DEUTSCHE NORM **Entwurf** November 2009

DIN IEC 60268-16

DIN

ICS 17.140.50; 33.160.30

Einsprüche bis 2010-01-02
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60268-16:2004-01

Entwurf

Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 100/1538/CD:2009)

Sound system equipment –
Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index (GMT) (IEC 100/1538/CD:2009)

Equipements pour systèmes électroacoustiques –
Partie 16: Evaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de transmission de la parole (CEI 100/1538/CD:2009)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-11-02 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 143 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Inhalt

Seite

Einleitung 8
1 Anwendungsbereich 10
2 Normative Verweisungen 10
3 Begriffe 10
4 Beschreibung des *STI*-Verfahrens 15
4.1 Einleitung 15
4.1.1 Begründung für das *STI*-Verfahren 15
4.1.2 Anwendbarkeit des *STI*-Verfahrens 16
4.2 Hintergrund des *STI*-Verfahrens 16
4.2.1 Allgemeines 16
4.2.2 Theoretischer Überblick 18
4.2.3 Messung des *STI* 19
4.3 Anwendbarkeit des *STI*-Verfahrens 21
4.4 Anwendung direkter und indirekter Verfahren 22
4.5 Grenzen des *STI*-Verfahrens 22
4.5.1 Frequenzverschiebung 22
4.5.2 Zentralwertbegrenzung 23
4.5.3 Ausfälle 23
4.5.4 Jitter 23
4.5.5 Vocoder 23
4.5.6 Überschätzung des *STI* bei geringen Hintergrundgeräuschen 23
4.5.7 Frequenzgang (Verdeckung) 24
4.5.8 Echos 24
4.5.9 Schnelle Amplitudenkompression und -expansion 24
4.5.10 Nichtlineare Verzerrung 25
4.5.11 Impulsartige und schwankende Geräusche 25
4.6 Schlussfolgerung 25
5. Direktes Verfahren zur Messung des *STI* 26
5.1 Überblick 26
5.2 STIPA 26
5.3 Anwendung 27
5.4 Grenzen 27
6 Indirektes Verfahren zur Messung des *STI* unter Anwendung der Impulsantwort 27
6.1 Überblick 27
6.2 Anwendung 28
6.3 Grenzen (nichtlineare Verzerrung) 29

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Seite

7 Messverfahren, Nachbearbeitung der Daten und Anwendungen 29
7.1 Allgemeines 29
7.2 Akustische Einspeisung 30
7.3 Akustischer Ausgang 31
7.4 Elektrische Einspeisung 31
7.5 Elektrischer Ausgang 31
7.6 Beispiele für Kombinationen von Eingang/Ausgang 31
7.6.1 Akustischer Eingang – akustischer Ausgang 31
7.6.2 Elektrischer Eingang – elektrischer Ausgang (z. B. Beurteilung von kabelgebundenen und kabellosen Kommunikationssystemen) 32
7.6.3 Akustischer Eingang – elektrischer Ausgang (z. B. Beurteilung von Mikrophonen) 32
7.6.4 Elektrischer Eingang – akustischer Ausgang (z. B. Beurteilung von Beschallungsanlagen) 32
7.7 Nachbearbeitung gemessener *MTF*-Daten 32
7.8 Geräuschbezogene Aspekte 33
7.8.1 Messung des Hintergrundgeräusches 33
7.8.2 Schwankende Geräusche 33
7.9 Analyse und Interpretation der Ergebnisse 34
7.10 Binaurale *STI*-Messungen 34
8 Nutzung des *STI* als Auslegungs-Vorhersagewerkzeug 34
8.1 Überblick 34
8.2 Statistische Vorhersagen 34
8.3 Vorhersage aus simulierter Impulsantwort 35
Anhang A (normativ) Messverfahren für Sprachübertragungsindex (*STI*) und verbesserten *STI* 36
A.1 Hintergrund 36
A.1.1 Hüllkurvenfunktion und Hüllkurvenspektrum 36
A.1.2 Modulations-Übertragungsfunktion (*MTF*) 37
A.2 Das *STI*-Verfahren 38
A.2.1 Allgemeines 38
A.2.2 *STI*-Modulationsfrequenzen 39
A.3 Höreffekte mit Auswirkung auf den *STI* 39
A.3.1 Überblick 39
A.3.2 Pegelabhängige Hörverdeckung 40
A.3.3 Absolute Rezeptionsschwelle 41
A.3.4 Geschlechterspezifische Oktavbandbewertungs- und Redundanzfaktoren 42
A.3.5 Geschlechterspezifische Spektren von *STI*-Prüfsignalen 42
A.4 Erzeugung des *STI*-Prüfsignals 43
A.4.1 Signal von einer Quelle für rosa Rauschen 43
A.4.2 Erzeugen von Oktavband-Trägersignalen 43
A.4.3 Intensitätsmodulation der Trägersignale 43

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Seite

A.4.4 Anwenden des Sprachspektrums auf das *STI*-Signal 44
A.5 Analyse des *STI*-Prüfsignals und Berechnung des *STI* 44
A.5.1 Signalverarbeitung 44
A.5.2 Messung der Modulationsintensität 44
A.5.3 Ableitung der Modulations-Übertragungsfunktion (*MTF*) mit Hilfe des direkten Verfahrens 45
A.5.4 Korrektur der *MTF* mit Hilfe von Hörverdeckung 46
A.5.5 Berechnung des effektiven Signal-Rausch-Verhältnisses 47
A.5.6 Berechnung des Übertragungsindex (*TI*) 47
A.5.7 Berechnung des *STI* 47
Anhang B (normativ) Das *STIPA*-Verfahren 49
B.1 Allgemeines 49
Anhang C (normativ) Das *STITEL*-Verfahren 50
C.1 Allgemeines 50
C.2 Grenzen 50
Anhang D (informativ) Das *RASTI*-Verfahren 51
D.1 Allgemeines 51
Anhang E (informativ) Qualifizierung des *STI* und Zusammenhang mit einigen subjektiven Verständlichkeitsmaßen 53
E.1 Zusammenhang zwischen *STI* und Wort/Satz-Werten 53
E.2 Zusammenhang zwischen *STI* und Hörschwierigkeit 53
Anhang F (informativ) Qualifikationsbänder für den *STI* 55
Anhang G (informativ) Zusammenhang zwischen *STI*-Qualifikationsbändern und typischen Anwendungen 56
Anhang H (informativ) Nichtmuttersprachliche Hörer und Sprecher 57
Anhang I (informativ) Auswirkung von altersbedingten Hörverlusten und Hörbeeinträchtigungen auf die Sprachverständlichkeit 58
Anhang J (normativ) Kalibrierung des *STI*-Prüfsignalpegels 59
J.1 Einleitung 59
J.2 Das Sprachpegel-Messverfahren 59
J.3 Prüfsprachpegel 59
J.4 Korrigierter Sprachpegel 60
Anhang K (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht zu *STI*-Messungen 61
Anhang L (normativ) Vorhersage des STI mit Hilfe statistischer Verfahren 63
Anhang M (informativ) Anpassungen an gemessene *STI*- und *STIPA*-Ergebnisse zur Simulation von Belegungsgeräuschen und unterschiedlichen Sprachpegeln 65
Anhang N (informativ) Weitere Verfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit 69
N.1 Einleitung 69
N.2 Worttests 69
N.3 Modifizierte Reimtests 69
N.4 Sprachverständlichkeitsindex (*SII*) 69

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Seite

N.5 Verständlichkeitsverlust von Konsonanten (%Alcons) 70
N.6 *PESQ* 70
Literaturhinweise 71

Bilder

Bild 1 – Konzept der Modulationsreduktion durch einen Übertragungskanal 17
Bild 2 – Modulations-Übertragungsfunktion: Vergleich Eingang/Ausgang 18
Bild A.1 – Hüllkurvenfunktion (Teilbild A) eines 10 s-Sprachsignals für das 250 Hz-Oktavband und entsprechendes Hüllkurvenspektrum (Teilbild B) 36
Bild A.2 – Theoretische Darstellung der *MTF* 37
Bild A.3 – Anordnung und Frequenzen der Messung für das *STI*-Verfahren 39
Bild A.4 – Hörverdeckung von Oktavband (k – 1) in Oktavband (k) 40
Bild D.1 – Darstellung eines geeigneten *RASTI*-Prüfsignals 52
Bild E.1 – *STI*-Qualifikation und Beziehung zu einigen subjektiven Verständlichkeitsmaßen 53
Bild E.2 – Zusammenhang zwischen *STI*, Sprachverständlichkeitswerten und Hörschwierigkeitsbewertungen [29], [30] 54
Bild F.1 – *STI*-Qualifikationsbänder 55

Tabellen

Tabelle 1 – Vergleich der *STI*-Verfahren im Hinblick auf unterschiedliche Verzerrungsarten 20
Tabelle 2 – Anwendbarkeit der Prüfung 21
Tabelle 3 – Anwendbarkeit der Prüfung 22
Tabelle A.1 – Hörverdeckung als Funktion des akustischen Oktavbandpegels 41
Tabelle A.2 – Absolute Hörschwelle als Funktion des Oktavbandpegels 42
Tabelle A.3 – Oktavband-Bewertungsfaktoren für den STI 42
Tabelle A.4 – Oktavbandpegel (dB), bezogen auf den A-bewerteten Langzeit-Sprachpegel 43
Tabelle B.1 – Modulationsfrequenzen für das *STIPA*-Verfahren 49
Tabelle C.1 – Modulationsfrequenzen für das *STITEL*-Verfahren 50
Tabelle D.1 – Modulationsfrequenzen für das *STITEL*-Verfahren 51
Tabelle E.1 – Kategorien der Hörschwierigkeit 54
Tabelle G.1 – Zusammenhang zwischen *STI*-Qualifikationsbändern und typischen Anwendungen 56
Tabelle H.1 – Für nichtmuttersprachliche Hörer angepasste Tabelle der Verständlichkeitsqualifikation 57
Tabelle I.1 – Für normale und für ältere Hörer mit Hörverlust angepasste Tabelle der Verständlichkeitsqualifikation 58
Tabelle M.1 – Beispielberechnung 65

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 100/1538/CD:2009 „Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index (GMT)“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 100 „Audio, video and multimedia systems and equipment“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium UK 742.5 „Lautsprecher“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60268-16:2004-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Verbesserung des *STI*-Modells im Hinblick auf die pegelabhängige Verdeckungsfunktion;

b) der Raumakustik-Sprachübertragungsindex (*RASTI*) gilt als veraltet und sollte nicht mehr verwendet werden;

c) Berechnungen zur Hinzurechnung oder Beseitigung der Auswirkungen von Hintergrundgeräuschen und zur Veränderung des Sprachpegels sowie ein durchgerechnetes Beispiel;

d) Anmerkungen zu den Grenzen des *STI*-Verfahrens;

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

e) Verfahren zur Vorhersage der *STI*-Leistung von Übertragungskanälen basierend auf der vorhergesagten (im Gegensatz zur gemessenen) Leistung von Teilen des Übertragungskanals oder des Übertragungskanals insgesamt;

f) Einführung von *STI*-Korrekturen für nichtmuttersprachliche Hörer;

g) Einführung von *STI*-Korrekturen für Hörer mit bestimmten Hörverlust-Arten;

h) Beziehung zwischen dem *STI* und der Hörschwierigkeitsskala.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex

Einleitung

Der Sprachübertragungsindex (en: Speech Transmission Index, *STI*) ist ein objektives Maß zur Vorhersage der Verständlichkeit von Sprache, die über einen Übertragungskanal von einem Sprecher zu einem Hörer übertragen wird. Seit seiner Einführung in den 1970er Jahren wurde das *STI*-Verfahren ständig weiterentwickelt und verfeinert. Durch Aufnahme in die jeweils überarbeiteten Fassungen von IEC 60268-16 konnten wesentliche Verbesserungen des *STI* durchgesetzt werden.

Die Überarbeitungen gestalteten sich wie folgt:

– erste überarbeitete Fassung; 1988: In der ersten Fassung der *STI*-Norm wurde ein geschlechterunabhängiges Prüfsignalspektrum verwendet;

– zweite überarbeitete Fassung, 1998: Geschlechterspezifische Prüfsignale für männliche und weibliche Sprecher wurden eingeführt, wobei für jedes Geschlecht eine bestimmte Gruppe von Bewertungsfaktoren gilt. Darüber hinaus wurden Bewertungen für Redundanzfaktoren eingeführt. Der Begriff STI_r bezeichnet dabei die Verwendung dieser Redundanzfaktoren;

– dritte überarbeitete Fassung, 2003: Wichtige Unterschiede zwischen der zweite und der dritten Überarbeitung sind die Einführung von

  – pegelabhängigen Verdeckungsfunktionen;

  – dem vom *STI* abgeleiteten *STIPA*.

  Der *STIPA* wurde speziell als ein schnelles Messverfahren entwickelt, das bei der Bestimmung der Sprachübertragungsqualität von Beschallungsanlagen die elektroakustischen und akustischen Effekte berücksichtigen kann;

– vierte überarbeitete Fassung, 2010: Ziel der vierten überarbeiteten Fassung (der vorliegenden Fassung) ist eine umfassendere, vollständigere und eindeutigere Normung des *STI*-Verfahrens. Der Begriff STI_r wird nicht mehr verwendet. Stattdessen wird eine neue Funktion zur Vorhersage von Hörverdeckungseffekten eingeführt.

Sprache gilt als das wichtigste Kommunikationsmittel des Menschen. In vielen Situationen ist das Sprachsignal durch den Signalpfad oder den Übertragungskanal zwischen Sprecher und Hörer beeinträchtigt, was zu einer verminderten Sprachverständlichkeit an der Hörerposition führt.

Für die quantitative Bestimmung der durch den Übertragungskanal herbeigeführten Abschwächung der Sprachverständlichkeit wurde ein schnelles und objektives Messverfahren entwickelt, der Sprachübertragungsindex (*STI*). Beim *STI*-Verfahren wird ein bestimmtes Prüfsignal an den Übertragungskanal angelegt; durch Analyse des empfangenen Prüfsignals wird die Sprachübertragungsqualität des Kanals abgeleitet und als Sprachübertragungsindex *(STI)* mit einem Wert zwischen 0 und 1 angegeben. Mit Hilfe des erhaltenen *STI*-Werts kann die potentielle Sprachverständlichkeit ermittelt werden.

Obwohl das Verfahren gewissen Einschränkungen unterliegt, hat sich der *STI* in zahlreichen Situationen als nützlich erwiesen und ist international anerkannt.

Änderungen in der vorliegenden Fassung

In diese überarbeitete Fassung wurden folgende Änderungen aufgenommen:

– Verbesserung des *STI*-Modells im Hinblick auf die pegelabhängige Verdeckungsfunktion;

– der Raumakustik-Sprachübertragungsindex (*RASTI*) gilt als veraltet und sollte nicht mehr verwendet werden;

– Berechnungen zur Hinzurechnung oder Beseitigung der Auswirkungen von Hintergrundgeräuschen und zur Veränderung des Sprachpegels sowie ein durchgerechnetes Beispiel;

– Anmerkungen zu den Grenzen des *STI*-Verfahrens;

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

– Verfahren zur Vorhersage der *STI*-Leistung von Übertragungskanälen basierend auf der vorhergesagten (im Gegensatz zur gemessenen) Leistung von Teilen des Übertragungskanals oder des Übertragungskanals insgesamt;
– Einführung von *STI*-Korrekturen für nichtmuttersprachliche Hörer;
– Einführung von *STI*-Korrekturen für Hörer mit bestimmten Hörverlust-Arten;
– Beziehung zwischen dem *STI* und der Hörschwierigkeitsskala.

Mögliche Anwendungen des *STI*

Der *STI* kann angewendet werden, um die potentielle Verständlichkeit zahlreicher elektronischer Systeme und akustischer Umgebungen zu messen. Typische Anwendungen sind unter anderem:

– Messungen bei Beschallungsanlagen;
– Messung und Zertifizierung von Sprachalarm- und akustischen Notfallwarnsystemen;
– Messung von Kommunikationskanälen/-systemen wie Gegensprechanlagen und Drahtlos-Kommunikationseinrichtungen;
– Messung der potentiellen Sprachverständlichkeit und Kommunikation in Räumen und Hörsälen;
– Beurteilung der potentiellen Verständlichkeit von Hörhilfen;
– das *STI*-Verfahren ist nicht geeignet für die Messung und Beurteilung von Anlagen, die eine private Kommunikation oder Sprachverdeckung sicherstellen sollen.

Mögliche Anwender des *STI*

STI-Messungen können den unterschiedlichsten Anwendern dienen. Mögliche Anwender dieses Verfahrens sind unter anderem:

– Zertifizierer von Sprachalarm- und anderen Notfallsystemen;
– Zertifizierer von Beschallungs- und Audiosystemen;
– Hersteller von Audio- und Telekommunikationsgeräten;
– Audio- und Kommunikationstechniker;
– Akustiker und Elektroakustiker;
– Installateure von Beschallungsanlagen;
– Wissenschaftler, die *STI*-Verfahren untersuchen, sowie Entwickler von Geräten zur Messung des *STI*.

Um eine Fehldeutung der *STI*-Ergebnisse zu vermeiden, ist es wichtig, dass alle Anwender die Grundlagen, den Anwendungsbereich und seine Grenzen verstehen.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60268 legt objektive Verfahren zur Bewertung der Übertragungsqualität von Sprache im Hinblick auf die Verständlichkeit fest.

