

# Pegelmessungen in Sportstadien und deren Auswertung

Anselm Goertz<sup>1</sup>, Alfred Schmitz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IFAA Institut für Akustik und Audiotechnik, Herzogenrath, E-Mail: [anselm.goertz@ifaa-akustik.de](mailto:anselm.goertz@ifaa-akustik.de)

<sup>2</sup> IFAA Institut für Akustik und Audiotechnik, Grevenbroich, E-Mail: [alfred.schmitz@ifaa-akustik.de](mailto:alfred.schmitz@ifaa-akustik.de)

## 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 wie kurzzeitig erreichte Spitzenpegel, z.B. beim Torjubiläum. 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.

## 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.

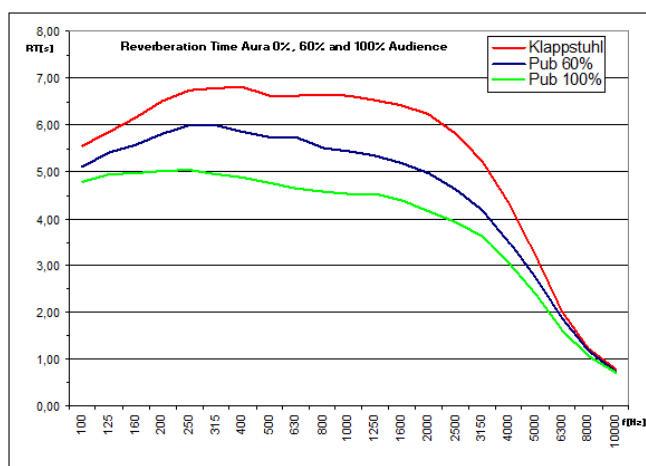


Abbildung 1: Berechnete Nachhallzeitverläufe für ein großes Sportstadion in Abhängigkeit von der Besetzung.

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. 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.

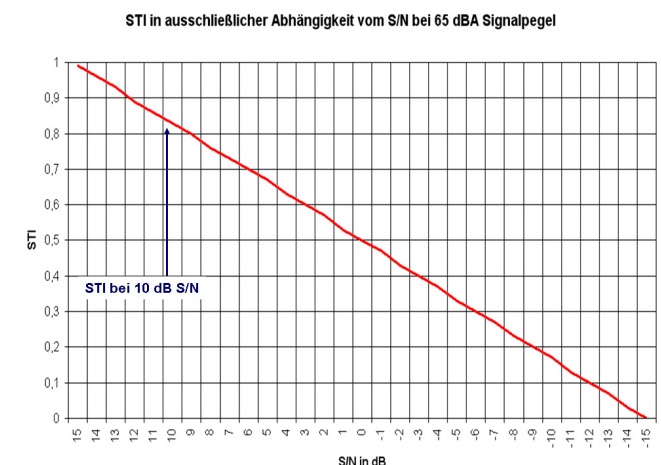
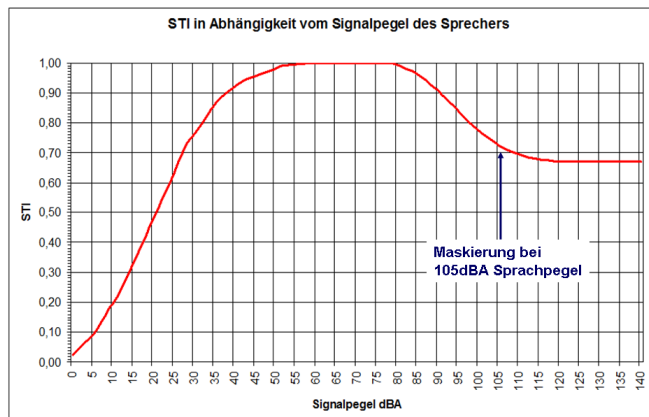


