

# Sprachverständlichkeit – STI Basiswissen

Geschrieben von Anselm Goertz, 8. März 2016

**Die Sprachverständlichkeit ist die entscheidende Größe zur Bewertung von Lautsprecheranlagen aller Art. Aber wie kann man die Sprachverständlichkeit messen? Hier wird erläutert, wie die Sprachverständlichkeit in Form des Sprachübertragungsindex STI berechnet, gemessen und bewertet wird.**

Nahezu alle Gebäude und auch viele öffentliche Freiflächen sind heute mit Lautsprecheranlagen ausgerüstet. Deren Aufgabe ist in erster Linie die Sprachübertragung. Das kann zur Information auf Bahnhöfen und Flughäfen sein, zur Einspielung von Werbung in Einkaufszentren, zur Übertragung eines Sprechers in Konferenz- und Hörsälen oder für Notfalldurchsagen aller Art. Letzteres wird heute kurz als SAA (SprachAlarmAnlage) bezeichnet und muss nach Vorgaben der Norm VDE 0833-4 (Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall Teil 4: Festlegung für Anlagen zur Sprachalarmierung im Brandfall) bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Wenn es um die Evakuierung von Gebäuden oder anderen Bereichen geht, dann ist die Sprachalarmierung immer die erste Wahl.

Alarmtöne mit Lautsprechern, Hupen oder Sirenen zu übertragen ist zwar meist einfacher und günstiger, erreicht aber bei weitem nicht die Wirkung einer Sprachdurchsage. Jeder kennt den Effekt, wenn ein Alarm ertönt, dass erst einmal niemand reagiert und so unter Umständen wertvolle Zeit verloren geht. Erst wenn der Ernst der Lage wirklich erkannt wird – es dringt z. B. Rauch in die Flure – reagieren die zu evakuierenden Personen und dann natürlich mit der zusätzlichen Gefahr einer Überreaktion in Anbetracht der realen Bedrohung. Mit einer Sprachalarmierung fühlen sich die betroffenen Personen meist direkt angesprochen und können den Anweisungen so deutlich schneller folgen. Außerdem können sie bei Bedarf noch mit wichtigen Zusatzinformationen versorgt werden, wie z. B. Hinweise zum Verlassen des Gefahrenbereichs.

Wichtig ist das vor allem dort, wo man mit einem ständig wechselnden Personenkreis zu tun hat, wie in Bahnhöfen, Flughäfen, Hotels, Sportstätten etc. Die reine Alarmtonalarmierung hat sich dagegen dort bewährt, wo ein gleichbleibender fester Personenkreis betroffen ist, der durch Brandschutzübungen für den Notfall trainiert ist und auch umgehend die richtige Reaktion zeigt, wenn der Alarmfall eintritt. Da ein Sprachalarm nur dann seine gewünschte gute Wirkung zeigt, wenn er auch verstanden wird, muss eine gewisse Mindestverständlichkeit erreicht werden. Gleiches gilt natürlich auch für rein informative Durchsagen wie Reisendeninformationen, Stadionsprecher oder Werbeeinspielungen.

In allen Fällen stellt sich daher die Frage, wie man die Sprachverständlichkeit bewertet – objektiv, reproduzierbar und möglichst unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen. Als Messgröße hat sich hier der STI (Speech Transmission Index) etabliert, dessen Messung und Berechnung in der EN 60268-16 (Elektroakustische Geräte-Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex) sehr detailliert beschrieben wird. Der STI versucht als Einzelparameter den

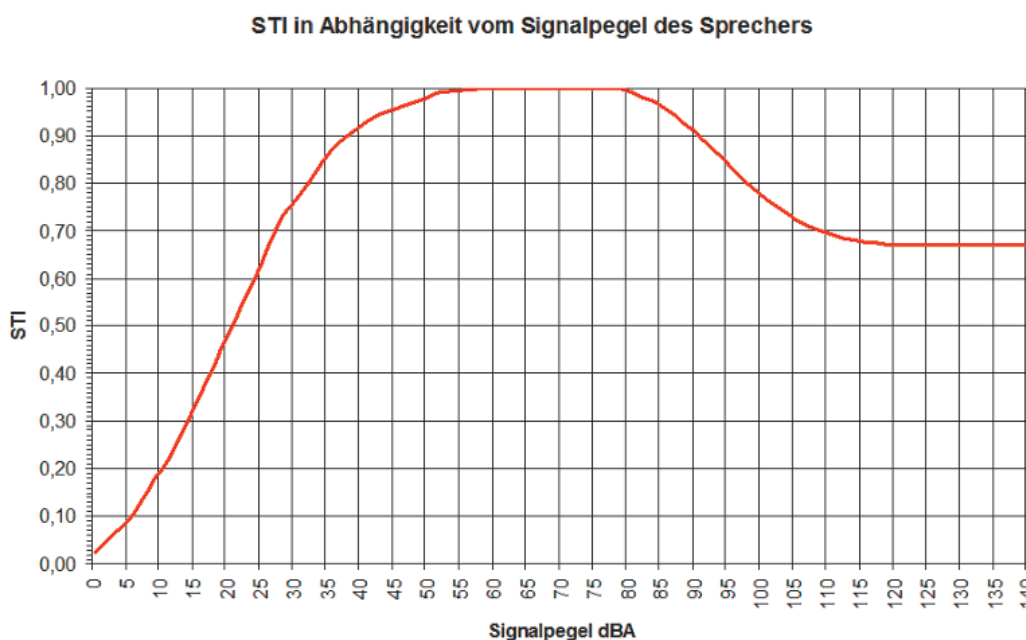
gesamten Sachverhalt der Sprachverständlichkeit in einem einfach zu interpretierenden Wert zwischen 0 und 1 darzustellen. In der Praxis sind Werte zwischen 0,35 (quasi unverständlich) bis 0,75 (sehr gut verständlich) üblich. Der kleine Wertebereich und der komplexe Hintergrund mit vielen Einflussgrößen macht die Interpretation des STI daher nicht immer ganz einfach.

### STI-Grundlagen

Um die Grundlagen des STI zu erklären, müssen wir die Einflussgrößen und Parameter auf die Sprachverständlichkeit betrachten. Aus eigener Erfahrung weiß man, wie sich Störpegel und Nachhall negativ auswirken können. In einer lauten Umgebung wird die Verständlichkeit schnell schlechter bis völlig unbrauchbar. Und wer schon einmal versucht hat, sich in einer Kirche über 10 m Entfernung normal sprechend zu verständigen, kennt auch die ungünstige Auswirkung des Nachhalls. Eine weitere Einflussgröße ist der Sprachpegel als solcher. Wird Sprache zu leise, oder ist die Hörfähigkeit eingeschränkt, fallen abhängig vom Pegel Anteile unter die Hörschwelle und reduzieren somit die Verständlichkeit. Auch dieser Effekt dürfte für jeden leicht nachvollziehbar sein.

Weniger bekannt dagegen ist die andere Seite der Pegelskala: Bei sehr hohen Pegeln lässt die Sprachverständlichkeit ebenfalls nach. Aus Sicht der Psychoakustik steckt der sogenannte Maskierungseffekt dahinter. Laute tieffrequente Anteile in der Sprache verdecken durch die Maskierung leisere höherfrequente Laute und verhindern so deren Wahrnehmung.

Anschaulich dargestellt wirkt sich die Maskierung durch ein besonders lautes Frequenzband als verschlechterter Störabstand für die darüber liegenden Frequenzbänder aus. Relevant wird dieser Effekt für Pegel ab circa 80 dBA. Bezeichnet wird der Effekt auch als Selbstmaskierung, da die Ursache der Maskierung nicht von außen kommt, sondern im Sprachsignal selbst begründet ist.



**ABB. 1:** STI-Wert in ausschließlicher Abhängigkeit vom Sprachsignalpegel für guthörende Personen. Unterhalb von 55 dBA wirkt sich die Hörschwelle aus und oberhalb von 80 dBA die Maskierung.