Ziel dieser Norm ist die Bereitstellung eines umfassenden Handbuchs für alle Anwender des *STI*-Verfahrens in den Bereichen Audio, Kommunikation und Akustik.

Es werden drei Verfahren vorgestellt, die eng miteinander zusammenhängen und als „*STI*“, „*STITPA*“ und „*STITEL*“ bezeichnet werden. Die ersten beiden Verfahren sind für die Bewertung der Sprachübertragung mit oder ohne Beschallungsanlage bestimmt. Das letzte Verfahren hat einen eingeschränkteren Anwendungsbereich.

ANMERKUNG Keines der Verfahren ist für die Messung und Bewertung von Anlagen, die eine private Kommunikation oder Sprachverdeckung sicherstellen sollen, geeignet, da der *STI* nicht für Situationen mit sehr kleinem Signal-Rausch-Verhältnis validiert wurde [43].

Folgende Informationen werden bereitgestellt:

– direkte und indirekte Messverfahren;
– Vorhersageverfahren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61260:1995+A1:2001, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters*

IEC 61672-1:2002, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

ISO 1996-1:2003, *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures*

ISO 9921:2003, *Ergonomics – Assessment of speech communication*

ISO 18233:2006, *Acoustics – Application of new measurement methods in building and room acoustics*

ISO/DIS 3382-1:2005, *Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1
Sprachverständlichkeit
Bewertung des Anteils der Sprache, der verstanden wird

3.2
Sprachqualität
Bewertung der Sprachqualität eines Sprachsignals

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

3.3
Sprachübertragungsindex
STI
(en: speech transmission index)
Maß zwischen 0 und 1, das die Übertragungsqualität von Sprache im Hinblick auf die Verständlichkeit durch einen Sprachübertragungskanal darstellt

3.4
Sprachverständlichkeitsindex
SII
(en: speech intelligibility index)
objektives Maß zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit auf der Grundlage des Artikulationsindex

3.5
STI-Verfahren
STI
vollständiger
objektives Verfahren zur Vorhersage und Messung des Sprachübertragungsindex, das 14 Modulationsfrequenzen über einen Bereich von 7 Oktavbändern verwendet

3.6
Sprachübertragungsindex für Beschallungsanlagen
STIPA
(en: speech transmission index for public address systems)
Maßzahl, die durch eine gekürzte Version des STI-Verfahrens ermittelt wird, aber bei Verzerrungen in der Raumakustik und/oder den Beschallungsanlagen noch aussagekräftig ist

ANMERKUNG Das *STIPA*-Verfahren wird als direktes Verfahren angewendet.

3.7
Sprachübertragungsindex für Telekommunikationssysteme
STITEL
(en: speech transmission index for telecommunication systems)
Maßzahl, die durch eine gekürzte Version des *STI*-Verfahrens ermittelt wird, aber bei Verzerrungen in Kommunikationssystemen noch aussagekräftig ist

ANMERKUNG Das *STITEL*-Verfahren wird als direktes Verfahren angewendet.

3.8
Raumakustik-Sprachübertragungsindex
RASTI
(en: room acoustical speech transmission index)
Maßzahl, die durch eine gekürzte Version des *STI*-Verfahrens ermittelt und nur für Übersichtsmessungen verwendet wird; der *RASTI* ist auf die direkte Kommunikation zwischen Personen ohne Gebrauch eines elektroakustischen Kommunikationssystems ausgerichtet

ANMERKUNG 1 Der *RASTI* berücksichtigt Geräuschstörungen und Verzerrungen im Zeitbereich (Echo, Nachhall).

ANMERKUNG 2 Der *RASTI* ist mittlerweile veraltet.

direktes *STI*-Verfahren
Verfahren unter Anwendung von modulierten (sprachähnlichen) Prüfsignalen zur direkten Messung der Modulations-Übertragungsfunktion

3.9
Impulsantwort-Verfahren
Verfahren unter Anwendung der Impulsantwort und des Schroeder-Integrals zur Ableitung der Modulations-Übertragungsfunktion

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

3.10
Sprachübertragungskanal
akustischer oder elektroakustischer Signalpfad zwischen einem Sprecher und einem Hörer

3.11
Beschallungsanlage
elektronisches Schallverteilungssystem mit Mikrophonen, Verstärkern und Lautsprechern zur Verstärkung eines bestimmten Tons (zum Beispiel einer Ankündigung oder einer aufgezeichneten Nachricht) und Verteilung des Schalls innerhalb eines Gebäudes oder Raums

3.12
Sprachalarmanlage
Schallverteilungssystem, das in einem Notfall Sprachnachrichten und/oder Warnsignale sendet

3.13
tatsächlicher Sprachpegel
Gesamtsignalpegel eines Sprachsignals, in dBA, wobei nur die Sprachsegmente berücksichtigt werden, die zur Verständlichkeit beitragen

ANMERKUNG Pausen und Stille zwischen einzelnen Wörtern und Sätzen werden vernachlässigt.

3.14
Bezugssprachpegel
Sprachpegel, der 60 dBA in 1 m Abstand vor dem Mund eines Sprechers entspricht

3.15
Stimmaufwand
Anstrengung des Sprechers, objektiv quantifiziert durch den A-bewerteten Sprachpegel in 1 m Abstand vor dem Mund und subjektiv qualifiziert durch eine Beschreibung

3.16
künstlicher Mund
Vorrichtung, die aus einem in einem Gehäuse montierten Lautsprecher besteht und deren Richtwirkung und Strahlungscharakteristik der Richtwirkung und Strahlungscharakteristik des durchschnittlichen menschlichen Mundes ähneln

3.17
nichtmuttersprachlicher Sprecher
Person, die eine andere Sprache spricht als die Sprache, die von dieser Person in ihrer Kindheit als erste Sprache erlernt wurde

3.18
absolute Rezeptionsschwelle
absolute Hörschwelle, erhöht um den geringsten notwendigen Dynamikbereich zur korrekten Erkennung von Sprachlauten

3.19
Sprachrezeptionsschwelle
siehe absolute Rezeptionsschwelle

3.20
Hörverdeckung
Prozess, mit dem die Hörschwelle (Hörbarkeit) für einen Ton durch das Vorhandensein eines anderen (verdeckenden) Tons angehoben wird

ANMKERKUNG Im Rahmen des *STI*-Verfahrens wird Hörverdeckung auch als Aufwärtsausbreitung der Verdeckung bezeichnet.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

3.21
künstliches Ohr
Vorrichtung zum Empfang akustischer Signale mit ähnlichen Merkmalen wie das menschliche Ohr (siehe IEC 60384)

3.22
Intensitätsfunktion
Quadrat des Amplitudensignals in Abhängigkeit von der Zeit

3.23
Hüllkurvenfunktion
die Hüllkurve der Intensitätsfunktion

3.24
Hüllkurvenspektrum
relative Verteilung der Spektralkomponenten der Hüllkurvenfunktion

3.25
Modulationsfrequenz
Frequenz der sinusförmigen Schwankung der Hüllkurvenfunktion

ANMERKUNG Die Modulationsfrequenz F wird in Hertz (Hz) angegeben.

3.26
Modulationsindex
Wert zwischen 0 und 1, der die Tiefe einer sinusförmigen Modulation der Intensitätsfunktion beschreibt

3.27
Modulationsübertragung
Verhältnis zwischen der Modulationstiefe der empfangenen und der ursprünglichen (übertragenen) Modulationstiefe der Intensitätsfunktion

3.28
Modulations-Übertragungsfunktion
MTF
(en: modulation transfer function)
Modulations-Übertragungswerte in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz

3.29
Oktavbandbewertungsfaktor
(α)
relativer Anteil jedes Oktavbands am Sprachübertragungsindex

3.30
Oktavband-Redundanzfaktor
(β)
Anteil Informationsüberlappung zwischen zwei benachbarten Oktavbändern im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit

3.31
Signal-Rausch-Verhältnis
SNR
(en: signal-to-noise ratio)
Differenz zwischen dem Schalldruckpegel des Sprach- oder Prüfsignals und dem Schalldruckpegel des Hintergrundgeräusches, wobei die Schalldruckpegel mit Hilfe einer genormten Frequenzbewertung bestimmt werden

ANMERKUNG Das Signal-Rausch-Verhältnis, SNR, wird in Dezibel (dB) angegeben.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

3.32
effektives Signal-Rausch-Verhältnis
SNR_{eff}
Differenz zwischen dem Pegel der Intensitätsmodulation und dem Pegel der Intensität sämtlicher nicht modulierter Verzerrungen eines empfangenen *STI*-Prüfsignals

ANMERKUNG 1 Das effektive Signal-Rausch-Verhältnis wird in Dezibel (dB) angegeben.

ANMERKUNG 2 Beispiele für nicht modulierte Verzerrungen sind Nachhallfeldpegel, Umgebungsgeräuschpegel, nichtlineare Verzerrungspegel und Verdeckungspegel.

3.33
Scheitelfaktor
Differenz zwischen dem Spitzen- und dem Effektivwert der Schalldruckpegel während eines bestimmten Zeitintervalls, wobei die Schalldruckpegel mit Hilfe einer genormten Frequenzbewertung bestimmt werden

ANMKERKUNG Der Scheitelfaktor wird in Dezibel (dB) angegeben.

3.34
Lombard-Effekt
spontaner Anstieg des Stimmaufwands, hervorgerufen durch eine Zunahme des Umgebungsgeräuschpegels am Ohr des Sprechers

ANMERKUNG Die Tonhöhenverschiebung der Stimme bei höheren Sprechpegeln wird hier nicht berücksichtigt.

3.35
Halboktav-Filter
Bandpassfilter, für das das Verhältnis der oberen Eckfrequenz f_2 zur unteren Eckfrequenz f_1 $\sqrt{2}$ ist

3.36
Teiloktavenfilter
Bandpassfilter, für das das Verhältnis der oberen Grenzfrequenz f_2 zur unteren Grenzfrequenz f_1 die Potenz aus Zwei und einem Exponenten ist, der dem Bruchteil des Oktavbands entspricht

ANMERKUNG In Symbolen ausgedrückt, ist das Verhältnis der Grenzfrequenzen $f_2/f_1 = 2^{1/b}$, wobei $1/b$ den Bruchteil einer Oktave bezeichnet.

BEISPIEL 1 Für Halboktav-Filter ist das Frequenzverhältnis $2^{1/3} = \sqrt{2}$.

BEISPIEL 2 Für Oktavfilter ist das Frequenzverhältnis 2.

3.37
Hintergrundgeräusch
sämtliche Geräusche, die bei Unterdrücken des betrachteten Sprach- oder Prüfsignals übrig bleiben

3.38
schwankendes Geräusch
Dauergeräusch, dessen Schalldruckpegel im Betrachtungszeitraum erheblich variiert, jedoch nicht impulsartig

3.39
impulsartiges Geräusch
Geräusch, das durch kurze Schalldruck-Bursts gekennzeichnet ist

3.40
Bezugsschalldruck
(p_0)
Schalldruck, der für Luftschall üblicherweise auf 20 µPa festgelegt ist

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

3.41
Schalldruckpegel
zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Effektivwerts des Schalldrucks zum Bezugsschalldruck

ANMERKUNG Der Schalldruckpegel wird in Dezibel (dB) angegeben. Die Notation ist L_p.

3.42
äquivalenter Dauerschallpegel
zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Effektivwerts des Schalldruckpegels für ein bestimmtes Zeitintervall zum Bezugsschalldruck, wobei der Effektivwert des Schalldrucks mit Hilfe einer genormten Frequenzbewertung bestimmt wird

ANMERKUNG 1 Der A-bewertete Schalldruckpegel $L_{A,eq\,T}$ ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$L_{AeqT} = 20\lg \frac{\sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} p_A{}^2(t)\,dt}}{p_0}$$

Dabei ist

$p_A(t)$ der Augenblickswert des A-bewerteten Schalldrucks zum Zeitpunkt t;

t die Integrationsvariable für die Zeit;

$T = t_2 - t_2$ die Länge des Zeitintervalls, für das der Dauerschalldruckpegel zu bestimmen ist, und

p_0 der Bezugsschalldruck.

Der Zähler im Argument des Logarithmus in der gegebenen Gleichung ist der frequenzbewertete Effektivwert des Schalldrucks für die Mittelungszeit T.

ANMERKUNG 2 Bei der Bestimmung des Dauerschalldruckpegels wird grundsätzlich keine zeitliche Bewertung angewendet.

ANMERKUNG 3 Weitere Definitionen siehe IEC 61672.

3.43
Wert des Übertragungsindex
TI
(en: transmission index)
unbewerteter Mittelwert aus den Werten der Modulations-Übertragungsfunktion für eine gegebene Oktavband-Sprachträgerfrequenz

ANMERKUNG Es gibt 14 Modulationsfrequenzen je Oktavband für ein vollständiges *STI*-Signal, zwei Modulationsfrequenzen für *STIPA* und eine Modulationsfrequenz je Band für *STITEL*.

4 Beschreibung des *STI*-Verfahrens

4.1 Einleitung

4.1.1 Begründung für das *STI*-Verfahren

Das *STI*-Verfahren wurde als ein schnelles und objektives Prüfverfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsqualität von Sprachübertragungskanälen entwickelt. Mit Hilfe des Sprachübertragungsindex

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

kann die Sprachverständlichkeit für unterschiedliche Arten von Wort- und Satzformaten für einen großen Bereich von Sprachübertragungssystemen vorhergesagt werden.

Beim Sprechen tritt eine zeitliche Schwankung der Intensität des Signals auf, was zu einer Schwankung der Intensitätshüllkurve der Sprache führt. Langsame Schwankungen der Intensitätshüllkurve entsprechen den Wort- und Satzgrenzen, während schnelle Schwankungen mit einzelnen Phonemen innerhalb der Wörter zusammenfallen. Beim *STI*-Konzept hat die Erhaltung der Intensitätshüllkurve oberste Priorität.

Im Gegensatz zum ursprünglichen Ansatz des Artikulationsindex [6], der auf den Signal-Rausch-Verhältnissen in unterschiedlichen Sprachspektralbändern beruht, bestimmt die *STI*-Messung den Grad, bis zu dem die Intensitätshüllkurve des Sprachsignals durch einen Übertragungskanal beeinflusst wird. Eine Modulations-Übertragungsfunktion (*MTF*) wird bestimmt, mit der quantifiziert wird, wie der Kanal die Intensitätshüllkurve des Sprachsignals beeinflusst.

Mit dem *STI*-Verfahren ergibt sich ein Wert auf einer Skala von 0 bis 1, basierend auf Bewertungsanteilen aus einem in der Sprache vorhanden Bereich von Frequenzbändern.

Das *STI*-Verfahren und seine Ableitungen (siehe unten) können auch angewendet werden, um die potentielle Verständlichkeit eines Sprachübertragungskanals an unterschiedlichen Orten und für unterschiedliche Bedingungen zu vergleichen. Vor allem kann die Auswirkung von Veränderungen der akustischen Eigenschaften von Räumen eingeschätzt werden.

4.1.2 Anwendbarkeit des *STI*-Verfahrens

Das *STI*-Verfahren ist ein objektives und validiertes Maß der Sprachübertragungsqualität für einen großen Bereich von akustischen und elektroakustischen Verzerrungen, die die Verständlichkeit beeinflussen. Da es sich dabei jedoch um eine Vereinfachung der tatsächlichen Sprache handelt, kann das *STI*-Modell in seiner Anwendbarkeit begrenzt sein. Anwender des *STI*-Verfahrens, die das Verfahren über seine derzeitigen Grenzen hinaus nutzen, können ungenaue Vorhersagen für die Verständlichkeit erhalten. Ein Überblick über die Anwendungen und Grenzen soll daher *STI*-Anwendern dabei helfen zu entscheiden, welches *STI*-Verfahren für ihren Zweck das am besten geeignete ist, um die aussagekräftigsten und genauesten Ergebnisse zu erhalten.

Lässt die Situation oder der Übertragungskanal die Anwendung von *STI*-Verfahren nicht zu, müssen alternative Techniken zur Einschätzung der Verständlichkeit angewendet werden. Es gibt weitere Verfahren zur Einschätzung der Qualität der Sprachkommunikation, wobei jedes seine Vor- und Nachteile hat und daher unterschiedlich angewendet wird. Anhang N beschreibt eine Reihe weiterer Maße für die Verständlichkeit.

4.2 Hintergrund des *STI*-Verfahrens

4.2.1 Allgemeines

Das *STI*-Konzept beruht auf der empirischen Feststellung, dass die Schwankungen von Sprachsignalen die relevantesten Informationen hinsichtlich der Sprachverständlichkeit tragen [1], [2] und [3]. Sprachschwankungen ergeben sich aus der akustischen Trennung von Sätzen, Wörtern und Phonemen, den grundlegendsten Elementen von Sprache. Die als Modulationen bezeichneten Schwankungen können in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz F quantifiziert werden, woraus sich das Modulationsspektrum ergibt. Bei deutlichem Sprechen erstrecken sich die Modulationsfrequenzen normalerweise von 0,5 Hz bis zu 16 Hz, wobei die maximale Modulation bei etwa 3 Hz liegt.

Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass eine Abschwächung des Modulationsspektrums durch den Übertragungskanal zu einer Verringerung der Sprachverständlichkeit führt. Diese Abschwächung des Modulationsspektrums entspricht einer Verringerung der Modulationstiefe bei einer oder mehreren Modulationsfrequenzen und wird als ein Modulations-Übertragungswert für jedes Oktavband über den Spektralbereich der Sprache berechnet. Bild 1 zeigt das Konzept der Modulationsreduktion, die zwischen einem Sprecher und einem Hörer auftreten kann.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

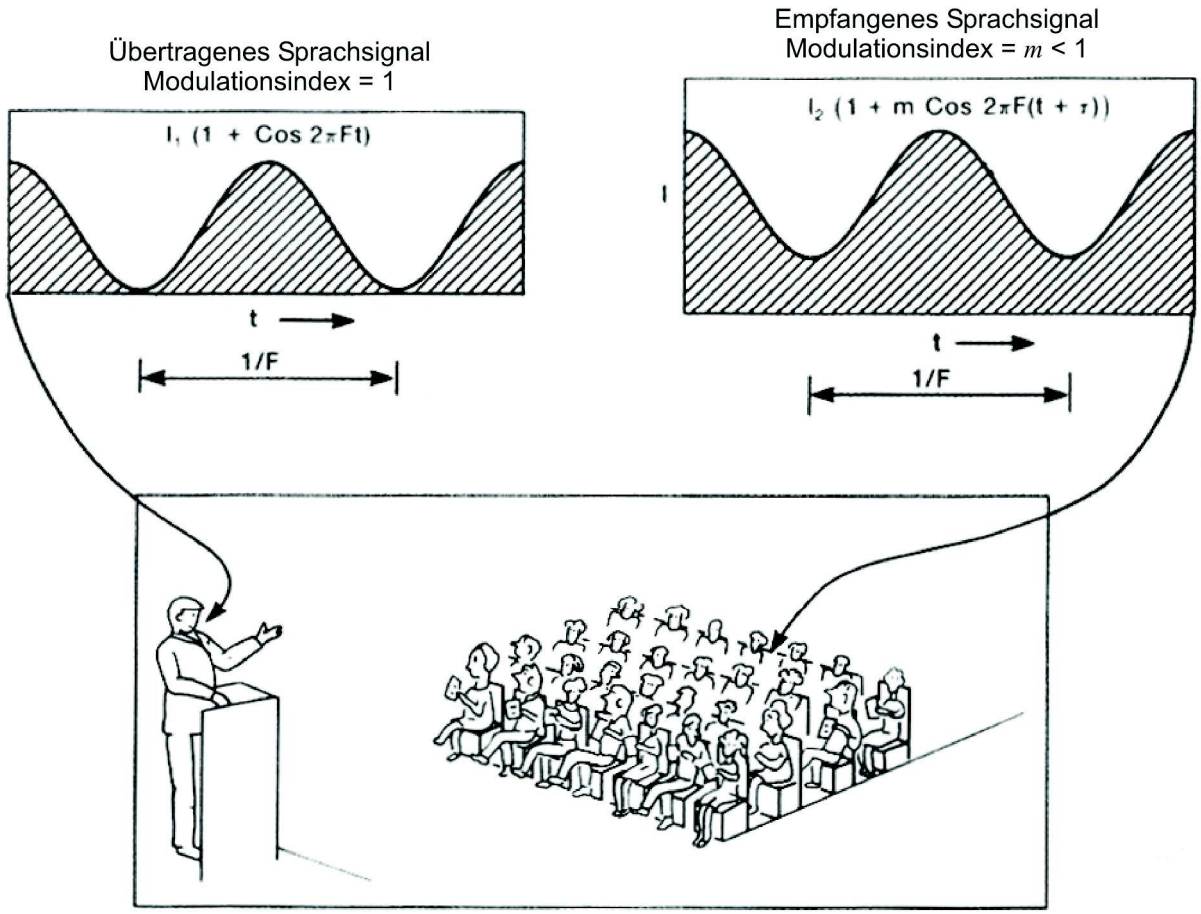


Bild 1 – Konzept der Modulationsreduktion durch einen Übertragungskanal

Das *STI*-Verfahren wurde mit Versuchen zur subjektiven Verständlichkeit unter Verwendung der Werte von (niederländischen) Konsonant-Vokal-Konsonant-Wörtern (CVC-Wörtern) für zahlreiche verschiedene Verzerrungen in Übertragungskanälen optimiert und validiert. Derartige Verzerrungen umfassen Rauschen, Nachhall, Echos, nichtlineare Verzerrungen und digitale Kodiertechniken.

Mit Hilfe von aus Sprachmaterial abgeleiteten Parametern wurde das *STI*-Prüfsignal entwickelt. Im Allgemeinen umfasst dieses Prüfsignal sieben Oktavbandträger, die den Oktavbändern von 125 Hz bis 8 kHz entsprechen. Jeder Geräuschträger wird mit einer oder mehreren Modulationsfrequenzen in Terzintervallen von 0,63 Hz bis einschließlich 12,5 Hz moduliert.

Das in Anhang A beschriebene *STI*-Verfahren bestimmt die Modulations-Übertragungsfunktion $m(F)$ des Übertragungskanals. Insgesamt werden 98 Ergebnisse erhalten, die den 14 Modulationsfrequenzen und den sieben Oktavbändern entsprechen (siehe Bild A.3). Der Effektivwert-Pegel jedes Oktavbandträgers entspricht dem relativen Pegel des mittleren Langzeitspektrums von Sprachmaterial (für weitere Informationen siehe auch Unterabschnitt 4.5). Jedes Oktavband hat einen Anteil an der Sprachverständlichkeit, der entsprechend für das Band bewertet wird. Mit Hilfe der bewerteten Summe dieser Übertragungsindexwerte wird der Gesamt-*STI*-Wert für den Übertragungskanal bestimmt.

Untersuchungen [11] haben gezeigt, dass aneinander angrenzende Oktavbänder hinsichtlich der Sprachverständlichkeit redundante Informationen enthalten. Wenn ein Oktavband nicht zur Verständlichkeit beiträgt (z. B. durch Verdeckung von Nachhall oder Hintergrundgeräusch), dann können die benachbarten Oktavbänder diesen fehlenden Anteil teilweise ausgleichen. Diese Erkenntnis hat zur Verwendung von Redundanzfaktoren in der *STI*-Methodologie geführt.

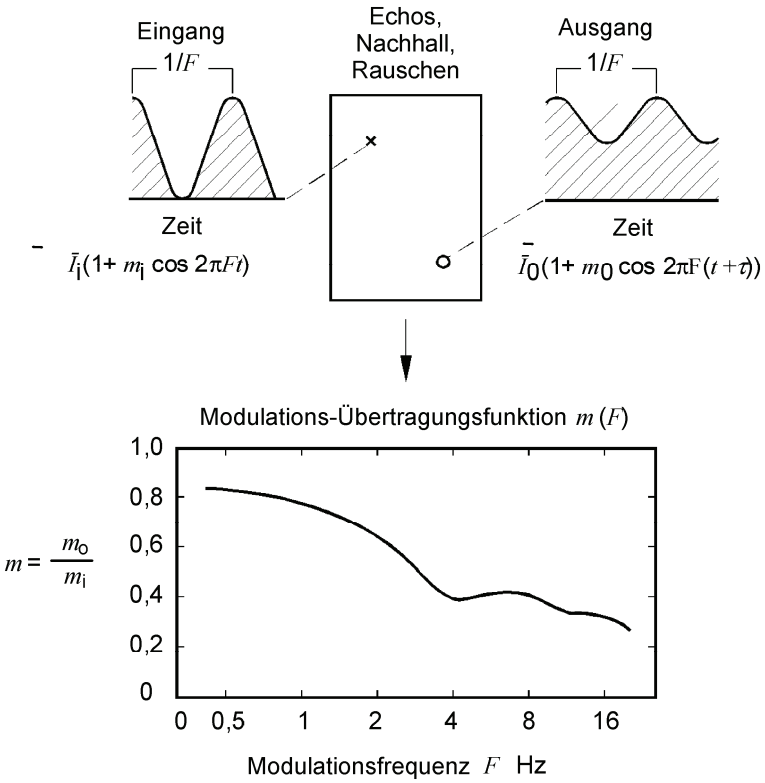
AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

4.2.2 Theoretischer Überblick

Der Modulationsindex m_i eines Prüfsignals wird in einen Raum oder durch einen Kommunikationskanal gespielt und an einer Hörerposition als Modulationsindex m_o empfangen. Um zum Beispiel den STI für die Situation in Bild 1 zu messen, wird das Prüfsignal von einer an der Sprecherposition angeordneten Schallquelle, die einen menschlichen Sprecher simuliert, zu einem Messmikrofon an der Hörerposition übertragen, an der dann der Modulationsindex m_o beträgt.

Die wichtigsten Eigenschaften der Schallquelle sind deren Größe und Richtwirkung, Position, Schalldruckpegel und Frequenzgang.

Das typische Prüfsignal besteht aus einem Rauschen mit einem sprachtypischen Frequenzspektrum als Träger und einer sinusförmigen Intensitätsmodulation mit der Frequenz F (siehe Bild 2).



ANMERKUNG m_i und m_o sind die Modulationsindizes des Eingangs- bzw. des Ausgangssignals, $\overline{I_i}$ und $\overline{I_o}$ sind die Eingangs- und Ausgangsintensitäten; die Intensitäten sind gleich dem Quadrat der Schalldruckpegel (p^2).

Bild 2 – Modulations-Übertragungsfunktion: Vergleich Eingang/Ausgang

Die Reduktion des Modulationsindex bei Frequenz F wird durch die Modulations-Übertragungsfunktion $m(F)$ quantifiziert, die wie folgt lautet:

$$m(F) = \frac{m_o(F)}{m_i(F)}$$

Sie wird in Form eines effektiven Signal-Rausch-Verhältnisses SNR_{eff} interpretiert (ungeachtet der Gründe der Reduktion, die Nachhall, Echos oder Rauschen sein können). Dieses wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$SNR_{eff} = 10 \lg\left(\frac{m(F)}{1 - m(F)}\right)$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Die Werte des effektiven Signal-Rausch-Verhältnisses sind auf einen Bereich von -15 dB bis +15 dB begrenzt. Werte kleiner als –15 dB erhalten den Wert –15 dB und Werte größer als 15 dB erhalten den Wert 15 dB.

Der Sprachübertragungsindex *STI* kombiniert die Werte des Modulations-Übertragungsindex aus Messungen in sieben Oktavbändern zu einem bewerteten Gesamtwert.

Anhang A enthält eine ausführlichere Beschreibung der Berechnung des Sprachübertragungsindex.

4.2.3 Messung des *STI*

Der vollständige *STI* basiert auf einem kompletten Satz von 98 (7 × 14) Modulationsindizes.

Zwei vereinfachte Formen des *STI*, die auf Messungen mit einer geringeren Anzahl von Modulationsindizes beruhen, sind *STIPA* und *STITEL* (siehe Abschnitt 5).

Der *STIPA* besteht aus einem Prüfsignal mit einer vordefinierten Menge von zwei Modulationen je Oktavband, die gleichzeitig erzeugt werden, was insgesamt 14 Modulationsindizes ergibt.

Der *STITEL* besteht aus einem Prüfsignal mit einer vordefinierten Menge von sieben Modulationsfrequenzen, eine je Oktavband, die gleichzeitig erzeugt werden, was insgesamt sieben Modulationsindizes ergibt.

Zur Messung des *STI* gibt es zwei Möglichkeiten:

– direkte Verfahren mit Hilfe von modulierten Prüfsignalen;
– indirekte Verfahren, die auf der Impulsantwort des Systems beruhen und die Schroeder-Gleichung anwenden.

Bei den direkten Verfahren unter Anwendung des *STIPA* und des *STITEL* ist die Messdauer wesentlich kürzer als beim vollständigen *STI*.

Anhang B und Anhang C enthalten ausführliche Beschreibungen des *STIPA* bzw. *STITEL*. Anhang D enthält Einzelheiten zum nunmehr veralteten *RASTI*-Verfahren.

Das direkte *STI*-Verfahren liefert erwiesenermaßen gültige Ergebnisse für eine große Anzahl von linearen Verzerrungen sowie für verschiedene nichtlineare Verzerrungen sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich. Die folgenden Verzerrungen werden durch das *STI*-Verfahren berücksichtigt:

– Zeitverzerrungen, z. B. Nachhall und Echos;
– Rauschen;
– starke spektrale Verzerrungen, z. B. Bandpassfilterung.

ANMERKUNG Einige Arten von spektralen Verzerrungen können nicht berücksichtigt werden, siehe 4.5.8.

Darüber hinaus berücksichtigen die direkten *STI*-Verfahren nichtlineare Verzerrungen, z. B. Begrenzung oder Zentralwertbegrenzung, wohingegen die indirekten Verfahren nur bei linearen Systemen angewendet werden sollten. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die *STI*-Prüfverfahren im Hinblick auf die Arten von linearen und nichtlinearen Verzerrungen, für die sie geeignet sind.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Tabelle 1 – Vergleich der *STI*-Verfahren im Hinblick auf unterschiedliche Verzerrungsarten

Verfahren	Art der Verzerrung			
	Rauschen	Nachhall, Echos	Nichtlineare Verzerrung	Spektrale Verzerrung[a]
Direkt, vollständiger *STI*	ja	ja	ja	ja
Direkt, *STIPA*	ja	ja	bedingt	ja
Direkt, *STITEL*	ja		bedingt	ja
Indirekt, Anwendung von MLS	ja[b]	ja	nein	ja
Indirekt, Anwendung von Gleitsinus-signalen[c]	nein[d]	ja	nein	ja

ANMERKUNG Der Begriff „bedingt“ wird verwendet, um anzugeben, dass das jeweilige Prüfsignal genaue Ergebnisse hervorbringen kann oder auch nicht, je nach der genauen Verzerrungsart. Zum Beispiel kann das *STITEL*-Verfahren in nachhallenden Umgebungen angewendet werden, vorausgesetzt, die Nachhallzeit hängt nicht zum Großteil von der Frequenz ab. Ebenso kann das *STIPA*-Verfahren für Beschallungsanlagen eingesetzt werden, die nichtlineare Verzerrungskomponenten erzeugen, es sei denn, das Signal ist in verschiedenen Frequenzbändern stark begrenzt.

[a] Die Frequenzgänge des Übertragungskanals können einen subjektiven Verlust der Verständlichkeit hervorrufen, der in der Messung nicht berücksichtigt ist, siehe 4.5.8.

[b] Es darf keine Signalmittelung von Daten des Zeitbereichs erfolgen; und das Anregungsspektrum muss sprachförmig sein.

[c] Dazu gehört auch die Zeitbereich-Spektrometrie (en: Time Domain Spectrometry).

[d] Die Wirkung von Rauschen darf jedoch mathematisch berechnet werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

4.3 Anwendbarkeit des *STI*-Verfahrens

Tabelle 2 bietet einen Überblick darüber, welche Formen des *STI* für verschiedene Anwendungsarten empfohlen werden.

Tabelle 2 – Anwendbarkeit der Prüfung

Anwendung	Empfohlene Prüfung	Vollst. *STI*[a]	*STIPA*[a]	*STITEL*[a]	Grenzen	Alternative Lösung
Einschätzung der Eignung der Raumakustik für Sprachkommunikation (keine elektronische Verstärkung)	*STIPA*	+	+	+/-	Eignung von *STITEL* hängt von Nachhall ab	
Beurteilung von Beschallungs- und Sprachalarmanlagen	*STIPA*	+	++	+/-	Eignung von *STITEL* hängt von Nachhall und Echos ab	
Beurteilung von Telekommunikationskanälen (Telefon, Funk)	*STITEL*	+	+	++	*STITEL* besitzt größere Diagnoseleistung	
Sprachpegel bei Hörerpositionen höher als 90 dB(A)	*STIPA*	+	++	+		
Kanal weist Amplitudenkompression auf	*STIPA*	+	+	+		
Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Stimmen erfordert besondere Dämpfung	Vollst. *STI*	++	-	+	*STIPA* nicht für das weibliche Spektrum geeignet (nur für das männliche)	
Wesentliche Teile der Hörerpopulation sind Nichtmuttersprachler	*STIPA*	+	+	+	Norm-*STI*-Qualifikationsbezeichnungen (Kategorien) sind ungeeignet	*STI* kann wie üblich gemessen werden, sollte jedoch anders interpretiert werden (Anhang H)
Starke Mittenbegrenzung	–	-	-	-		keine
Stark schwankende Geräusche	*STIPA*	+/-	+/-	+/-		Mittelwertbildung aus mehreren *STI*-Messungen
Extreme Nachhallzeiten (>5 s) oder Sprache und Geräusche sind räumlich deutlich getrennt	*STI*	+	+/-	+/-	Derzeit sind die genormten Verfahren ungenau	Verwendung binauraler *STI* wird empfohlen
Kanäle, die keine künstlichen Prüfsignale zulassen, wie z. B. Vocoder	*STIPA*	+/-	+/-	+/-	Derzeit sind die genormten Verfahren ungenau	[b]Verwendung eines sprachbasierten *STI*-Prüfsignals

a ++ sehr gut geeignetes Verfahren; + gut geeignetes Verfahren; +/- geeignetes Verfahren; - kein geeignetes Verfahren

b Hierbei handelt es sich um ein direktes Verfahren, das in einer zukünftigen Ergänzung der Norm einbezogen werden kann.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

4.4 Anwendung direkter und indirekter Verfahren

In Tabelle 3 werden eine Reihe praktischer Fragen hinsichtlich der Verwendung direkter und indirekter Messverfahren verglichen.

