Beschallung in Sportstadien bei hohen Störpegeln

Alfred Schmitz[1], Anselm Goertz[2],

[1] *IFAA Institut für Akustik und Audiotechnik, Grevenbroich, E-Mail: alfred.schmitz@ifaa-akustik.de*
[2] *IFAA Institut für Akustik und Audiotechnik, Herzogenrath, E-Mail: anselm.goertz@ifaa-akustik.de*

Einleitung

Für eine funktionierende Sprachalarmierung in großen Sportstadien werden Beschallungsanlagen benötigt, die sowohl bei schwierigen raumakustischen Verhältnissen wie auch bei hohen Störpegeln noch eine mindest erforderliche Sprachverständlichkeit auf den Zuschauerrängen erreichen können. Die hohen Pegelwerte 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 hin.

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.

Sprachsignale und Störpegel

Für die Berechnung der Sprachverständlichkeit wird der Modulationsverlust in den sieben für Sprache relevanten Oktavbändern ausgewertet und gewichtet. Abbildung 1 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 2 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.

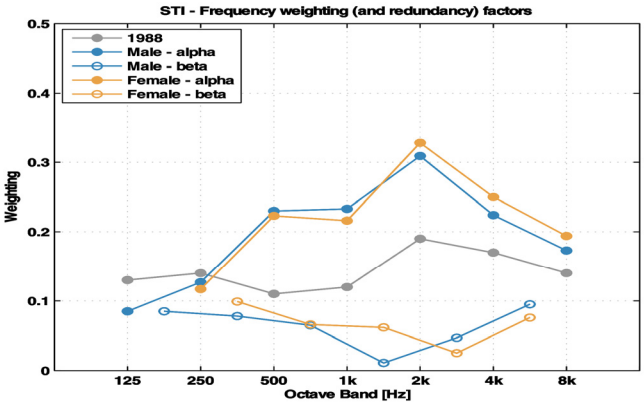


Abbildung 1: Gewichtung der Oktavbänder für die Berechnung der Sprachverständlichkeit
Quelle: Thomas Steinbrecher, Bose

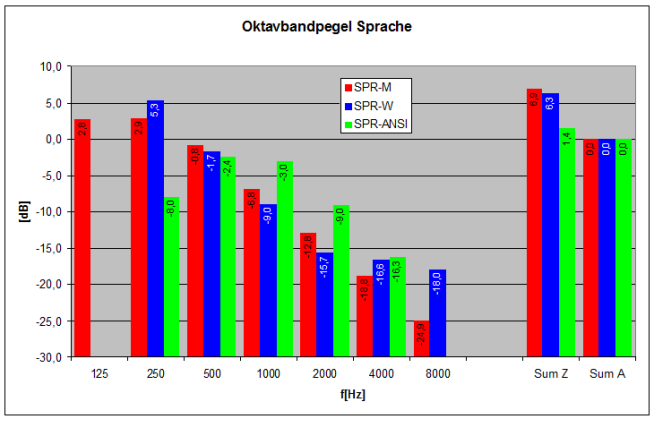


Abbildung 2: Durchschnittliche spektrale Zusammensetzung von Sprache für einen männlichen Sprecher (rot) und eine weibliche Sprecherin (blau). Zum Vergleich in grün ein auf hohe Verständlichkeit angepasstes Spektrum.

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.

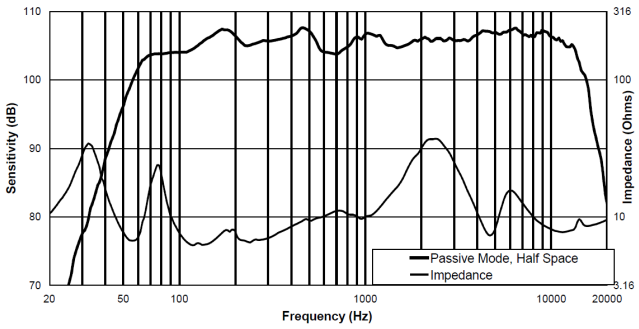


Abbildung 3: Frequenzgang und Impedanzverlauf des Lautsprechers aus dem Datenblatt. Man beachte den Hinweis auf die Half Space Bedingungen!

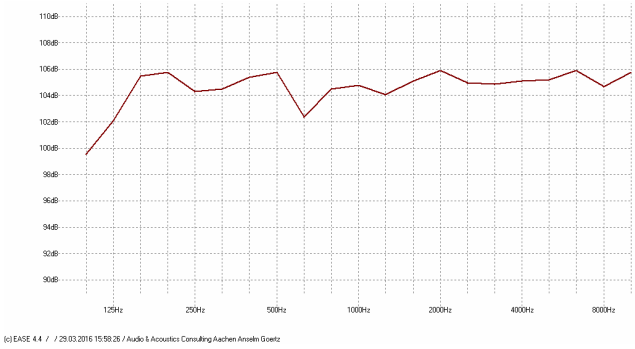


Abbildung 4: Sensitivity Kurve des Lautsprechers für 1W/1m aus dem EASE Datensatz. Diese Kurve gilt ebenfalls nur für Half Space Bedingungen. Für eine normale Full Space Anwendung sind 6 dB abzuziehen.