STI in ausschließlicher Abhängigkeit vom S/N bei 65 dBA Signalpegel

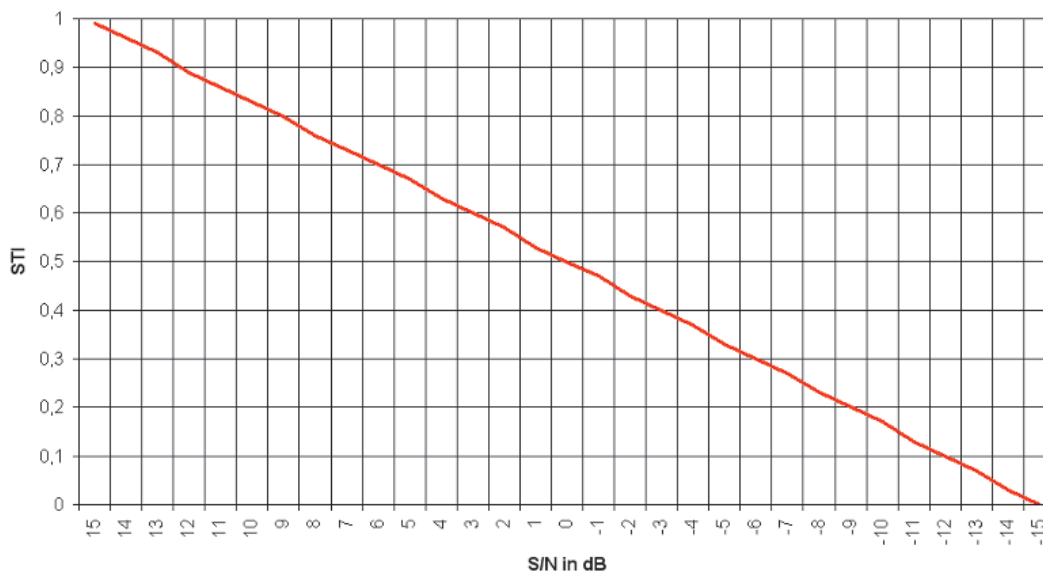


ABB. 2: STI-Wert in ausschließlicher Abhängigkeit vom Verhältnis S/N

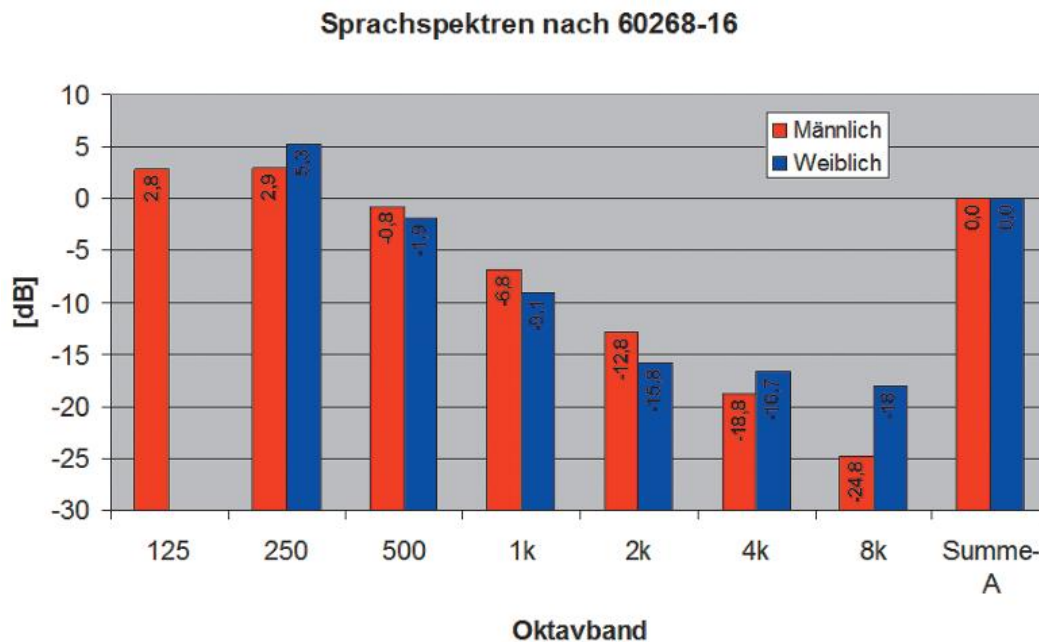
ABB. 1 zeigt anschaulich die Abhängigkeit der Verständlichkeit vom Sprachsignalpegel, unter ansonsten idealen Voraussetzungen, also ohne anderen Störpegel und ohne Nachhall oder Echos für guthörende Personen. Kommt ein Hörschaden hinzu, verschiebt sich die untere Flanke hin zu höheren Pegeln und je nach Art des Schadens die obere zu niedrigeren Pegeln. Ideal für die Verständlichkeit ist somit ein Pegel zwischen 60 und 80 dBA, wo auch die normale bis gehobene Sprechlautstärke liegt. Bleibt man in diesem Bereich, braucht man sich um das Thema Maskierung keine weiteren Gedanken zu machen. Nun kommt es aber häufig vor, dass ein hoher Störpegel vor Ort wesentlich höhere Sprachsignalpegel erzwingt. Denkt man z. B. an Straßentunnel, die aus akustischer Sicht in mehrfacher Hinsicht äußerst kritisch sind, dann herrschen dort Störpegel bis zu 95 dBA.

Möchte man den Sprachsignalpegel deutlich darüber heben, liegt man schon bei 105 dBA und damit weit in der Maskierung, womit eine ohnehin schon schwierige Situation noch schwieriger wird. Je nach Situation gilt es daher, einen optimalen Kompromiss zwischen Signal und Störpegel und Auswirkung der Maskierung zu finden. Wie sich der Störpegel separat betrachtet auswirkt, zeigt ABB. 2. Die Kurve wurde berechnet für 65 dBA Signalpegel und somit ohne Maskierung. Alle anderen Randbedingungen waren wiederum optimal. Bei 0 dB Störabstand (Sprache und Störgeräusch sind gleich laut) wird 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 der Störabstand ist für jedes Oktavband separat zu betrachten. Die Grafik geht somit von der Vereinfachung aus, dass der auf der X-Achse aufgetragene Störabstand in allen Oktavbändern gilt.

## Modulation

Betrachtet man ein Sprachsignal aus Sicht der Signaltheorie, gibt es die spektrale Zusammensetzung und die Modulation. Die spektrale Zusammensetzung zeigt, wie stark einzelne Frequenzbänder, also z. B. Oktav- oder Terzbänder, in einem Signal vertreten sind. Die Modulation stellt die Hüllkurve des Signals dar.



*ABB. 3: Unterschiede zwischen Männer- und Frauenstimme – mittlere spektrale Zusammensetzung in Oktavbändern für einen Sprecher (rot) und eine Sprecherin (blau). Beides als Mittelwerte nach EN 60268-16.*

Die spektrale Zusammensetzung in ABB. 3 zeigt den primären Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Stimmen. Man erkennt, dass bei den Sprecherinnen das 125 Hz-Oktavband (fast) vollständig fehlt. Daraus resultiert ein handfester Vorteil für die Sprecherinnen: Das fehlende Oktavband um 125 Hz trägt kaum zum Informationsgehalt bei, stört aber durch Maskierung und Nachhallanregung in diesem Bereich erheblich. Sprachkonserven arbeiten daher meist auch mit Frauenstimmen, weil diese besser verständlich sind. Genau darin ist auch begründet, dass man bei schlechter Verständlichkeit und dröhnendem Nachhall meist zuerst zum Hochpassfilter greift und damit die 125 Hz Oktave zurücknimmt.

Zurück zur Modulation: ABB. 4 zeigt einen Ausschnitt aus einem Sprachsignal und dessen Hüllkurve. Diese wird von Modulationsfrequenzen im Frequenzbereich bis ca. 16 Hz bestimmt. Interessant ist die Modulation vor allem deswegen, weil der Informationsgehalt in der Sprache primär über die Modulation übertragen wird. Wenn man also weiß, wie gut die Modulation bei der Übertragung z. B. über eine Lautsprecheranlage erhalten bleibt, dann lässt sich auch eine konkrete Aussage über die Sprachverständlichkeit treffen.

