Beschallung in Sportstadien bei hohen Störpegeln

Anselm Goertz – IFAA Institut für Akustik und Audiotechnik

29. Tonmeistertagung *am 19. Nov. 2016 um 14:00 Raum R5*

Session Sound Reinforcement

Übersicht

1.	Anforderungsprofil	3
2.	Sprachverständlichkeit	4
3.	Nachhallzeit und Störpegel	5 – 6
4.	Definitionen und Richtwerte	7 – 9
5.	Beispiel Störpegelmessung	10 – 16
6.	Beispiel	17
7.	Simulationsmodell und Lautsprecher	18 – 20
8.	Maximalpegelbestimmung	21 – 24
9.	Filter und Kompression	25
10.	Pegelwerte für Sprache	26 – 28
11.	STI Werte	29 – 35
12.	Zusammenfassung	36 – 37

Voraussetzungen und Anforderungen

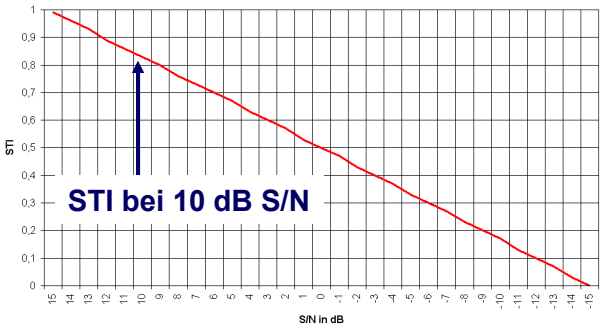
- Große Räumlichkeiten
  Volumen: 500.000 – 1.800.000 m³
- Großteils geschlossen (überdacht)
- 15.000 bis 90.000 Plätze
- Die akustischen Verhältnisse hängen sehr stark vom Besetzungsgrad ab
- Hoher Störpegel
- Hohes Risiko
- Hoher Anspruch

- Gesetzliche Vorgaben für Sprachalarmierung (lokal unterschiedlich)
- Vorgaben des Betreibers oder Nutzers (Leistungsverzeichnis)
- Bereiche: Tribünen, Spielfeld, Verkehrsflächen (Gänge, Flure, Treppenhäuser, Tunnel, …
- Vorgaben der Verbände
  DFB, UEFA, FIFA, …
- Anforderungen seitens Dritter
  z.B. Kunden für Werbeeinspielungen
- Architektonische Vorgaben
- Kosten

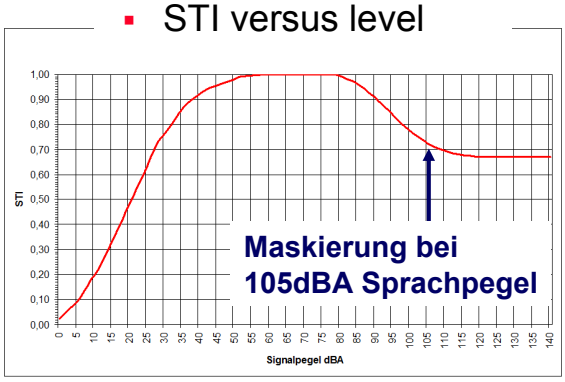
Sprachverständlichkeit

- Messwert STI zwischen 0 und 1
- Anforderung für Sprachalarmierung nach VDE 0828 oder 0833-4 : $STI_{MW\text{-}STABW} \geq 0{,}5$
- Berechnung als arithmetischer Mittelwert <u>abzüglich der Standardabweichung</u>
- Unter Berücksichtigung des Störpegels respektive des <u>S/N</u> und der <u>Maskierung</u> (?)
- Eine sinnvolle Bewertung über den STI ist nur dann möglich, wenn die Randbedingungen klar definiert sind.

- STI versus S/N

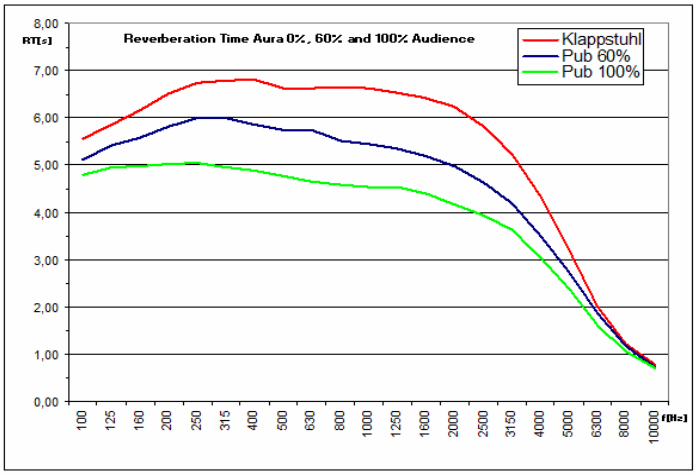


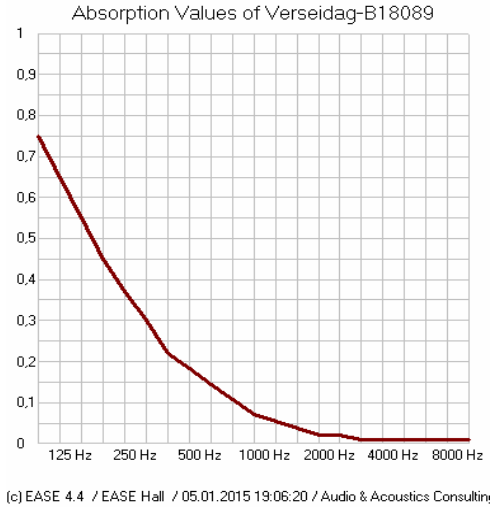
- STI versus level



Nachhallzeit und Störpegel

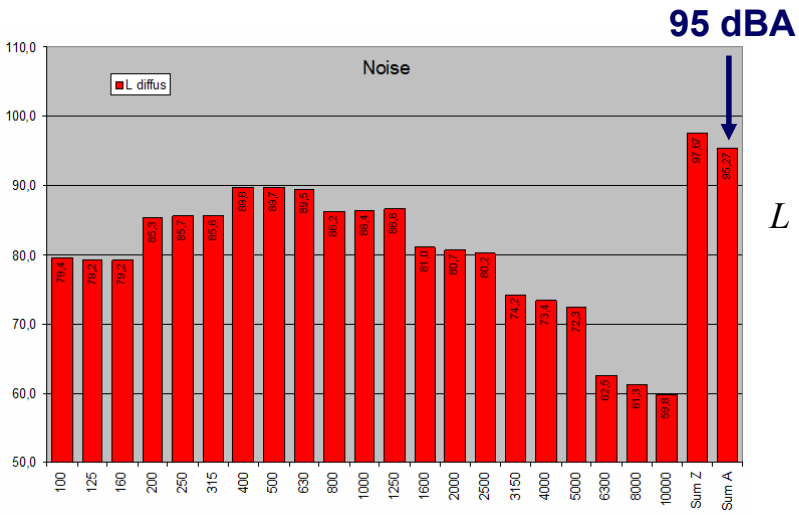
- Einflussgrößen:
  - Besetzungsgrad: 0 - 100% (für welchen Besetzungsgrad müssen die Werte eingehalten werden ?)
  - Bestuhlung: keine (Betonstufen), Plastiksitze, gepolsterte Sitze, … (ca. 25% der Gesamtfläche)
  - VIP Lounges mit offenen oder geschlossenen Fenstern (Echo Gefahr)
  - Raumakustische Maßnahmen (auf Wandflächen und im Dachbereich)
  - Dach über dem Spielfeld offen oder geschlossen
  - Akustisches Verhalten der Dachmembran (ca. 25% der Gesamtfläche)
  - Rasenfläche (nur ca. 5% der Gesamtfläche)





Nachhallzeit und Störpegel

- Anhaltspunkt für große Stadien: 95 dBA als L_{eq} (Zeitspanne ?)
- Zeitlicher Verlauf ?
- Spektrale Zusammensetzung ?



Einfache Abschätzung:

- 50.000 Personen
- Schallleistungspegel L_W pro Person 90 dB mit ANSI Spektrum (laut)
- Raumvolumen
- Frequenzabhängige Nachhallzeit

$$L = L_W - 10 \cdot \lg\left(\frac{V/m^3}{T/s}\right) + 13{,}88\,dB$$

Standard Anforderung:

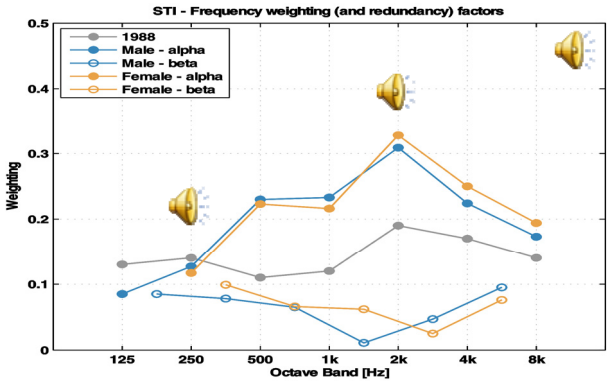
- S/N 10dB
- Sprachalarmpegel: 105 dBA *(nach ZVEI für Stadien >15.000)*

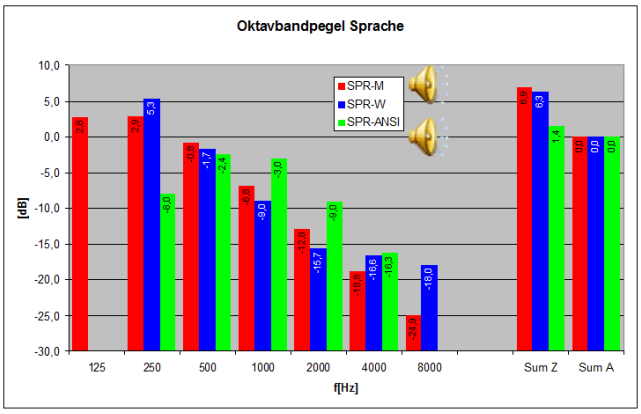
Störpegelmessung und Definition

- Es gibt keine klaren Regeln zur Erfassung des Störpegels und des zugehörigen Störspektrums
- ➢ Die Festlegung des Störpegels unterliegt daher unweigerlich einer gewissen „Willkür“
- konstanter Störpegel liegt nur in den wenigsten Fällen vor
- Um einen negativen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit entsprechend der STI Berechnung sicher zu vermeiden, muss in jedem Oktavband ein S/N von 15 dB erreicht werden!
- ➢ Überdimensionierung wären dabei fast unvermeidlich die Folge
  (3 dB mehr bedeuten jeweils die doppelte Verstärkerleistung)
- ➢ Für die STI Berechnung mit S/N muss(!) ein Störspektrum vorliegen. Breitbandige Werte reichen hier nicht.
  Anm.: suggeriert Genauigkeit, die es aber in der Praxis nicht gibt
- ➢ Oder der S/N wird bei der STI Berechnung nicht berücksichtigt, dafür aber ein mindest zu erreichender S/N mit breitbandigen Werten vorgegeben.
  Anm.: auf den ersten Blick ungenauer aber praktikabel

Frequenzbänder

- Anpassung des Sprachspektrums an den Störpegel
- Die wichtigsten Frequenzbänder sind die Oktavbänder von 1 bis 4 kHz
- Hochpassfilter ($f_u \approx 150 - 200$ Hz , 4th)
  - Entlastet die Lautsprecher
  - Reduziert die Maskierung bei männlichen Sprecher durch das laute 125 Hz Band
  - Verringert die Verständlichkeit nicht!
- Präsenzanhebung 2 kHz , +6 dB
  - Stärkt das wichtigste Frequenzband
- Bei breitbandigen Pegelwerten ist hier trotz der zu hohen absoluten Pegel die A-Bewertung sinnvoll.





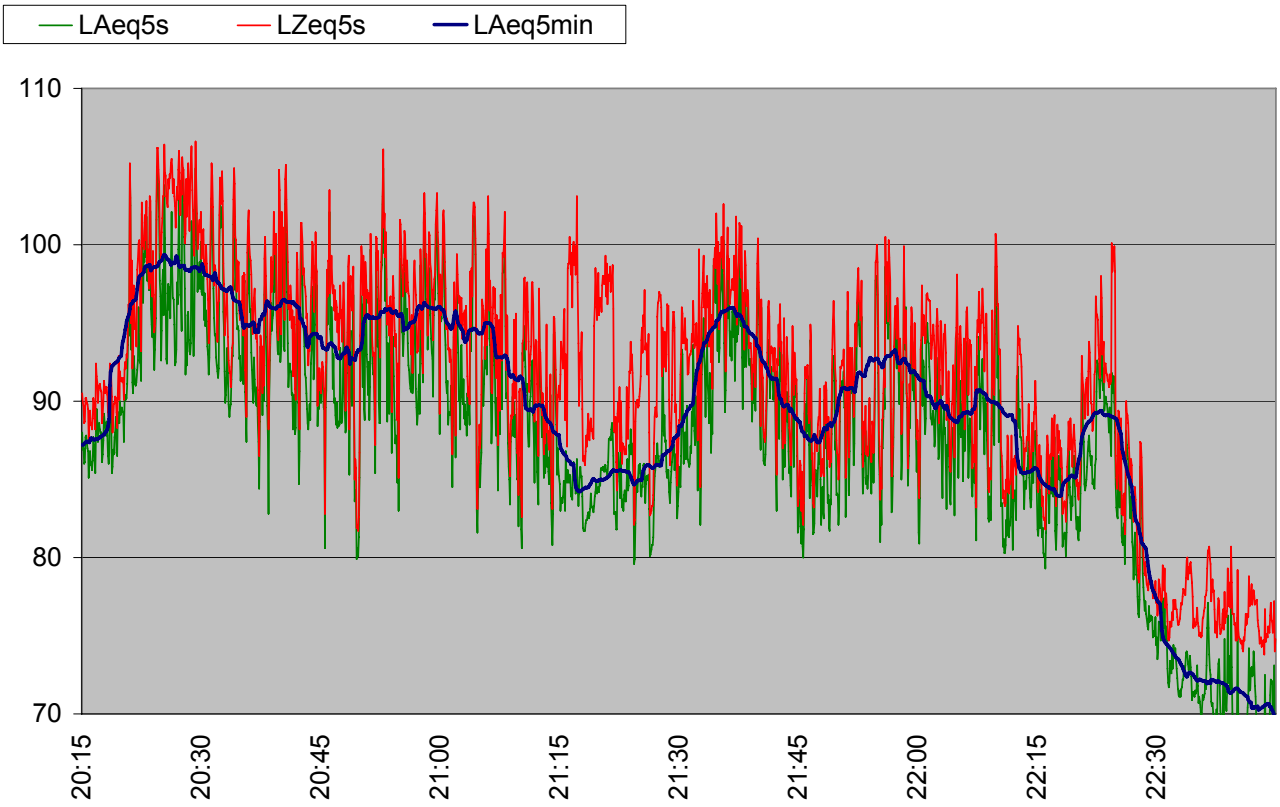
Vorgaben und Richtwerte

- ZVEI und DFB
  95 dBA Störpegel für Stadien > 15.000 Zuschauer
  Sprachsignalpegel: 105 dBA (kein Wert unter 102 dBA)
  STI ≥ 0,5 als Mittelwert (kein Wert unter 0,38) ohne Maskierung und ohne S/N. Besetzungsgrad? Messung im leeren Stadion!
- FiFa 2018
  kein konkreter Wert für den Störpegel *(105 dBA + X)*
  Sprachsignalpegel: 116 dBA
  STI > 0,55 auf allen Plätzen ohne Maskierung und ohne S/N
  Besetzungsgrad 100%
- Einzelnes Stadion
  Noise 110 dBZ mit Spektrum
  Sprachsignalpegel: 116 dBZ
  STI ≥ 0,6 als Mittelwert ohne Maskierung und ohne S/N und
  STI ≥ 0,55 als Mittelwert ohne Maskierung aber <u>mit S/N</u>
  Besetzungsgrad 100%

