DIN EN IEC 60268-16

DIN

ICS 17.140.50; 33.160.01

Entwurf

Einsprüche bis 2019-09-12
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60268-16:2012-05

Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 100/3202/CDV:2019); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60268-16:2019

Sound system equipment –
Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index
(IEC 100/3202/CDV:2019);
German and English version prEN IEC 60268-16:2019

Equipements pour systèmes électroacoustiques –
Partie 16: Evaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de transmission de la parole
(IEC 100/3202/CDV:2019);
Version allemande et anglaise prEN IEC 60268-16:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-07-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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

Gesamtumfang 207 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS)

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN IEC 60268-16:2019 „Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (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. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 100/3202/CDV:2019 „Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index“ unverändert in den Entwurf prEN IEC 60268-16:2019 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV 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.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 742.5 „Lautsprecher“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten 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.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60268-16:2012-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) das Spektrum des männlichen Sprach-Prüfsignals wurde geändert, wobei wesentliche Reduktionen im 125-Hz- und im 250-Hz-Band vorgenommen wurden. Einige Gleichungen wurden korrigiert. Es wurden zusätzliche Informationen über Vorhersage- und Messverfahren aufgenommen;

b) die deutsche Übersetzung wurde in Abschnitt 2 an den aktuellen Standardtext angepasst.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

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

Inhalt

Seite

Einleitung 7
1 Anwendungsbereich 10
2 Normative Verweisungen 10
3 Begriffe 10
4 Beschreibung des STI-Modells 15
4.1 Überblick 15
4.1.1 Anwendbarkeit des STI-Modells 16
4.2 Theoretische Details 16
4.2.1 Hüllkurvenfunktion und Hüllkurvenspektrum 16
4.2.2 Verringerung der Modulation 17
4.2.3 Rolle der Oktavband-Geräuschträger 17
4.2.4 Theoretischer Überblick 18
4.3 Messung des STI 20
4.3.1 Direkte und indirekte Verfahren 20
4.3.2 Vollständiger STI 20
4.3.3 STIPA 21
4.3.4 Wahl des Verfahrens 21
5 Direktes Verfahren zur Messung des STI – Leitlinien für Anwender 23
5.1 Überblick 23
5.2 STIPA 23
5.3 Anwendung 24
5.4 Grenzen 24
6 Indirektes Verfahren zur Messung des STI (Impulsantwort) – Leitlinien für Anwender 25
6.1 Überblick 25
6.2 Anwendung 25
6.3 Grenzen (nichtlineare Verzerrung) 26
7 Grenzen des STI-Modells 27
7.1 Allgemeines 27
7.2 Frequenzverschiebung 28
7.3 Übergangsverzerrung 28
7.4 Aussetzer 28
7.5 Jitter 28
7.6 Digitale Sprachkompressionssysteme 28

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Seite

7.7 Überschätzung des STI bei geringen Hintergrundgeräuschen ... 29
7.8 Frequenzgang ... 29
7.9 Echos ... 29
7.10 Schnelle Amplitudenkompression und -expansion ... 32
7.11 Nichtlineare Verzerrung ... 33
7.12 Schwer hörende Hörer ... 33
7.13 Impulsartige und schwankende Geräusche ... 33
7.14 Schlussfolgerung ... 33
8 Messverfahren, Nachbearbeitung der Daten und Anwendungen ... 34
8.1 Allgemeines ... 34
8.2 Akustische Einspeisung ... 34
8.3 Akustische Ausspielung ... 36
8.4 Elektrische Einspeisung ... 36
8.5 Elektrische Ausspielung ... 36
8.6 Beispiele für Kombinationen von Einspeisung/Ausspielung ... 36
8.6.1 Akustische Einspeisung – akustische Ausspielung ... 36
8.6.2 Elektrische Einspeisung – elektrische Ausspielung (z. B. Beurteilung von kabelgebundenen und kabellosen Kommunikationssystemen) ... 36
8.6.3 Akustische Einspeisung – elektrische Ausspielung (z. B. Beurteilung von Mikrofonen) ... 37
8.6.4 Elektrische Einspeisung – akustische Ausspielung (z. B. Beurteilung von Beschallungsanlagen) ... 37
8.7 Räumliche Mittelung der STI-Messungen ... 37
8.8 Nachbearbeitung der gemessenen MTF-Daten ... 38
8.9 Störgeräuschbezogene Aspekte ... 39
8.9.1 Allgemeines ... 39
8.9.2 Messung des Hintergrundgeräuschs ... 39
8.9.3 Schwankende Geräusche ... 39
8.10 Analyse und Interpretation der Ergebnisse ... 40
8.11 Binaurale STI-Messungen ... 40
9 Nutzung des STI als Entwicklungswerkzeug ... 41
9.1 Überblick ... 41
9.2 Statistische Vorhersagen ... 41
9.3 Vorhersage aus simulierter Impulsantwort ... 41
Anhang A (informativ) Grundlagen des STI-Konzepts ... 43
A.1 Einleitung zu diesem Anhang ... 43
A.1.1 Zweck ... 43
A.1.2 Modulationsübertragungsfunktion (MTF) ... 43
A.1.3 STI-Modell ... 45
A.1.4 STI-Modulationsfrequenzen ... 46