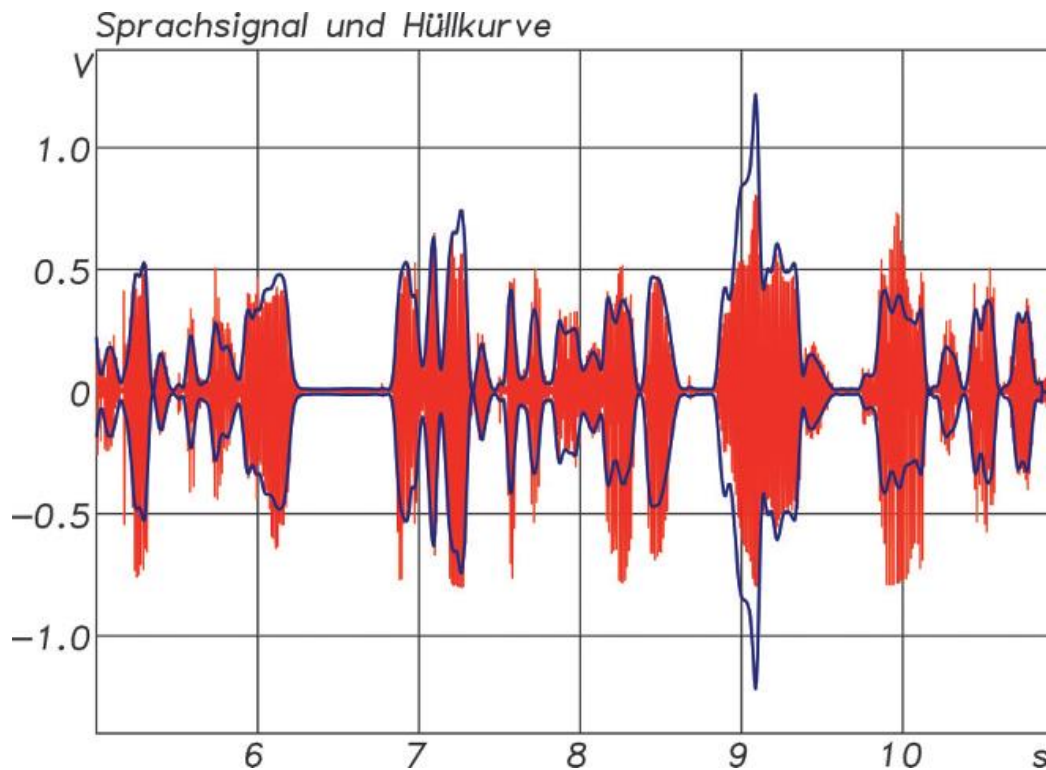


ABB. 4: Sprachsignal (rot) mit Hüllkurve (blau)

Wie sich Störpegel oder Nachhall auf die Hüllkurve auswirken, macht ABB. 5 deutlich. Die rote Kurve mit einem Störpegel 6 dB unter dem Signalpegel erreicht noch einen STI-Wert von 0,7. Die grüne Kurve wird durch den Nachhall noch wesentlich stärker gestört und kommt gerade noch auf einen STI-Wert von 0,35.

*Sprache Hüllkurve: Original, mit Noise, mit Hall*

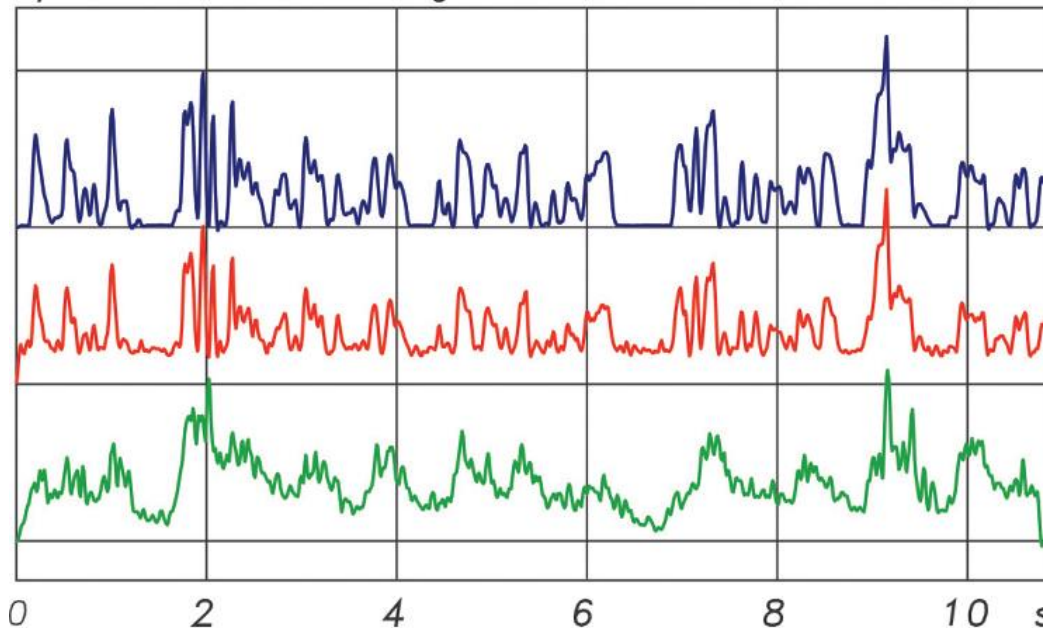


ABB. 5: Die Hüllkurve eines Sprachsignals oben (blau) im Original, in der Mitte (rot) mit Störsignal und unten (grün) mit Nachhall

Für eine mögliche Messung oder Berechnung des STI bedeutet das, den Verlust an Modulationstiefe in einem Signal zu ermitteln. Hier genügt es aber nicht, nur einen breitbandigen Wert zu bestimmen. Stattdessen muss nach Frequenzbändern und Modulationsfrequenzen unterschieden werden, um diese ihrer Bedeutung gemäß für die Sprachverständlichkeit zu bewerten. Bei den Frequenzbändern sind die sieben Oktavbänder von 125 Hz bis 8 kHz relevant und bei den Modulationsfrequenzen werden insgesamt 14 Frequenzen von 0,63 Hz bis 12,5 Hz bewertet. Das macht insgesamt 98 Kombinationen. Wie diese genau in die Bewertung einfließen, soll hier nicht näher betrachtet werden, findet sich aber detailliert in der EN 60268-16. Die Grundlage für die Bewertungen entstammen den wissenschaftlichen Arbeiten von Houtgast und Steeneken der 70er und 80er Jahre aus dem niederländischen Labor TNO. Dort wurden in groß angelegten Versuchsreihen die Zusammenhänge zwischen Messwerten und Ergebnissen aus Hörversuchsreihen hergestellt.

Für die Berechnung des STI bedeutet das: Für die 98 Kombinationen aus Oktavbändern und Modulationsfrequenzen ist der Modulationsverlust durch raumakustische Einflüsse wie Nachhall und Echos und durch weitere Faktoren wie Störpegel zu bestimmen. Des Weiteren gilt es denjenigen Signalpegel festzustellen, der den Einfluss durch Maskierung oder Hörschwelle bestimmt.

#### STI-Messung nach der direkten oder indirekten Methode

Für die Messung des STI sind je nach Methode ein bis drei Schritte erforderlich. Im ersten Schritt wird die Matrix mit den 98 Werten für den Modulationsverlust bestimmt. Die Werte können entweder aus einer gemessenen Impulsantwort über die Rückwärtsintegration nach Schroeder bestimmt werden. Diese Art der Bestimmung nennt sich die indirekte Methode. Oder sie können – als direkte Methode – durch Einzelmessungen mit modulierten Rauschsignalen bestimmt werden.

98 Einzelmessungen wären jedoch sehr zeitaufwändig, so dass man bei TNO die vierzehn wichtigsten Kombinationen aus den 98 bestimmt hat. Es wurde dabei darauf geachtet, dass alle Oktavbänder vertreten sind und eine zeitgleiche Messung aller 14 Kombinationen möglich wird. Dieses vereinfachte Verfahren nennt sich STIPA (STI für PA – Public Address) und kann nach Norm bei Beschallungsanlagen gleichwertig zur vollständigen Auswertung eingesetzt werden. Geräte wie der NTI XL2 Handpegelmesser arbeiten nach diesem Verfahren. Ein entsprechendes STIPA-Testsignal wird von einem Generator, z. B. ein NTI MR-Pro, oder auch von CD abgespielt. Der Handpegelmesser wertet das empfangene Signal aus.