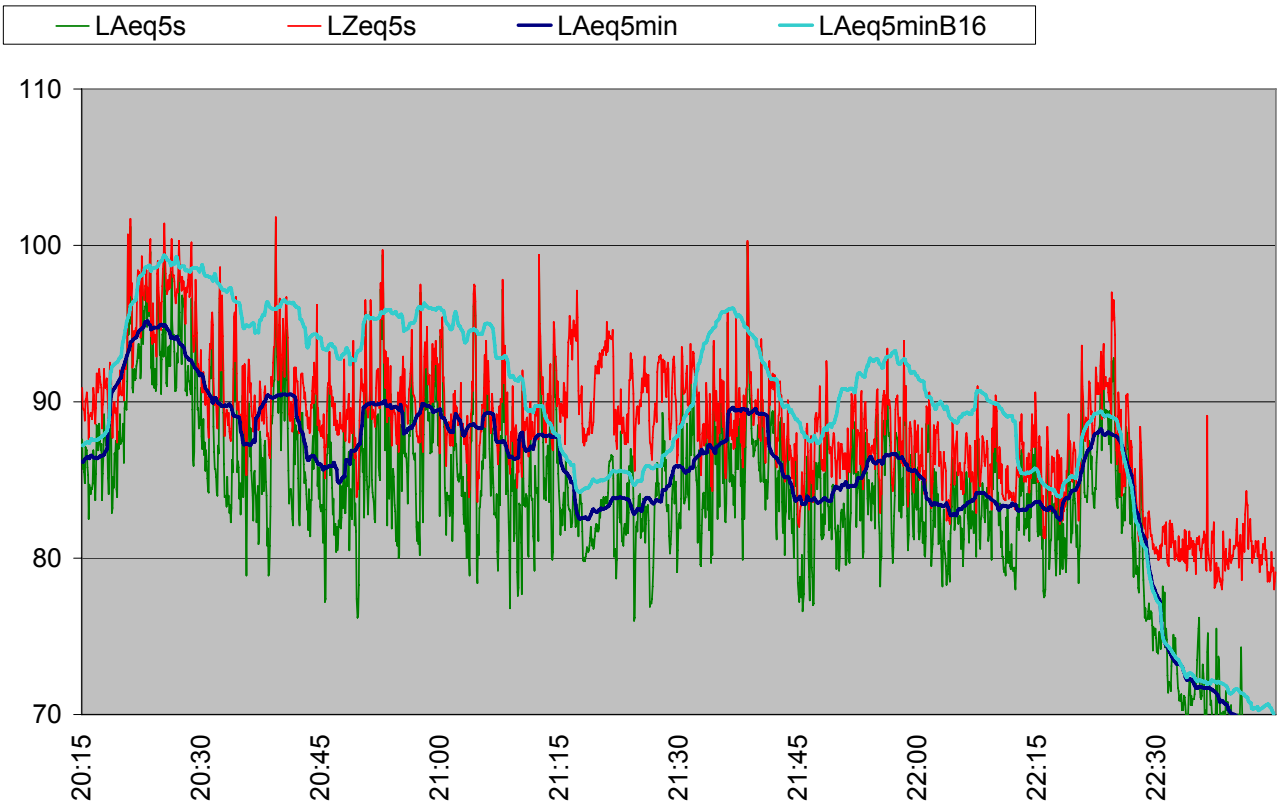
Messungen im Stadion

- Zwei Messpositionen
  - Fankurve
  - „normaler Publikumsbereich“
- ca. 55.000 Zuschauern (1. Liga)
- Stimmung eher mäßig
- Messpositionen im Catwalk mittig über dem Publikum
  - Entfernung ca. 15 m
- Logging im 5 s Raster für alle Werte breitbandig und in Terzen
- Ausgewertet wurden:
  - L_{Aeqdt} mit dt = 5s
  - L_{Zeqdt} mit dt = 5s
  - L_{eqdt} für alle Terzbänder von 100 Hz bis 10 kHz mit dt = 5s
- Zusätzlich wurde das Mikrophonsignal synchron zur Messung aufgezeichnet

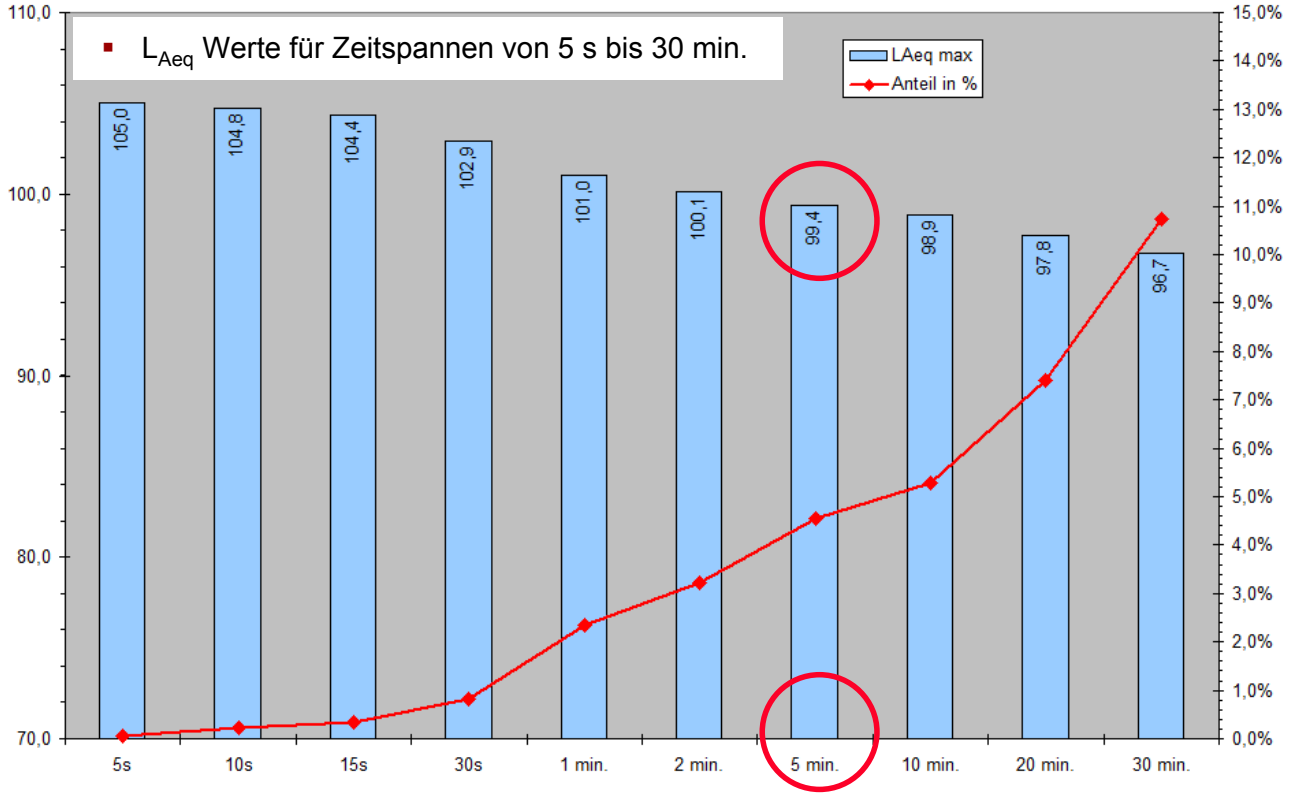
Pegelverlauf (Fankurve)



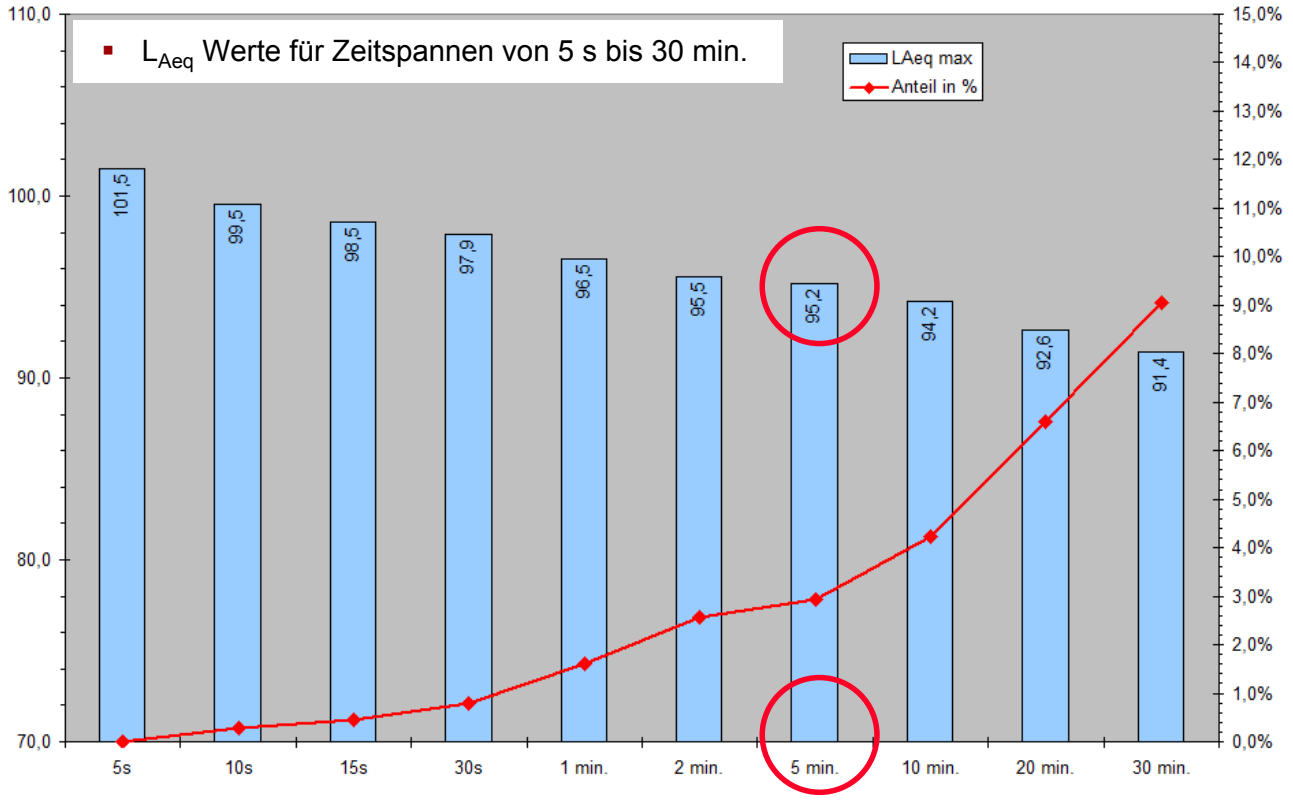
Pegelverlauf („ruhiger“ Bereich)



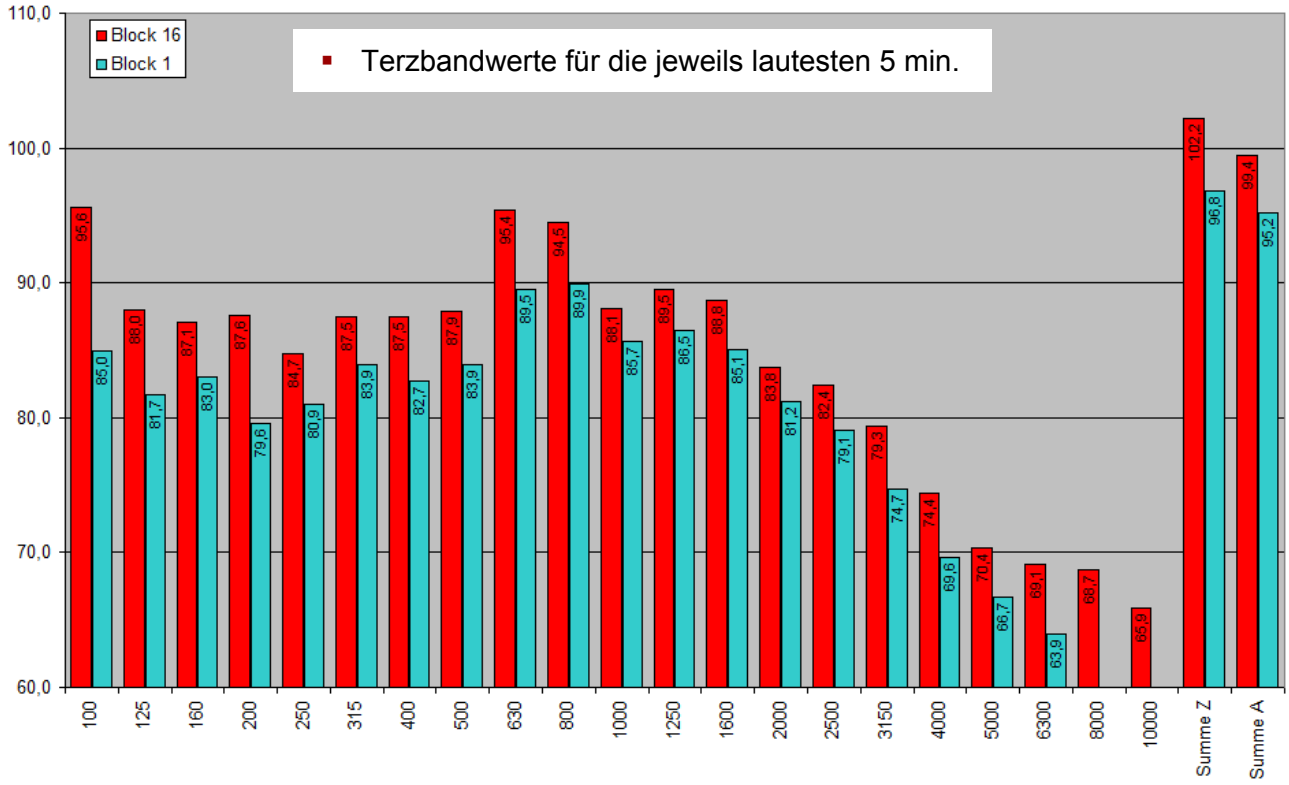
Auswertung Fankurve



Auswertung „ruhiger“ Bereich



Spektrale Zusammensetzung



Hörbeispiele

- Sprecher original: $L_{AF5\%}$ = 100 dB
- Störpegel original: L_{Aeq} = 100 dB
- Sprecher mit Störpegel: S/N = 0 dB STI ≈ 0,5
- Sprecher im Stadion: $L_{AF5\%}$ = 100 dB STI = 0,52
- Sprecher im Stadion (100 dBA) mit Störpegel (100 dBA): STI ≈ 0,4
- Sprecher im Stadion (107 dBA) mit Störpegel (100 dBA): STI ≈ 0,51

STI male mit Noise ohne Masking

Beispiel

- Kleines 1. oder 2. Liga Stadion für 15.000 Zuschauer
- Störpegelannahmen:
  - Tribünen 95 dBA (als L_{eq})
  - Spielfeld 90 dBA (als L_{eq})
- Einfaches Konzept
  - Passive Lautsprecher
  - 4 – 5 Verstärkerzentralen
  - EN54 zertifizierte Komponenten
- Kostengünstig
- Geringe Dachlast
- Spielfeldbeschallung