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Seite

A.2 Berechnung des STI 47
A.2.1 Allgemeine STI-Gleichung 47
A.2.2 Geschlechterspezifische Oktavbandbewertungs- und Redundanzfaktoren 47
A.2.3 Anpassung der MTF im Hinblick auf Umgebungsgeräusch 48
A.2.4 Anpassung der MTF im Hinblick auf Hörverdeckungs- und Schwelleneffekte 48
A.3 Berechnung der Werte des Modulationsübertragungsverhältnisses 49
A.3.1 Direktes Verfahren: Analyse des STI-Prüfsignals 49
A.3.1.1 Grundlegende Verarbeitungsschritte 49
A.3.1.2 Frequenzfilterung und Intensitätsbestimmung 49
A.3.1.3 Ableitung der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) mit dem direkten Verfahren 50
A.3.2 Indirektes Verfahren: Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) 50
A.3.2.1 Grundlegende Verarbeitungsschritte 50
A.3.2.2 Frequenzfilterung und Intensitätsbestimmung 51
A.4 Hörbezogene Auswirkungen auf den STI 51
A.4.1 Überblick 51
A.4.2 Pegelabhängige Hörverdeckung 51
A.4.3 Absolute Sprachrezeptionsschwelle 53
A.5 Erzeugung des STI-Prüfsignals (direktes Verfahren) 54
A.5.1 Signal von einer Quelle für rosa Rauschen 54
A.5.2 Erzeugen von Oktavband-Trägersignalen 54
A.5.3 Intensitätsmodulation der Trägersignale 54
A.5.4 Anwenden des Sprachspektrums auf das STI-Prüfsignal 55
A.6 Spektrum des STI-Prüfsignals 55
A.6.1 Sprachförmiges Geräusch 55
Anhang B (normativ) STIPA-Verfahren 57
B.1 Überblick 57
B.2 Prüfsignal 57
Anhang C (normativ) Überprüfung von STI-Messgeräten 59
C.1 Spezifikation des Messgeräts 59
C.2 Signale für das Prüfen von STI-Implementierungen 59
C.3 Prüfen des Dynamikbereichs im Modulationsbereich 59
C.3.1 Prüfen der Modulationstiefe für das direkte STIPA-Verfahren 59
A.1.1 Prüfen der Modulationstiefe für das indirekte STIPA-Verfahren 60
C.4 Prüfen von Übersprechen zwischen Oktavfiltern 61
C.4.1 Flankensteilheit 61
C.4.2 Prüfen von Oktavfiltern – direktes STIPA-Verfahren 61
C.4.3 Dateien zur Überprüfung des Leistungsvermögens 62
Anhang D (informativ) Verwendung von STI-Messgeräten 63