Sind die 98 oder 14 Modulationsindizes bestimmt, dann ist im Weiteren zu unterscheiden, ob und wie Störpegel und Maskierung zu berücksichtigen sind. Bei der direkten STIPA-Methode ist der Störpegel, falls zum Zeitpunkt der Messung vorhanden, direkt schon in der Messung berücksichtigt. Gleiches gilt für den Nutzsignalpegel, wenn die Anlage mit Nennpegel betrieben wurde. Störpegel und Signalpegel können aber auch beide nachträglich in weiteren Messungen erfasst oder auch von extern vorgegeben werden. Diese Möglichkeit ist in der Praxis sehr wichtig, da meist nicht alle Messungen zeitgleich durchgeführt werden können. In einer Shopping Mall wird man so z. B. die eigentliche STIPA-Messung bevorzugt in der Nacht ungestört

mit vielen Messpunkten durchführen und diese dann durch eine tagsüber im Normalbetrieb mit Kundschaft durchgeführte Störpegelmessung zu ergänzen.

Wendet man die indirekte Methode an, dann liefern die aus der Impulsantwort berechneten 98 Modulationsindizes nur diese Werte ohne Berücksichtigung von Stör- und Nutzsignalpegel. Beides muss in Oktavbandwerten ergänzt werden. Der Vorteil dieser indirekten Methode liegt in der sehr schnellen und hoch genauen Messung der Modulationsindizes. Für eine normgerechte Messung genügt mit der indirekten Methode eine einzelne Messung pro Position.

Direkt gemessen sind je nach Wertebereich 1 bis 6 Messungen pro Position erforderlich, über die dann zu mitteln ist. Bei einer Messdauer von ca. 20 s pro Messungen ist hier der Zeitfaktor schon erheblich, auch wenn die Geräte die weitere Bewertung und Mittelung meist selbstständig übernehmen. Die indirekte Methode liefert zudem weitere Information in Form der Impulsantworten und Frequenzgänge für alle Positionen, die dann auch für Filtereinstellungen und den Pegelabgleich genutzt werden können. Als Messsignale werden üblicherweise Sweeps oder Rauschsignale eingesetzt.

Sweeps sind hier die erste Wahl, da die Signale besonders robust gegenüber Störungen durch Wind oder Verzerrungen sind. Wichtig ist es darauf zu achten, dass die erfasste Impulsantwort in ihrer Länge für die zu erwartende Nachhallzeit hinreichend ist. Die gemessene Länge sollte mindestens der Nachhallzeit entsprechen. Moderne PC-gestützte Messsysteme haben hier kaum noch Einschränkungen, so dass man immer einen sicheren Wert wählen kann.

Die Mehrzahl der STI-Messungen wird trotzdem mit Handpegelmessern wie dem XL2 von NTI durchgeführt werden, da diese Geräte sehr universell einsetzbar und leicht zu handhaben sind. Speziell der XL2 ist zudem mit reichhaltigem Zubehör, wie z. B. der Talkbox als Sprechersatz für Mikrofonsprechstellen, erweiterbar und kommt als kompaktes gut zu transportierendes Set im Koffer daher. Die komplexeren PC-Messsysteme sind da meist weniger praktisch und verlangen vom Anwender mehr Detailwissen und Einarbeitung.

Die direkte Methode mit moduliertem Rauschen:

Der übliche Störpegel ist bei der Messung vorhanden und die Anlage lässt sich mit Nennpegel betreiben. Die STI-Messung ergibt dann direkt den finalen Wert.

Der übliche Störpegel liegt während der Messung nicht vor. Die Anlage kann mit Nennpegel betrieben werden. Für diesen Fall ist der Störpegel in der Nachbearbeitung in die STI-Berechnung mit einzubeziehen. Während der eigentlichen STI-Messung sollte der dann noch vorhandene Störpegel so gering sein, dass er keinen Einfluss auf die Messung hat.

Der übliche Störpegel liegt während der Messung nicht vor. Die Anlage kann nicht mit Nennpegel betrieben werden. Für diesen Fall sind sowohl der Störpegel wie auch der Nennpegel mit Sprachsignal in separaten Messungen zu erfassen und in der Nachbearbeitung in die STI-Berechnung mit einzubeziehen. Während der eigentlichen STI-Messung sollte der dann noch vorhandene Störpegel so gering sein, dass

er keinen Einfluss auf die Messung hat. Die Messung sollte ohne Maskierung erfolgen, da diese später über den Nennpegel eingeht. Kann man die Maskierung beim verwendeten Messgerät nicht explizit abschalten, ist darauf zu achten, die Messung in einem Pegelbereich unter 80 dBA durchzuführen.

Die indirekte Methode über die Messung der Impulsantwort:

Messung der Impulsantworten

Messung des Sprachsignalpegels

Messung des Störpegels

Die Auswertung des STI erfolgt aus den Messungen 1 bis 3. Eine zusammenfassende Messung ist hier nicht möglich. Unabhängig von der Messmethode ist bei einer Messung ohne den ortsüblichen Störpegel immer zu beachten: In allen Frequenzbändern muss ein Störabstand von min. 15 dB erreicht werden, um die Messung nicht zu verfälschen.

Bei der direkten Methode sind des Weiteren der Messsignalpegel und die Einstellung des Gerätes zu berücksichtigen. Der Handpegelmesser NTI XL2 bietet hier die Möglichkeiten den STI ohne Maskierung oder mit Maskierung entsprechend der alten gestuften Hörverdeckungskurve oder nach der aktuellen kontinuierlichen Hörverdeckungskurve entsprechend ABB 1 durchzuführen. Messungen nach eigentlich veralteten Normen sind manchmal notwendig, wenn sich eine Messvorschrift auf eine speziell datierte Norm bezieht.

Für die Durchführung einer Messung bedeutet das: Sobald die Anlage nicht mit Nennpegel betrieben werden kann, ist ohne Maskierung zu messen und diese später entsprechend des Nennpegels einzurechnen.



# STI messen und auswerten

Geschrieben von Anselm Goertz, 26. Oktober 2017

**Im zweiten Teil unseres Grundlagenbeitrags über Sprachalarmierung geht es um Sprachsignal- und Störpegelermittlung sowie der eigentlichen Durchführung und Auswertung der STI-Messungen mit weiteren Tipps und Ratschlägen für die Praxis.**

Die Sprachverständlichkeit ist die entscheidende Größe zur Bewertung von Lautsprecheranlagen aller Art. Dieser Grundlagenbeitrag zeigt anschaulich und verständlich auf, wie die Sprachverständlichkeit in Form des STI berechnet, gemessen und bewertet wird. Im ersten Teil unseres Beitrags wurden die Grundlagen für die Messung der Sprachverständlichkeit und die möglichen Messmethoden dazu besprochen.

Im Folgenden beschäftigen wir uns zunächst mit der Ermittlung von Nutzsignalpegel und Störpegel. Bisher wurde immer etwas „leichtfertig“ vom Nutz- bzw. Sprachsignalpegel und vom Störpegel gesprochen. In der Praxis stellt sich für beide Werte die recht schwierige Frage, wie diese zu ermitteln sind. Beginnen wir mit dem Störpegel. Einfache und seltene Fälle sind Räumlichkeiten, wo erst gar kein signifikanter Störpegel auftritt, z. B. in Kirchen, oder dort, wo der Störpegel konstant ist. Ein gutes Beispiel ist hier eine Turbinenhalle, wo die Maschinen konstant laufen und immer den gleichen Geräuschpegel von sich geben.

## Ermittlung des Störpegels

Die meisten anderen Fälle sind jedoch eher komplexer Natur und nur schwierig zu bewerten. Betrachten wir dazu einen Bahnhof. Hier können die Störpegelwerte zwischen kaum vorhanden bis extrem hoch liegen, wenn gerade eine Diesellok ausfährt oder ein Güterzug den Bahnhof passiert. Was ist jetzt relevant? Übereifrig könnte man jetzt sagen: natürlich der Höchstwert. Freuen dürfte das die Lautsprecherhersteller, da diese Annahme in Kombination mit der Forderung einen Beschallungspegel von min. 15 dB über dem Störpegel zu erreichen, jeden Bahnhof zu einem Eldorado der Lautsprecherfreunde machen würde. Die Verhältnismäßigkeit wäre so aber bestimmt nicht mehr gewahrt, zudem sich der Höchstwert des Störpegels auch nur schwerlich definieren lassen würde. Was kann man also tun?

