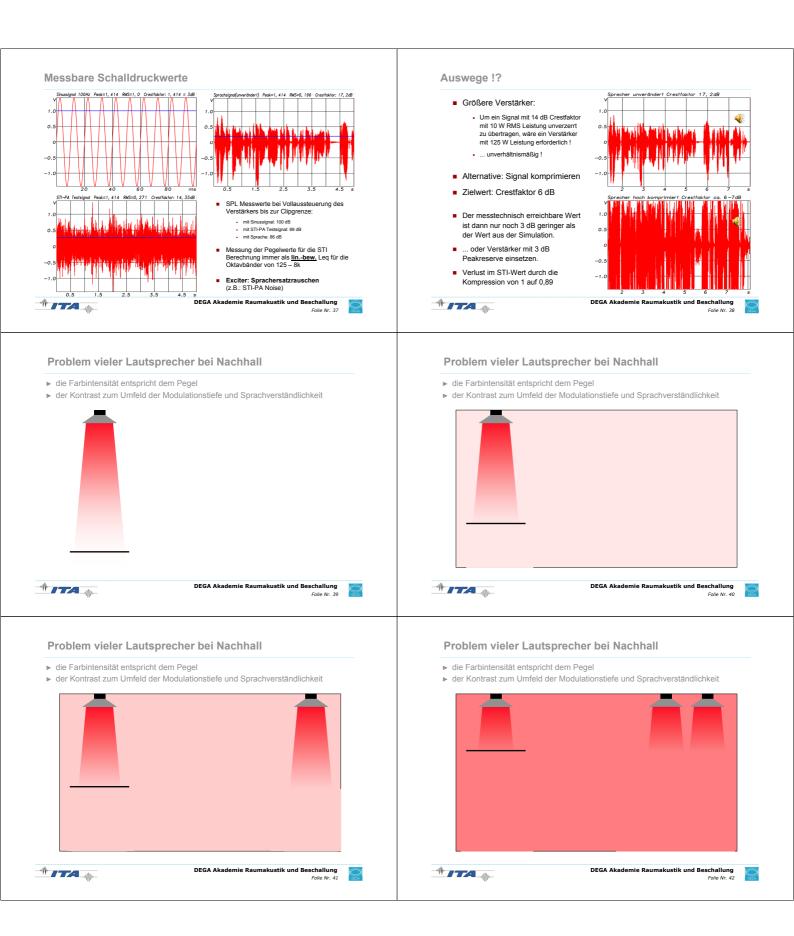




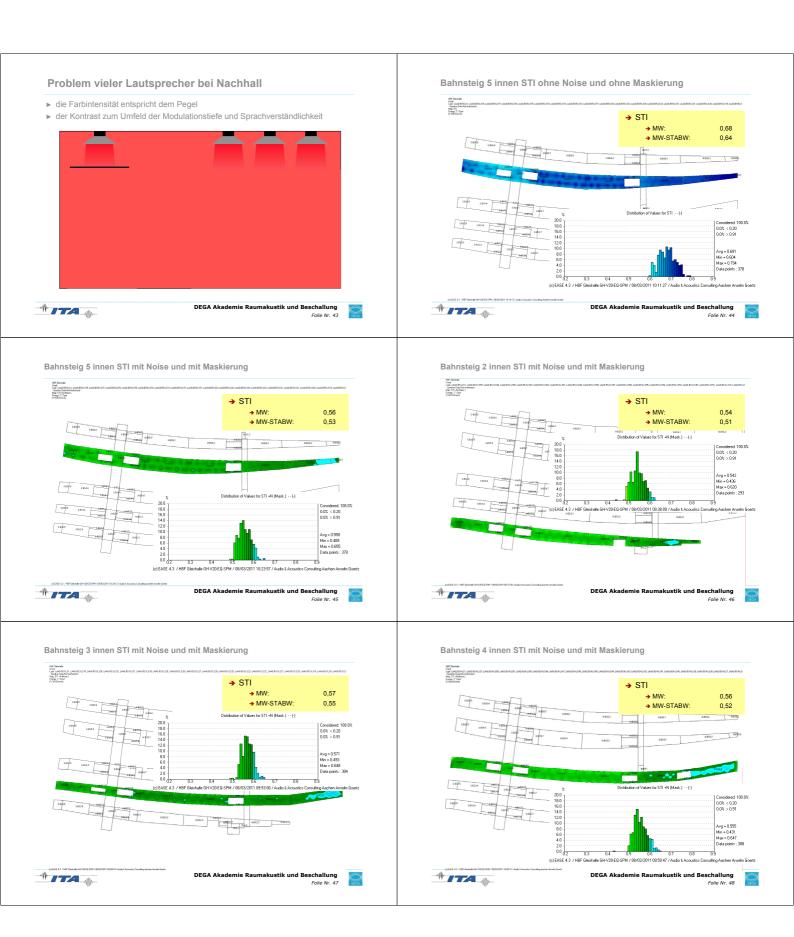
Problem Crestfaktor Crestfaktor: ■ Simulationen werden mit RMS Verhältnis in einem Signal vom Leistungswerten für die Lautsprecher gerechnet Spitzenwert zum Mittelwert (Mittelwert über einen längeren Zeitraum) (Peak/RMS) ■ Auf akustischer Seite gibt es Verstärkerleistungen werden als RMS-Werte für Sinussignale dazu einen vergleichbaren L_{eq} Schalldruckwert (SPL) angegeben, d.h. für Signale mit 3 (Energieäquivalenter Dauerschallpegel) dB Crestfaktor Beispiel: ■ Crestfaktoren: Lautsprecher A erzeugt mit 10 W Leistung in 1 m Abstand einen Sinussignal: 3 dB SPL von 100 dB Sprache: 12 - 20 dB Musik: 9 - 20 dB ■ Wann wird eine RMS Leistung Rechteck: 0 dB von 10 W erreicht?