Tabelle 3 – Anwendbarkeit der Prüfung

Gegenstand	Direktes Verfahren	Indirektes Verfahren
Nachbearbeitung	möglich	vorgeschrieben
Handgerät	möglich	möglich
Nichtlinearitäten von Amplituden	verringert die Zuverlässigkeit des Ergebnisses	verringert die Zuverlässigkeit des Ergebnisses
Nichtlinearitäten von Frequenzen (ungleichmäßiges Spektrum)[a]	möglich	möglich
Frequenzverschiebung	nicht möglich	nicht möglich
Geräuschunterdrückung	nein	ja
Synchronisation	$<\pm 20 \times 10^{-6}$	$<\pm 0{,}5 \times 10^{-6}$
[a] Weitere Einzelheiten siehe 4.5.8.		

4.5 Grenzen des *STI*-Verfahrens

Im Idealfall würde das *STI*-Verfahren alle für die Sprachverständlichkeit relevanten Veränderungen in einem Übertragungskanal widerspiegeln. Es ist jedoch wichtig zu erkennen, dass auch der *STI*-Modellierungsansatz eine Vereinfachung der menschlichen Wahrnehmung ist. Darüber hinaus unterscheidet sich das *STI*-Prüfsignal von der realen Sprache in feineren zeit- und spektrumbezogenen Aspekten, zum Beispiel:

– der Dynamikbereich von Sprache hängt von der Integrationszeit ab;
– Energieverteilung in jedem Zeitrahmen;
– Verteilung von Signalpegeln über die gesamte Länge eines Sprachsegments oder Prüfsignals (Perzentil-Überschreitungen);
– in dem Prüfsignal sind keine Lücken vorhanden;
– die Träger sind bei Sprache nicht nur auf die Modulation genormter Oktavbänder beschränkt;
– die Spektren einzelner Wörter und das festgelegte *STI*-Spektrum unterscheiden sich;
– spektrumbezogene Unterschiede zwischen verschiedenen Sprechern.

ANMERKUNG Das für *STI* festgelegte Sprachspektrum unterscheidet sich von dem durch ANSI festgelegten Spektrum [6].

Infolgedessen muss bei Anwendung des *STI* in bestimmten Situationen und bei möglichen (schmalbandigen) Übertragungskanälen mit Sorgfalt vorgegangen werden. In einigen Fällen wird die Verständlichkeit durch eine Verzerrung nur wenig beeinträchtigt, während der *STI* eine erhebliche Verringerung zeigt. In anderen Fällen, in denen der *STI* nur geringfügige Veränderungen zeigt, kann die Verständlichkeit stark herabgesetzt sein. In den folgenden Abschnitten sind mögliche Grenzen ausführlicher erläutert.

4.5.1 Frequenzverschiebung

Diese Art der Verzerrung kann auftreten bei:

– Abspielen eines digitalen Signals bei der falschen Abtastrate;
– Einrichtungen zur Vermeidung einer akustischen Rückkopplung;

Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

– Einseitenband-Rundfunkübertragungen.

Frequenzverschiebungen können sich stark auf den *STI* auswirken, während sie sich auf die Verständlichkeit im Allgemeinen nur wenig auswirken; das *STI*-Verfahren kann also die Verständlichkeit bei Systemen mit Frequenzverschiebungen zu gering einschätzen.

4.5.2 Zentralwertbegrenzung

Diese Verzerrungsart kann auftreten, wenn Teile eines Signals mit tiefem Pegel nicht getreu übertragen werden oder gedämpft werden. Dies könnte der Fall sein bei Verstärkern und korrodierten Steckern. Mit dem *STI*-Verfahren wird die Verständlichkeit von Systemen, die eine starke Zentralwertbegrenzung aufweisen, zu hoch eingeschätzt.

ANMERKUNG Zentralwertbegrenzung wird auch als Übernahmeverzerrung und Nullpunktfehler bezeichnet.

4.5.3 Ausfälle

Signalausfälle in regelmäßigen Abständen können aus Selektivschwundmustern bei drahtlosen Übertragungen und einer Verstümmelung digitaler Signale resultieren. Der *STI* ist dabei möglicherweise nicht sehr stark herabgesetzt, aber die Verständlichkeit kann sehr schlecht sein. Um Ausfälle zu kennzeichnen und wenn möglich eine Berechnung des *STI* mit beseitigten Ausfällen zuzulassen, wird eine Analyse der Feinstruktur des empfangenen Signals empfohlen.

4.5.4 Jitter

Zeitverschiebungen von Sprache, wie sie bei der digitalen Signalübertragung zum Ausgleich von Schwankungen der Übertragungsrate angewendet werden, haben keinerlei Auswirkungen auf die Verständlichkeit, können aber den *STI* erheblich herabsetzen, sodass mit dem *STI*-Verfahren die Verständlichkeit bei Systemen mit Jitter möglicherweise zu gering eingeschätzt wird.

4.5.5 Vocoder

Obwohl digitale Sprachverschlüsselungsgeräte kaum Einfluss auf die Verständlichkeit haben, neigt der *STI* dazu, je nach Art des verwendeten Codec erhöht zu sein. In Situationen mit geringer Verständlichkeit wird die Verwendung sprachbasierter Prüfsignale oder subjektiver Maße empfohlen.

Der *STI* sollte nicht zu Messungen bei Systemen wie etwa Vocodern angewendet werden, die Sprachsegmente codieren. Beispiele sind lineare prädiktive Codierungstechniken, die Codebuch-bezogene Synthese nutzen oder Fehler bezüglich der Folge stimmhafter/stimmloser Sprachteile und Tonhöhenfehler einbringen können.

4.5.6 Überschätzung des *STI* bei geringen Hintergrundgeräuschen

Es sollte beachtet werden, dass das *STI*-Modell so ausgelegt ist, dass es in jedem Oktavband von einem unendlichen Signal-Rausch-Verhältnis ausgeht, da die Hörrezeptionsschwelle in dem Modell als eine Hintergrundgeräuschquelle wirkt. Wenn die Hintergrundgeräuschpegel oder die Rezeptionsschwellenwerte während der Messungen oder Simulationen auf Null gesetzt werden, können die *STI*-Werte zu hoch ausfallen.

Dies ist zum Beispiel der Fall bei der mathematischen Untersuchung des *STI*-Verhaltens bei Veränderungen im Spektrum des Eingangssignals. Wenn eine *MTF*-Matrix mit jedem Wert auf Eins (d. h. keine Kontamination durch Nachhall oder Hintergrundgeräusche) mit einem Eingangssignal verwendet wird, das vom festgelegten Sprachspektrum abweicht, zeigt das *STI*-Ergebnis oft kaum eine Veränderung, selbst bei großen Veränderungen im Eingangsspektrum. Siehe [35].

Daher ist es von wesentlicher Bedeutung, dass *STI*-Vorhersagen und -Messungen stets einen Hintergrundgeräuschpegel berücksichtigen, der für die Anwendung geeignet ist. So sollten zum Beispiel bei Messungen mit einem akustischen Ausgang geeignete Hintergrundgeräusche wie auch die Sprachrezeptionsschwellen verwendet werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

4.5.7 Frequenzgang (Verdeckung)

Vorläufige Untersuchungen [20], [25], [26], [27], [35], [32] deuten darauf hin, dass der Frequenzgang des Übertragungskanals (der sich als die subjektive Tonbalance von Sprache äußert) bedeutend wichtiger für die subjektive Verständlichkeit ist, als durch *STI*-Messungen angegeben wird. Wenn der Frequenzgang nicht flach ist, ist es möglich, dass der *STI* im Vergleich zur subjektiven Verständlichkeit zu hohe Werte angibt.

Zum Beispiel wurde von Systemen berichtet, deren gemessene *STI*-Werte 0,5 überschritten und bei denen sich die subjektive Sprachverständlichkeit aufgrund des schlechten Frequenzgangs/der schlechten Tonbalance des Systems als unzureichend erwies. Eine Entzerrung zur Verbesserung des Frequenzgangs verbesserte die subjektive Verständlichkeit.

Unter Berücksichtigung dieser Grenze des *STI*-Verfahrens besteht eine geeignete Lösung zur Sicherstellung eines gleichmäßigen Amplitudengangs in einer getrennten Messung der Amplitude über dem Frequenzgang des Systems, bevorzugt bei einer höheren Auflösung als Oktavbandbreiten. Dennoch gibt es wesentliche Faktoren, die in derartigen Messungen nicht enthalten sein können:

– der aus Impulsantwortdaten abgeleitete Frequenzgang hängt in hohem Maße von der für die Messung verwendeten Zeitdauerdaten und dem auf diese Daten angewendeten Zeitfenster ab;

– es gibt kein Maß, das mit der subjektiv wahrgenommenen Tonbalance für verschiedene akustische Umgebungen hinreichend korreliert ist. Zum Beispiel ist in Situationen mit wenig Nachhall der Einfluss des Direktfeldverhaltens auf die Tonbalance typischerweise viel größer als in sehr stark hallenden Umgebungen, wo das Leistungsverhalten der Quelle dominanter wird;

– der Einfluss sich ändernder Sprecherpositionen auf den Frequenzgang des Mikrophons.

Die Messung des Frequenzgangs des Systems oder Kanals gibt jedoch das Vorhandensein einer begrenzten Bandbreite oder die Möglichkeit des Auftretens von spektraler Verdeckung an.

Einige Fachleute im Bereich Beschallungsanlagen haben angegeben, dass geringfügige Änderungen des Frequenzgangs von Beschallungsanlagen, die die hörbare Sprachfärbung verringern, den Grad der Konzentration verringern können, den ein Hörer aufbringen muss, um eine zufriedenstellende Verständlichkeit zu erreichen. Dies kann vor allem in Langzeithörsituationen oder im Fall eines nichtmuttersprachlichen Sprechers oder Hörers von Bedeutung sein. Beispiele für Färbungen umfassen das Vorhandensein schmaler Bandspitzen oder Resonanzen, bei denen sich Anpassungen an das System von bereits 1 dB über einer Bandbreite von bereits einer Terz als für die resultierende subjektive Verständlichkeit von Vorteil erwiesen haben.

4.5.8 Echos

Es hat sich gezeigt, dass in manchen Situationen hörbare Echos (späte Reflexionen) einen erheblichen Verlust der subjektiven Sprachverständlichkeit bewirken, während die entsprechenden gemessenen *STI*-Werte wesentlich höher sind, als aus der subjektiven Verständlichkeit zu schließen wäre.

Dieses Problem wird derzeit noch untersucht, siehe zum Beispiel [35].

Bei hörbaren Echos sollten andere diagnostische akustische Verfahren angewendet werden, um die Stärke des Echos zu messen und einzuschätzen.

4.5.9 Schnelle Amplitudenkompression und -expansion

Gemessene *STI*- und *STIPA*-Werte können immer dann geändert werden, wenn das Prüfsignal einer Kompression oder Expansion unterzogen wird. Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass mit einer entsprechenden Kompression oder Expansion nur geringfügige Veränderungen der subjektiven Verständlichkeit auftreten. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass Kompressionsschemata im Allgemeinen die wahrgenommene Tonbalance von Sprache verändern, was sich wiederum nachteilig auf die subjektive Sprachverständlichkeit auswirken kann.

Eine schnelle Kompression reagiert auf die Momentanamplituden-Hüllkurven eines Bereichs von Frequenzbändern. Mit dieser Kompression werden Signalpegelschwankungen über dem Kompressionsschwellenpegel

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

(Kniepunkt) entsprechend dem Kompressionsverhältnis verringert. Da eine Kompression den Dynamikbereich des Signals verringert, kann auch die Modulationstiefe verringert werden. Eine Expansion ist einfach eine umgekehrte Kompression.

Anderseits hat eine automatische Verstärkungsregelung eine schnelle Reaktionszeit, jedoch eine sehr langsame Regelzeit und verringert den kurzfristigen Dynamikbereich nicht.

Kompressions- und automatische Verstärkungsregelungstechniken werden häufig angewendet, um die Sprachverständlichkeit zu verbessern (z. B. für Hörgeschädigte mit einem begrenzten Dynamikbereich) und können auch in Beschallungsanlagen eingesetzt werden.

Es hat sich erwiesen, dass sich die mittels der Sprachrezeptionsschwelle (en: speech reception threshold) *SRT* gemessene Satzverständlichkeit um bis zu einer 4 dB entsprechenden Änderung des effektiven Signal-Rausch-Verhältnisses erhöht, wobei dies jedoch vom Umfang und der Art der Kompression abhängt.

Die Auswirkung der Kompression auf die Verständlichkeit bei hohen Signal- und Geräuschpegeln, zum Beispiel in Beschallungsanlagen, wird derzeit noch weiter untersucht.

4.5.10 Nichtlineare Verzerrung

Obwohl der *STI* verzerrungsempfindlich ist, ist das Ergebnis stark abhängig von dem angewendeten Messverfahren. Indirekte Verfahren können zum Beispiel in nichtlinearen Situationen ungültig werden. (Dies ist ausführlicher in Unterabschnitt 6.3 erläutert.)

4.5.11 Impulsartige und schwankende Geräusche

Bei *STI*-Messungen sollte zwischen zwei Arten von Hintergrundgeräuschen unterschieden werden:

– impulsartige Geräusche;

– schwankende Geräusche.

Impulsartige Geräusche und unerwünschte kurze Ereignisse, zum Beispiel das Herabfallen eines Hammers, führen zu ungenauen *STI*-Ergebnissen, besonders bei Schmalbandübertragung, sowie zu einer falschen Diagnose des Anteils von Frequenzbändern.

Schwankende Geräusche wie Stimmengemurmel oder Maschinen, die wiederholt ein- und ausgeschaltet werden oder zyklisch arbeiten, können zu Variationen des in wiederholten Messungen erhaltenen *STI*-Werts und außerdem zu einer erheblichen Unter- bzw. Überschätzung von Verständlichkeitsmessungen führen.

Es ist bekannt, dass die subjektive Verständlichkeit von Sätzen bei schwankenden Geräuschen größer ist als bei stationären Geräuschen mit gleichem zeitlich gemittelten Effektivwert am Ausgang [39].

Werden die *STI*-Messungen unter Vorhandensein von impulsartigen oder schwankenden Geräuschen durchgeführt, dann sollte das (in Abschnitt 6 beschriebene) Impulsantwortverfahren angewendet werden. Eine Signalmittelung mit MLS oder langen Sinus-Sweeps sollte angewendet werden, um die Geräusche aus den Messungen zu eliminieren; anschließend können die Abschwächeffekte des Geräusches wieder zu der Modulations-Übertragungsfunktion hinzugefügt werden, indem die „geräuschfreien“ *MTF*-Daten nachbearbeitet werden.

Bei Anwendung von Sinus-Sweeps zur Bestimmung des *STI* ist eine geräuschfreie Messung erforderlich. Aus praktischen Gründen gilt eine geräuschfreie Messung als dann gegeben, wenn das Signal-Rausch-Verhältnis in jedem Oktavband mindestens 20 dB beträgt. Unterabschnitt 7.8.2 enthält weitere Informationen.

4.6 Schlussfolgerung

Das *STI*-Verfahren ist im Allgemeinen ein vorsichtiger Ansatz und kann dazu führen, dass die Verständlichkeit bei einigen Anwendungen zu gering eingeschätzt wird.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

5. Direktes Verfahren zur Messung des *STI*

5.1 Überblick

Der *STI* kann entweder direkt unter Anwendung eines auf geeignete Weise modulierten Signals gemessen werden oder indirekt mittels mathematischer Manipulation der Impulsantwort eines Systems mit Hilfe der von Schroeder vorgeschlagenen Beziehung [40].

Im Rahmen der in [1], [2], [7], [8] und [9] beschriebenen Untersuchungen wurden die Grundlage und das Verfahren für den vollständigen *STI* entwickelt. Aus anschließenden Arbeiten sind die beiden aktuellen, vereinfachten Formen *STIPA* und *STITEL* entstanden, die kürzere Messzeiten erfordern. Der *RASTI* wurde ebenfalls entwickelt, ist mittlerweile jedoch veraltet.

Der vollständige *STI* (en: Full *STI*) besteht aus 98 separaten Prüfsignalen unter Anwendung von 14 unterschiedlichen Modulationsfrequenzen für sieben Oktavbänder. Jedes Prüfsignal enthält nur eine Modulationsfrequenz für nur einen Oktavband-Geräuschträger; die übrigen Oktavbänder enthalten kein Signal. Die Prüfsignale werden sequentiell erzeugt. Mit durchschnittlich 10 s je Prüfsignal dauert eine vollständige *STI*-Messung etwa 15 min. Eine alternative Version des vollständigen *STI*-Signals enthält zusätzlich zu der Modulationsfrequenz und dem zu prüfenden Oktavband zufällige Modulationen in den anderen Oktavbändern.

Der *STIPA* besteht aus nur einem Prüfsignal mit einer vordefinierten Menge von zwei Modulationen in jedem der sieben Oktavbänder. Die 14 Modulationen werden simultan erzeugt. Eine Messung dauert zwischen 10 s und 15 s.

Der *STITEL* besteht aus nur einem Prüfsignal mit einer vordefinierten Menge von sieben Modulationsfrequenzen, eine je Oktavband, die simultan erzeugt werden. Eine Messung dauert etwa 12 s. Der *STITEL* kann aufgrund seiner höheren Empfindlichkeit angewendet werden (siehe Anhang C), ist jedoch auf eine Anwendung nur durch Fachleute beschränkt.