Beispielstadion

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

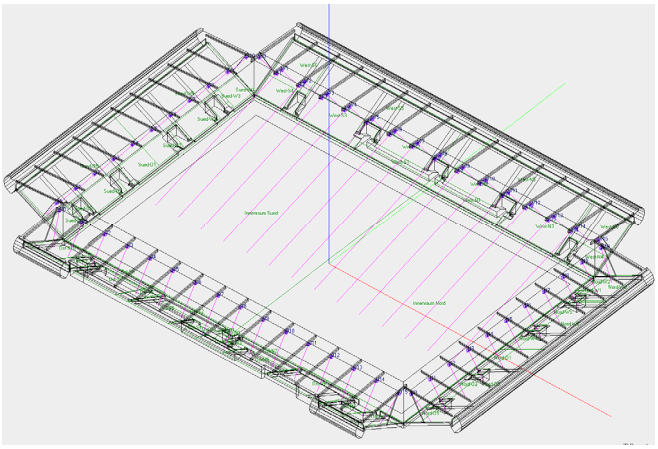


Abbildung 5: EASE Modell des Stadions mit Lautsprecheranordnung im Abstand von 8 m an den Dachträgern. Insgesamt werden 54 Lautsprecher für die Tribünen und 14 für das Spielfeld eingesetzt.

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.

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.

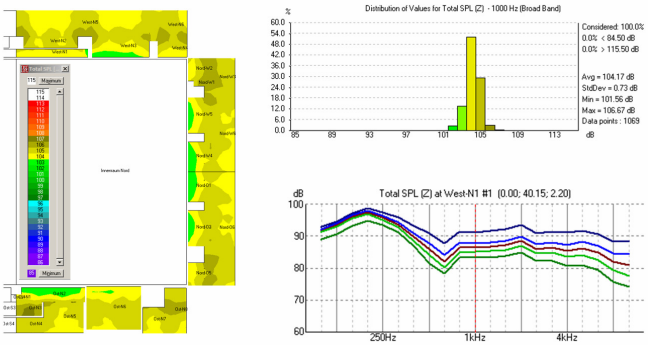


Abbildung 6: Pegelverteilung und Frequenzgänge für ein Pinknoise Signal mit 6 W Leistung pro Frequenzband entsprechend 126 W Gesamtleistung.

Abbildung 6 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).

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 2) 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 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.

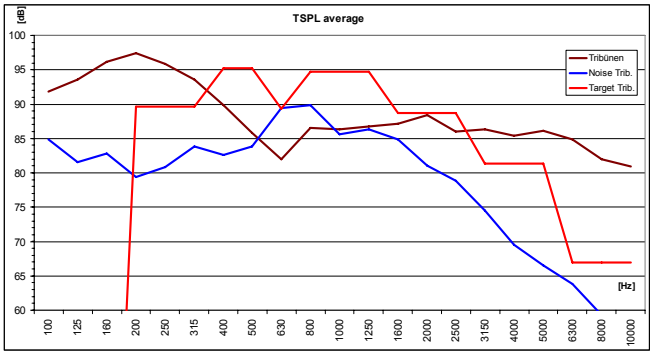


Abbildung 7: Maximaler Schalldruck auf den Tribünen für ein Pinknoise mit 12 dB Crestfaktor (dunkelrot) und für ein Sprachsignal mit 9 dB Crestfaktor (hellrot). Störpegelspektrum in blau.

Abbildung 7 zeigt den mit dem Pinknoise-Signal bei 126 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 bereist 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.

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 7 wurde im Modell mit 95 bzw. 92 dB(A) Gesamtpegel hinterlegt. Abbildung 8 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.