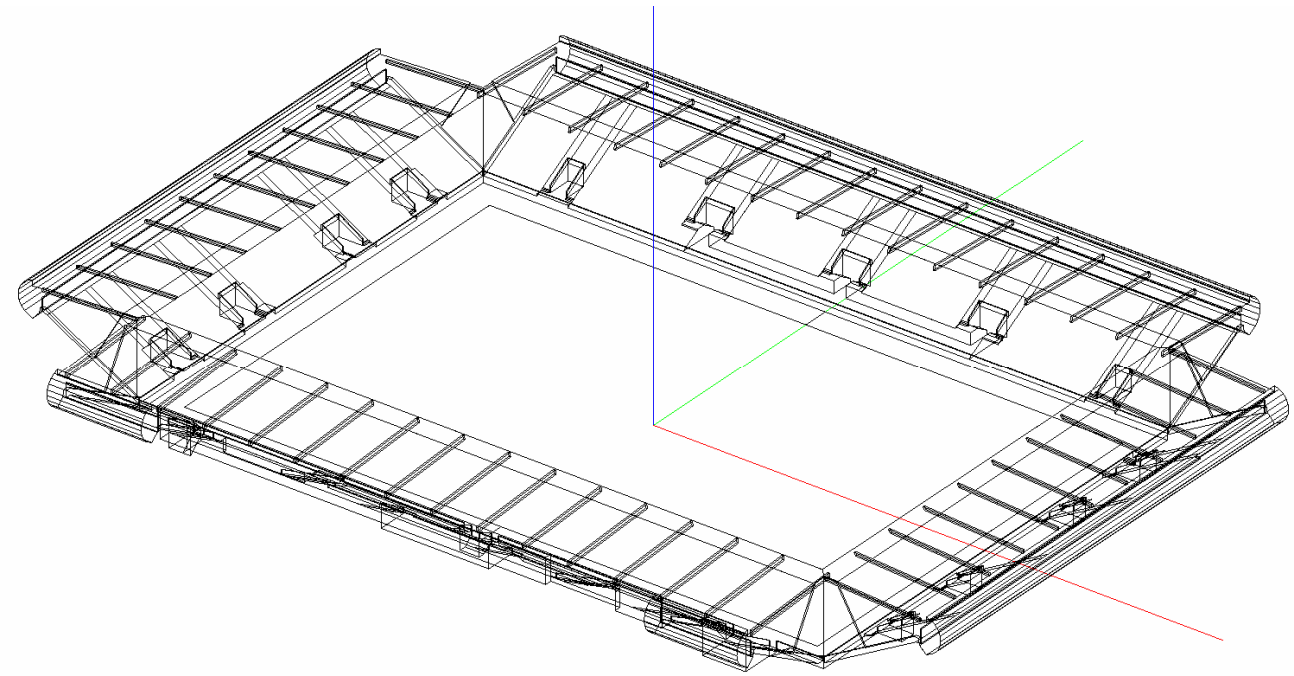
<u>Zielwerte:</u>

- S/N von 10 dB
  d.h. ein Sprachsignalpegel von 105 dBA als L_{eq}
- $STI_{MW\text{-}STABW} \geq 0{,}5$ ohne S/N und ohne Maskierung

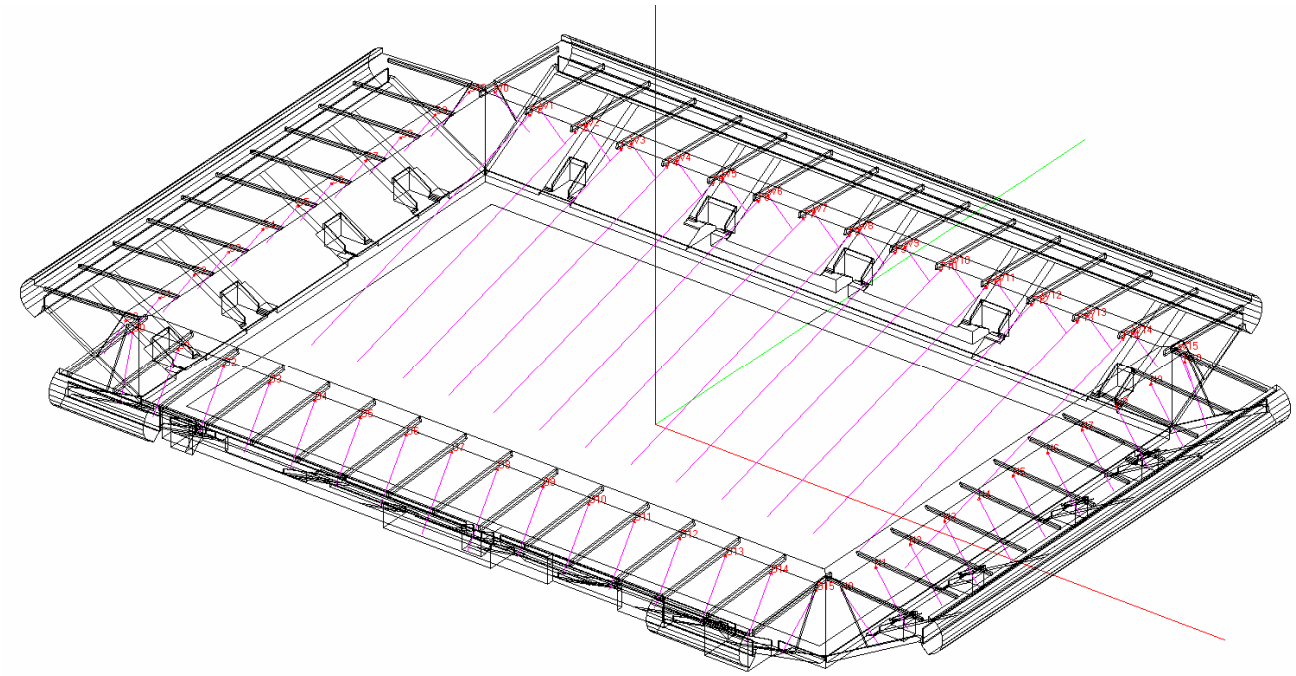
oder

- keine Vorgabe für den S/N
- $STI_{MW\text{-}STABW} \geq 0{,}5$ mit S/N und ohne Maskierung

Simulationsmodell



Simulationsmodell mit Lautsprechern

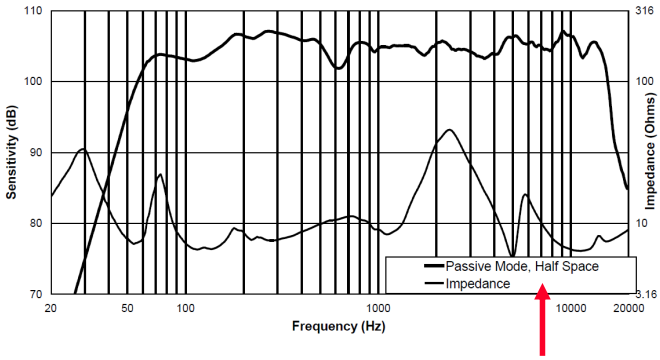


Lautsprecher

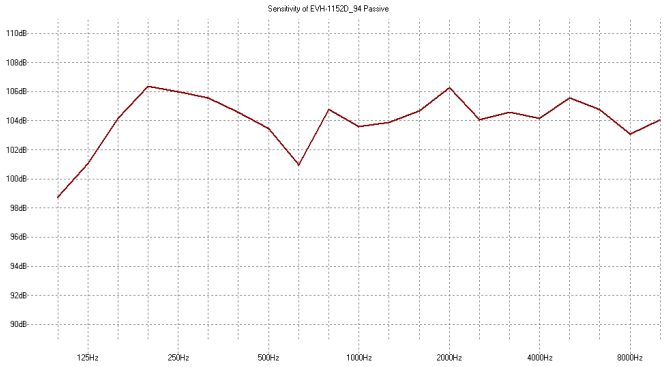
- Abstand der Dachträger 8 m
- Abstand zur Publikumsfläche ca. 15 m
- 40 x 90 Systeme (hor x ver)
- Sens. 105 dB 1W/1m (half space)
- Max.SPL 138 dB *1
- Peak Power: 2000 W
- Continuous Power 500 W

*1 Calc. Max.SPL: 105 dB + 33 dB
(+33 dB für 2000 W bezogen auf 1 W)

138dB – 24dB(15m) - 6dB(FS) + ca. 6dB(Diff)
=
114dB$_{pk}$ entsprechend 102dB$_{Leq}$ bei 12dB CF



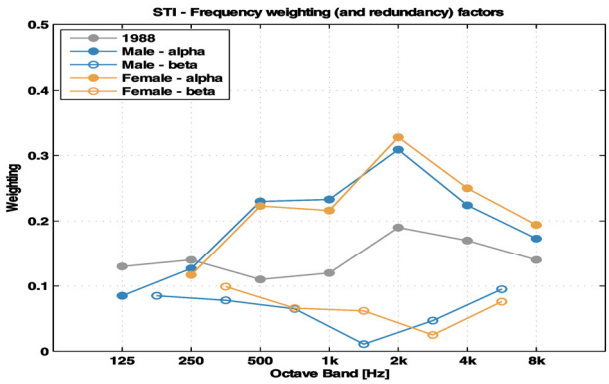
half space

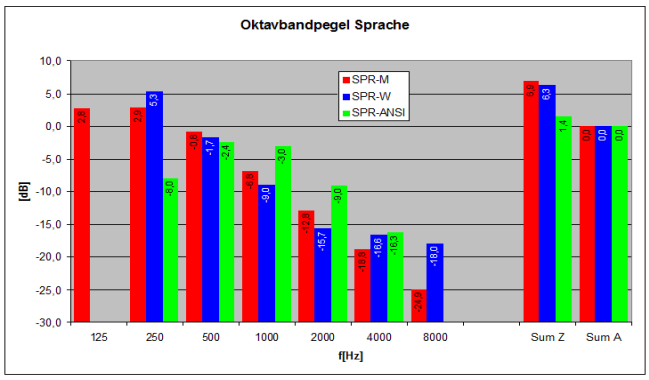


Testsignale für die max. SPL Bestimmung

Typische Testsignale für PA Systeme

- Sprache männlich/weiblich für Sprachalarm
- STI-PA Testsignal für STI Messungen (Sprachspektrum und 12 dB Crestfaktor)
- EIA-426B Testsignal für Musikwiedergabe (Musikspektrum und 12 dB Crestfaktor)
- Wichtige Aspekte: Spektrale Zusammensetzung, Crest Faktor (Peak/RMS)
- Einsatz verschiedener Filterungen und Kompression für Musik, Sprache, Alarm, …

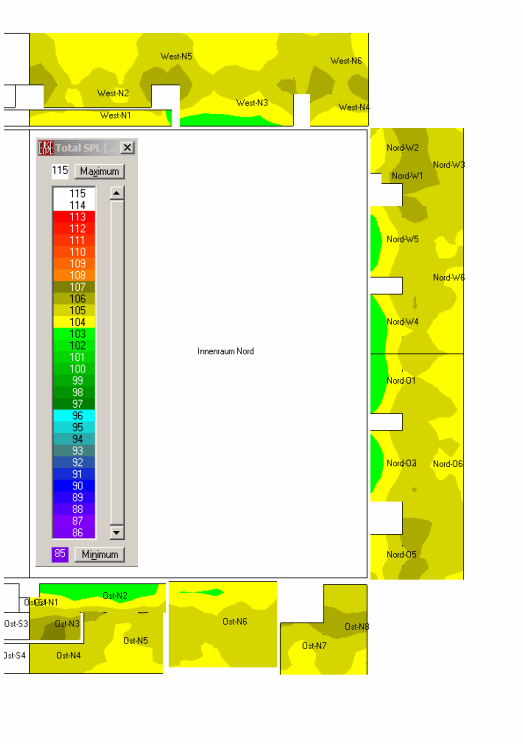


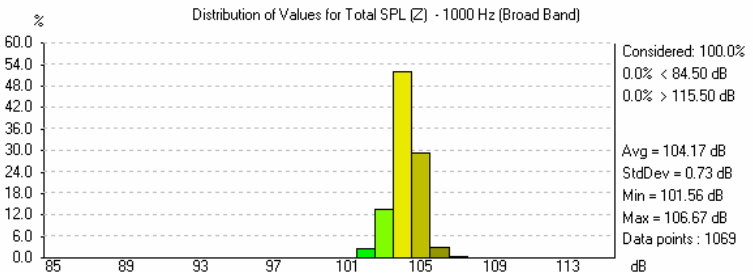


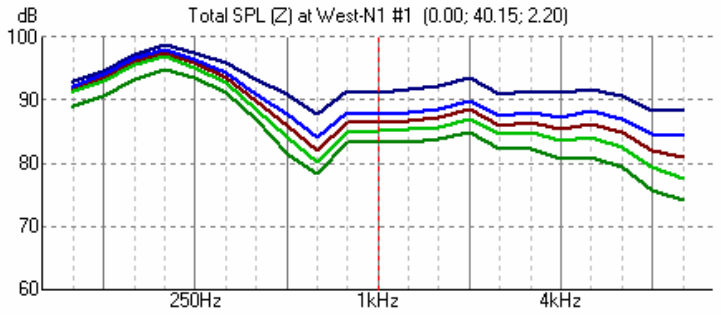
Maximale Leistung für die Lautsprecher

- Werte aus Datenblatt: 2000/500 W (peak/avg)
- Messsignal (STIPA Noise) hat einen Crestfaktor von 12 dB
- Bei 2000 W peak sind das 125 W average power
- Der average power Wert P_{avg} auf der elektrischen Seite korrespondiert mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} auf der akustischen Seite.
  Für alle Bewertung ist immer der L_{eq} der relevante Wert, nicht der L_{pk}.
- Aus einer Pinknoise Simulation lassen sich bereits alle weiteren Werte ableiten:

Gesamtschallpegel mit Pinknoise für 125 W_{avg} 2 kW_{pk}







Maximale Leistung für die Lautsprecher

- Werte aus Datenblatt: 2000/500 W (peak/avg)
- Messsignal (STIPA Noise) hat einen Crestfaktor von 12 dB
- Bei 2000 W peak sind das 125 W average power
- Der average power Wert **P_{avg}** auf der elektrischen Seite korrespondiert mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel **L_{eq}** auf der akustischen Seite.
  Für alle Bewertung ist immer der **L_{eq}** der relevante Wert, nicht der L_{pk}.
- Aus einer Pinknoise Simulation lassen sich bereits alle weiteren Werte ableiten:

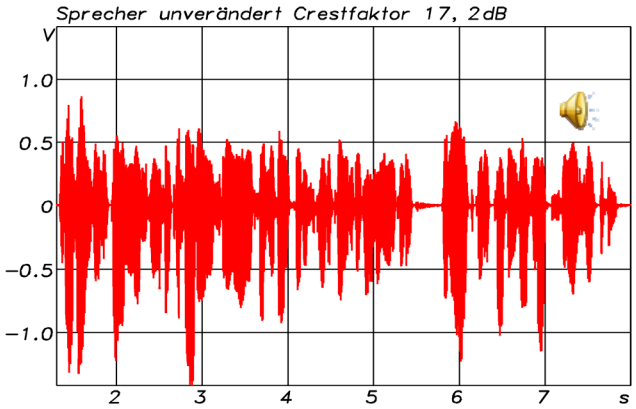
➢ Für ein Pinknoise mit 125 W_{avg} pro LS berechnet sich ein TSPL als L_{eq} von 104 dBZ und von 99 dBA

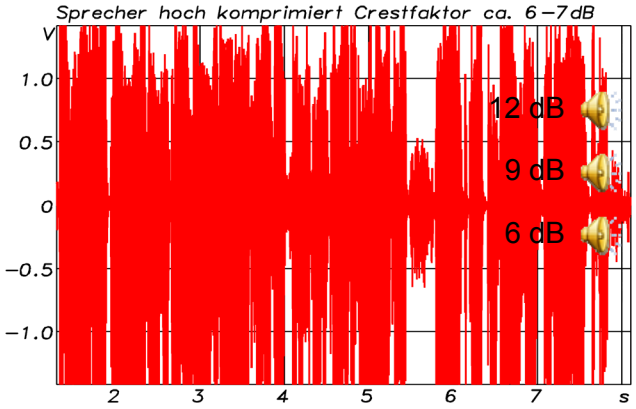
➢ Für ein Sprachsignal mit einem L_{eq} von 105 dBA TSPL wird eine Leistung von 500 W_{avg} benötigt

➢ Problem: 500 W_{avg} bedeutet bei 12 dB CF 8 kW_{pk}

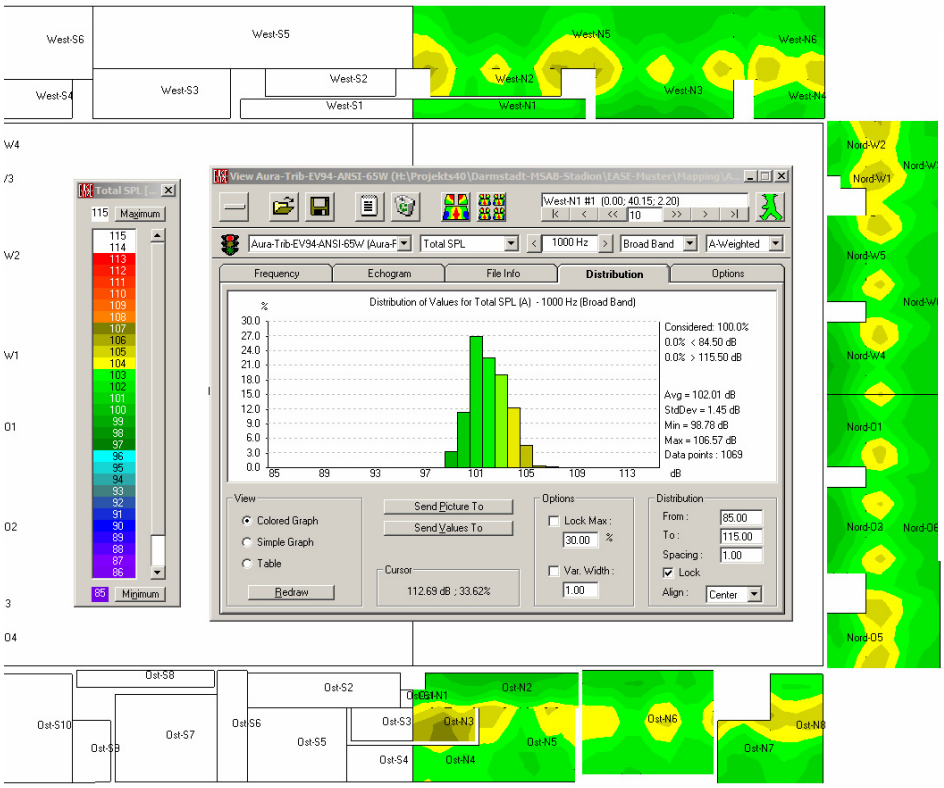
Signalkompression als Lösung ?