Der *RASTI* besteht aus nur einem Prüfsignal mit einer vordefinierten Menge von neun Modulationsfrequenzen, die simultan erzeugt werden, fünf für das 2000 Hz-Oktavband und vier für das 500 Hz-Oktavband. Eine Messung dauert etwa 30 s. Der *RASTI* ist inzwischen zwar veraltet, der Vollständigkeit halber sind jedoch in Anhang D weitere Einzelheiten dazu angegeben.

In Tabelle 3 in Unterabschnitt 4.3 wird die Genauigkeit der beiden vereinfachten Prüfsignale mit der Genauigkeit des vollständigen STI unter verschiedenen Prüfbedingungen vergleichen.

Damit der *STI* die Betriebs-Signal-Rausch-Verhältnisse und den absoluten Sprachpegel berücksichtigt, sollte die mittlere Intensität des Prüfsignals mit dem normalen Sprachpegel in der Prüfposition äquivalent sein. Bei Anwendung des in Anhang J beschriebenen Verfahrens wird der $L_{A,eq}$ des Prüfsignals so eingestellt, dass er um 3 dB höher ist als der typische $L_{A,eq}$ der gemessenen kontinuierlichen Sprache an der Prüfposition (d. h. ein Korrekturfaktor von 3 dB muss hinzugegeben werden).

5.2 STIPA

Das *STI*-Prüfsignal kann vereinfacht werden, wenn die unkorrelierten (oder sprachähnlichen) Modulationen, die für die korrekte Interpretation nichtlinearer Verzerrungen erforderlich sind, weggelassen werden [16]. Dadurch sind eine simultane Modulation und eine parallele Verarbeitung aller Frequenzbänder möglich, wodurch sich die Messzeit verkürzt. Für jedes Oktav-Frequenzband wird die Modulations-Übertragungsfunktion für zwei Modulationsfrequenzen bestimmt.

Das in Anhang B beschriebene *STIPA*-Verfahren wendet diese Vereinfachung an und weist eine Messzeit von zwischen 10 s und 15 s auf. Das *STIPA*-Verfahren ist für eine Messung bei natürlicher Sprache (raumakustische Übertragung) sowie auch bei Beschallungsanlagen geeignet.

Die Bezeichnung *STIPA* bezieht sich speziell auf ein moduliertes, sprachförmiges Signal (beschrieben in Anhang B). Wird der *STIPA* aus einer Impulsantwort abgeleitet, muss dies deutlich angegeben werden, und

Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

es sollte die Bezeichnung *STIPA*(*IR*) verwendet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass das *STIPA*-Normsignal auf einem männlichen Sprachspektrum basiert.

Ohne spezifische Korrekturen lässt das *STIPA*-Verfahren keine zuverlässige Vorhersage der Sprachverständlichkeit für hörgeschädigte Hörer [17] oder Gehörschutzträger zu. Die Messung von Hörhilfesystemen oder -kanälen ist möglich, wobei spezifische Korrekturen ebenfalls erforderlich sein können [18].

5.3 Anwendung

Das direkte *STI*-Verfahren kann auf nahezu jeden digitalen, analogen, elektroakustischen und akustischen Sprachübertragungskanal angewendet werden. Mit dem ermittelten *STI*-Wert kann die Verständlichkeit unterschiedlicher Arten von Sprachmaterial für viele Übertragungssystemarten vorhergesagt werden.

Für alle Prüfungen, in denen auf diese Norm Bezug genommen wird, sollten die relevanten Parameter und Ergebnisse in einem Messberichtformular angegeben werden. Ein Beispiel für ein derartiges Formular ist in Anhang K angegeben.

5.4 Grenzen

Zusätzlich zu den Grenzen des in Abschnitt 4 beschriebenen *STI*-Verfahrens gibt es eine Anzahl anderer Einschränkungen, denen das direkte Verfahren zur Messung des *STI* unterliegt.

Da das Prüfsignal ein bandbegrenztes Rauschen oder Pseudorauschen ist, wird die Wiederholung der Messung üblicherweise keine identischen Ergebnisse liefern, nicht einmal bei stationären Störungen. Die Ergebnisse streuen mit einer bestimmten Standardabweichung um einen Mittelwert. Dies hängt neben anderen Faktoren von der Anzahl der diskreten Messungen der Modulations-Übertragungsfunktion (beim *STI*-Verfahren üblicherweise 98 bzw. 14 für das *STIPA*-Verfahren) und der gewählten Messzeit ab.

Der Wert der Standardabweichung beträgt beim vollständigen *STI* typischerweise ungefähr 0,02 *STI* für eine Messzeit von 10 s für jeden Modulationsindex $m(F)$ und mit stationärem Geräusch. Beim *STIPA*-Verfahren und einer Messzeit von 15 s beträgt die Standardabweichung für eine einzelne Messung etwa 0,03 *STI*.

Mit schwankendem Geräusch (z. B. Stimmengemurmel) darf eine höhere Standardabweichung auftreten, möglicherweise mit einem systematischen Fehler (systematische Abweichung). Dies kann durch eine Messung in Abwesenheit des Prüfsignals überprüft werden, wobei sich ein Rest-*STI*-Wert von weniger als 0,20 ergeben sollte. Eine Abschätzung der Standardabweichung sollte durch Wiederholen der Messungen für mindestens einen beschränkten Satz von Bedingungen durchgeführt werden.

Daher ist eine bewährte Praktik, aus den *STI*-Ergebnissen aus zwei oder drei Messungen für eine bestimmte Bedingung den Mittelwert zu bilden.

6 Indirektes Verfahren zur Messung des *STI* unter Anwendung der Impulsantwort

6.1 Überblick

Die Modulations-Übertragungsfunktion *MTF* – als die Basis des *STI* – kann auch aus der Impulsantwort eines Übertragungskanals berechnet werden, wobei der als Schroeder-Verfahren bekannte Prozess angewendet wird. Die Impulsantwort wird erfasst (üblicherweise mit Hilfe einer rechnergestützten Ausrüstung) und die *MTF* abgeleitet, aus der anschließend der *STI* berechnet wird.

Zur Berechnung der Modulations-Übertragungsfunktion $m_{f,k}$ bei der Modulationsfrequenz f im Oktavband k sollte die folgende Gleichung, bekannt als Schroeder-Gleichung, angewendet werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

$$m_{\mathrm{f,k}} = \frac{\left| \int_0^{\infty} h_{\mathrm{k}}(t) e^{-\mathrm{j}2\pi \mathrm{f}t} dt \right|}{\int_0^{\infty} h_{\mathrm{k}}(t) dt} \cdot \frac{I_{\mathrm{s,k}}}{I_{\mathrm{s,k}} + I_{\mathrm{n,k}}}$$

Dabei ist

$h_{\mathrm{k}}(t)$ die Impulsantwort von Oktavband k;

f die Modulationsfrequenz;

$I_{\mathrm{n,k}}$ die Schallintensität des Hintergrundgeräusches in Oktavband k;

$I_{\mathrm{s,k}}$ die Schallintensität des *STI*-Signals in Oktavband k.

Das Schroeder-Verfahren ist nur auf lineare, zeitinvariante Systeme anwendbar.

Die Anwendung dieses Verfahrens setzt ein erhebliches Maß an Erfahrung voraus, da das Messsystem die Einstellung einer Vielzahl von Parametern zulässt, die das Endergebnis beeinflussen können.

Darüber hinaus ist dieses Verfahren auf die vereinfachten Formen des *STI* anwendbar. Da die Verarbeitungszeit bei dieser Technik relativ kurz ist, wird empfohlen, den vollständigen *STI* zu berechnen, wobei sich jedoch die Berechnung der kürzeren Ableitungen des *STI* als nützlich erweisen kann.

Aus Messungen der Impulsantwort abgeleitete *STIPA*-Werte sind als *STIPA* (*IR*) zu kennzeichnen.

6.2 Anwendung

Bei Ableitung von *STI*-Werten aus Impulsantwort-Messungen ist es üblich, eine „geräuschfreie“ Messung durchzuführen und diese dann um die Auswirkungen von Hintergrundgeräusch und Sprachpegel zu korrigieren. Es stehen jedoch Techniken zur Verfügung, die es ermöglichen, die Auswirkungen von Hintergrundgeräuschen direkt zu berücksichtigen, zum Beispiel durch Anwendung eines sprachförmigen MLS-Signals ohne Mittelwertbildung. Messverfahren zur Bestimmung der Impulsantwort müssen unter anderem die folgenden Anforderungen erfüllen, wobei weitere Informationen in ISO 18233 angegeben sind:

a) Messungen der Impulsantwort sind nach ISO 18233 vorzunehmen;

b) die Länge der erfassten Impulsantwort muss ausreichend sein (mindestens 1,6 s, jedoch nicht kürzer als die Nachhallzeit des Raums);

c) um eine „geräuschfreie“ Impulsantwort zu erzeugen, sollte ein Signal-Rausch-Verhältnis von mindestens 20 dB in allen sieben Oktavbändern erhalten werden. Sofern erforderlich, kann dazu eine Signalmittelung erfolgen;

d) die Anwendung von Anregungssignalen mit einem weißen Frequenzspektrum (z. B. bei Zeitverzögerungsspektrometrie (en: Time Delay Spectrometry, TDS) oder Maximalfolgen (en: Maximum Length Sequences, MLS)) sollte unter normalen Bedingungen vermieden werden, es sei denn, der Hintergrundgeräuschpegel ist sehr niedrig. Ein rosa Frequenzspektrum (-3 dB/Oktave; rosa Rauschen oder logarithmischer Sinus-Sweep) ist im Allgemeinen besser geeignet, wobei jedoch auch ein sprachförmiges MLS-Signal ohne Mittelwertbildung angewendet werden kann, um die Auswirkung des Hintergrundgeräusches auf den *STI* direkt zu messen;

e) impulsartige Signale wie zum Beispiel die Dirac-Funktion sind bei signifikant vorhandenen Hintergrundgeräuschen, Bandbegrenzungen und nichtlinearen Verzerrungen (Schallverteilungssystemen) im Allgemeinen nicht geeignet, da das mittlere Sprachspektrum und die Pegelverteilung im Prüfsignal nicht vertreten sind;

f) das Impulsantwort-Verfahren ist nur anwendbar auf lineare, zeitinvariante Systeme. Wenn der Übertragungskanal Funktionen mit nichtlinearer Signalverarbeitung aufweist, sollten diese Funktionen während der Messung der Sprachverständlichkeit überbrückt werden. Wenn zum Beispiel der effektive Wiedergabe-Schalldruckpegel durch einen nichtlinearen Anstieg der Signaldynamik verringert wird, muss

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

dies durch separate Messung des maximalen Schalldruckpegels und durch Vornehmen einer entsprechenden Korrektur berücksichtigt werden;

g) Zeitvarianzen aufgrund von Luftbewegungen (Wind) oder klimatischen Veränderungen während des Messprozesses müssen vermieden werden (sie behindern außerdem die Mittelwertbildung über längere Zeiträume). Die mittlere Windgeschwindigkeit während MLS-Messungen sollte zum Beispiel 4 m/s nicht überschreiten. Messungen mit Maximalfolgen (MLS) sind in dieser Hinsicht anfälliger als Messungen mit Sinus-Sweeps;

h) es sollte sichergestellt werden, dass sich die an der Übertragung von Schall beteiligten Komponenten (Lautsprecher, Raumflächen, Reflektoren, Messmikrophon, Personen) während des Messzyklus nicht bewegen;

i) unter kritischen Bedingungen muss die Vergleichpräzision der Messergebnisse durch wiederholte Messungen nachzuweisen;

j) die Auswirkung des Hintergrundgeräusches (L_n) und des Betriebssprachpegels (L_s) in jedem Oktavband k muss durch Nachbearbeitung in das Ergebnis integriert werden (siehe Anhang M).

6.3 Grenzen (nichtlineare Verzerrung)

Zusätzlich zu den in Abschnitt 4 beschriebenen Grenzen des *STI*-Verfahrens gibt es eine Reihe weiterer Grenzen des Impulsantwort-Verfahrens zur Messung des *STI*, unter denen nichtlineare Verzerrungen besonders bedeutend sind.

Verzerrungen des Messsignals sollten vermieden werden, da das indirekte Verfahren die Verzerrungseffekte nicht korrekt berücksichtigt. Wenn dieses Verfahren angewendet wird, hängt die Verzerrungsempfindlichkeit stark von dem angewendeten Messverfahren ab [32, 33]. Verfahren, die auf einer Fourier-Transformation beruhen, gelten zum Beispiel nur für lineare Systeme.

Daher ist kritisch zu analysieren, wie die Impulsantwort erhalten und möglicherweise durch Nichtlinearitäten im Übertragungssystem beeinflusst wurde, vor allem, weil in der Praxis Systemkomponenten an den Grenzen ihres Leistungsbereichs betrieben werden können. Bei Anwendung von Sinus-Sweep-Techniken erscheinen die nichtlinearen Verzerrungskomponenten am Ende der rückgewonnenen Impulsantwort und können so schnell beurteilt werden. Bei Anwendung eines MLS-Signals erscheinen Verzerrungskomponenten eher als Geräusch und sind nicht so leicht zu unterscheiden. Gleichstromkomponenten und Zeit-Aliasing-Artefakte treten als „Vorankünfte“ (Vorechos) vor Ankunft des Signals auf. Die Kohärenz einer Impulsantwort-Messung sollte überprüft werden. Daten mit einer Kohärenz von unter 0,5 sollten im Allgemeinen verworfen oder zumindest mit Vorsicht betrachtet werden.

Bei Anwendung einer Sinus-Sweep-Technik müssen die spät ankommenden Verzerrungskomponenten, die Bestandteil des Verfahrens sind, aus der Impulsantwort ausgeblendet oder beseitigt werden, bevor mit der Berechnung des *STI* begonnen werden kann.

7 Messverfahren, Nachbearbeitung der Daten und Anwendungen

7.1 Allgemeines

Obwohl *STI*-Messungen normalerweise akustisch durchgeführt werden, ist es in bestimmten Situationen nicht immer möglich oder notwendig, akustische Anregung zu nutzen oder akustische Messungen durchzuführen. Wenn zum Beispiel unterschiedliche Systeme im Hinblick auf ihre Sprachübertragungsqualität bewertet werden oder weitere diagnostische Informationen erforderlich sind, kann das Prüfsignal elektrisch eingespeist und/oder empfangen werden.

Von wesentlicher Bedeutung ist, dass bei jeder Nachbearbeitung der *MTF*-Matrix ein realistischer Hintergrundgeräuschpegel verwendet wird [35]. Wenn der Ausgang akustisch ist, muss die Hörrezeptionsschwelle als Minimum verwendet werden.

Alle relevanten Parameter sollten in einem Messbericht angegeben werden. Ein Beispiel für einen derartigen Bericht ist in Anhang K gegeben.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

7.2 Akustische Einspeisung

Durch Anlegen des Prüfsignals an das Mikrophon des zu prüfenden Systems über einen speziellen Lautsprecher (siehe unten) wird sichergestellt, dass Faktoren an der Mikrophonposition, die die Verständlichkeit herabsetzen könnten (zum Beispiel Umgebungsgeräusche oder Rückkopplung), mit berücksichtigt werden. Darüber hinaus verfügen einige elektroakustische Systeme über keine alternative Möglichkeit zur Einspeisung des Prüfsignals. Da es für diese Vorgehensweise erforderlich ist, das Prüfsignal akustisch zu reproduzieren, ist es notwendig, einen speziellen Lautsprecher zu verwenden (z. B. einen künstlichen Mund), der einen natürlichen Sprecher emuliert.

Die korrekte Anpassung des Prüfsignalspektrums an das Norm-Sprachspektrum ist auch für eine elektrische Einspeisung des Prüfsignals erforderlich. Bei Anwendung des direkten Verfahrens ist dazu das genormte Prüfsignal zu verwenden.

Folgende Vorgehensweise sollte angewendet werden:

a) Überprüfen der Integrität des Prüfsignals (z. B. mittels einer Schleifenmessung). Dies ist vor allem dann wichtig, wenn das Prüfsignal von einem CD-Player erzeugt wird, obwohl auch PCM-Erzeuger (zum Beispiel .wav-Datei-Erzeuger) überprüft werden sollten. (Digital komprimierte Signalformate wie MP3 sollten im Normalfall nicht verwendet werden, obwohl sich gezeigt hat, dass Kompressionsschemata mit mindestens 128 kbit/s ohne offensichtlichen Fehler arbeiten). Weitere Informationen sind [20] zu entnehmen;

b) Überprüfen, ob der Frequenzgang der Prüfsignalquelle (künstlicher Mund oder geeignete Prüflautsprecher) bei Messung in einem freien Feld (reflexionsfrei) innerhalb von ±1 dB über dem Sprachfrequenzbereich liegt, und zwar für eine der folgenden Messtechniken:

   – über einen Bereich von 88 Hz bis 11,3 kHz unter Anwendung des vollständigen *STI* oder MLS oder eines anderen Impulsantwort-Messsignals (die Grenzen der 125-Hz- und 8-kHz-Oktavbänder) oder

   – einzelne Oktavbandpegel über den Bereich von 125 Hz bis 8 kHz bei Verwendung eines *STIPA*-Signals.

ANMERKUNG Für eine indirekte Messung wird der von einer MLS- oder anderen Impulsantwort-Messung abgeleitete Frequenzgang verwendet, um ein Oktavbandspektrum zu berechnen.

   Erforderlichenfalls ist zur Erfüllung dieser Anforderung die Entzerrung (sofern vorhanden) des künstlichen Mundes oder Prüflautsprechers anzupassen.

c) die Quelle ist auf der Achse des entsprechenden Mikrophons in der entsprechenden Sprecherposition/ dem entsprechenden Sprecherabstand aufzustellen und in die übliche Sprechrichtung zu richten.