Gesamtschallpegel für Sprache

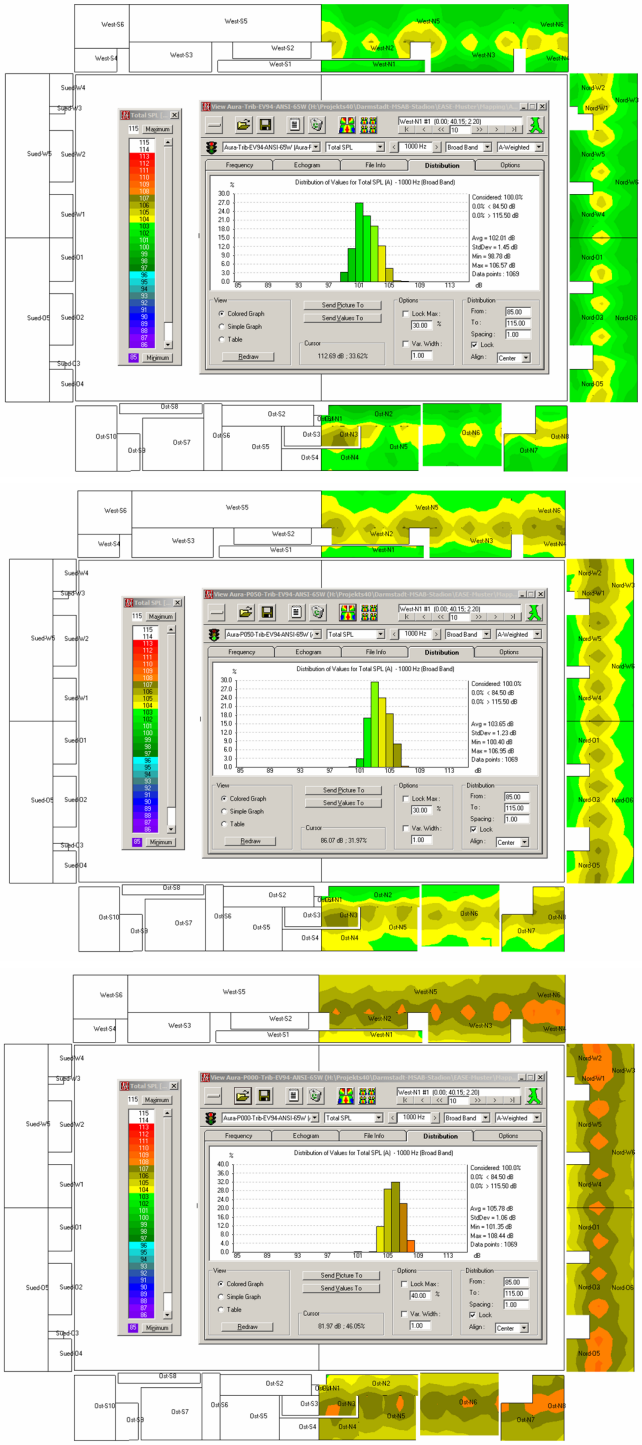
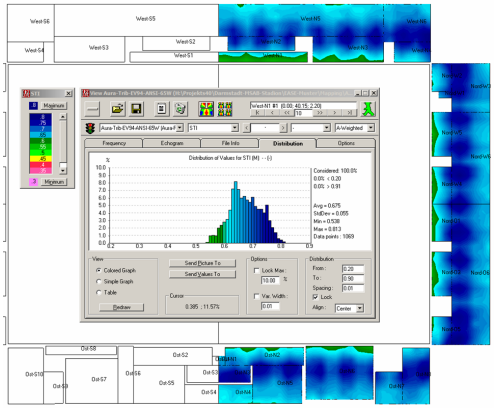
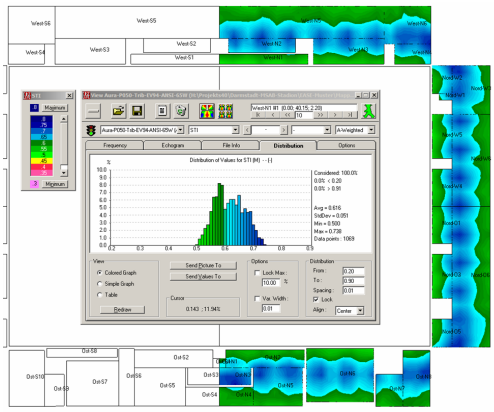


Abbildung 8: Gesamtschallpegelverteilung für ein optimiertes Sprachsignal mit 9 dB Crestfaktor bei voller Auslastung der Lautsprecher.
Besetzungsgrad: 100% mit 102,1 dB(A)
Besetzungsgrad: 50% mit 103,6 dB(A)
Besetzungsgrad: 0% mit 105,8 dB(A)

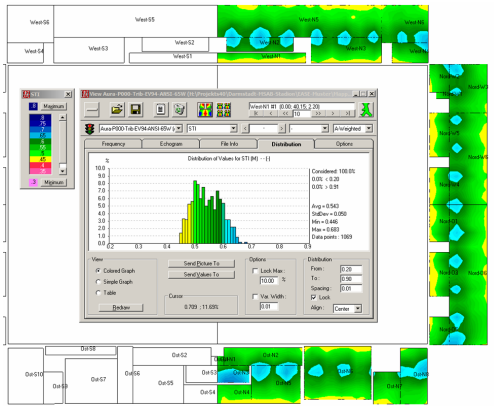
Sprachverständlichkeit



- 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 9: 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 9 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 Besetzungsgrad 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%.

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.

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

[5] Schmitz A., Goertz A. Pegelmessungen in Sportstadien und deren Auswertung Aachen, Fortschritte der Akustik, Tagungsband der DAGA 2016