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Seite

D.1 Überblick ... 63
D.2 STIPA beschreibt nur den Sprachübertragungskanal ... 63
D.3 Beispiele für Prüfszenarien für STIPA-Prüfungen ... 64
D.4 Erforderliche Ausrüstung und Ressourcen für eine STIPA-Prüfung ... 67
D.4.1 Verfügbarkeit des Prüfsignals ... 67
D.4.2 Eine Quelle des STIPA-Prüfsignals ... 67
D.5 Verfahrensschritte ... 67
Anhang E (informativ) Qualifizierung des STI und Zusammenhänge mit anderen Verfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit ... 68
E.1 Zusammenhang zwischen STI und Wort-/Satz-Werten ... 68
E.2 Zusammenhang zwischen STI und Höranstrengung ... 68
Anhang F (informativ) Nominelle Qualifikationsbänder für den STI ... 70
Anhang G (informativ) Beispiele von STI-Qualifikationsbändern und typischen Anwendungen ... 71
Anhang H (informativ) Nicht muttersprachliche Hörer ... 72
Anhang I (informativ) Auswirkung von altersbedingten Hörverlusten und Hörbeeinträchtigungen auf die Sprachverständlichkeit ... 73
Anhang J (normativ) Einstellung und Anpassung des STI-Prüfsignalpegels ... 74
J.1 Überblick ... 74
J.2 Das Konzept des „Sprachpegels“ und das Messverfahren ... 74
J.3 Tatsächlicher Sprachpegel ... 74
J.4 Von dem tatsächlichen Sprachpegel abgeleiteter korrigierter Sprachpegel ... 75
J.5 Vergleich der dynamischen Strukturen von Sprach- und Prüfsignalen ... 75
Anhang K (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht zu STI-Messungen ... 76
Anhang L (normativ) Vorhersage des STI mithilfe statistischer Verfahren ... 78
Anhang M (informativ) Anpassung von STI-Daten zur Simulation von anderen Umgebungsgeräuschspektren und unterschiedlichen Sprachpegeln ... 80
Anhang N (informativ) Weitere Verfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit ... 89
N.1 Überblick ... 89
N.2 Worttests ... 89
N.3 Modifizierte Reimtests ... 89
N.4 Sprachverständlichkeitsindex (SII) ... 89
N.5 PESQ ... 90
Anhang O (informativ) Alternative direkte Verfahren zur Messung des vollständigen STI ... 91
Anhang P (normativ) Von Herstellern bereitzustellende Informationen ... 92
P.1 Zweck dieses Anhangs ... 92
P.2 Formale Vorgaben bezüglich den bereitzustellenden Informationen ... 92
P.3 Vorgeschriebene Informationen ... 92
P.4 Erklärung ... 92
Anhang Q (informativ) Auswirkung von Unsicherheiten der gewählten Parameter auf die STI-Unsicherheit ... 93

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Seite

Q.1 Berechnungsansatz des STI 93
Q.1.1 Überblick 93
Q.1.2 Statistische MTF 93
Q.1.3 Korrekturen 93
Q.1.4 Effektives SNR 94
Q.1.5 Modulationsübertragungsindex MTI 94
Q.1.6 Sprachübertragungsindex STI 94
Q.2 Die Auswirkung der Unsicherheit der Nachhallzeit auf die STI-Unsicherheit 94
Q.2.1 Modulationsübertragungsfunktion 95
Q.2.2 STI-Unsicherheit 95
Q.2.3 Schlussfolgerungen: 97
Q.3 Die Auswirkung der Unsicherheit des Signal-Rausch-Pegels (S/N) auf die STI-Unsicherheit 97
Q.3.1 Ideale Übertragungsfunktion 97
Q.3.2 Nachhall 98
Q.3.3 Schlussfolgerungen: 99
Q.4 Die Auswirkung der Unsicherheit des Signalpegels auf die STI-Unsicherheit 99
Q.4.1 Überblick 99
Q.4.2 Hörverdeckung 100
Q.4.3 Schlussfolgerungen: 101
Literaturhinweise 102