   Ist kein künstlicher Mund vorhanden, darf ein geeigneter Wandler, zum Beispiel ein kleiner hochqualitativer Lautsprecher mit nur einem Lautsprecherchassis (Konusdurchmesser kleiner als 100 mm) benutzt werden, der mit den Ergebnissen zu beschreiben ist;

ANMERKUNG Allgemein hängt die Sprachverständlichkeit in einem Hörraum von der Richtwirkung der Schallquelle ab; deshalb sollte, wenn die Verständlichkeit von unverstärkten Sprechern beurteilt wird, für höchste Genauigkeit ein künstlicher Mund mit ähnlichen Eigenschaften wie der menschliche Kopf/Mund (siehe ITU-T Recommendation P.51) benutzt werden. Die Richtungsmerkmale der Prüfquelle (ein Lautsprecher, der einen Sprecher simuliert, oder ein Mundsimulator) können jedoch von erheblicher Bedeutung sein bei Messungen in großen oder hallenden Räumen oder wenn in einem gewissen Abstand zum Sprecher ein Aufnehmer-Mikrophon angeordnet ist [18, 19].

Wenn Sprache durch eine Beschallungsanlage weitergeleitet wird, ist ein Simulator möglicherweise nicht erforderlich. Ist das Quellenmikrophon jedoch entweder in einer hallenden oder lauten Umgebung angeordnet oder wird ein Nahbesprechungs- oder Rauschunterdrückungsmikrophon verwendet, sollte ein Sprecher- oder ein Mundsimulator eingesetzt werden.

d) der Prüfsignalpegel an der Mikrophonposition ist auf den Betriebssprachpegel einzustellen, der im System verwendet werden wird. Der Sprach- und der Prüfsignalpegel müssen nach dem in Anhang J beschriebenen Verfahren angepasst werden.

ANMERKUNG Diese Prüfung führt wahrscheinlich zu einer Belastung des Verstärkers. Siehe 14.9 von IEC 60268-3. Es kann sich als günstig erweisen, das Prüfsignal zum Beispiel für 1 min anzulegen, gefolgt von mehreren Minuten ohne Signal, damit eine Abkühlung erfolgen kann.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Liegt keine korrekte Anpassung zwischen dem Prüfsignalpegel und dem Betriebssprachpegel vor, sollte ein äquivalenter Vorgabepegel von 60 dBA 1 m vor dem künstlichen Mund oder Prüflautsprecher als Quelle verwendet werden.

Kleinere Sprecherabstände führen typischerweise zu Sprachpegeln von etwa 80 dBA bis 88 dBA für Handmikrophone (Abstände von 2 cm bis 5 cm), während sich für Schwanenhalsmikrophone (Abstände von 5 cm bis 10 cm) Sprachpegel von etwa 74 dBA bis 80 dBA ergeben;

e) die Prüffolge des *STI*-, *STIPA*- (oder *STITEL*-)Verfahrens ist anzuwenden. Üblicherweise sollte, wenn verfügbar, die Möglichkeit „mit Rauschen“ gewählt werden;

f) wird zur Messung der Impulsantwort ein MLS-Signal verwendet und müssen Hintergrundgeräusche berücksichtigt werden, sollte das Anregungsspektrum durch geeignetes Filtern an das Norm-Sprachspektrum angepasst werden. Die Signalmittelung sollte deaktiviert werden, oder es sollte eine Einzelfolge angewendet werden [4];

g) werden zur Bestimmung der geräuschfreien Impulsantwort Sinus-Sweeps, MLS oder TDS genutzt, müssen auf die geräuschfreie Modulations-Übertragungsfunktion geeignete Anpassungen an den Sprach- und den Geräuschpegel sowohl an der Mikrophon- als auch an der Empfängerposition angewendet werden;

h) das Prüfsignal muss so in das System eingespeist werden, dass sichergestellt ist, dass alle Signalverarbeitungskomponenten, die für die Sprachwiedergabe relevant sind (Entzerrer, Signalverzögerungen usw.) während des Messprozesses ordnungsgemäß berücksichtigt werden.

7.3 Akustischer Ausgang

Das Messgerät (Mikrophon/künstliches Ohr/Kopfsimulator) ist im Hinblick auf Empfindlichkeit, Toleranz und Frequenzgang akustisch zu kalibrieren. Messungen sind in der normalen Hörerposition und -höhe durchzuführen.

7.4 Elektrische Einspeisung

Es ist auf die oben beschriebe Weise vorzugehen, wobei Schritt d) durch den unten beschriebenen Schritt zu ersetzen ist und der Einspeisepunkt für das Signal möglichst nahe am normalen Mikrophoneingang gewählt wird, um einen möglichst großen Teil des Systems in der Prüfung zu berücksichtigen.

Das *STI*-Prüfsignal am Einspeisepunkt ist so einzustellen, dass es dem Sprachpegel an dieser Stelle entspricht. Der Sprachpegel wird bestimmt mit Hilfe des in Anhang J beschriebenen Sprachpegel-Messverfahrens.

7.5 Elektrischer Ausgang

Da am elektrischen Ausgang keine akustischen Bedingungen beteiligt sind, müssen Höreffekte wie Verdeckung und die Empfangsschwelle am Messgerät deaktiviert werden. Ist dies nicht möglich, muss der elektrische Eingang am Messgerät so eingestellt werden, dass er einen Schalldruckpegel simuliert, der deutlich über der Empfangsschwelle, aber unter einem Punkt liegt, ab dem die pegelabhängige Verdeckung in den *STI*-Ergebnissen erkennbar ist. Breitbandausgangspegel sollten A-bewertet sein und dann als Spannungspegel, z. B. dB(V)A, und nicht als dBA *SPL* im Bericht angegeben werden.

7.6 Beispiele für Kombinationen von Eingang/Ausgang

7.6.1 Akustischer Eingang – akustischer Ausgang

Im normalen *STI*-Messaufbau für Beschallungsanlagen und Hörsäle wird eine Schallquelle verwendet, um das *STI*-Prüfsignal akustisch zu erzeugen. Der Prüfsignalpegel wird kalibriert und entspricht dem Nenn-Sprachpegel. Ein situationsabhängiger und repräsentativer Sprechabstand sollte gewählt werden, siehe dazu die Beschreibung in 7.2. An der Empfängerposition wird ein kalibriertes *STI*-Messgerät verwendet, um den *STI* des Übertragungskanals zu bestimmen.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

7.6.2 Elektrischer Eingang – elektrischer Ausgang (z. B. Beurteilung von kabelgebundenen und kabellosen Kommunikationssystemen)

Rein elektrische *STI*-Messungen werden im Allgemeinen durchgeführt, um unterschiedliche Kommunikationssysteme hinsichtlich ihrer Sprachübertragungsqualität zu bewerten und nicht, um einen absoluten Wert für die Sprachverständlichkeit zu erhalten. Es empfiehlt sich, diese Messungen bei unterschiedlichen Eingangssignalpegeln durchzuführen (z. B. von –10 dB bis +10 dB bezogen auf den Bezugs-Betriebspegel), um Informationen zum Einfluss des Dynamikbereichs, des Störpegels und der Signalverarbeitungsfähigkeiten auf die Sprachverständlichkeit zusammenzutragen. Diese Arten von Messungen werden wahrscheinlich an kabelgebundenen oder kabellosen Sprachübertragungssystemen durchgeführt (Telefonleitungen, Funkverkehrsysteme).

7.6.3 Akustischer Eingang – elektrischer Ausgang (z. B. Beurteilung von Mikrophonen)

Um Mikrophone hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Verständlichkeit zu vergleichen, sollte der *STI*-Prüfsignalpegel am Mikrophon nach 7.2 kalibriert werden. Messungen werden in Kombination mit dem entsprechenden Umgebungsgeräuschspektrum und in Abhängigkeit vom Geräuschpegel durchgeführt, um das Rauschunterdrückungsverhalten des Mikrophons zu bestimmen. Bevorzugt sollten die Messungen bei unterschiedlichen „Sprach“-Pegeln erfolgen, um die Auswirkung einer gesenkten oder erhobenen Stimme auf die Verständlichkeit zu untersuchen.

ANMERKUNG Bei Messung des *STI* speziell von Hörhilfesystemen und Induktionsschleifensystemen (en: Audio Frequency Induction Loop System, AFILS) können besondere Verfahren erforderlich sein [18]. Ein Großteil der in Abschnitt 7 gegebenen Hinweise trifft jedoch zu.

7.6.4 Elektrischer Eingang – akustischer Ausgang (z. B. Beurteilung von Beschallungsanlagen)

Um unterschiedliche Wandler (Lautsprecher, Hör-Sprech-Garnituren) miteinander zu vergleichen, kann das *STI*-Prüfsignal elektrisch eingespeist werden. Das Prüfsignal muss an der Hörerposition mit einem akustischen Pegel wiedergegeben werden, der für den Normalbetrieb repräsentativ ist.

Bei einer Beschallungsanlage oder einem ähnlichen Schallverteilungssystem sollten die Messungen für eine repräsentative Anzahl von Positionen erfolgen. Eine einfache Mittelwertbildung aus den Ergebnissen kann in die Irre führen. Ein besseres Verfahren, das die räumliche Variation der Ergebnisse berücksichtigt, ist der durch Berechnung der mittleren Messdaten abzüglich einer Standardabweichung erhaltene Wert. Dieser wird mitunter auch als die „Bewertung des Raums“ bezeichnet und gibt an, dass eine gegebene Position statistisch eine Wahrscheinlichkeit oder ein Vertrauensniveau von 84 % in Bezug auf das Erreichen eines bestimmten Sollwerts (unter Annahme einer Gaußschen Verteilung) besitzt. Ein genaueres Verfahren ist das Auftragen der vollständigen statistischen Verteilung der Ergebnisse. Dies lässt sich auf günstige Weise durch eine Auflösung der Verteilung von 0,04 *STI* umsetzen, da so die typische Variation der Messergebnisse berücksichtigt werden kann und ein Bezug zu den in Anhang F vorgestellten Qualifikationsbändern hergestellt wird.

7.7 Nachbearbeitung gemessener *MTF*-Daten

An gemessenen *MTF*-Daten kann eine Reihe von Korrekturen vorgenommen werden:

– Beseitigung von Geräuschen („Entrauschen“) aus einer gemessenen *MTF*;
– Hinzunahme eines Publikumsgeräuschpegels und -spektrums;
– Berücksichtigung der Hörrezeptionsschwelle;
– Anpassung von Sprachpegel und -spektrum;
– Korrektur hinsichtlich unterschiedlicher Nachhallzeiten.

Die Auswirkung von Publikumsgeräusch kann wie folgt bestimmt werden:

a) entweder durch manuelle Eingabe der Geräuschdaten in die von der Messeinrichtung verwendete Geräuschdatentabelle oder

Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

b) durch Mischen eines künstlichen oder aufgezeichneten Geräuschsignals mit korrektem spektralen Inhalt und Pegel entweder auf das direkte Eingangssignal für den Analysator oder auf ein aufgezeichnetes Signal.

Anhang N enthält ein Beispiel für das Entrauschen einer gemessenen *MTF*-Matrix und das Hinzugeben von Publikums- und gewünschten Sprachpegeln. Für diesen Vorgang werden die in Anhang A aufgeführten Gleichungen angewendet.

7.8 Geräuschbezogene Aspekte

Wie bei allen linearen Systemen ist der Einfluss von Verzerrungen wie zum Beispiel Nachhall unabhängig vom Amplitudengang. Demzufolge ist die einzige Variable, die vom Signalpegel abhängt, das Signal-Rausch-Verhältnis in jedem Oktavband. Daher kann das *STI*-Verfahren gegenüber Veränderungen des Amplituden-Frequenzgangs des Übertragungskanals relativ unempfindlich sein, besonders bei niedrigen Hintergrundgeräuschpegeln.

Werden niedrige Hintergrundgeräuschpegel zu der *MTF*-Matrix hinzugezählt, die die Geräuschpegel repräsentieren, welche in der Praxis bei Verwendung eines elektroakustischen Systems auftreten würden, zeigt der Gesamt-*STI* eine größere Empfindlichkeit gegenüber Änderungen des Eingangsspektrums.

Eine im Wesentlichen geräuschfreie Situation, in der nur die Hörschwelle eine Restgeräuschquelle darstellt, ist für die meisten Praxisfälle üblicherweise keine realistische Annahme. Selbst in ruhigen Umgebungen wie zum Beispiel Bibliotheken oder Gerichtssälen ist ein Restgeräuschpegel von 25 dB SPL bis 35 dB SPL nicht ungewöhnlich und sollte berücksichtigt werden. Dies lässt sich durch Anwendung eines geeigneten Kriteriums erreichen, zum Beispiel NCB-, RC- oder NR-Kurven (siehe [36]).

Unerwünschte kurze Ereignisse (zum Beispiel impulsartige Geräusche) können durch Analyse der Signalstatistik nachgewiesen werden. Ist das verbleibende Signal unzureichend, sollte der Anwender die *STI*-Messung mit physisch beseitigter Geräuschquelle wiederholen oder das indirekte Verfahren und Mittelungstechniken anwenden.

Schwankende Geräusche werden durch Messung des *STI* unter Abwesenheit des Prüfsignals nachgewiesen. Ist der *STI* zu hoch (*STI* >0,2), können die Messergebnisse fehlerhaft sein. Bevorzugt sollte die *STI*-Messung ohne Vorhandensein des Geräusches durchgeführt werden. Anschließend sollte das Geräusch separat gemessen (siehe 7.8.1) und der *STI* mathematisch errechnet werden.

7.8.1 Messung des Hintergrundgeräusches

Um eine *STI*-Messung im Hinblick auf Hintergrundgeräusche zu korrigieren, ist es erforderlich, das Hintergrundgeräusch genau zu charakterisieren. Der äquivalente Schalldruckpegel (L_{eq}) des Hintergrundgeräusches in jedem der sieben Oktavbänder (125 Hz bis 8 kHz) sollte über einen ausreichend langen Zeitraum gemessen werden. Die Positionen, die Dauer und die Zeiten der Messung müssen zusammen mit Anmerkungen zu ungewöhnlichen Umständen, die die Gültigkeit der Messungen beeinträchtigen können, aufgezeichnet werden.

Es sollte beachtet werden, dass es für die hier beschriebene Korrekturrechnung nicht ausreicht, einen einzelnen Breitbandwert für das Hintergrundgeräusch (z. B. $L_{A,eq}$) zu bestimmen und in Beziehung zu einem einzelnen Breitbandwert für das Sprachsignal (d. h. den Betriebssprachpegel) zu setzen.

7.8.2 Schwankende Geräusche

Wenn ein schwankendes Geräusch nicht beseitigt werden kann, sollte sein Einfluss auf ein Mindestmaß reduziert werden, indem das Signal so lange verstärkt wird, bis es mindestens 15 dB über dem Geräuschpegel in jedem Oktavband liegt. Aus den Modulationsindizes ist auf der Grundlage der ursprünglichen Signalpegel vor der Verstärkung der *STI* zu berechnen. Dieses Verfahren setzt gewisse rechnerische Fähigkeiten voraus.

Wenn der Einfluss des schwankenden Geräusches nicht reduziert werden kann, sollten die Messungen mindestens dreimal wiederholt werden, bevor der Mittelwert des *STI* gebildet wird. Die Anzahl der

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Wiederholungen sollte die Spanne des *STI* abdecken, die für die jeweilige Art der Geräuschänderungen zu erwarten ist. Ist die Spanne kleiner als 0,03 *STI*, sind keine Wiederholungen erforderlich.

Die Interpretation der Sprachverständlichkeit unter schwankenden Spannungen ist äußerst schwierig und liegt derzeit außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm. Es hat sich jedoch gezeigt, dass Hörer auf Sprache in den Lücken zwischen dem schwankenden Geräusch hören und eine höhere Verständlichkeit empfinden, als mit dem *STI* auf der Basis des L_{eq} des schwankenden Geräusches vorhergesagt wird.

7.9 Analyse und Interpretation der Ergebnisse

Es ist wichtig, die *MTF*-Daten in jedem Oktavband zu untersuchen, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu bestimmen.

– Konstante oder leicht verringerte Modulationswerte in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz deuten darauf hin, dass das Geräusch der dominante Mechanismus ist;

– Modulationswerte, die mit der Modulationsfrequenz monoton fallen, geben an, dass der Hauptmechanismus der Nachhall ist;

– Werte, die sich anfangs verringern und dann mit der Modulationsfrequenz steigen, geben das Vorhandensein starker Reflexionen an, die erst später als 50 ms ankommen, was eine zu optimistische Schlussfolgerung hinsichtlich der Verständlichkeit zur Folge haben kann. Es wird empfohlen, diesen Effekt, sofern er festgestellt wird, zusammen mit dem Ergebnis im Bericht anzugeben.

7.10 Binaurale *STI*-Messungen

Obwohl der *STI* ein hinreichend akzeptiertes und genormtes Verfahren zur Vorhersage der Verständlichkeit ist, beruht das *STI*-Modell im Wesentlichen auf monauralem Hören. Die Vorteile des binauralen Hörens für die Sprachverständlichkeit werden von dem Modell nicht berücksichtigt.

Subjektiv könnte der binaurale Vorteil signifikant sein, allerdings stehen keine eindeutigen Messverfahren zur Verfügung. Das derzeitige *STI*-Verfahren kann zu einer Unterschätzung der Verständlichkeit führen, besonders, wenn Sprache und Geräusch aus unterschiedlichen Richtungen beim Empfänger eintreffen. Dieses Problem wird derzeit untersucht.