- Zielwert: Crestfaktor 6 dB ?
- Theoretischer Verlust im STI-Wert durch die Kompression von 1 auf 0,89
  - Kann entsprechend der Norm durch separate Messungen des STI ohne Kompressor und des max.SPL mit Kompressor vermieden werden.
- Klanglich und von der Verständlichkeit problematisch
- Kompromiss: Kompression auf einen Crestfaktor von 9 dB
- Bei 2 kW_{pk} werden für 9 dB CF 250 W_{avg} erreicht.
  Zielwert: 102 dBA



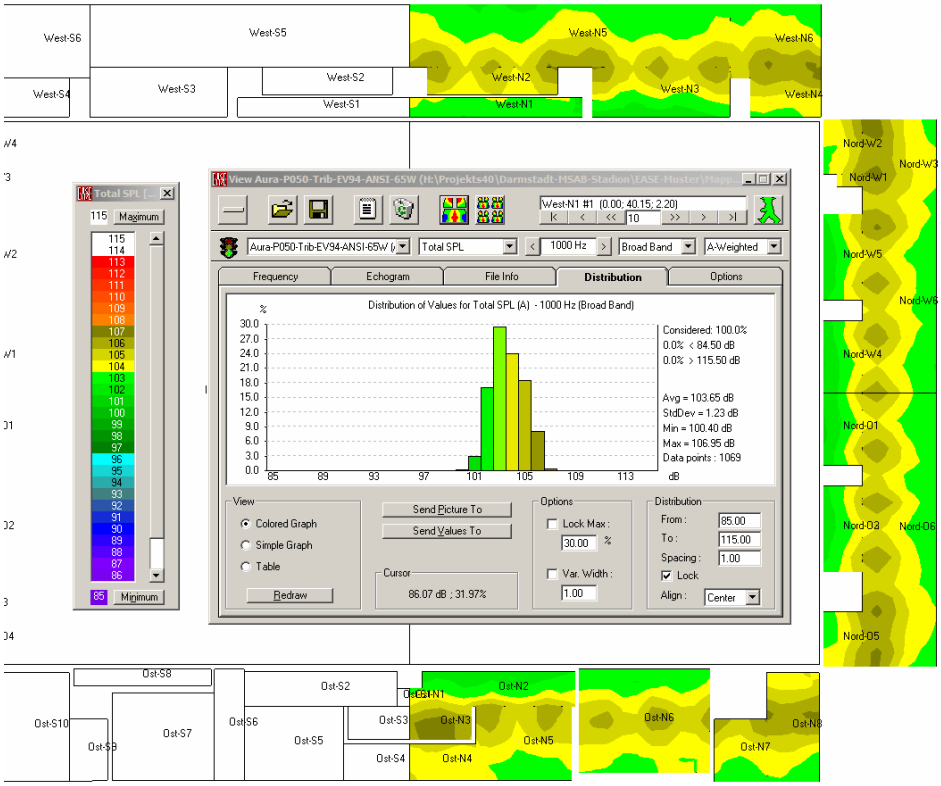


TSPL für 100% Besetzung



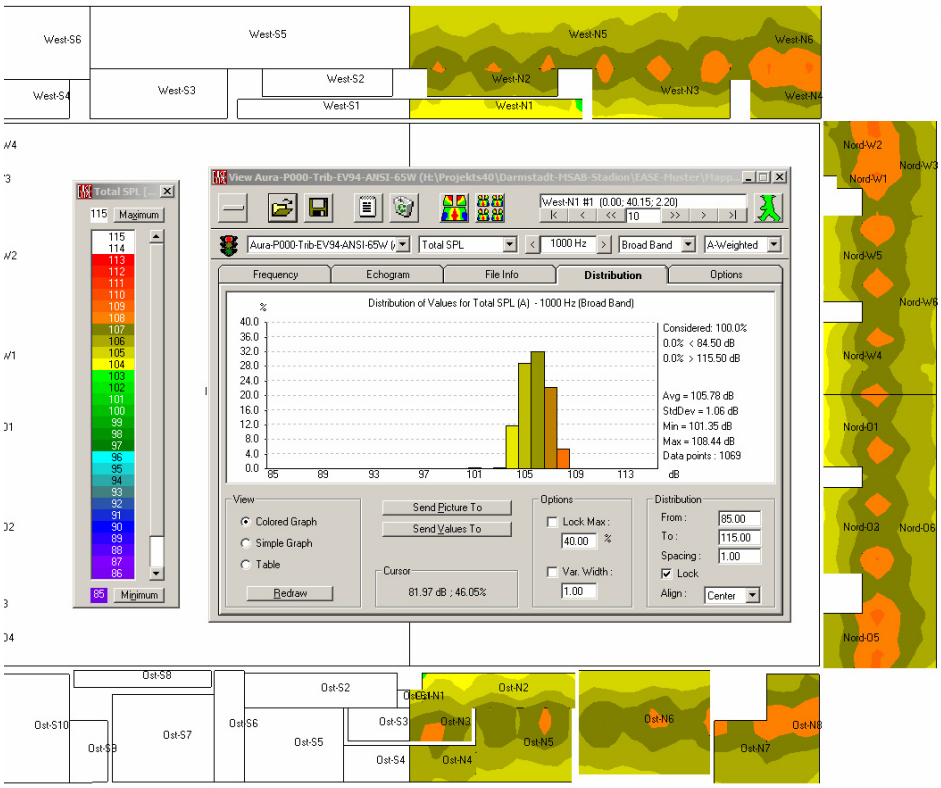
- Publikum: 100%
- Exciter:
  STIPA Test Signal komprimiert auf 9 dB CF
- Leistung:
  250 W_{avg} und 2 kW_{pk}
- SPL:
  L_{eq} = 102 dBA
- Noise:
  L_{eq} = 95 dBA
- S/N nur 7 dB < 10 dB

TSPL für 50% Besetzung



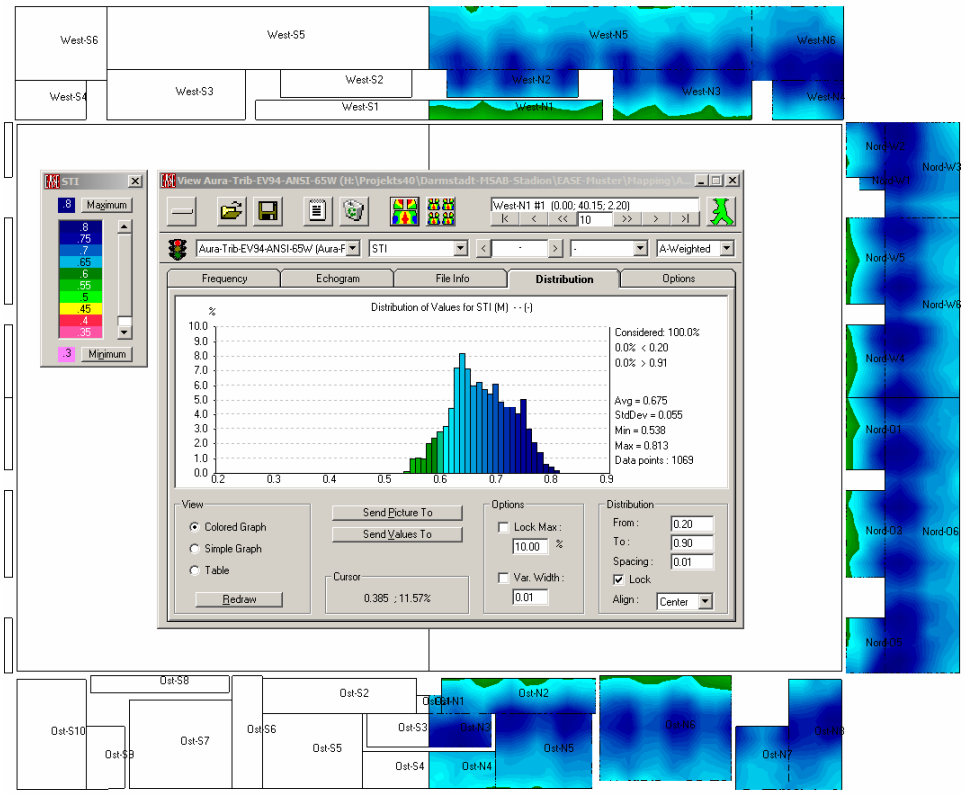
- Publikum: 50%
- Exciter:
  STIPA Test Signal
  komprimiert auf
  9 dB CF
- Leistung:
  250 W_{avg} und 2 kW_{pk}
- SPL:
  L_{eq} = 103,6 dBA
- Noise:
  L_{eq} = 93 dBA
- S/N > 10 dB

TSPL für 0% Besetzung



- Publikum: 0%
- Exciter:
  STIPA Test Signal
  komprimiert auf
  9 dB CF
- Leistung:
  250 W_{avg} und 2 kW_{pk}
- SPL:
  L_{eq} = 105,8 dBA
- Noise:
  L_{eq} = - dBA
- S/N > 10 dB

STI bei 100% Besetzung ohne S/N ohne Maskierung

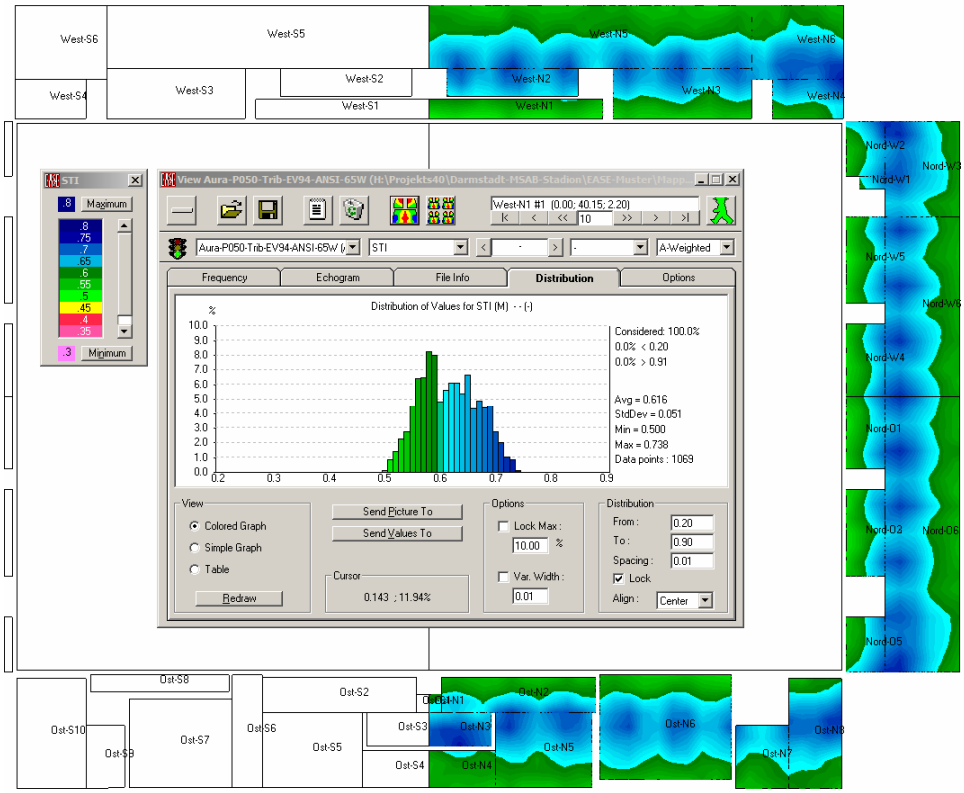


- Publikum: 100%
- Noise: - dBA
- Sprache: - dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - No S/N
  - No Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$

  0,68 - 0,06

  = **0,62**

STI bei 50% Besetzung ohne S/N ohne Maskierung

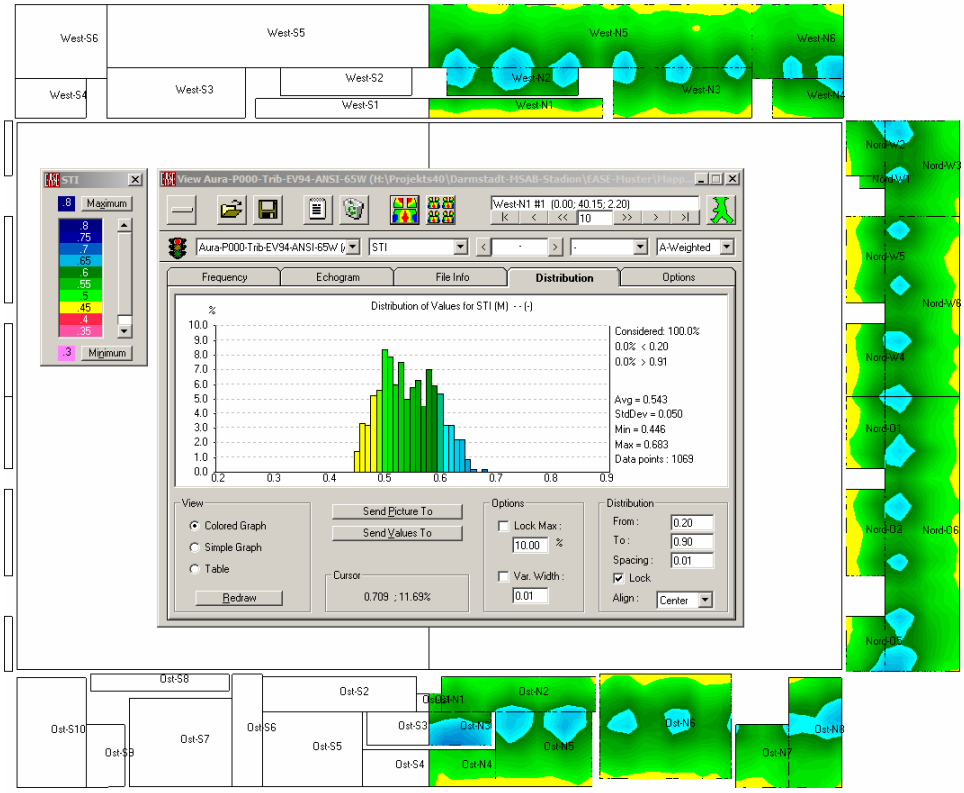


- Publikum: 50%
- Noise: - dBA
- Sprache: - dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - No S/N
  - No Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$