DEGA Akademie Raumakustik und Beschall

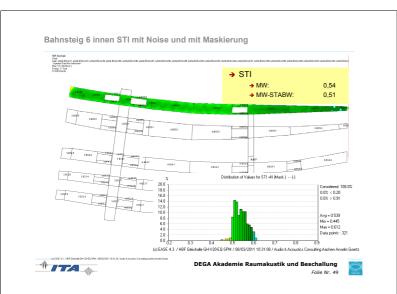
A.Goertz Seite 6 von 11

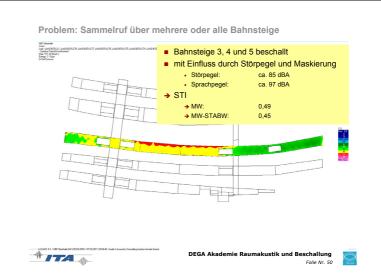


A.Goertz Seite 7 von 11

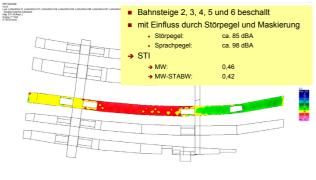


A.Goertz Seite 8 von 11





Problem: Sammelruf über mehrere oder alle Bahnsteige

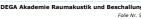




Übersicht STI Werte Bahnsteige innen

	MW ohne Noise ohne Mask.	MW-STABW ohne Noise ohne Mask.	MW mit Noise mit Mask.	MW-STABW mit Noise mit Mask.
nur BS 2	0,65	0,61	0,54	0,51
nur BS 3	0,70	0,66	0,57	0,55
nur BS 4	0,67	0,63	0,56	0,52
nur BS 5	0,68	0,64	0,56	0,53
nur BS 6	0,64	0,61	0,54	0,51
BS 3,4,5	0,57	0,52	0,49	<u>0,45</u>
BS 2,3,4,5,6	0,54	0.49	<u>0,46</u>	0,42





Fazit Bahnsteige in Hallen

- Kernprobleme

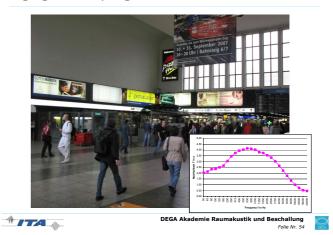
 - langer Nachhall von 4 8 s
 hoher Störpegel von 85 dBA oder mehr
- Randbedingungen
 - viele Auf- und Einbauten auf den Bahnsteigen (Verkaufsstände, Aufsicht, ...)
 - häufig gekrümmter Verlauf
- Lösungsansätze
 - dezentrales System mit vielen kleinen Lautsprechern nahe an den Zuhörern ein oder zwei Tragseile pro Bahnsteig (Perlenkette) Lichtleisten mit eingebauten Lautsprechern
 - Delayline mit kurzen passiven Zeilen für Reichweiten von je 10-15 m
 - Dipolscheiben in kurzen Abständen von 10-15 m (kein Delay erforderlich)
 - Ausnahme: Flghf. BHF Köln-Bonn, aber noch zu Zeiten ohne EN54 Vorgaben.
- Problemstellen
 - · wg. des hohen Störpegels sind hohe Leistungen erforderlich (ca. 12 W/m)
 - · Störpegelmessung mit automatischer Pegelanpassung erforderlich
 - Sammelruf bleibt ein Problem Lösung: sequentielle Durchsagen