Bei Durchführung von binauralen *STI*-Messungen mit Hilfe eines Kunstkopfes wird empfohlen, die *STI*-Ergebnisse für das bessere Ohr zu verwenden. Weitere Informationen siehe [23].

8 Nutzung des *STI* als Auslegungs-Vorhersagewerkzeug

8.1 Überblick

Während der Auslegungsphase einer Beschallungsanlage ist es sinnvoll, die *STI*-Leistung aus den vorhergesagten raumakustischen Parametern vorherzusagen. Dazu stehen zwei Verfahren zur Verfügung:

– Berechnung auf der Grundlage eines vorhergesagten Direktfelds in Kombination mit einer exponentiellen Nachhallabnahme und einfachen elektroakustischen Parametern. Hier dürfen statistisch berechnete Nachhallzeiten verwendet werden;

– Vorhersage auf der Grundlage einer simulierten Impulsantwort des Systems im akustischen Raum.

8.2 Statistische Vorhersagen

Die Vorhersage der *STI*-Leistung einer Beschallungsanlage muss auf der *MTF*-Matrix beruhen, die berechnet wird aus den vorhergesagten raumakustischen und elektroakustischen Parametern und den gemessenen oder geschätzten Hintergrundgeräuschpegeln für jedes Oktavband, die zu der gewählten *STI*-Version beitragen. Bei den Berechnungen ist das Verfahren nach Houtgast et al. [24] anzuwenden, das in Anhang L vorgestellt ist.

Auf die *MTF*-Matrix sind die in Tabelle A.3 angegebenen *MTI*-Bewertungsfaktoren anzuwenden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Wenn die Vorhersage mit Hilfe handelsüblicher Software erfolgt, muss Folgendes zusammen mit den Ergebnissen angegeben werden:

– dass eine statistische Schätzung unter Anwendung des Verfahrens nach Houtgast et al. 1980 vorgenommen wurde;

– dass der *STI* unter Anwendung entsprechender männlicher oder weiblicher Bewertungsfaktoren berechnet wurde;

– die *MTI*-Werte in jedem Oktavband.

Es ist zu beachten, dass

– der *RASTI* nicht als Angabe des vorhergesagten *STI* verwendet werden darf;

– der *STI* nicht durch Umrechnung eines %Alcons-Werts des Konsonantenverlusts geschätzt werden darf;

– das Verfahren der statistischen Vorhersage blind ist gegenüber den Auswirkungen starker diskreter verfrühter und verspäteter Signalankünfte und den möglichen Verlust der Verständlichkeit aufgrund eines schlechten Frequenzgangs.

8.3 Vorhersage aus simulierter Impulsantwort

Bei der Vorhersage des *STI* aus einer simulierten Impulsantwort ist wie folgt vorzugehen:

a) mit Hilfe der Schroeder-Gleichung (siehe 6.1) ist die *MTF*-Matrix zu berechnen. Die Impulsantwort muss mindestens 1,8 s andauern, um eine zuverlässige Berechnung der Modulationsindizes für die niedrigste Modulationsfrequenz von 0,63 Hz sicherzustellen;

b) anschließend sind entweder die Hörrezeptionsschwellen oder die gemessenen bzw. geschätzten Hintergrundgeräusch-Schalldruckpegel für jedes Oktavband in die *MTF*-Matrix einzugeben;

c) auf die *MTF*-Matrix sind die in Tabelle A.1 aufgelisteten Hörverdeckungskorrekturen anzuwenden;

d) auf die *MTI*-Werte sind die in Tabelle A.3 angegebenen Oktavband-*MTI*-spezifischen männlichen und weiblichen Bewertungsfaktoren anzuwenden;

e) das genormte Sprachspektrum und der Betriebssprachpegel wurden angewendet.

Zusammen mit den Ergebnissen ist Folgendes anzugeben:

– dass der *STI* aus einer Modulations-Übertragungsfunktion berechnet wurde, die aus einer vorhergesagten Impulsantwort mit den entsprechenden angewendeten männlichen bzw. weiblichen Bewertungsfaktoren abgeleitet wurde;

– die Hintergrundgeräuschpegel, die auf die Vorhersage angewendet wurden;

– dass der Frequenzgang an der Hörerposition innerhalb von ±3 dB oder weniger liegt, und zwar mindestens über den Bereich von 500 Hz bis 4 kHz bei Integration in Oktavbänder;

– die *MTI*-Werte in jedem Oktavband.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Anhang A
(normativ)

Messverfahren für Sprachübertragungsindex (*STI*) und verbesserten *STI*

A.1 Hintergrund

A.1.1 Hüllkurvenfunktion und Hüllkurvenspektrum

Ein zusammenhängender Diskurs kann als eine Folge kleinster Sprachfragmente, genannt Phoneme, angesehen werden. Jedes Phonem ist durch ein spezielles Frequenzspektrum gekennzeichnet. Deutlichkeit erfordert, dass die spektralen Unterschiede der Phoneme erhalten bleiben. Diese spektralen Unterschiede können durch die Hüllkurvenfunktion innerhalb einer Anzahl von Frequenzbändern typisiert werden. Die Hüllkurvenfunktion beschreibt die zeitlichen Schwankungen der Intensität eines Sprachsignals innerhalb eines bestimmten Frequenzbands. Die Form der Hüllkurvenfunktion ist für eine spezielle Folge von Phonemen einzigartig. Verzerrungen der Sprachhüllkurve, z. B. durch Geräusch oder Nachhall, ergeben eine Verringerung der spektralen Unterschiede zwischen den Phonemen, und dies zeigt sich in einer Verringerung des Ausmaßes der Schwankungen der Hüllkurvenfunktion.

Bild A.1, Teilbild A, zeigt ein Beispiel für eine Hüllkurvenfunktion für das 250 Hz-Oktavband. Das Hüllkurvenspektrum gibt eine eher allgemeine Beschreibung der Schwankung der Hüllkurvenfunktion und ist das Ergebnis der Terzband-Spektralanalyse der Hüllkurvenfunktion. Typischerweise wird ein Sprachabschnitt von 1 min analysiert, um die spektrale Verteilung der Hüllkurvenfunktion um die mittlere Intensität zu erhalten. Auf diese Weise kann der Modulationsindex als Funktion der Modulationsfrequenz gebildet werden, wie in Bild A.1, Teilbild B, gezeigt, wo das Spektrum im Hinblick auf die mittlere Intensität I_k normiert ist.

Ein Vergleich des direkt vom Sprecher erhaltenen Hüllkurvenspektrums mit den entsprechenden über den Übertragungsweg erhaltenen Spektren ergibt die Verringerung der Schwankung durch den Übertragungsweg. Dies führt zu der Modulations-Übertragungsfunktion oder *MTF* (en: modulation transfer function), die die Reduktion des Modulationsindex als Funktion der Modulationsfrequenz darstellt.

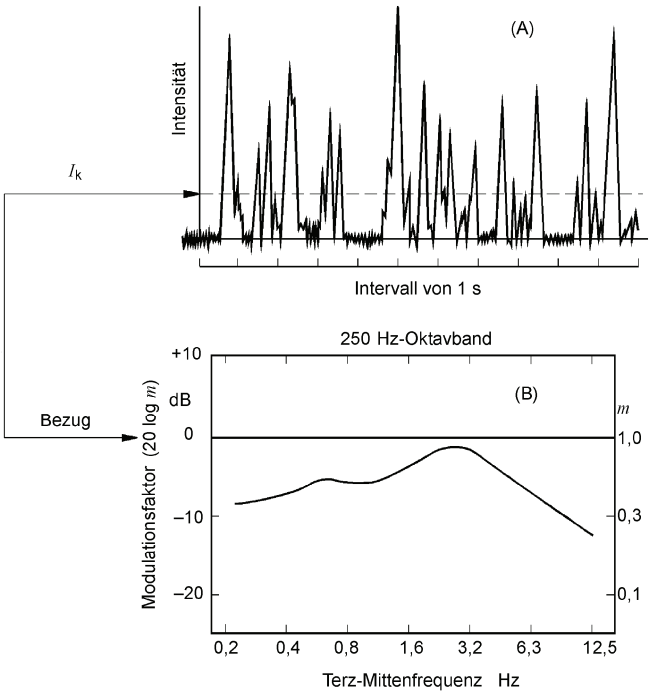


Bild A.1 – Hüllkurvenfunktion (Teilbild A) eines 10 s-Sprachsignals für das 250 Hz-Oktavband und entsprechendes Hüllkurvenspektrum (Teilbild B)

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

A.1.2 Modulations-Übertragungsfunktion (*MTF*)

Die Begründung für die Anwendung des *MTF*-Konzepts zur Untersuchung der Raumakustik wurde in anderen Publikationen beschrieben [2], [3], [8], [9]. Die *MTF* ist das Maß für die quantitative Bestimmung der Verringerungen der Modulation des Originalmaterials als Funktion der Modulationsfrequenz. Da im Intensitätsbereich Geräusch oder Nachhall nur die Modulationstiefe einer sinusförmigen Modulation beeinflussen, ohne ihre Form zu verändern, wird die Modulation durch die Intensitätshüllkurve des Signals definiert. Bild A.2 veranschaulicht dies für das Oktavband mit der Mittenfrequenz 250 Hz für zwei einfache Übertragungssysteme, eines mit ausschließlich exponentiellem Nachhall (Fall A; T = 2,5 s) und das andere ausschließlich mit Geräusch (Fall B; Signal-Rausch-Verhältnis = 0 dB).

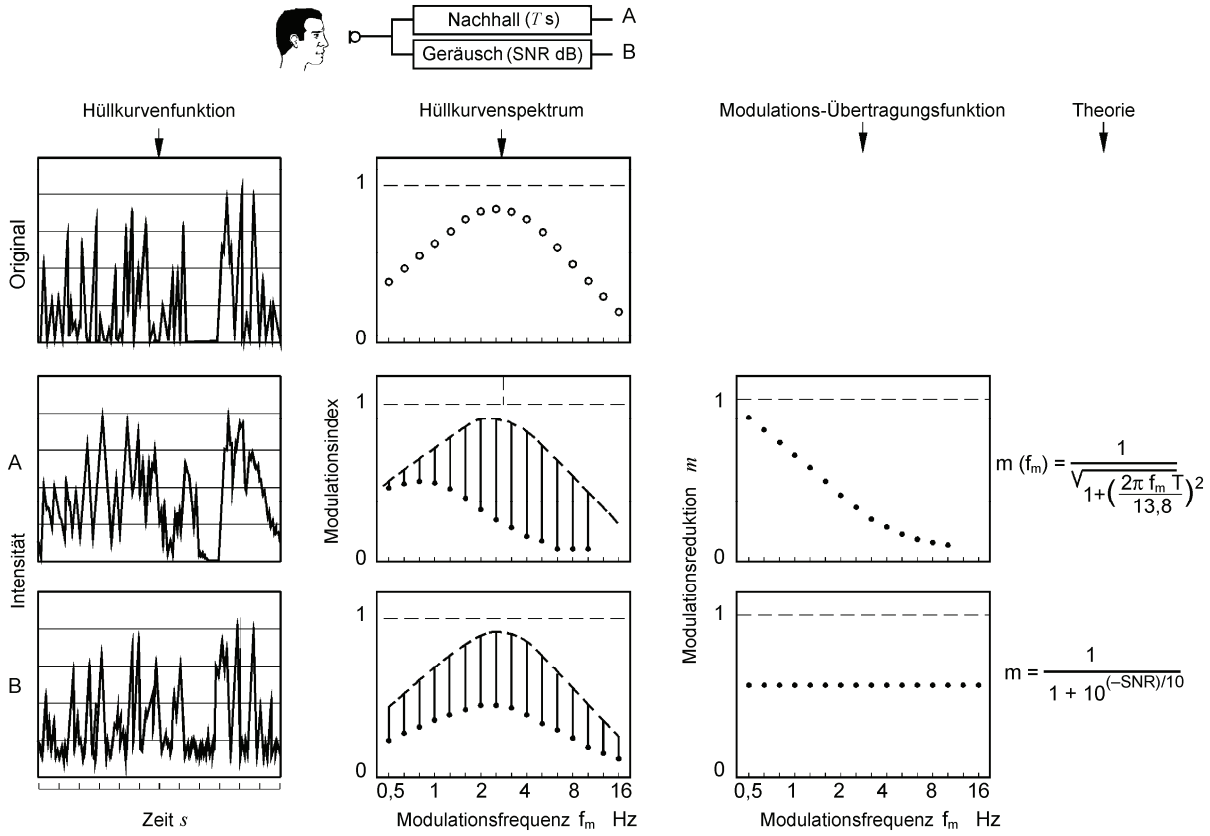


Bild A.2 – Theoretische Darstellung der *MTF*

Mit Nachhall hat die *MTF* die Form eines Tiefpasses; die schnelleren Schwankungen werden relativ stärker beeinflusst als die langsameren. Im theoretischen Fall von rein exponentieller Nachhallabnahme kann die *MTF* mathematisch abgeleitet werden (siehe Bild A.2, Fall A), und das Produkt fT bestimmt den Abfall wie folgt:

$$m(f_{\mathrm{m}}) = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{2\pi f_{\mathrm{m}} T}{13{,}8}\right)^2}}$$

Dabei ist

f_{m} die Modulationsfrequenz;

T die Nachhallzeit, in s.

Bei Geräusch wird die *MTF* durch das Signal-Rausch-Verhältnis definiert und ist von der Modulationsfrequenz unabhängig (siehe Bild A.2, Fall B). Das Geräusch vermindert durch Erhöhen der mittleren Intensität den Modulationsindex für alle Modulationsfrequenzen wie folgt:

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

$$m = \frac{1}{1 + 10^{(-\mathrm{SNR}/10)}}$$

Dabei ist

SNR das Signal-Rausch-Verhältnis, in dB.

Bei starken Echos (deutliche Reflexionen) weist die MTF die Form eines Kerbfilters auf, wobei sie zunächst abfällt und mit höheren Modulationsfrequenzen wieder steigt.

A.2 Das *STI*-Verfahren

A.2.1 Allgemeines

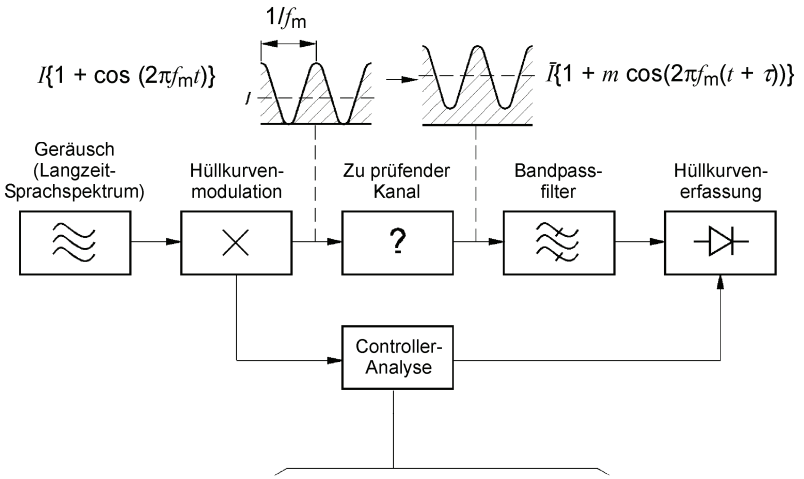
Der Sprachübertragungsindex (STI) ist ein objektives Maß, das auf den bewerteten Anteilen aus einer Anzahl von Frequenzbändern innerhalb des Frequenzbereichs von Sprachsignalen beruht. Die Anteile werden durch das effektive Signal-Rausch-Verhältnis bestimmt. Dessen Beschreibung und die Oktavband-Bewertungsfaktoren und Redundanzfaktoren sind in [11] angegeben. Durch richtige Wahl der Form des Prüfsignals kann dieses effektive Signal-Rausch-Verhältnis Verzerrungen im Zeitbereich enthalten und sowohl Nichtlinearitäten als auch Hintergrundgeräusch usw. zulassen.

Verzerrungen im Zeitbereich (z. B. Nachhall, Echos und automatische Verstärkungsregelung) können das schwankende Sprachsignal abschwächen und die Verständlichkeit reduzieren. Dies wird im STI-Verfahren durch Bestimmen der Modulations-Übertragungsfunktion für den Bereich der entsprechenden Frequenzen, die in der Hüllkurve des natürlichen Sprachsignals vorkommen, nachgebildet. Der entsprechende Bereich für diese Modulationsfrequenzen erstreckt sich in 14 Terzbändern von 0,63 Hz bis 12,5 Hz. Bild A.3 zeigt als Diagramm eine Messanordnung, in der die Modulations-Übertragungsfunktion $m(f_\mathrm{m})$ für jede Modulationsfrequenz in jedem Oktavband getrennt bestimmt wird.

Die umfassendste Messung des STI stellt der vollständige STI dar, der heute jedoch im Allgemeinen nur noch für Hintergrunduntersuchungen zum STI genutzt wird. Das direkte Verfahren des vollständigen STI verwendet nur eine Modulationsfrequenz für ein Oktavband je Prüfsignal, wobei jeder Prüfsignalbeginn etwa 10 s dauert. Um einen STI-Wert zu erhalten, verwendet das vollständige STI-Verfahren 98 unabhängige Prüfsignale (14 × 7).