Abbildung 2: Sprachverständlichkeit als STI Wert in ausschließlicher Abhängigkeit vom Störabstand mit gleichen Werten in allen Oktavbändern

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.**

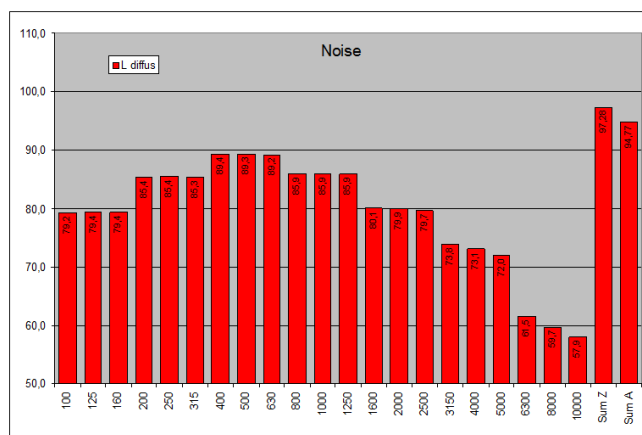
Ein weiterer wichtiger Aspekt berücksichtigt pegelabhängige Eigenschaften des Gehörs. Abbildung 3 zeigt dazu die Abhängigkeit der Verständlichkeit vom Pegel des Sprachsignals unter ansonsten idealen Voraussetzungen für normal hörende Personen ohne Störpegel und ohne Nachhall oder Echos. Kommt ein Hörschaden 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].

### 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 Spracherersatzrauschen mit der spektralen Verteilung eines 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.



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

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. m<sup>3</sup>. 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.

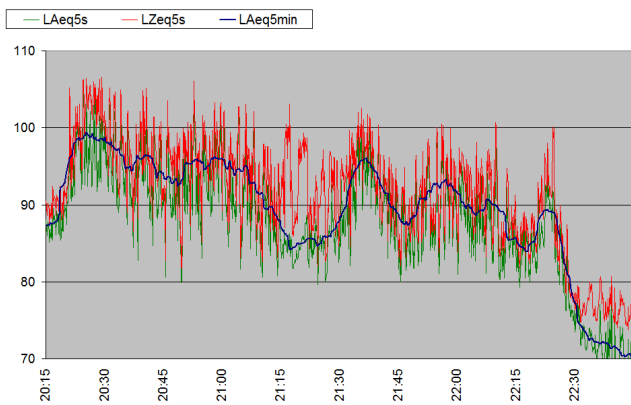
$$L = L_w - 10 \cdot \lg\left(\frac{V/m^3}{T/s}\right) + 13,88 \text{ dB} \quad (\text{Gl.1})$$

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

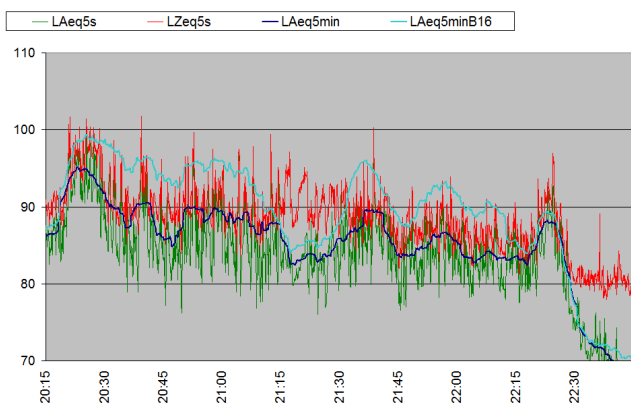
Thema Störpegelerfassung gibt, herrscht bei diesem außerordentlich wichtigen Wert eine unbefriedigende Art der „Willkür“. Eine Arbeitsgruppe des ZVEI hat sich aktuell diesem Thema angenommen, in dessen Rahmen auch die nachfolgende Messreihe ausgeführt wurde.