### Pegel-Zeit Verlauf 14:00 bis 13:00 VST BS 8

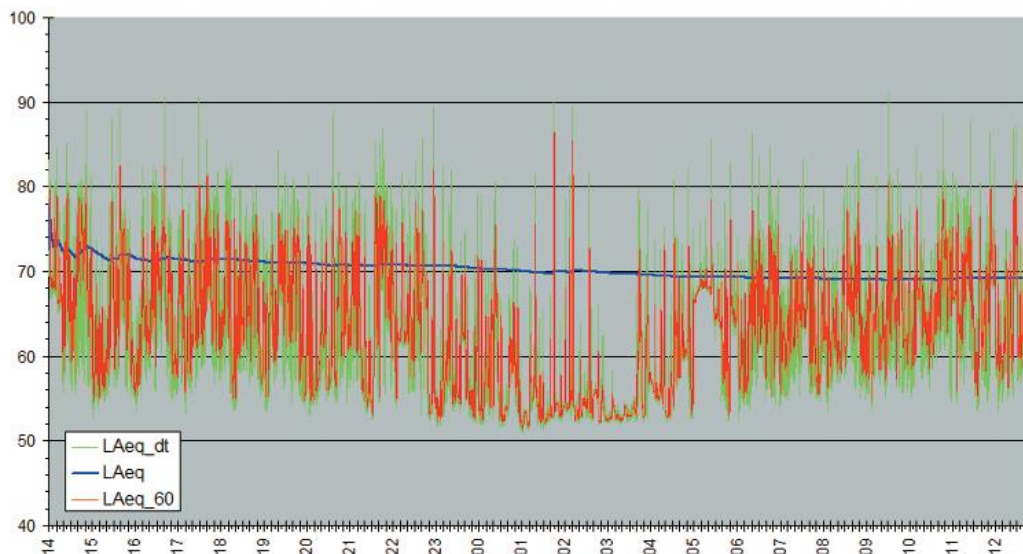


ABB. 6: Störpegelverlauf über 23 Stunden als LAeq für 5 s-Abschnitte(grün), als LAeq für 60 s-Abschnitte(rot) und als LAeq über die gesamte Messdauer(blau)

### %-Anteil der Messwerte oberhalb eines Grenzwertes VST BS 8

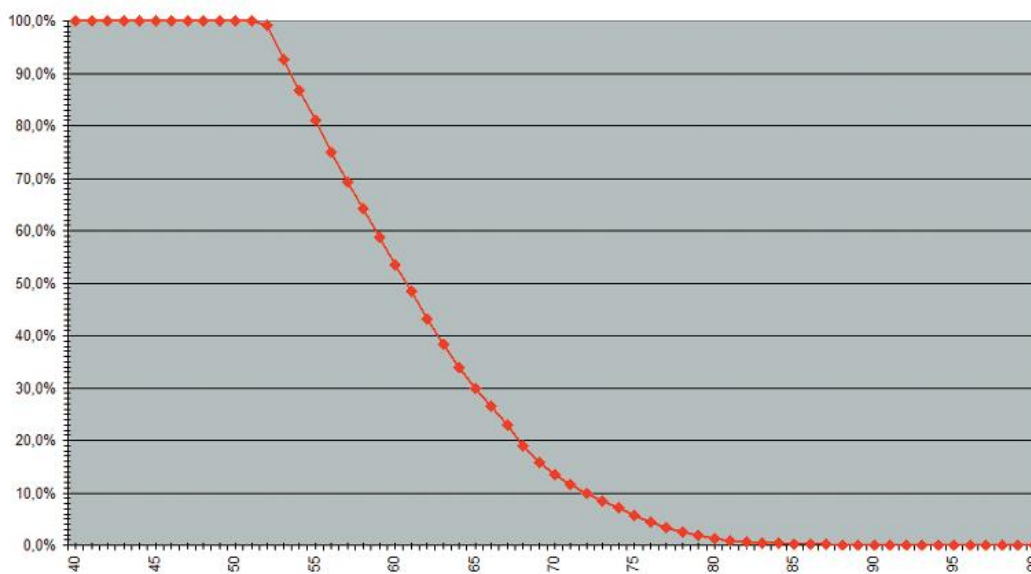


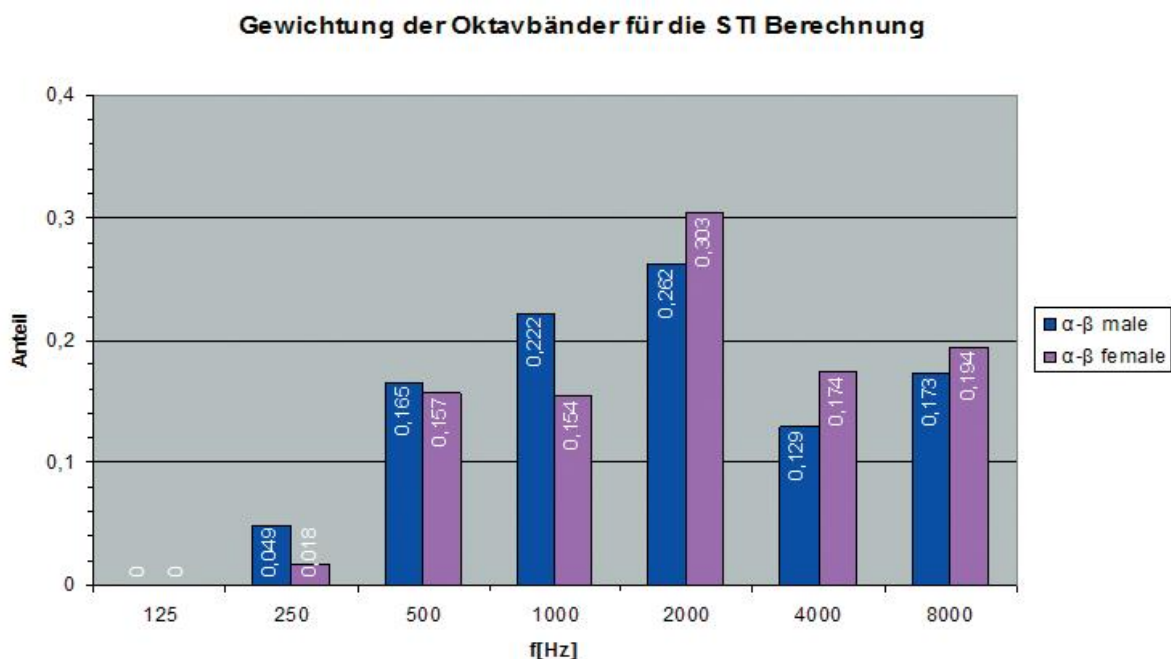
ABB. 7: Prozentsatz der Gesamtmessdauer in der ein bestimmter Störpegelwert gemessen als LAeq über 5 s Perioden erreicht wurde

Falls die Möglichkeit besteht, kann eine Langzeitmessung des Störpegels (ABB. 6) weiterhelfen. Eine oder mehrere Messstationen zeichnen dazu den Pegel über Stunden oder Tage auf, der anschließend ausgewertet werden kann. Ein Diagramm in ABB. 7 zeigt, welcher Störpegel zu wie viel Prozent der Zeit erreicht wird. Auch diese Auswertung ist nicht ganz unkritisch, weil zu unterscheiden ist zwischen üblichen Störgeräuschen und denen, die womöglich von außen zugeführt wurden, z. B. durch ein überfliegendes Flugzeug oder durch Lärm einer Straßenbaustelle. Dann gilt es zu entscheiden, welcher Wert relevant ist. Der Störpegel, der zu zehn Prozent der Zeit, zu fünf Prozent oder zu einem Prozent erreicht wird? Die Frage zeigt erneut die

Schwierigkeit der Festlegung. Da nicht nur der Summenpegel relevant ist, sondern auch noch die spektrale Verteilung, kommt der nächste kritische Punkt ins Spiel. Hier wird die gewisse Willkür in der Störpegelbestimmung noch deutlicher.