Da eine Messung des direkten vollständigen STI in vielen Situationen unpraktisch ist, wurden schnellere Verfahren entwickelt ($STIPA$, $STITEL$).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11



Oktavband Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8 k
f_1 = 0,63 Hz	m						
f_2 = 0,8 Hz							
f_3 = 1,0 Hz							
f_4 = 1,25 Hz							
f_5 = 1,6 Hz							
f_6 = 2,0 Hz							
f_7 = 2,5 Hz							
f_8 = 3,15 Hz							
f_9 = 4,0 Hz							
f_{10} = 5,0 Hz							
f_{11} = 6,3 Hz							
f_{12} = 8,0 Hz							
f_{13} = 10 Hz							
f_{14} = 12,5 Hz							
$\bar{I}_k$							

Bild A.3 – Anordnung und Frequenzen der Messung für das *STI*-Verfahren

ANMERKUNG 1 Die Modulations-Übertragungsfunktion (m) wird für alle Zellen der Matrix von sieben Oktavbändern und 14 Modulationsfrequenzen bestimmt. Für die Berechnung von Hörverdeckungseffekten werden auch die Oktavintensitätspegel ($\bar{I}_k$, gleich dem Quadrat der Schalldruckpegel) ermittelt.

ANMERKUNG 2 Das *STI*-Verfahren wurde ursprünglich mit Hilfe von vollständigen *STI*-Signalen (eine Modulationsfrequenz für ein Oktavband) entwickelt, mit zufälligen Modulationen für die Oktavbänder, die keine Modulationen enthalten. Die zufälligen Modulationen beruhten auf den Energieverteilungen der natürlichen Sprache und wiesen einen Momentanpegel auf, der etwa 3 dB höher war als der Gesamtsprachpegel für das jeweils betrachtete Oktavband.

A.2.2 *STI*-Modulationsfrequenzen

Die 14 *STI*-Modulationsfrequenzen weisen Terzintervalle auf und sind: 0,63 Hz; 0,80 Hz; 1,00 Hz; 1,25 Hz; 1,60 Hz; 2,00 Hz; 2,50 Hz; 3,15 Hz; 4,00 Hz; 5,00 Hz; 6,30 Hz; 8,00 Hz; 10,0 Hz; 12,5 Hz.

A.3 Höreffekte mit Auswirkung auf den *STI*

A.3.1 Überblick

Hörbezogene Aspekte wie zum Beispiel Hörverdeckung (die Verringerung der Hörempfindlichkeit durch stärkeren Schall niedrigerer Frequenz) [10] und die absolute Rezeptionsschwelle werden in der

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

STI-Berechnung durch Anwendung geeigneter Geräuschterme nachgebildet. Die Höreffekte verringern das effektive Signal-Rausch-Verhältnis in den verschiedenen Oktavbändern und können als Verringerung der Modulations-Übertragungsfunktion angegeben werden, was zu im Allgemeinen niedrigeren *STI*-Werten führt.

Der *STI* beurteilt den Modulationsverlust und die Berechnung des effektiven Signal-Rausch-Verhältnisses in jedem Oktavband unabhängig von den übrigen Oktavbändern. Der einzige Parameter, der aneinandergrenzende Frequenzbänder miteinander verknüpft, ist die Hörverdeckungsfunktion, die Abweichungen des Amplituden-Frequenzgangs nur widerspiegeln kann, wenn die Schalldruckpegel hoch und die Anstiege der Verdeckungsfunktionen flach sind, siehe auch 4.5.8.

ANMERKUNG Höreffekte können nur berücksichtigt werden, wenn die Prüfsignale akustisch (in dB SPL) erhalten werden. Dies ist im Allgemeinen oft der Fall. Wenn die Prüfsignale jedoch elektronisch ohne Bezug auf einen akustischen Pegel erhalten werden (zum Beispiel bei Bewertung unterschiedlicher Mikrophonarten), sollte dies vermerkt werden, und die Höreffekte sollten bei der Messung deaktiviert werden.

A.3.2 Pegelabhängige Hörverdeckung

Hörverdeckung ist ein dem menschlichen Hörprozess eigener Effekt. Wenn ein lautes, niederfrequentes Geräusch auf das Ohr trifft, verdeckt es stets höhere Frequenzen und macht sie möglicherweise unhörbar, wenn die Differenz zwischen den relativen Pegeln eine bestimmte Schwelle überschreitet. Dieses Phänomen wird als Aufwärtsausbreitung der Verdeckung bezeichnet [10]. Der Hörverdeckungseffekt hängt auch vom absoluten akustischen Pegel beider Frequenzkomponenten ab. Bei ähnlichen relativen Pegeln verursacht ein niederfrequentes Geräusch eine schwächere Verdeckung eines hochfrequenten Geräusches als bei niedrigen akustischen Pegeln, d. h. der Verdeckungsanstieg ist steiler als bei hohen akustischen Pegeln [14].

Bild A.4 zeigt die Hauptwirkungsweise der im *STI* nachgebildeten Hörverdeckung. Das Bild verdeutlicht, dass ein niedrigeres Oktavband (k - 1) einen Verdeckungseffekt auf das nächste (höhere) Oktavband (k) ausübt. Der Anstieg der Verdeckungsfunktion wiederum hängt vom akustischen Gesamtpegel für das Oktavband (k - 1) ab.

Die im *STI* nachgebildete Hörverdeckung wirkt sich auf das 250-, 500-, 1000-, 2000-, 4000- und 8000 Hz-Oktavband aus und erweitert ein Oktavband nach oben. Dementsprechend verdeckt das 125 Hz-Oktavband das 250 Hz-Oktavband, das 250 Hz-Oktavband das 500 Hz-Oktavband usw. Das 125 Hz-Oktavband wird nicht verdeckt.

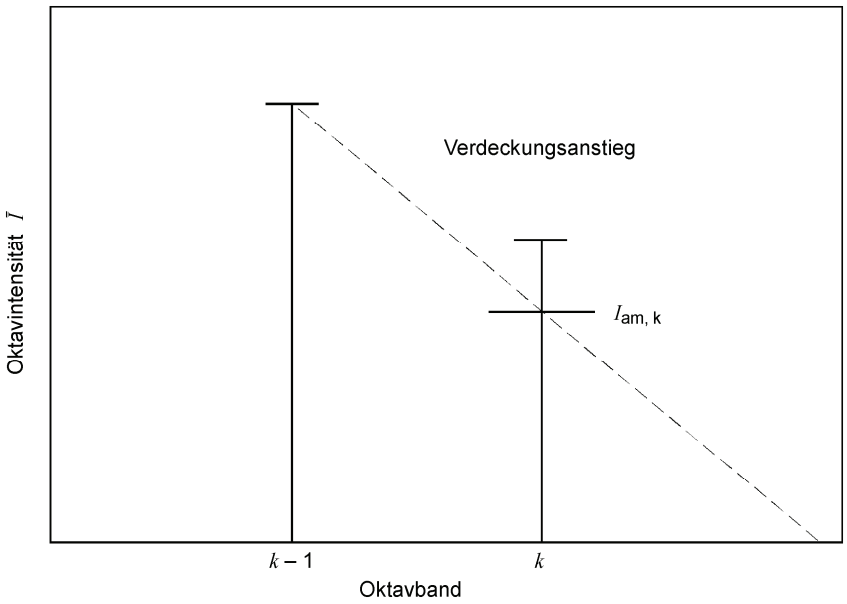


Bild A.4 – Hörverdeckung von Oktavband (k – 1) in Oktavband (k)

Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Die Verdeckungsintensität ($I_{am,k}$) für Oktavband k ist gegeben durch:

$$I_{am,k} = I_{k-1} \times amf_{k-1}$$

Dabei ist

I_{k-1} der Intensitätspegel für Oktavband k - 1;

amf_{k-1} der pegelabhängige Hörverdeckungsfaktor für Oktavband k - 1.

Die Intensität (I_k) für Oktavband k ist wie folgt gegeben:

$$I_k = 10^{(L_k/10)}$$

Dabei ist

L_k der Gesamtpegel für Oktavband k in dB SPL.

Der Hörverdeckungsfaktor amf hängt vom Intensitätspegel für Oktavband k - 1 ab. In Tabelle A.1 ist die pegelabhängige Hörverdeckung in dB ($amdB$) als Funktion des akustischen Oktavbandpegels L_{k-1} (dB SPL) für Oktavband k - 1 angegeben. Es ist zu beachten, dass der Hörverdeckungspegel vom akustischen Gesamtpegel für das Oktavband (sowohl Prüfsignalpegel als auch Umgebungsgeräuschpegel) abhängt.

Tabelle A.1 – Hörverdeckung als Funktion des akustischen Oktavbandpegels

Oktavbandpegel L_{k-1} dB SPL	<63	≥63 und <67	≥67 und <100	≥100
Hörverdeckung *amdB* dB	0,5 × L_{k-1} – 65	1,8 × L_{k-1} – 146,9	0,5 × L_{k-1} – 59,8	–10

Der Hörverdeckungsfaktor amf für ein Oktavband ist gegeben durch:

$$amf = 10^{(amdB/10)}$$

Dabei ist

$amdB$ der vom Oktavbandpegel abhängige Hörverdeckungswert, in dB, nach Tabelle A.1.

ANMERKUNG 1 Wird für eine andere Umgebungsgeräuschsituation eine mathematische Korrektur vorgenommen, hängt der Hörverdeckungsfaktor sowohl von der gemessenen Signalintensität als auch von der hinzuaddierten Umgebungsgeräuschintensität in einem bestimmten Oktavband ab. Beide Intensitäten werden addiert, um die akustische Gesamtintensität für ein Oktavband zu erhalten, um so den entsprechenden Hörverdeckungsfaktor für dieses Oktavband abzuleiten.

ANMERKUNG 2 Frühere Verdeckungsschemata waren diskret und führten zu nicht kontinuierlichen STI-Ergebnissen als Funktion des akustischen Gesamtpegels. Das in Tabelle A.1 angegebene Hörverdeckungsschema führt zu kontinuierlichen STI-Ergebnissen als Funktion des akustischen Pegels.

A.3.3 Absolute Rezeptionsschwelle

Die absolute Rezeptionsschwelle wird durch die absolute Hörschwelle und den geringsten notwendigen Dynamikbereich zur korrekten Erkennung von Sprachlauten festgelegt. Die Intensität der absoluten Hörschwelle (I_{rt}) ist im STI als ein interner Störpegel nachgebildet, der das effektive Signal-Rausch-Verhältnis verringert, wenn akustische Signalpegel zu niedrig werden. Die absolute Rezeptionsschwelle ist in Tabelle A.2 (in dB SPL) als Funktion des Oktavbands angegeben.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Tabelle A.2 – Absolute Hörschwelle als Funktion des Oktavbandpegels

Oktavband k Hz	125	250	500	1000	2000	4000	5000
Absolute Rezeptionsschwelle I_{rt} dB SPL	46	27	12	6,5	7,5	8	12

Die Intensität der Rezeptionsschwelle ($I_{rt,k}$) für Oktavband k ist gegeben durch:

$$I_{rt,k} = 10^{(ART_k/10)}$$

Dabei ist

ART_k die absolute Rezeptionsschwelle für Oktavband k, in dB (siehe Tabelle A.2).

A.3.4 Geschlechterspezifische Oktavbandbewertungs- und Redundanzfaktoren

Das STI-Verfahren kann zwischen männlichen und weiblichen Sprachsignalen unterscheiden. Geschlechterbezogene Faktoren werden in unterschiedlichen Prüfsignalspektren und unterschiedlichen Bewertungsfaktoren ausgedrückt. Da die weibliche Stimmlage im Allgemeinen als verständlicher gilt als die männliche, wird in der Regel bei der Bewertung von Sprachübertragungskanälen die männliche Stimmlage zugrunde gelegt.

Die STI-Bewertungsfaktoren (α) und Redundanzfaktoren (β) für die männliche und die weibliche Stimmlage sind in Tabelle A.3 als Funktion der Oktavbänder aufgeführt.

Tabelle A.3 – Oktavband-Bewertungsfaktoren für den STI

Oktavband Hz		125	250	500	1000	2000	4000	8000
männlich	α	0,085	0,127	0,230	0,233	0,309	0,224	0,173
	β	0,085	0,078	0,065	0,011	0,047	0,095	–
weiblich	α	–	0,117	0,223	0,216	0,328	0,250	0,194
	β	–	0,099	0,066	0,062	0,025	0,076	–

ANMERKUNG Die Bewertungsfaktoren für den männlichen STI enthalten ein Artefakt, das gelegentlich bei Durchführung von Vorhersageberechnungen auftreten kann. Wenn der Modulationsindex des 250 Hz-Oktavbands gleich oder kleiner als 0,08 ist (entspricht einem Übertragungsindex TI von 0,15), wobei die übrigen Oktavbänder einen maximalen Übertragungsindex von (1,0) aufweisen, ist der STI-Wert größer als 1,0. Bei vollständig beseitigtem Anteil des 250 Hz-Bands nimmt der STI 1,03 an. Für diese Situation wird empfohlen, den STI-Wert bei 1,0 abzustreichen. In Messsituationen in der Praxis ist ein Auftreten dieses Artefakts unwahrscheinlich, da Geräusche dies während einer vollständigen STI-Messung verhindern.

A.3.5 Geschlechterspezifische Spektren von *STI*-Prüfsignalen

Die Spektren der STI-Prüfsignale werden durch die mittleren Pegel der Oktavbänder festgelegt. Zur leichten Skalierung auf einen A-bewerteten Gesamt-Schalldruckpegel werden die Oktavbandpegel auf einen A-bewerteten Pegel von 0 dB normiert. Dieses Spektrum kann von einem modulierten Prüfsignal vorübergehend um 3 dB überschritten werden.

Für die männliche Stimmlage umfasst das Prüfsignal sieben Halboktavbänder, für die weibliche Stimmlage sechs Oktavbänder.

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11

Tabelle A.4 – Oktavbandpegel (dB), bezogen auf den A-bewerteten Langzeit-Sprachpegel

Oktavband Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A-bewertet
männlich dB	2,9	2,9	–0,8	–6,8	–12,8	–18,8	–24,8	0,0
weiblich dB	–	5,3	–1,9	–9,1	–15,8	–16,7	–18,0	0,0

ANMERKUNG Das verifizierte *STIPA*-Prüfsignal beruht auf dem männlichen Sprachspektrum, und im Allgemeinen sollte nur dieses Signal verwendet werden.

A.4 Erzeugung des *STI*-Prüfsignals

A.4.1 Signal von einer Quelle für rosa Rauschen

– Das *STI*-Prüfsignal wird aus einer Quelle für rosa Rauschen erzeugt, die ein flaches Frequenzspektrum mit Filterung von Oktavenbruchteilen bereitstellt;

– rosa Rauschen kann aus weißem Rauschen erzeugt werden, und zwar mit Hilfe eines Tiefpassfilters mit einem Anstieg von –3 dB je Oktave, der bei 63 Hz beginnt;

– der Scheitelfaktor des Signals sollte typischerweise zwischen 12 dB und 14 dB liegen und der L1-Überschreitungswert zwischen 8 dB und 11 dB.

A.4.2 Erzeugen von Oktavband-Trägersignalen

Um die sieben *STI*-Geräuschträgersignale zu erzeugen, wird ein rosa Rauschsignal bei Mittenfrequenzen von 125 Hz bis zu 8000 Hz in sieben jeweils eine halbe Oktave breite Filter eingespeist. Zwischen jedem Geräuschträgersignal befindet sich eine Lücke mit einer Breite von einer halben Oktave, die kein signifikantes Signal enthalten sollte. Die Halboktavbandfilter müssen eine Sperrdämpfungsrate von mindestens 60 dB je Oktave aufweisen, um die Überlappung zwischen benachbarten Trägern zu minimieren. Der Abfall sollte kontinuierlich sein und keine Welligkeit im Sperrbereich aufweisen, wie es zum Beispiel bei Tschebyschew-Filtern des Typs II oder bei elliptischen Filtern der Fall ist. Die Welligkeit im Durchlassbereich sollte 0,3 dB nicht überschreiten.

BEISPIEL Zur Erzeugung der eine halbe Oktave breiten Trägersignale können Tschebyschew-Filter des Typs I, 12. Ordnung, mit einer Welligkeit von 0,2 dB verwendet werden. Andere durchführbare Verfahren hängen mit dem Frequenzbereich zusammen.

A.4.3 Intensitätsmodulation der Trägersignale

Jedes Trägersignal wird sinusförmig mit einer oder mehreren Modulationsfrequenzen in Bezug auf seine Intensität mit der maximal möglichen Modulationstiefe (d. h. m = 1,0) moduliert. Um einen sinusförmig intensitätsmodulierten Träger zu erhalten, wird das Trägersignal mit der Quadratwurzel aus einer erhöhten (en: raised) sinusförmigen Modulation amplitudenmoduliert:

$$m(f_{\mathrm{m}}) = \sqrt{0{,}5 \cdot (1 + m \cdot \cos(2\pi f_{\mathrm{m}} t))}$$

Dabei ist

f_{m} die Modulationsfrequenz, in Hz;

t die Zeit, in s;

m die Tiefe der Modulation (höchstens gleich 1).

Wird gleichzeitig mehr als eine Modulationsfrequenz je Trägerband in ein Band eingeprägt, müssen die Modulationsfaktoren gleich sein, und die Phasenbeziehungen und die Modulationstiefe müssen so gewählt werden, dass eine Übermodulation des Trägers verhindert wird.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC 60268-16:2009-11