  0,62 - 0,05

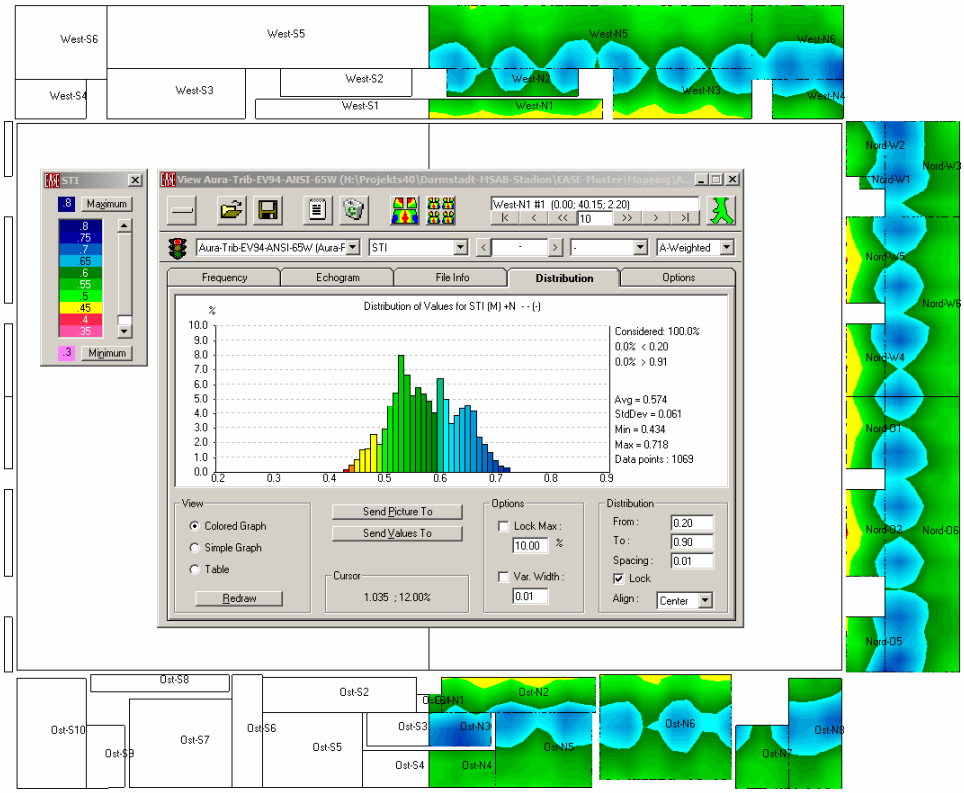
  = **0,57**

STI bei 0% Besetzung ohne S/N ohne Maskierung



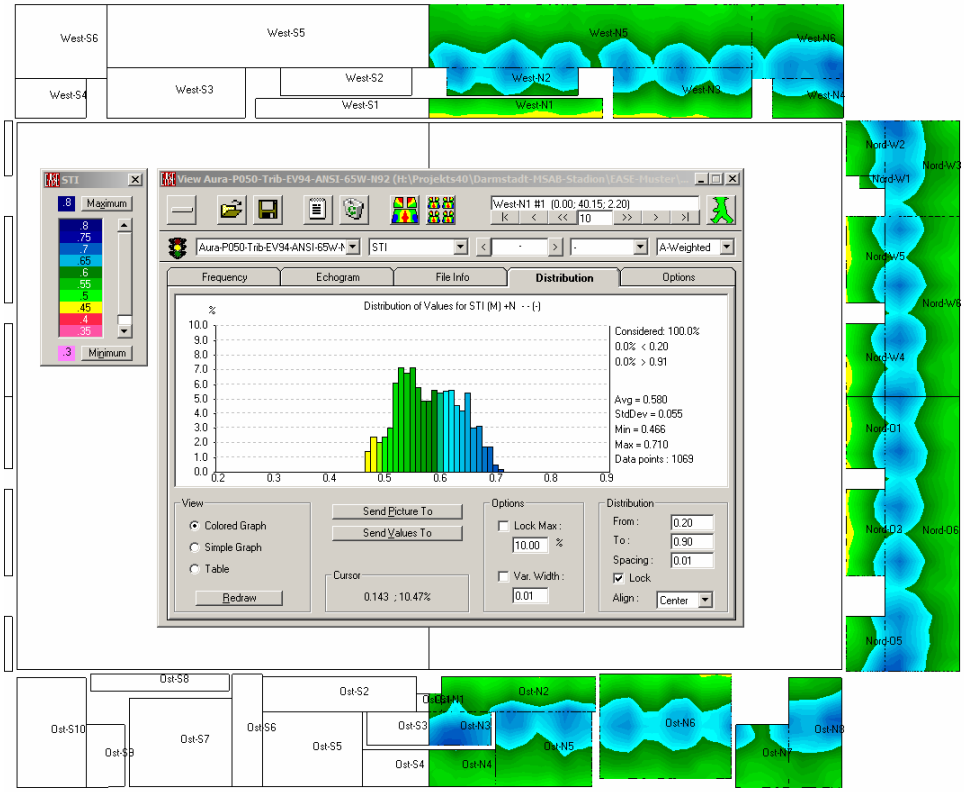
- Publikum:
  0%
- Noise:
  - dBA
- Sprache:
  - dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - No S/N
  - No Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$
  0,54 - 0,05
  = **0,49**

STI bei 100% Besetzung mit S/N ohne Maskierung



- Publikum:
  100%
- Noise:
  95 dBA
- Sprache:
  102 dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - Incl. S/N
  - No Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$
  0,57 - 0,06
  = **0,51**

STI bei 50% Besetzung mit S/N ohne Maskierung

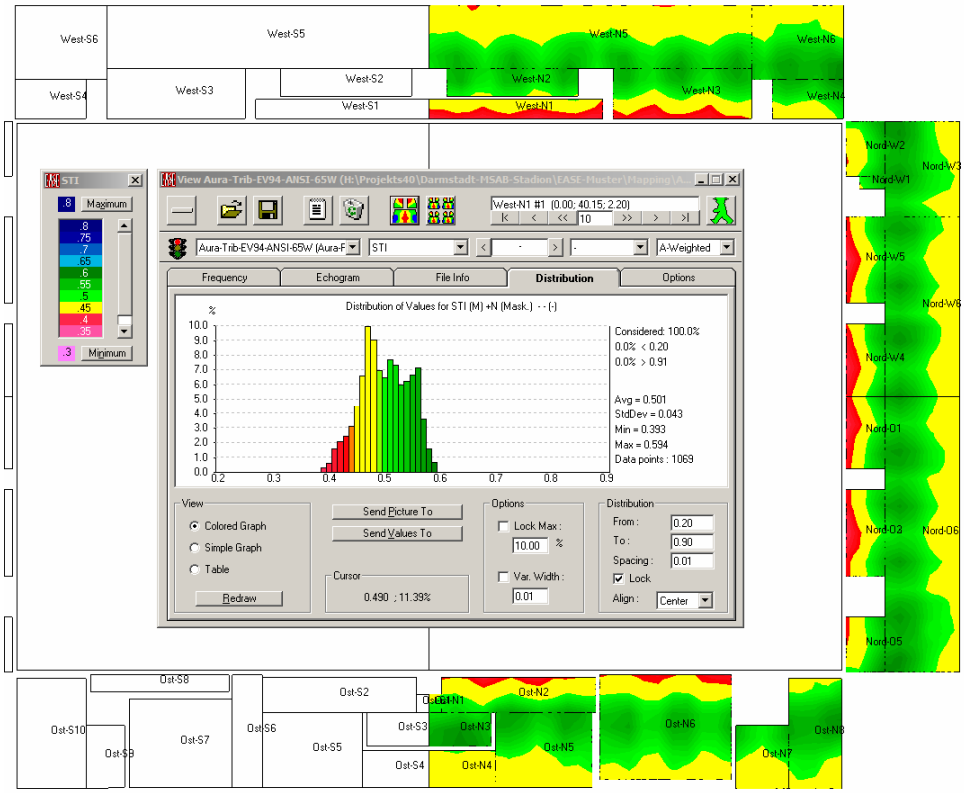


- Publikum: 50%
- Noise: 92 dBA
- Sprache: 103 dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - Incl. S/N
  - No Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$

  0,58 - 0,06

  = **0,52**

STI bei 100% Besetzung mit S/N mit Maskierung

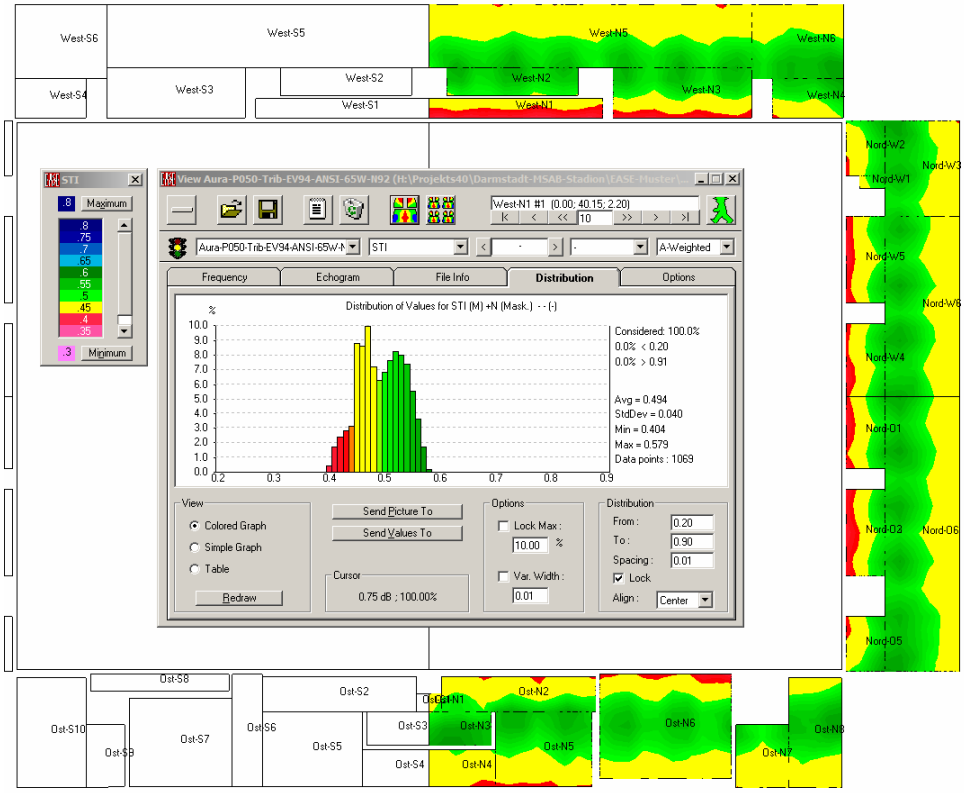


- Publikum: 100%
- Noise: 95 dBA
- Sprache: 102 dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - Incl. S/N
  - Incl. Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$

  0,50 - 0,04

  = **0,46**

STI bei 50% Besetzung mit S/N mit Maskierung



- Publikum: 50%
- Noise: 92 dBA
- Sprache: 103 dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - Incl. S/N
  - Incl. Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$

  0,49 - 0,04

  = 0,45

Zusammenfassung der Ergebnisse

Besetzung	0%	50%	100%
Störpegel als L_{eq} in dBA	entfällt	92	95
Sprachpegel als L_{eq} in dBA	< 85 dBA	103	102
$STI_{MW\text{-}STABW}$ -	0,49	0,57	0,62
$STI_{MW\text{-}STABW}$ mit S/N	0,49	0,52	0,51
$STI_{MW\text{-}STABW}$ mit S/N und Mask.	0,49	0,45	0,46

Fehlerbetrachtung und Erfahrungen

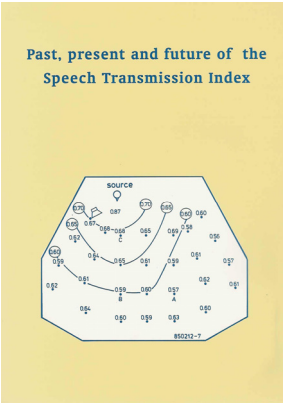
- Fehlerabschätzung
  - Ungenauigkeiten der Lautsprecherdaten
  - <u>Fehlinterpretation der Lautsprecherdaten</u>
  - Abweichung in den Werten der Absorberflächen
  - Nicht alle Absorber sind dem Schallfeld hinreichend exponiert
  - Unzulänglichkeiten der Simulationsverfahren:
    - Beugung geht nicht ein
    - Streuung wird nur stark vereinfacht berücksichtigt
  - Durch eine Nachhallzeitmessung und die darauf basierende Anpassung des Simulationsmodells kann die Planungssicherheit verbessert werden, was aber häufig nicht möglich ist, wenn sich die Stadien noch in der Bauphase befinden
- Erfahrungen
  - Pegelwerte werden bei richtiger Anwendung Weise erreicht oder leicht übertroffen
  - STI Werte schwanken in einer Größenordnung von ±0,02
  - Bisher wurde meist eine gute Übereinstimmung erreicht.

Literaturempfehlungen

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 Sprachalarmanlagen nach DIN 14675

Beschallung in Sportstadien bei hohen Störpegeln

(Sound reinforcement for sport stadiums with high noise levels)

Anselm Goertz

Institut für Akustik und Audiotechnik IFAA, Germany, Email: anselm.goertz@ifaa-akustik.de

Kurzfassung

In großen Sportstadien kommt der Beschallungstechnik zur Information und Warnung der Zuschauer vor Gefahrensituationen eine wichtige Rolle zu. Grundvoraussetzung dafür ist in jedem Fall eine hinreichende Sprachverständlichkeit. Diese hängt neben den ohnehin schon schwierigen raumakustischen Verhältnissen stark vom vorhandenen Geräuschpegel ab, der bei exemplarischen Messungen unerwartet hohe Werte ergab. Die daraus abgeleiteten Anforderungen für den Sprachsignalpegel in Kombination mit der großen Distanz von den Lautsprechern zu den Publikumsflächen führen zu extremen Anforderungen an die hier eingesetzten Lautsprechersysteme. Der Beitrag zeigt Berechnungen und EASE Simulationen zum Thema und weißt auf potentielle Problemstellen und Fehlerquellen bei der Planung von Beschallungsanlagen generell und für Sportstadien hin.

1. Einleitung

In großen Sportstadien kommt der Beschallungstechnik zur Information und Warnung der Zuschauer vor Gefahrensituationen eine wichtige Rolle zu. Grundvoraussetzung dafür ist in jedem Fall eine hinreichende Sprachverständlichkeit. Diese hängt neben den ohnehin schon schwierigen raumakustischen Verhältnissen stark vom vorhandenen Geräuschpegel ab, der sowohl im absoluten Pegel wie auch in der spektralen Zusammensetzung ausgeprägten Schwankungen unterlegen ist. Für diesen Fall stellt sich die Frage der Bewertung des Störpegels und der daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen.

Als Maßstab für die Dimensionierung der Lautsprecheranlage erscheinen Mittlungspegel für die Dauer eines Spiels oder einer Halbzeit ebenso ungeeignet wir kurzzeitig erreichte Spitzenpegel, z.B. beim Torjubel. Um die Suche nach einem geeigneten Kriterium zu konkretisieren, wurden daher bei einem Spiel der 1. Liga in einem mit 55.000 Zuschauerplätzen mittelgroßen Stadion Messungen vorgenommen und ausgewertet.

2. Nachhall und Störpegel

Die beiden entscheidenden Aspekte zum Thema Sprachverständlichkeit in einem Stadion sind die Raumakustik respektive der daraus resultierende Nachhall und der Störpegel. Es soll zunächst kurz auf das Thema Nachhallzeit im Stadion eingegangen werden, bevor mit dem Störpegel das Kernthema dieses Beitrages behandelt wird. Moderne Stadien sind heute in der Regel mit vollständig überdachten Tribünen ausgestattet. In einigen Fällen kann zum Schutz vor Witterungseinflüssen auch noch ein Dach über dem Spielfeld geschlossen werden. Es handelt sich somit um großteils bis vollständig geschlossene sehr große Räume mit einer entsprechend langen Nachhallzeit. Die größten absorbierenden Flächen sind, falls vorhanden, die Dachöffnung über dem Spielfeld und das Publikum. Letzteres kann je nach Situation in der Menge stark schwanken und somit die Raumakustik erheblich beeinflussen.