ABB. 8 zeigt dazu die Bedeutung der Oktavbänder für die Berechnung der Sprachverständlichkeit. Das 125-Hz-Band ist de facto unbedeutend und auch das von 250 Hz fällt nur gering ins Gewicht. Das Schwergewicht liegt bei 2 kHz, aber auch das 8-kHz-Band ist nicht ganz unbedeutend. Letzteres sollte man sich immer dann vor Augen halten, wenn sich in der Signalstrecke, warum auch immer, ein Telefon-Codec befindet, der die Bandbreite auf 3,5 kHz limitiert. Eine gut funktionierende und auch gut klingende Anlage kann durch eine solche Begrenzung schnell ins Gegenteil kippen.

In Relation zum Störpegel kommt noch der Aspekt hinzu, dass die höheren Oktavbänder im Sprachspektrum insgesamt schwächer vertreten sind und diese daher schneller im Störpegel untergehen. In der Praxis ist es daher oft so, dass für eine gute und verständliche Sprachwiedergabe zum einen ein Hochpassfilter gesetzt wird, um den tieffrequenten Anteil zu reduzieren. Gleichzeitig wird der 2-kHz-Bereich mit der sogenannten Präsenzhebung verstärkt.



**ABB. 8:** Bewertungsfaktoren der für Sprache relevanten Oktavbänder für weibliche Sprecherinnen und männliche Sprecher

### Störpegelspektrum VST BS 8

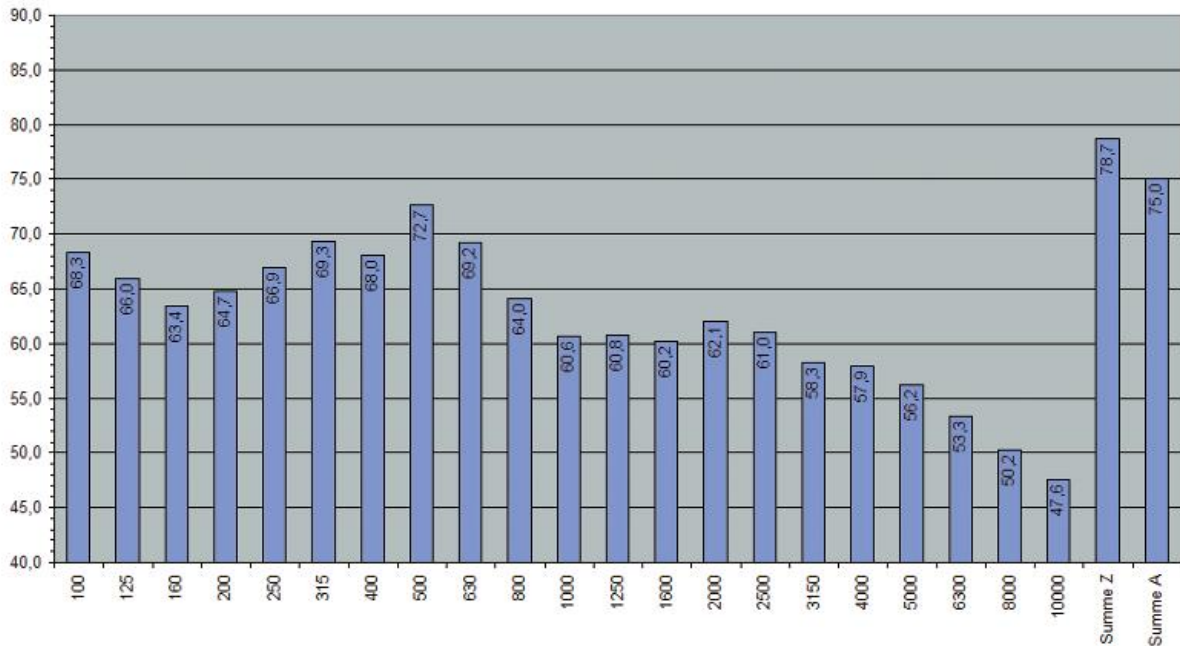


ABB. 9: Gemitteltetes Störpegelspektrum für Messperioden mit Pegelwerten zwischen 70 und 80 dBA

In unserer Beispielmessung wurde der relevante Störpegel im Summenwert zu 75 dBA angenommen und das Störspektrum so ermittelt, dass alle Messperioden, deren Pegelwerte zwischen 70 und 80 dB lagen, für eine mittlere spektrale Verteilung herangezogen wurden. Das Ergebnis in Terzbändern findet sich in ABB. 9. Aus den Terzbändern könnte man jetzt die Oktavbandpegelwerte berechnen und mit diesen in die STI-Berechnung gehen. Eine solche Vorgehensweise wäre fachlich irgendwie begründbar, ist aber trotzdem auch wieder willkürlich. Ermittelt man die Störspektren ein wenig anders, sehen die finalen STI-Ergebnisse u. U. schon entscheidend besser oder schlechter aus. Demnach sind die Bestimmung des Störpegels als solches und noch mehr des zugehörigen Spektrums kritisch und auch in weiten Bereichen willkürlich.

Unterstützung in Form einer Norm oder auch nur einer Empfehlung, wie der Störpegel zu erfassen ist, gibt es in konkreter Form leider noch nicht. Ein Arbeitskreis beim VDE befasst sich mit dem Thema und hat zwischenzeitlich auch schon ein einfaches Tool herausgegeben, mit dem der zu erwartende Störpegel anhand von akustischen Parametern der Räumlichkeit sowie deren Nutzung und der zu erwartenden Personenzahlen abgeschätzt werden kann. Weitere Empfehlungen zum Thema Messung von Störpegeln stehen noch aus.

Bei einem pragmatischen Ansatz im Umgang mit Störpegeln lässt man die spektrale Verteilung außen vor und weist lediglich nach, dass ein bestimmter Störabstand erreicht wird. Nach ABB. 2 kann man erst ab 15 dB Störabstand davon ausgehen, dass der Störpegel keinen negativen Einfluss mehr auf den STI-Wert hat. Eine gerne angewandte Faustregel bezeichnet 10 dB als hinreichend. Was ist nun richtig? 5 dB mehr oder weniger Pegel bedeutet in der Verstärkerleistung einen Faktor 3,16 und damit eine dramatische Steigerung des Aufwandes und der Kosten. Hier muss man

in den allermeisten Fällen die Frage der Verhältnismäßigkeit stellen. Sieht man alleine nur, wie oft in den vorhergehenden Absätzen schon das Wort „willkürlich“ vorgekommen ist, dann ist aus der Sicht des Autors die Vorgehensweise, den STI ohne Störpegel zu bestimmen und separat den Nachweis zu führen, dass ein Signalpegel von mindestens 10 dB über dem wie auch immer angenommenen Störpegel vorliegt, ein sinnvoller und vernünftiger Weg.

### Sprachsignalpegel bestimmen

Die etwas müßige Diskussion findet ihre Fortsetzung auf der anderen Seite, wenn es darum geht den Sprachsignalpegel festzulegen. Als Messsignal ist dazu z. B. das modulierte STIPA-Rauschen gut geeignet. Das Signal entspricht in der spektralen Zusammensetzung, in der Modulation und auch im Crestfaktor (Verhältnis im Signal zwischen Spitzenwert und Effektivwert) einem Sprachsignal. Es können aber auch andere Rauschsignale genutzt werden, die in der spektralen Zusammensetzung und im Crestfaktor passend sind. Typischerweise geht man dabei von einem männlichen Sprecher entsprechend Abbildung 3 aus dem ersten Beitrag als ungünstigerer Fall und von einem Crestfaktor von 12 dB aus. Auch ein Sprachsignal kann zur Messung verwendet werden. Aufgrund der Sprachpausen reicht es hier aber nicht einfach nur den Pegel als Leq zu messen. Stattdessen ist der sogenannte Perzentilpegel LF10 zu bestimmen, der nur die lautesten 10 % berücksichtigt und somit die Sprachpausen ausblendet.

Die Messung mit Rauschsignalen gestaltet sich einfacher und gilt daher auch als erste Wahl. Nach Norm ist die Anlage zur Bestimmung des Pegels mit Nennpegel oder im Falle einer SAA mit Alarmierungspegel zu betreiben. Der Alarmierungspegel ist in der Regel so hoch, dass die Anlage dabei voll ausgelastet wird. Wann ist diese Vollauslastung erreicht, muss man sich da fragen? Typischerweise, wenn die Clip-LEDs in den Signalspitzen zu blinken beginnen. Gibt es keine Clip-Anzeige, kann man die Clipgrenze auch gut damit ausfindig machen, indem man den Einspeisepegel am Generator sukzessive in 1 dB-Schritten erhöht und dabei auf dem Pegelmesser verfolgt, wie der Schallpegel ansteigt. Stößt die Anlage an ihre Grenzen, dann folgt der gemessene Schalldruckanstieg nicht mehr der Pegelerhöhung am Generator.