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung Folie Nr. 53



Eingangs- und Empfangshallen



Seite 9 von 11 A.Goertz

Bisherige Lösung im Bahnhof Düsseldorf



-W-17A---

GA Akademie Raumakustik und Beschallun Folie Nr. 3



Beschallungskonzepte Eingangshallen

- Lange Nachhallzeiten (3 8 s)
- Störgeräuschpegel von ca. 70 dB(A)
- Einbringung von Schallabsorbern aus Gründen der Architektur und des Denkmalschutzes oft nicht möglich (Ausnahme Duisburg)
- Beschallung mit aktiven Lautsprecherzeilen mit Längen von 1 - 5 m für eine möglichst ausgeprägte Bündelung in einem weiten Frequenzbereich. Je länger die Zeile, desto tiefer im Frequenzbereich wirkt die Bündelung.
- Nutzpegel von min. 80 dB(A)
- Ausfallsicherheit und Abschattung beachten



DEGA Akademie Raumakustik und Bescha



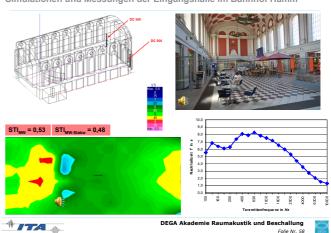
Beispiel Empfangshalle Kölner HBF mit 2x DC500 + 1x DC115



DEGA Akademie Raumakustik und Bescha

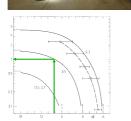


Simulationen und Messungen der Eingangshalle im Bahnhof Hamm



Flachräume für Passagen und Marktbereiche

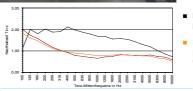
- Flachräume mit niedrigen Decken und großer Ausdehnung
- viele Einbauten
- → dezentrales Beschallungskonzept mit Deckenlautsprechern als einzige Lösungsmöglichkeit
- die Nachhallzeit muß auf eine Größenordnung von ca. 1 s gesenkt werden
- → Akustikdecke (z.B. gelochte Metallkassetten mit Absorbern)
- → Die Sprachverständlichkeit wird besser und das allgemeine Geräuschniveau sinkt, d.h. das akustische Klima wird verbessert



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung Folie Nr. 5 Personentunnel



- die niedrige Deckehöhe schließt den Einsatz stark bündelnder Zeilen aus
- die Querträger machen auch den Einsatz von Grenzflächenhörnern unmöglich



- Messung ohne Deckenabsorber
- Simulation mitDeckenabsorberVariante A und B

DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung



A.Goertz Seite 10 von 11

Beispiel Personentunnel das einzig möglich dezentrale Beschallungskonzept mit Deckenlautsprechem funktioniert nur dann, wenn die Nachhallzeit von ursprünglich 2 s auf deutlich unter 1,5 s gesenkt werden kann → raumakustische Maßnahmen sind daher unumgänglich, d.h. ein absorbierende Decke # 17A · ||

Dezentrale Beschallung ■ Personentunnel <u>ohne</u> absorbierende Deckenverkleidung ■ Personentunnel mit absorbierender Deckenverkleidung * 17A - 1/h

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

- Bei schwieriger Raumakustik:
- Absorber einbringen, falls möglich. (Akustikdecke in Flachräumen)
- Bei flächendeckender Beschallung stark richtende Lautsprecher einsetzen (z.B. DSP-Zeilen für große Hallen)
- Bei selektiver Beschallung dezentrale Systeme so nahe wie möglich an die Zuhörer bringen (z.B. Perlenkette für Bahnsteige)
- Lautsprechertyp und Leistung entsprechend den Erfordernisse für einen hinreichenden S/N auswählen.

DEGA Akademie Raumakustik und Beschallu
Folie Nr.



Paper Download

www.ifaa-akustik.de

Manuskript zu diesem Vortrag mit Text und Grafiken als PDF File



Stefan Weinzierl (Hrsg.) Handbuch der Audiotechnik Springer Verlag





Mit der richtigen Technik alles im Griff!



Seite 11 von 11 A.Goertz