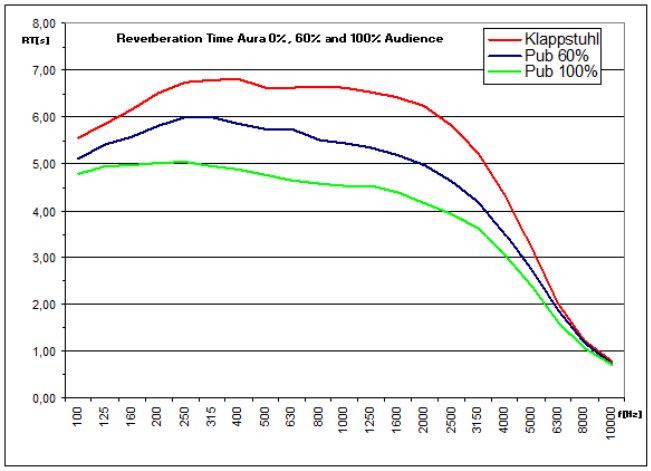


Abbildung 1: Berechnete Nachhallzeitverläufe für ein großes Sportstadion in Abhängigkeit von der Besetzung.

Explizite Absorberflächen gibt es in den meisten Stadien nicht, da diese für eine signifikante Wirkung sehr großflächig angelegt sein müssten und somit hohe Kosten verursachen würden. Zuviel Absorption im Stadion kann sich zudem auch abträglich auf die Stimmung auswirken. Die Bestuhlung mit Plastiksitzschalen hat im nicht besetzten Zustand bestenfalls eine Schall streuende Wirkung, jedoch keine absorbierende. Abbildung 1 zeigt Nachhallzeitberechnungen für ein großes Stadion ohne Publikum und für 60% sowie für 100% Besetzung. Auch bei voller Besetzung liegt die mittlere Nachhallzeit noch bei ca. 4,5 s, was die Problematik, die Beschallung betreffend, deutlich macht. Zu den tiefen Frequenzen hin sinkt die Nachhallzeit, da die meist mit Folien ausgeführten Dächer hier für den Schall durchlässig werden und somit aus Sicht der Raumakustik eher als Absorberflächen zu werten sind.

Neben der langen Nachhallzeit ist der Störpegel der zweite große Problempunkt für eine Beschallung mit hinreichender Sprachverständlichkeit.

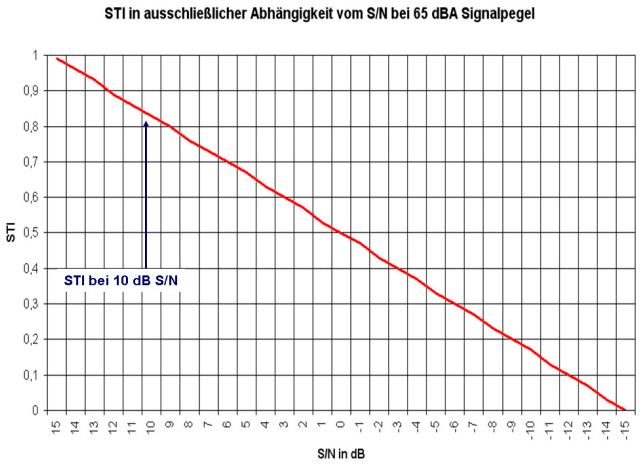


Abbildung 2: Sprachverständlichkeit als STI Wert in ausschließlicher Abhängigkeit vom Störabstand mit gleichen Werten in allen Oktavbändern

Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit des STI Wertes vom Störabstand. Die Kurve wurde berechnet für einen Signalpegel von 65 dB(A) und somit ohne Auswirkung von Hörschwelle und Maskierung. Alle anderen Randbedingungen wurden optimal angenommen. Bei 0 dB Störabstand wird dann ein STI Wert von 0,5 erreicht. Der perfekte Wert von 1 ist erst bei einem Störabstand von 15 dB abzulesen. Die Grafik vereinfacht jedoch einen eigentlich komplexeren Zusammenhang. Streng betrachtet dürfen nicht pauschal die Summenpegel verglichen werden, sondern es muss für jedes Oktavband separat der Störabstand betrachtet werden. Die Grafik geht somit von der Vereinfachung aus, dass der auf der x-Achse aufgetragene Störabstand in allen Oktavbändern gilt.

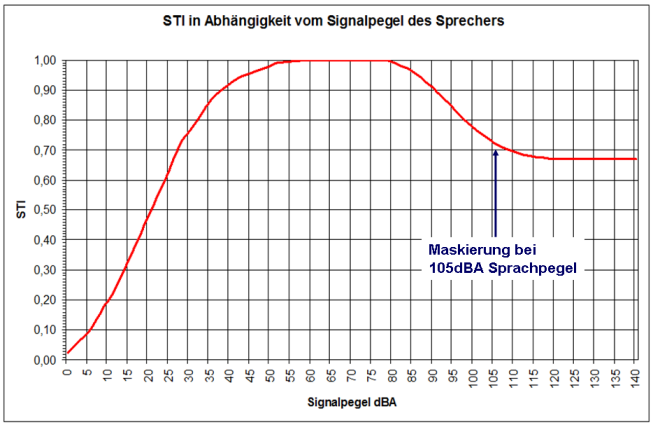


Abbildung 3: Sprachverständlichkeit als STI Wert für normal hörende Personen in ausschließlicher Abhängigkeit vom Pegel. Bei geringen Pegeln unter 55 dB(A) macht sich der Hörschwellenfaktor bemerkbar und bei hohen Pegeln über 80 dB(A) der Maskierungseffekt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt berücksichtigt pegelabhängige Eigenschaften des Gehörs. Abbildung 3 zeigt dazu die Abhängigkeit der Verständlichkeit vom Pegel des Sprachsignals unter ansonsten idealen Voraussetzungen für normal hörende Personen ohne Störpegel und ohne Nachhall oder Echos. Kommt ein Hörschaden hinzu, dann verschiebt sich die untere Flanke hin zu höheren Pegeln und je nach Art des Schadens die obere zu niedrigeren Pegelwerten hin. Ideal für die Verständlichkeit ist somit ein Pegel zwischen 55 und 80 dB(A), wo auch der normale bis gehobene Sprecherpegel liegt. Bleibt man in diesem Pegelbereich, dann gibt es keine negativen Einflüsse durch die Hörschwelle oder den Maskierungseffekt. Nun kommt es aber häufig vor, dass ein vor Ort vorhandener hoher Störpegel wesentlich höhere Sprachsignalpegel als 80 dB(A) erzwingt. Geht man exemplarisch einmal von 95 dB(A) Störpegel aus und man möchte den Sprachsignalpegel deutlich darüber heben, dann liegt man bei 105 dB(A) und damit weit in der Maskierung, womit eine ohnehin schon schwierige Situation noch schwieriger wird. Bei den einzuhaltenden Werten der Sprachverständlichkeit für die Sprachalarmierung ist die Lage zurzeit noch ambivalent [1][2], da je nach anzuwendender Norm die Maskierung zu berücksichtigen ist oder nicht. Für zukünftige Normen ist die Maskierung unabhängig von der Anwendung immer mit in die STI Berechnung einzubeziehen. Einige andere Kriterien werden dafür im Gegenzug ein wenig abgeschwächt [5].

3. Störpegel und Signalpegel

Für eine Auswertung des Störabstandes gilt es zunächst die Werte für den Signalpegel und für den Störpegel zu definieren. Für den Signalpegel stellt sich die Lage vergleichsweise einfach dar. Geht es um Sprache, dann kann der Signalpegel mit einem Sprachersatzrauschen mit der spektralen Verteilung eine Sprachsignals und einem typischen Crestfaktor (Spitzenwert zu Effektivwert) von 12 dB relativ einfach gemessen oder berechnet werden.

Für einen stark schwankenden und sich spektral verändernden Störpegel ist das Vorgehen weniger eindeutig. Für den Fall einer direkten Messung wird in der Regel ein L_{eq} Wert zu Grunde gelegt, dessen Beurteilungszeitraum von wesentlicher Bedeutung ist. Eine erste einfache Abschätzung kann mit Hilfe von Gl.1 erfolgen, wo jeder einzelne Zuschauer als Lärmquelle mit einem bestimmten Schallleistungspegel in einem Raum mit einer bekannten Nachhallzeit und einem bekannten Volumen betrachtet wird. Die Berechnung kann breitbandig, oder wie hier, in Frequenzbändern erfolgen.

Für die exemplarische Berechnung aus Abbildung 4 wurde für die Nachhallzeit der Verlauf aus dem Beispiel für den voll besetzten Zustand aus Abbildung 1 herangezogen. Das Volumen des Stadions beträgt ca. 1,9 Mio. m³. Geht man einmal davon aus, dass 50.000 Zuschauer zeitgleich einen Schallleistungspegel von L_W=90 dB pro Person abgeben, was einem lauten Sprecher entspricht, dann kommt man nach Gl.1 auf einen Pegel von ca. 95 dB(A) im Diffusfeld.

$$L = L_W - 10 \cdot \lg\left(\frac{V/m^3}{T/s}\right) + 13{,}88\,dB \qquad \text{(Gl.1)}$$

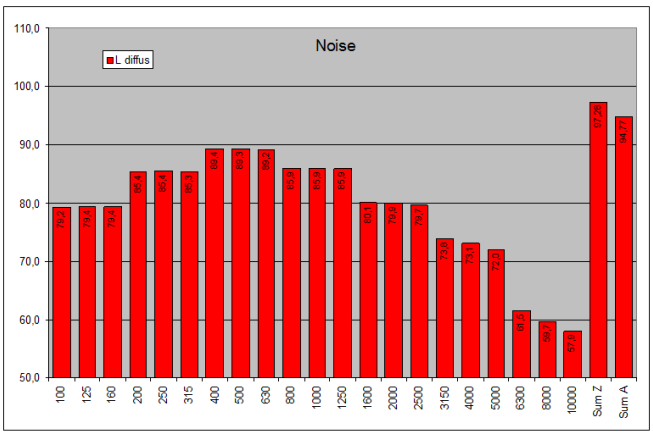


Abbildung 4: Störpegelabschätzung über die Nachhallzeit und dem von den Zuschauern eingebrachten Schallleistungspegel

Der Wert kann selbstverständlich nur als Anhaltspunkt gesehen werden, da als Lärmquellen nicht nur die Stimmen, sondern auch diverse Hilfsmittel wie Trommeln, Rasseln, Trompeten u.ä. genutzt werden. Grundsätzlich bestätigt sich jedoch der für den Störpegel angenommene Wert von 95 dB(A) aus dem Prüfprotokoll des ZVEI [4] für Stadien mit mehr als 15.000 Zuschauern. Andere Empfehlungen für die Beschallung in großen Stadien gehen jedoch von deutlich höheren Störpegeln aus. So gibt die FiFa für die WM 2018 einen anzunehmenden Störpegel von 110 dB(A) ohne nähere Umschreibung an, der u.a. auf Erfahrungen der WM von 2010 in Südafrika mit tausenden von Vuvuzela Bläsern basiert. Da es zurzeit keine Empfehlungen, Normen o.ä. zum Thema Störpegelerfassung gibt, herrscht bei diesem außerordentlich wichtigen Wert eine unbefriedigende Art der „Willkür“. Eine Arbeitsgruppe des ZVEI hat sich aktuell diesem Thema angenommen, in dessen Rahmen auch die nachfolgende Messreihe ausgeführt wurde.

4. Pegelmessung

Die exemplarische Messung erfolgte während eines Spiels der 1. Liga in einem mit 55.000 Zuschauern fast ausverkauften Stadion. Die Heimmannschaft spielte an diesem Tag weniger gut und unterlag den Gästen deutlich, so dass die Stimmung im Stadion eher ein wenig getrübt war, wie sich auch an der während des Spiels fallenden Pegelkurve ablesen lässt. Verantwortliche des Vereins bestätigten, dass es, je nachdem wer der Gegner auf dem Spielfeld ist, auch deutlich emotionalere und lautere Spiele gäbe. Es wurden insgesamt drei Messstationen eingesetzt. Eine oberhalb des Fan-Blocks, eine in einem ruhigeren Bereich, dem Familien-Block und eine zu Kontrolle als mobiler Messplatz. Letztere wurde nicht mit in diese Auswertungen einbezogen. Aufgezeichnet wurden alle erfassbaren Werte in Terzbändern für zeitliche Abschnitte von jeweils 5 s. Parallel dazu wurde das Audiosignal mit 48 kHz Samplerate und 24-Bit Auflösung unkomprimiert aufgezeichnet, so dass später einzelne Messwerte leicht geprüft und in der Ursache nachvollzogen werden konnten.

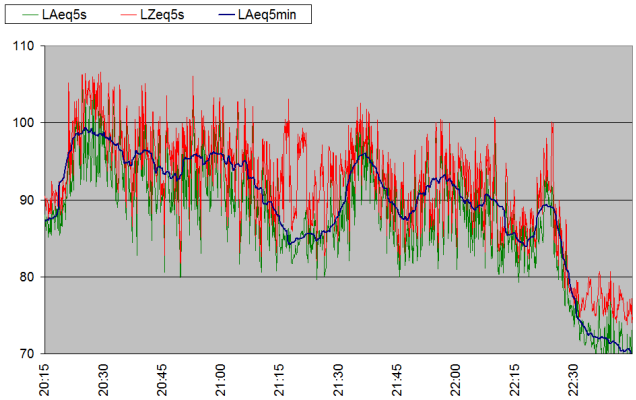


Abbildung 5: Pegelverlauf während des Spiels im Fan-Block als Kurzzeitmittelwert (5 s) unbewertet (rot) und A-bewertet (grün). In blau der Verlauf des 5 Minuten Mittlungspegels.

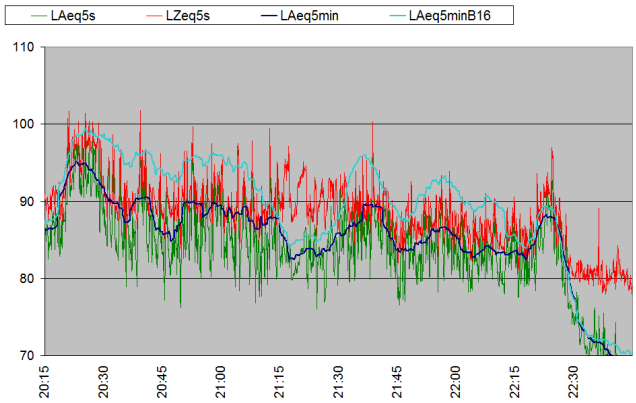


Abbildung 6: Pegelverlauf während des Spiels im Familien-Block als Kurzzeitmittelwert (5 s) unbewertet (rot) und A-bewertet (grün). In dunkelblau der Verlauf des 5 Minuten Mittlungspegels. Zum Vergleich der Verlauf aus dem Fan-Block in hellblau.

Bei den Messergebnissen ist zu bedenken, dass sich die Messpositionen ca. 10 m oberhalb des Publikums im Catwalk unterhalb des Daches befanden. Lokal können die Pegel direkt im Publikum höher sein.

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die Pegelverläufe während des Spiels. Gezeigt werden zum einen die L_{eq} Werte in höchster Auflösung für die 5 s Abschnitte mit A-Bewertung und unbewertet (Z). Zusätzlich wird der aus diesen Messreihen kontinuierlich ermittelte L_{Aeq} für ein Zeitfenster von fünf Minuten gezeigt. Der L_{Aeq} für die lautesten fünf Minuten während des Spiels beträgt für den Fan-Block knappe 100 dB(A) und für den ruhigeren Bereich ca. 95 dB(A).

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die jeweils höchsten L_{Aeq}-Werte während des Spiels für Zeitspannen von 5 s bis 30 min. und den Prozentsatz der Zeit, zu der dieser Pegelwert erreicht oder überschritten wurde.

Die Auswertung der lautesten 5 Minuten erscheinen an dieser Stelle sinnvoll, da sich der Wert einerseits von kurzen sehr lauten Phasen abhebt (ca. 5 dB weniger), gleichzeitig aber auch eine längere unruhige Periode in einem Spiel gut repräsentiert. Bei emotional aufgeladeneren Spielen ist weniger mit einer Steigerung der Maximalpegel in den

kurzen Zeitabschnitten zu rechnen, sondern mit einem Anstieg der 10, 20 und 30 Minuten Werte, da sich die euphorischen Phasen dann über längere Zeiträume erstrecken.