Hier kommt jetzt die nächste kritische Frage auf: Darf eine Anlage das Signal komprimieren und wenn ja, wie weit und wie wirkt sich die Kompression auf die Sprachverständlichkeit aus? Die VDE 0833-4 äußert sich dazu inhaltlich wie folgt: Die Dynamikbearbeitung wird für die Messung der Sprachverständlichkeit nur für die Bestimmung des erreichbaren Maximalpegels genutzt. Die Messung erfolgt als Leq-Messwert in Oktavbändern von 125 Hz bis 8 kHz. Die Bestimmung des STI-Basiswertes über den Modulationsverlust des Testsignals erfolgt in einer weiteren, davon unabhängigen Messung ohne Dynamikbearbeitung. Der STI verschlechtert sich daher durch die Dynamikbearbeitung nicht.

Der durch die Signalkompression erreichte höhere Signalpegel und somit verbesserter S/N führt zu einer Verbesserung des STI-Wertes im Zusammenhang mit Störgeräuschen. Die Dynamikbearbeitung muss im Falle einer SAA nach VDE 0833-4 in der

EN54-16-zertifizierten Brandmeldeanlage erfolgen. In der Praxis hat sich die Kompression eines Sprachsignal bis auf einen Crestfaktor von 6 dB als machbar erwiesen. Gegenüber dem 12 dB Crestfaktor beim STIPA-Testsignal bedeutet dies einen Pegelgewinn im zu messenden Leq von 6 dB. Ist also eine Dynamikkompression im Spiel, dann ist unabhängig vom Messverfahren dreistufig zu messen: Eine erste Messung zur Störpegelbestimmung. Eine STI-Messung ohne Maskierung, ohne Kompression und ohne Übersteuerung der Anlage. Und eine dritte Messung zur Bestimmung des Maximalpegels mit Kompression bei voller Auslastung der Anlage.

Die Nummerierung der Messungen ist hier nur aufzählend und nicht als zeitliche Abfolge zu verstehen. Alle drei Messungen sind abschließend final zur Auswertung zusammenzuführen. Auf jeden Fall ist dabei nach VDE 0833-4 die Maskierung für den STI bezogen auf den gemessenen Maximalpegel zu berücksichtigen. Den Störabstand betreffend kann man an dieser Stelle nun zwei Wege gehen. Entweder „Dienst nach Vorschrift“ mit den exakten Signal- und Störpegelwerten für jedes Oktavband oder über den vereinfachten Nachweis des 10 oder 15-dB-Störabstandes als A-bewerteter Summenpegel.

Wer jetzt entsetzt die Vereinfachung als fachlich falsch und nicht normgerecht geißelt, sollte kurz innehalten und sich überlegen, wie weit denn die dafür angenommenen Oktavbandwerte des Störpegels überhaupt als exakt und nachweisbar zu begründen sind. Speziell wenn es um eine SAA geht, muss es das übergreifende Ziel sein, eine Anlage mit verhältnismäßigem Aufwand sinnvoll zu realisieren und nicht durch überzogene Forderungen die Umsetzung zu blockieren, weil es entweder gar nicht zu erfüllen ist oder die Kosten dabei eskalieren würden.

### Durchführung und Ziele

Hat man sich einmal auf ein Messverfahren geeinigt, geht es noch um die Durchführung der Messung. Die Norm gibt ein sinnvolles Messraster von  $6 \times 6$  m als Empfehlung vor. Davon kann je nach räumlicher Gegebenheit in die eine oder andere Richtung abgewichen werden. Mit der indirekten Messmethode genügt eine Messung pro Position, für die direkte Methode ist eine Messung nur dann ausreichend, wenn der Messwert größer oder gleich 0,63 ist. Ansonsten sind zunächst drei Messungen pro Position durchzuführen. Ist deren Abweichung untereinander kleiner 0,03, dann kann über diese drei Messungen gemittelt werden. Ist die Abweichung größer als 0,03, sind drei weitere Messungen durchzuführen mit anschließender Mittelung über alle sechs Messungen. Ist die Abweichung größer als 0,05, dann ist zunächst nach der Ursache der starken Schwankungen zu suchen. Diese kann z. B. in einer Übersteuerung der Anlage, in Nichtlinearitäten auf der Übertragungsstrecke oder in Störgeräuschen liegen. Eine andere häufige Ursache können starke Luftbewegungen durch Wind oder auch Lüftungsanlagen sein.

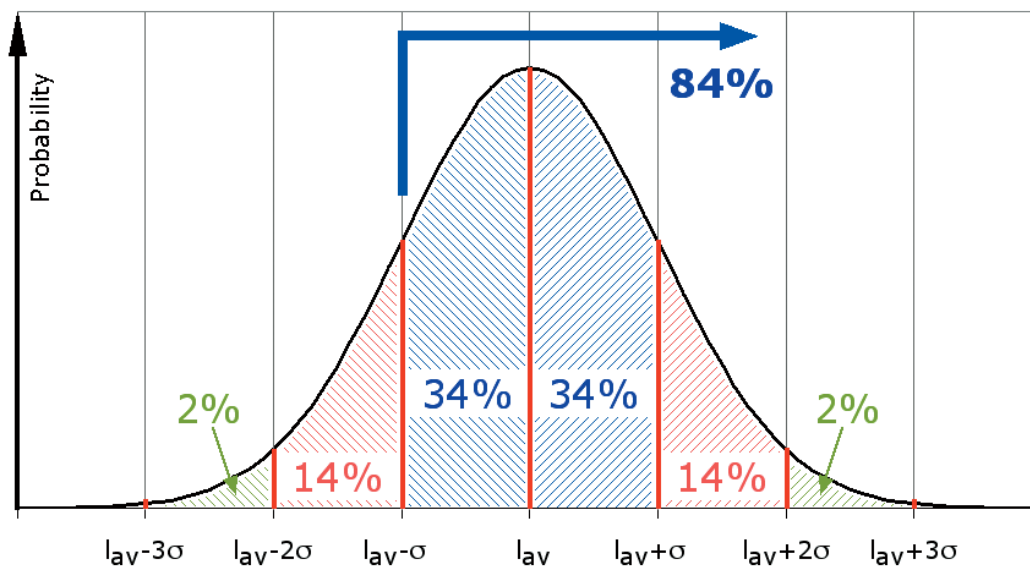


ABB. 10: Verteilungsfunktion der Messwerte mit dem Verlauf einer Gaußkurve.  $l_{av}$  = Mittelwert,  $\sigma$  = Standardabweichung

Sind alle Werte ermittelt und mögliche Effekte wie Maskierung etc. eingerechnet, dann sind aus allen Messwerten der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung zu ermitteln. Der Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ist der finale Messwert. Zur Maskierung ist eine zurzeit noch bestehende etwas verwirrende Normensituation zu beachten. Handelt es sich um eine SAA nach VDE 0833-4, ist nach der aktuellen Ausgabe der EN 60268-16 die Maskierung zu berücksichtigen.

Handelt es sich jedoch um ein ENS (Elektroakustisches Notfallwarnsystem) nach EN 60849, dann ist der STI-Wert entsprechend des datierten Verweises auf die EN 60268-16 von 1998 zu bestimmen, in der die Maskierung noch nicht vorkommt. Speziell für kritische Objekte mit hohem Störpegel, wo sehr hohe Sprachsignalpegel erforderlich sind, z. B. in Sportstadien, kann es ein Rettungsanker sein, wenn die Maskierung außen vor bleiben kann. Als ENS nach 60849 gelten alle Anlagen, die nicht automatisch über eine Kopplung mit der Brandmeldeanlage alarmieren, sondern ausschließlich individuell über eine Feuerwehrsprechstelle.