### 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 Mittelungspegels.**

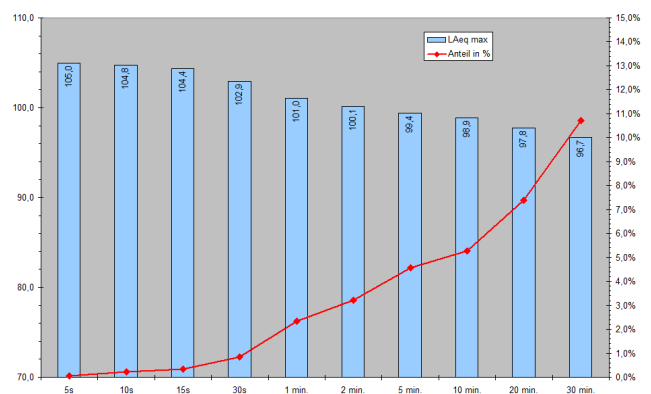


**Abbildung 6: Pegelverlauf während des Spiels im Familien-Block als Kurzzeitmittelwert (5 s) unbewertet (rot) und A-bewertet (grün). In dunkelblau der Verlauf des 5 Minuten Mittelungspegels.**

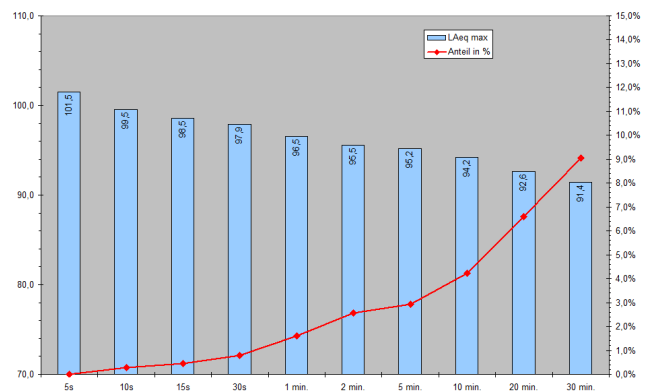
### 5 Minuten Mittelungspegels. Zum Vergleich der Verlauf aus dem Fan-Block in hellblau.

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  $L_{Aeq}$  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: Höchster gemessener Mittelungspegel für Mittelungszeiten von 5 s bis 30 Min. und prozentualer Anteil der Messdauer, bei der dieser Wert erreicht wurde. Messungen aus dem Fan-Block.**

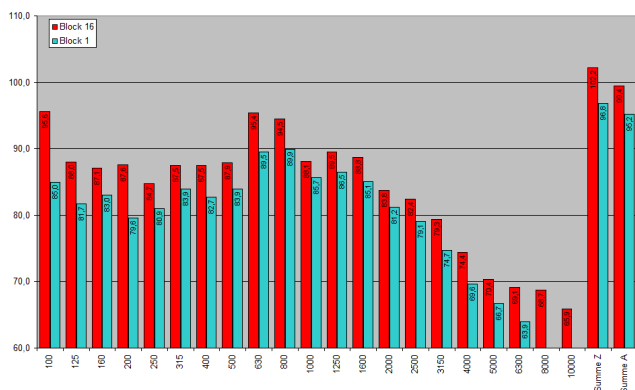


**Abbildung 8: Siehe Abbildung 7 für Messwerte aus dem Familien-Block.**

Abbildung 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 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.

## Fazit

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.

## Verwendete Messtechnik

- [1] 3x NTI XL2 Klasse 1 Handpegelmessgerät mit Akustikpaket und M2210 ½“ Mikrophon.
- [2] B&K Kalibrator Typ 4231
- [3] Eigene Excel Tools zur weiteren Verarbeitung und Auswertung der Messungen

## 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] Goertz A., Schmitz A. Beschallung in Sportstadien bei hohen Störpegeln Aachen, Fortschritte der Akustik, Tagungsband der DAGA 2016