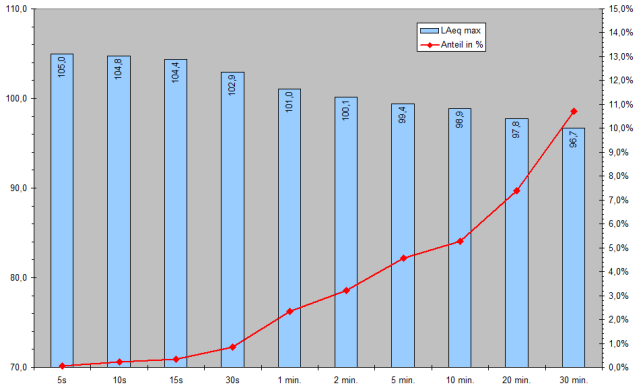


Abbildung 7: Höchster gemessener Mittlungspegel für Mittlungszeiten von 5 s bis 30 Min. und prozentualer Anteil der Messdauer, bei der dieser Wert erreicht wurde. Messungen aus dem Fan-Block.

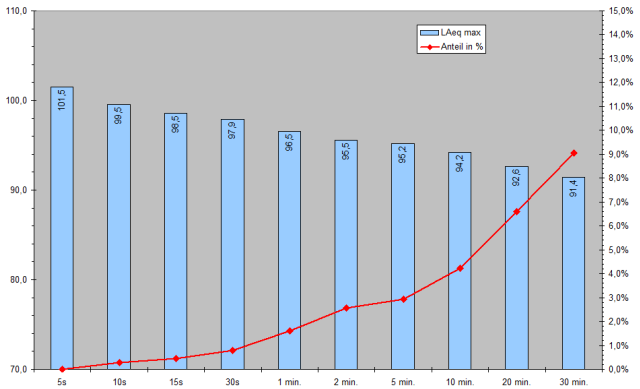


Abbildung 8: Siehe Abbildung 7 für Messwerte aus dem Familien-Block.

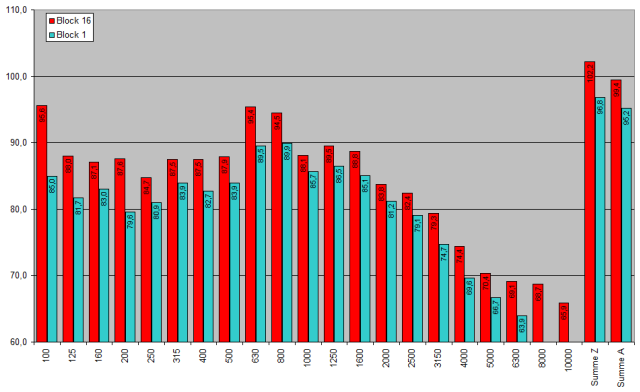


Abbildung 9: Spektrale Zusammensetzung der Störpegels sowie Summenpegel A-und Z-bewertet für die lautesten 5 Minuten im Fan-Block (rot) und im Familien Block (blau).

Die spektrale Zusammensetzung des Störpegels aus Abbildung 9 zeigt ein Schwergewicht im mittleren Frequenzbereich als typischen Verlauf für laute Stimmen und Gesänge. Der im Fan-Block bei tiefen Frequenzen zu erkennende Anstieg könnte auf Trommler im Fan-Block zurückzuführen sein.

Anm.: Die vorab in Abbildung 1 und Abbildung 4 gezeigten Berechnungen und Abschätzungen der Nachhallzeit und des Störpegels beziehen sich nicht auf das Objekt in dem die Messungen durchgeführt wurden und sind daher nur exemplarisch zu verstehen.

5. Zwischenfazit zum Störpegel

Die wichtigste Erkenntnis aus den hier dargestellten Zusammenhängen dürfte sein, dass für große Stadien mit komplett überdachten Tribünen und dichter Bauweise (ohne Laufbahn) mit deutlich höheren Störpegeln zu rechnen ist, als es bisher gemeinhin angenommen wurde. Der bei der exemplarischen Messung ermittelte Wert von knappen 100 dB(A) als L_{Aeq} für die lautesten 5 Minuten zeigt das deutlich. Für Extremfälle, bei emotional hoch aufgeladenen Spielen, in sehr großen Stadien, z.B. bei einer WM oder EM, erscheint daher auch die Annahme eines Störpegels von 105 dB(A) oder mehr nicht übertrieben.

Daraus ergibt sich nun die Frage, welche Konsequenzen daraus für die Beschallungstechnik zu ziehen sind? Für wichtige Durchsagen besteht zunächst die Forderung nach einem mindestens zu erreichenden STI Wert für die Sprachverständlichkeit von 0,5. Dieser Mindestwert wird unterschiedlich interpretiert. Entsprechend hiesiger Normen ist der Mindestwert als Mittelwert über alle hinreichend dicht zu legenden Messpositionen abzüglich der Standardabweichung zu ermitteln. Die Maskierung wird entsprechend der Norm [1] für nicht automatische Sprachalarmanlagen bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Eine zurzeit in Bearbeitung befindliche neue Norm (EN 50489) verlangt den Mindestwert als Mittelwert aus allen Messpositionen, nach vorherigem Abzug der schlechtesten 10% der Messwerte. Dieser Erleichterung steht jedoch die jetzt grundsätzliche Berücksichtigung der Maskierung gegenüber, womit die Vorgehensweise zur STI Berechnung wieder konsistent ist.

Unabhängig von dieser Frage ist zu diskutieren, wie bei der STI Berechnung der Störpegel zu berücksichtigen ist? Dazu gibt es zwei Ansätze:

1) Man definiert einen Störpegel inklusive eines zugehörigen Spektrums in Oktav- oder Terzbändern und bezieht dieses mit in die Berechnung der Sprachverständlichkeit ein. Dieses Vorgehen suggeriert eine hohe Genauigkeit, die sich jedoch in der Realität nicht immer abbilden lässt, da das Störspektrum entweder als Mittelwert oder als Momentaufnahme niemals so vorliegt und somit auch wieder einer gewissen Willkür unterliegt.

2) Ein einfacheres Vorgehen besteht darin, den STI zunächst ohne Störpegel zu berechnen und anschließend separat den Nachweis zu führen, dass breitbandig als A-bewerteter Summenpegel ein bestimmter Störabstand erreicht wird. Idealerweise wären das 15 dB oder mehr. In der Praxis haben sich 10 dB als praktikabel und sinnvoll herausgestellt.

Die FIFA fordert in ihren Stadionrichtlinien 6 dB und einen STI Mittelwert ohne genauere Umschreibung von 0,55.

Die auf den ersten Blick an dieser Stelle ungeeignet erscheinende A-Bewertung ist trotzdem sinnvoll, da die A-Kurve recht gut die Bedeutung der Frequenzbänder für die Sprachverständlichkeit widerspiegelt.

6. Beispiel eines Sportstadions

Aus akustischer Sicht liegt in großen überdachten Sportstadien die Kernproblematik in der langen Nachhallzeit (4 s und mehr) und im hohen Störpegel (95 dB(A) und mehr). Solche und ähnliche Verhältnisse erfordern aufwändige Beschallungsanlagen zur Information und Alarmierung der dort anwesenden Personen. Für Anlagen zur Sprachalarmierung gelten zudem strenge Vorgaben der dort zu erreichenden Sprachverständlichkeit. Die messtechnische Bestimmung erfolgt über den STI-Wert, der als Mittelwert abzüglich der Standardabweichung einen Wert von 0,5 nicht unterschreiten darf. Je nach Ausführung der Sprachalarmierung sind bei der Berechnung die einschlägigen Normen [1][2][3] zu beachten. Um dieses Ziele zu erreichen, sind Lautsprecher mit einem ausgeprägten Richtverhalten und hohem Maximalpegel erforderlich. Die mögliche Eignung eines Beschallungskonzeptes kann über eine fachgerechte Computersimulation nachgewiesen werden.

7. Sprachsignale und Störpegel

Für die Berechnung der Sprachverständlichkeit wird der Modulationsverlust in den sieben für Sprache relevanten Oktavbändern ausgewertet und gewichtet. Abbildung 10 zeigt die Gewichtung, aus der deutlich zu erkennen ist, dass vor allem die mittleren und hohen Frequenzbänder von Bedeutung sind. Für die Beschallung bei hohen Störpegeln bedeutet das, speziell in diesen Frequenzbändern einen möglichst hohen Störabstand zu erzielen. Das 125 Hz Band ist demgegenüber eher unwichtig, so dass mit einer entsprechenden Hochpassfilterung die Lautsprecheranlage geschont werden kann um dann in den höheren Frequenzbändern einen höheren Ausgangspegel liefern zu können.

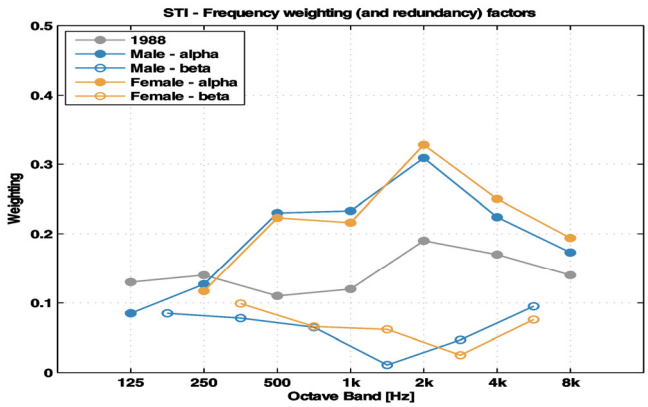


Abbildung 10: Gewichtung der Oktavbänder für die Berechnung der Sprachverständlichkeit. *Quelle: Thomas Steinbrecher, Bose*

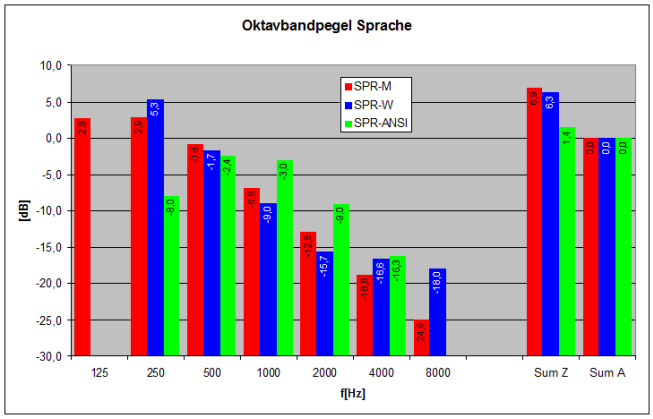


Abbildung 11: Durchschnittliche spektrale Zusammensetzung von Sprache für einen männlichen Sprecher (rot) und eine weibliche Sprecherin (blau). Zum Vergleich in grün ein auf hohe Verständlichkeit angepasstes Spektrum.

Abbildung 11 zeigt mittlere Sprachspektren für männliche und weibliche Stimmen und einen Verlauf, der mit Hilfe von Filtern auf maximale Durchsetzungsfähigkeit und Verständlichkeit angepasst wurde. Zuspielwege für die Sprachalarmierung werden typischerweise mit entsprechenden Filtern bestückt.

8. Lautsprecherdaten

Für jede Art von Simulation gilt, dass die Ergebnisse nur so gut sein können wie deren Eingangsgrößen. Neben den raumakustischen Parametern betrifft das für den hier vorgestellten Fall vor allem die Lautsprecherdaten. In den Datensätzen der Lautsprecher ist zum einen deren Richtverhalten hinterlegt und die Werte für die Sensitivity und Belastbarkeit. Für den hier ausgewählten Lautsprecher wird eine Sensitivity von 105 dB 1W/1m angegeben und eine Belastbarkeit von 500 W als zwei Stunden Mittelwert sowie 2 kW als Spitzenwert. Im Weiteren wird ein rechnerischer Maximalpegel von 138 dB in 1 m Entfernung aufgeführt. Zusätzlich wird darauf hingewiesen, dass diese Werte für Halbraumbedingungen gelten. Konkret bedeutet das bei einer „normalen“ Anwendung, wie hier frei hängend über dem Publikum, sind von diesem Wert 6 dB abzuziehen. Im Datenblatt ist das so vermerkt im zugehörigen Datensatz für das Simulationsprogramm jedoch nicht, wo dann besondere Aufmerksamkeit gefragt ist.

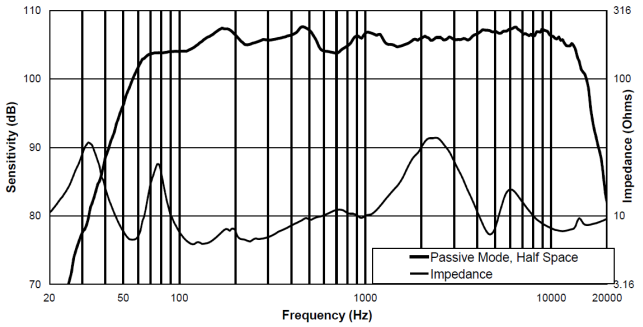


Abbildung 12: Frequenzgang und Impedanzverlauf des Lautsprechers aus dem Datenblatt. Man beachte den Hinweis auf die Half Space Bedingungen.

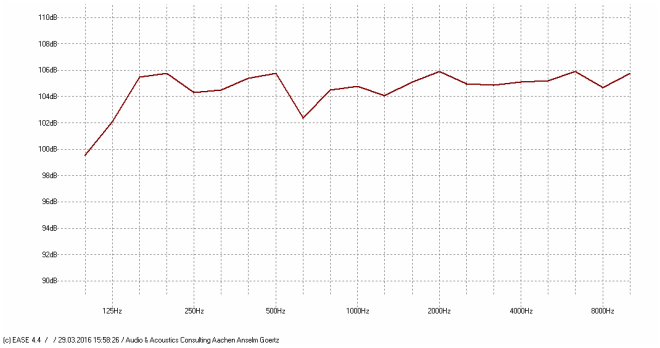


Abbildung 13: Sensitivity Kurve des Lautsprechers für 1W/1m aus dem EASE Datensatz. Diese Kurve gilt ebenfalls nur für Half Space Bedingungen. Für eine normale Full Space Anwendung sind 6 dB abzuziehen.

9. Das Stadion in der Simulation

Das vorab gezeigte Lautsprechermodell ist ein typischer Stadionlautsprecher und soll exemplarisch in einem nicht näher benannten einfachen Bespielstadion eingesetzt werden.

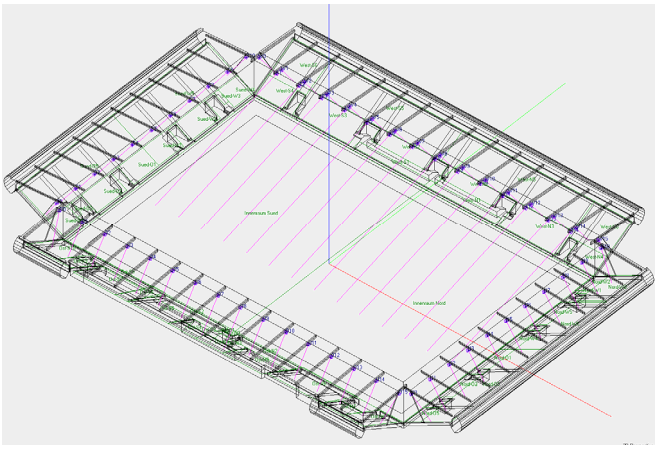


Abbildung 14: EASE Modell des Stadions mit Lautsprecheranordnung im Abstand von 8 m an den Dachträgern. Insgesamt werden 54 Lautsprecher für die Tribünen und 14 für das Spielfeld eingesetzt.

Das Stadion fasst 15.000 Zuschauer und der Abstand von den möglichen Lautsprecherstandpunkten am Catwalk im Dach zum Publikum beträgt ca. 15 m. Bei 15.000 Zuschauern wird ein Störpegel durch die Zuschauer von 95 dBA angenommen [5]. Der Zielwert für die Sprachverständlichkeit als STI-Wert liegt bei 0,5 ohne Berücksichtigung der Maskierung [1]. Die Sensitivity Kurve des Lautsprechers wurde für Vollraumbedingungen um 6 dB nach unten korrigiert.