An dieser Stelle kommt erstmals das Thema Sprechstelle ins Spiel. Falls diese Bestandteil der Anlage ist, dann ist sie mit in die Messung einzubeziehen. Das wird praktiziert, indem das Testsignal über einen Sprecherersatz, z. B. eine Talkbox von NTI, über das Mikrofon eingespielt wird. Der Sprecherersatz arbeitet mit einem Pegel von 60 dBA in 1 m Entfernung. Aufzustellen ist der Sprecherersatz in einer typischen Einsprechentfernung, die für eine Feuerwehrsprechstelle mit Schwanenhals z. B. 5 bis 10 cm betragen könnte.

Wird die Anlage dagegen ausschließlich aus einem Sprachspeicher mit vorgefertigten Ansagen gespeist, dann kann das Messsignal auch direkt eingespielt werden. Einige Anlagen haben für die Messung das STIPA-Testsignal auch schon im Sprachspeicher hinterlegt. Noch einmal zurück zur Messung – hier gilt es noch einige Dinge zu beachten.

Die Wahl der Messpositionen ist nicht strikt festgelegt. Man muss daher auch nicht unbedingt mit dem Messgerät in die hinterste Ecke gehen oder in einem Hotelzimmer

unter die Bettdecke kriechen. Die Höhe des Messmikrofons sollte für sitzende Personen 1 bis 1,2 m und für stehende 1,5 bis 1,7 m über dem Boden betragen. Gibt es viele identische Räume, z. B. in einem Hotel oder Bürokomplex, dann reicht es einen Raum zu messen und in allen anderen nur eine Funktionskontrolle durchzuführen. Ebenso kann eine Messung in Räumen mit Symmetrien vereinfacht werden, wo es dann ausreicht beim Betrieb – wohlgeerntet aller Lautsprecher – eine Raumhälfte zu messen. Für die finale Auswertung ist nur noch der Mittelwert abzüglich der Standardabweichung relevant. Andere Festlegungen wie z. B. „84 % aller Messwerte müssen den Grenzwert erfüllen“, sind nicht anzuwenden.

Die 84 % entstammen der Annahme einer Gaußverteilung der Messwerte, bei der 84 % der Werte über dem Mittelwert abzüglich der Standardabweichung liegen. Das ist natürlich grundsätzlich immer richtig, nur folgt die Messwertverteilung in den seltensten Fällen einer Gaußkurve. ABB. 10 zeigt eine Gaußkurve mit den zugehörigen prozentualen Verteilungen für einige Eckwerte.

## Anforderungen

Generell gilt für ENS und SAA, dass ein Wert von  $STI = 0,5$  als Mittelwert abzüglich der Standardabweichung mindestens zu erreichen ist. Im Havariefall, wenn z. B. ein Lautsprecherkreis ausfällt, ist noch ein Wert von  $STI = 0,45$  zu erreichen. Dieser Nachweis ist im Zweifelsfall für alle möglichen Ausfallszenarien messtechnisch nachzuvollziehen. Handelt es sich bei den zu alarmierenden Personen um einen geschlossenen Kreis, z. B. in einem Werk, in dem regelmäßig Brandschutzübungen durchgeführt werden und die Ansagen bekannt sind, kann der Grenzwert auf 0,45 auch für den Normalbetrieb reduziert werden. Wie sich dieser Wert im Havariefall verhält ist in der VDE 0833-4 nicht beschrieben.

Werden Lautsprecheranlagen unabhängig von einer Sprachalarmierung betrachtet, kann die Anforderung an die Sprachverständlichkeit auch deutlich höher oder manchmal auch niedriger liegen. In der EN 60268-16 findet sich in Form eines informativen Anhangs dazu eine detaillierte Tabelle mit Kategorien von A+ bis U für den STI-Wertebereich von 0,76 bis 0,36. Vortrags- und Plenarsäle fallen hier z. B. in die Kategorie C mit einem Wert von 0,66. Die erhöhte Anforderung resultiert für diese Anwendungen daraus, dass es auch über Stunden möglich sein muss ohne große Anstrengung konzentriert zuzuhören. Bei einem Wert von 0,5 wäre das nicht möglich. Am unteren Ende befinden sich die Kategorie H und I mit Werten von 0,46 und 0,42 für Beschallungen in akustisch sehr schwierigen Räumen, z. B. Straßentunnel mit extremen Nachhallzeiten (10 s und mehr) und ebensolchen Störpegeln (95 dBA und mehr), bei denen die Beschallungstechnik an ihre Grenzen stößt.



## STI bei Simulationen

Häufig sollen die zu erreichenden STI-Werte schon in der Planungsphase über eine Simulation prognostiziert werden. Hier gelten im Prinzip die gleichen Regeln wie für eine Messung. Die Hörerflächen sind ähnlich den Mikrofonpositionen anzulegen, ein Störgeräusch kann ausgewählt und eingestellt werden, ebenso die Maskierung. Die Berechnung erfolgt auch als Mittelwert abzüglich der Standardabweichung.

Für die korrekte Berechnung des erreichbaren Maximalpegels bedarf es unbedingt zuverlässiger und seriöser Lautsprecherdaten, die sowohl in Bezug auf die Sensitivity wie auch die Belastbarkeit verlässlich sein sollten. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Berechnungen mit den richtigen Filtereinstellungen und mit einem Sprachspektrum als Anregungssignal erfolgen müssen. Vorsicht ist bei den berechneten Maximalpegeln dann trotzdem noch geboten, da die Software in der Regel nur von 3 dB Crestfaktor im Testsignal ausgeht.

In der Software sollte daher ein zusätzlicher Headroom von 3 bis 9 dB für Signale mit Crestfaktoren von 6 bis 12 dB eingestellt werden. Grundsätzlich ist es auch anzuraten zunächst eine einfache Berechnung mit nur einem einzelnen Lautsprecher durchzuführen und die so erreichten Maximalpegelwerte einem strengen Plausibilitätstest zu unterziehen. Von den Herstellern angegebene Maximalpegelwerte sind meist nicht hinreichend in ihrer Herkunft definiert und eignen sich nicht für eine Abschätzung des erreichbaren Pegels mit Sprachsignalen.

Ein weiterer entscheidender Punkt für die Aussagekraft einer Simulationen sind richtige Annahmen für die Nachhallzeit. Diese sollten, falls möglich, gemessen werden oder sind über die Absorberdaten zu ermitteln. Als Rechenverfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit sollten bevorzugt Methoden nach der kombinierten Spiegelquellen- und Strahlenverfolgungsmethode eingesetzt werden, die gegenüber rein statistischen Methoden vor allem bei stark richtenden Lautsprechern im halligen Umfeld genauere Ergebnisse liefern. Zusammen mit den Simulationsergebnissen sind immer alle hier aufgeführten Bedingungen für die Berechnung anzugeben, ohne die das Resultat seine Aussagekraft verliert.

## Fazit und Perspektiven

Die Messung der Sprachverständlichkeit ist ein komplexer Vorgang mit vielen Einflussgrößen die final zu einem Ergebnis als Einzelparameter zusammengeführt werden. Genau das war das Ziel bei der Entwicklung der Messgröße des STI, das auch sehr gut erreicht wurde, aber auch gewisse Kompromisse verlangt. So wird z. B. der im Höreindruck subjektiv wichtige Frequenzgang nur indirekt über den Störpegel und über die Hörschwelle bzw. die Maskierung abgebildet. In der Wahrnehmung manchmal sehr störende Echos finden sich ebenfalls nur unzureichend im STI-Wert wieder. Die Fähigkeiten des Menschen binaural zu hören und sich so auch gezielt auf Quellen in der Wahrnehmung zu konzentrieren wird in der aktuellen Form des STI noch nicht betrachtet.

Im akademischen Bereich gibt jedoch schon Forschungsarbeiten in dieser Richtung. Das eigentliche Messverfahren stellt sich für den Anwender heute bereits recht einfach und anschaulich dar und kann mit einfach zu bedienenden Geräten umgesetzt werden. Die Tücke liegt dabei eher im Detail, wenn es um die Erfassung und/oder Festlegung der Einflussgrößen wie Störpegel oder Nutzsignalpegel geht. An dieser Stelle gibt es einen gewissen Bedarf nach konkreteren Handlungsanweisungen, die zum einen dafür sorgen müssen die Anforderungen an eine Beschallungsanlage nicht ins Uferlose steigen zu lassen und vor allem das darin liegende Streitpotenzial zu reduzieren.