10. Gesamtschallpegel mit Pinknoise

Nach der hier nicht näher betrachteten ersten Überprüfung der Direktschallverteilung wird als erster Durchlauf einer kompletten Simulation für den Gesamtschall eine Berechnung mit einem Pinknoise-Signal durchgeführt. Den Lautsprechern wird dazu in jedem Terzband eine Leistung von 6 W zugeführt entsprechend einer Gesamtleistung von 126 W für 21 Terzbänder. Für ein Signal mit 12 dB Crestfaktor entspricht das einer Spitzenleistung von 2 kW.

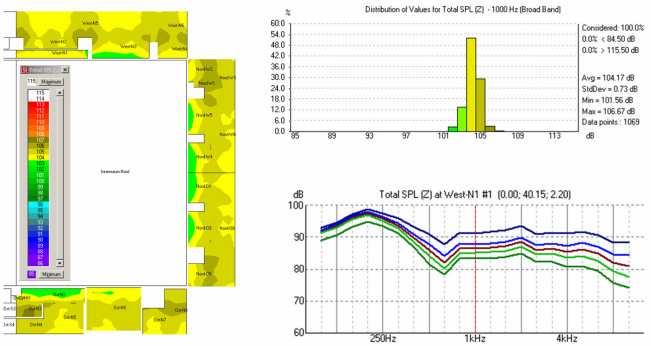


Abbildung 15: Pegelverteilung und Frequenzgänge für ein Pinknoise Signal mit 6 W Leistung pro Frequenzband entsprechend 125 W Gesamtleistung.

Abbildung 15 zeigt das so berechnete Mapping für den Gesamtschallpegel sowie die zugehörige Distribution und die Frequenzgänge als Mittelwert, Maximum, Minimum und die Standardabweichung. Das Ergebnis erfüllt soweit die Erwartungen. Der mit dem Pinknoise berechnete Schalldruck liegt im räumlichen Mittel als L_{Zeq} bei 104 dB(Z).

11. Leistungswerte, Signalkompression und resultierender Schalldruck

Nun wird eine Beschallungsanlage für die finale Prüfung zur Sprachverständlichkeit nicht mit einem Pinknoise-Signal getestet, sondern mit einem Sprachersatzrauschen. Für den üblichen Fall einer STIPA-Messungen wird dazu das STIPA-Testsignal genutzt, dessen spektrale Verteilung der eines männlichen Sprechers (rotes Spektrum in Abbildung 11) entspricht. Der Crestfaktor des Signals liegt bei ca. 12 dB. Als Maßstab für den zu erreichenden Schallpegel wird der L_{eq} über die Messdauer herangezogen. Dem L_{eq} auf der akustischen Seite entspricht der gemittelte Leistungswert P_{avg} auf der elektrischen Seite. Für den hier ausgewählten Lautsprecher bedeutet das bei einer maximalen Spitzenleistung von 2 kW bei einem Crestfaktor von 12 dB einen Leistungswert von 125 W. Lässt man noch eine geringfügige Signalkompression von 3 dB zu, dann kann der Wert auf 250 W erhöht werden und der L_{eq} steigt um 3 dB bei gleich bleibenden Spitzenwerten auf der elektrischen und akustischen Seite an. Ohne weitere Simulationen berechnen zu müssen, lässt sich an dieser Stelle schon der erreichbare Maximalpegel für beliebige andere Signalspektren, Filtereinstellungen und Crestfaktoren mit Hilfe eines einfachen Tabellenkalkulationsprogramms ermitteln.

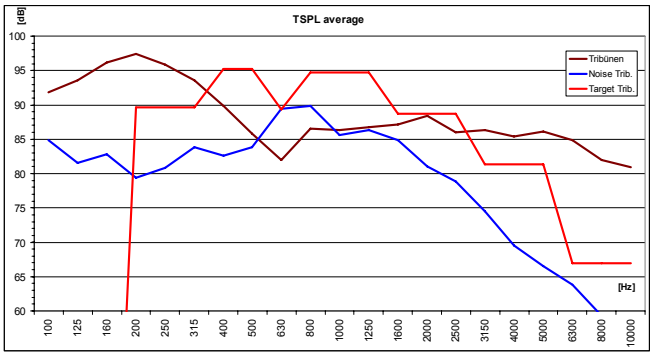


Abbildung 16: Maximaler Schalldruck auf den Tribünen für ein Pinknoise mit 12 dB Crestfaktor (dunkelrot) und für ein Sprachsignal mit 9 dB Crestfaktor (hellrot). Störpegelspektrum in blau.

Abbildung 16 zeigt den mit dem Pinknoise-Signal bei 125 W Gesamtleistung berechneten mittleren Frequenzgang (dunkelrot) zusammen mit dem angenommenen Störschallspektrum (blau) und dem für ein optimiertes Sprachsignal maximal erreichbaren Verlauf bei 250 W Gesamtleistung. Letzteres setzt eine Kompression des Signals um 3 dB auf einen Crestfaktor von 9 dB voraus. Mit dem so optimierten Sprachsignal lässt sich im voll besetzen Stadion eine Pegel von 102 dB(A) erreichen. Dieser Wert geht bereits aus der einfachen Tabellenkalkulation ohne weitere Simulationen hervor. Der gewünschte Störabstand von 10 dB zum Störpegel von 95 dB(A) wird nicht erreicht. Es muss daher für den verringerten Störabstand nachgewiesen werden, dass der geforderte STI Wert als finale Größe trotzdem zu erreichen ist.

12. Simulationsparameter

Für die weitere Berechnung können nun die so ermittelten Filter und Leistungswerte zusammen mit dem Sprachspektrum als Anregungssignal in die Simulation eingesetzt werden. Es werden drei Varianten für das Stadion berechnet: Volle Besetzung mit 95 dB(A) Störpegel, halbe Besetzung bei 92 dB(A) Störpegel und leeres Stadion ohne Störpegel. Der zur Mittellinie symmetrische Aufbau des Stadions wird ausgenutzt und es wird nur eine Hälfte der Publikumsfläche berechnet. Selbstverständlich sind dabei aber alle Lautsprecher in Betrieb. Das Raster für die Berechnung beträgt 2 m entsprechend 1096 Punkten für die dargestellte Hälfte der Tribünen. Je Lautsprecher wird mit 71.000 Schallteilchen gerechnet. Die Länge der berechneten Impulsantworten beträgt 1,8 s. Eine höhere Teilchenzahl oder längere Impulsantwort liefern bezüglich der STI Werte keine abweichenden Ergebnisse.

Das Störschallspektrum aus Abbildung 9 wurde im Modell mit 95 bzw. 92 dB(A) Gesamtpegel hinterlegt. Abbildung 17 zeigt für die drei aufgeführten Situationen die Pegelverteilung für das optimierte Sprachsignal. Bei verringerter Besetzung steigen die Nachhallzeit und entsprechend auch der Gesamtschallpegel an. Die Berechnung für das leere Stadion ist primär als Maßstab bei einer messtechnischen Überprüfung der Anlage relevant, die natürlich nur im unbesetzten Stadion stattfinden kann.

13. Gesamtschallpegel für Sprache

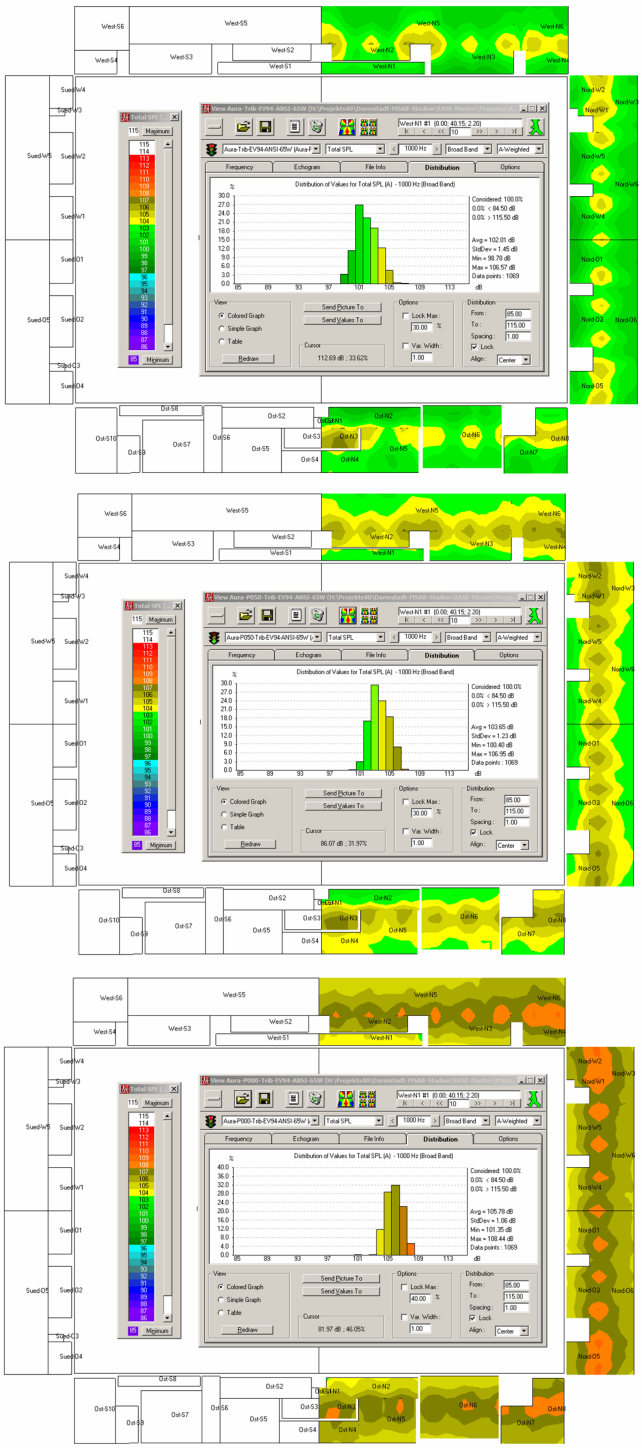
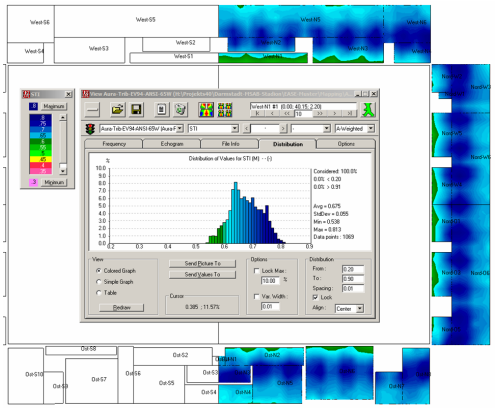
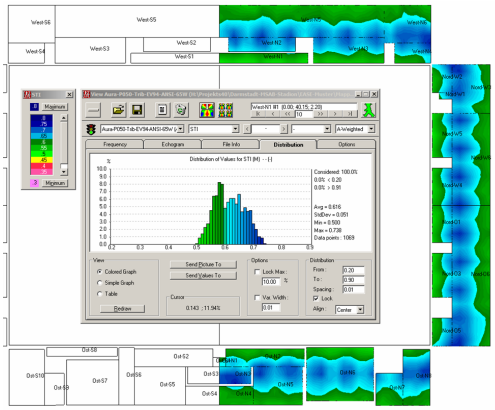


Abbildung 17: Gesamtschallpegelverteilung für ein optimiertes Sprachsignal mit 9 dB Crestfaktor bei voller Auslastung der Lautsprecher.
Besetzungsgrad: 100% mit 102,1 dB(A)
Besetzungsgrad: 50% mit 103,6 dB(A)
Besetzungsgrad: 0% mit 105,8 dB(A)

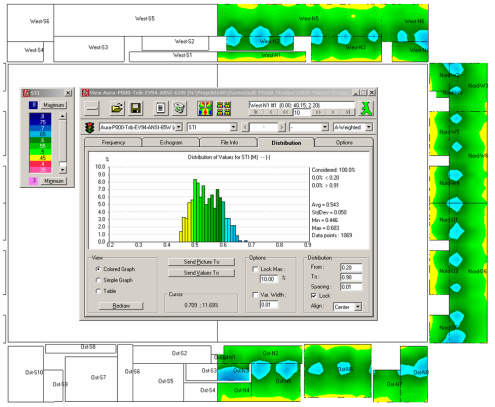
14. Sprachverständlichkeit



- Publikum: 100%
- Noise: - dBA
- Sprache: - dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - No S/N
  - No Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$ 0,68 - 0,06 = **0,62**



- Publikum: 50%
- Noise: - dBA
- Sprache: - dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - No S/N
  - No Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$ 0,62 - 0,05 = **0,57**



- Publikum: 0%
- Noise: - dBA
- Sprache: - dBA
- STI Calc:
  - Male Speaker
  - No S/N
  - No Masking
- $STI_{MW\text{-}STABW}$ 0,54 - 0,05 = **0,49**

Abbildung 18: STI Werte in Abhängigkeit vom Besetzungsgrad. Alle Berechnung zunächst ohne Maskierung und ohne Noise.

Die Berechnung der Sprachverständlichkeit erfolgte mit den vorab genannten Parametern und dem optimierten Sprachsignal als Anregungssignal. Die Mappings aus Abbildung 18 zeigen die STI-Werte zunächst ohne Berücksichtigung des Störpegels und ohne Maskierung. Anschließend wurde zunächst der Störpegel und in einem weiteren Schritt noch die Maskierung mit einbezogen. Für den Fall des unbesetzten Stadions ist die Berechnung mit Störpegel in der Praxis nicht relevant. Die Berechnungen mit den bisher üblichen Auswertemethoden zeigen, dass nach aktueller Normensituation und Anwendung der EN 60489 mit einer Berechnung der Sprachverständlichkeit ohne Maskierung die Werte sowohl im voll besetzten wie auch im halb besetzten Stadion sicher eingehalten werden.

Besetzung	0%	50%	100%
Störpegel als L_{Aeq} in dBA	-	92	95
Sprachpegel als L_{Aeq} in dBA	105,8	103,6	102,1
$STI_{MW\text{-}STABW}$	0,49	0,57	0,62
$STI_{MW\text{-}STABW}$ mit S/N	0,49	0,52	0,51
$STI_{MW\text{-}STABW}$ mit S/N und Mask.	0,42	0,45	0,46

Tabelle 1: STI Werte in Abhängigkeit vom Besetzungs-grad des Stadions und der Berücksichtigung von Störpegel und Maskierung.

Kommt die Maskierung mit ins Spiel, dann werden die Zielwerte klar verfehlt. In den entsprechenden Gremien hat sich zwischenzeitlich dazu auch die Erkenntnis herausgebildet, dass unter Einbeziehung der Maskierung die Anforderungen eines STI als Mittelwert abzüglich der Standardabweichung größer oder gleich 0,5 in vielen Fällen zu streng gewählt sind. In den aktuellen Normenentwürfen wird daher der finale STI Wert als reiner Mittelwert aller Positionen unter Vernachlässigung der schlechtesten 10% bestimmt. Tabelle 2 zeigt die so berechneten Ergebnisse zum Vergleich zur aktuellen Methode in Tabelle 1.

Besetzung	0%	50%	100%
Störpegel als L_{Aeq} in dBA	-	92	95
Sprachpegel als L_{Aeq} in dBA	105,8	103,6	102,1
$STI_{MW90\%}$ mit S/N und Mask.	0,46	0,50	0,51

Tabelle 2 STI Werte nach alternativer Berechnungsmethode als Mittelwert der besten 90%.

15. Fazit

Simulationen sind ein gut geeignetes Werkzeug zur Vorhersage von Beschallungsergebnissen. Die absolut zwingenden Voraussetzungen dafür sind jedoch korrekte Ausgangsdaten, eine sinnvolle Annahme der realistischen Leistungswerte für die Lautsprecher in Terzbändern und eine klare Festlegung des Anregungssignals sowie aller Randbedingungen für die angestellten Berechnungen und für die anschließende Auswertung.

16.Literaturhinweise

[1] DIN EN 60849 (VDE 0828), Ausgabe:1999-05 Elektroakustische Notfallwarnsysteme

[2] DIN VDE 0833-4, Ausgabe 2007-09 Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall - Teil 4: Festlegungen für Anlagen zur automatischen Sprachalarmierung im Brandfall

[3] DIN EN 60268-16, Ausgabe: 2011 Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex

[4] ZVEI Muster Prüfprotokoll für Sportstadien, 2007