Bilder

Bild 1 – Hüllkurvenfunktion (Teilbild A) eines 10-s-Sprachsignals für das 250-Hz-Oktavband und entsprechendes Hüllkurvenspektrum (Teilbild B) 17
Bild 2 – Modulationsübertragungsfunktion – Vergleich Eingang/Ausgang 19
Bild 3 – Effekt einer einzelnen verzögerten Ankunft auf die MTF (idealisierte Bedingungen) 31
Bild 4 – Idealisierter STI (männliches Sprachspektrum) in Abhängigkeit von der Verzögerung und dem Pegel der sekundären Ankunft 32
Bild A.1 – Theoretische Darstellung der MTF 44
Bild A.2 – Messanordnung und Frequenzen für das STI-Verfahren 46
Bild A.3 – Hörverdeckung von Oktavband (k − 1) in Oktavband k 52
Bild A.4 – Zusammenhang zwischen STI und Sprachpegel für verschiedenen Nachhallzeiten 53
Bild D.1 – Schematische Darstellung der Definition eines Sprachübertragungskanals 64
Bild E.1 – Zusammenhänge zwischen einigen Messverfahren zur Sprachverständlichkeit 68
Bild E.2 – Zusammenhang zwischen STI, Sprachverständlichkeitsbewertungen und Höranstrengungsbewertungen [34], [35] 69
Bild F.1 – STI-Qualifikationsbänder 70
Bild Q.1 – Unsicherheit des Absolutwertes des STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit (RT) mit unterschiedlichen Graden der Unsicherheit der Nachhallzeit 97
Bild Q.2 – Unsicherheit des Absolutwertes des STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit (RT) mit 1 dB Unsicherheit des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) bei verschiedenen SNR 99
Bild Q.3 – Unsicherheit des Absolutwertes des STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit (RT) mit unterschiedlichen Graden der Verdeckung 101

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Seite

Tabellen

Tabelle 1 – Zur Nutzung dieser Norm ... 8
Tabelle 2 – Vergleich des direkten und indirekten Verfahrens ... 20
Tabelle 3 – Eignung der STI-Prüfverfahren im Hinblick auf unterschiedliche Verzerrungsarten ... 22
Tabelle 4 – Eignung der Prüfverfahren ... 22
Tabelle 5 – Anwendung der Messungen ... 23
Tabelle A.1 – MTI-Oktavband-Bewertungsfaktoren ... 48
Tabelle A.1 – Hörverdeckung als Funktion des Oktavbandpegels ... 53
Tabelle A.2 – Absolute Sprachrezeptionsschwellen in Oktavbändern ... 54
Tabelle A.4 – Oktavbandpegel (dB), bezogen auf den A-bewerteten Sprachpegel ... 55
Tabelle A.5 – Filterparameter und Polynome der s-Ebene, die sprachförmiges rosa Rauschen erzeugen ... 56
Tabelle B.1 – Modulationsfrequenzen für das STIPA-Verfahren ... 57
Tabelle C.1 – Spezifikation eines STI-Messgeräts ... 59
Tabelle D.1 – Szenario 1 – Beschallungsanlage mit „Live“-Ansager ... 65
Tabelle D.2 – Szenario 2 – Beschallungsanlage mit aufgezeichneten Ansagen ... 65
Tabelle D.3 – Szenario 3 – „Live“-Besprechungen und -Unterhaltungen ... 66
Tabelle D.4 – Szenario 4 – Vorlesung ... 66
Tabelle E.1 – Kategorien der Höranstrengung ... 69
Tabelle G.1 – Beispiele für typische Anwendungen der STI-Qualifikationsbänder ... 71
Tabelle H.1 – Für nicht muttersprachliche Hörer angepasste Tabelle der Verständlichkeitsqualifikation ... 72
Tabelle J.1 – Typische Dynamikwerte von Sprach- und Prüfsignalen ... 75
Tabelle J.2 – Vergleich von Sprach- und Prüfsignalen ... 75
Tabelle K.1 – Beispiel für einen Prüfbericht ... 76
Tabelle K.2 – Messdatenblatt ... 77
Tabelle M.1 – Ablauf der Anpassungsschritte bei der Nachbearbeitung ... 80
Tabelle M.2 – Beispielberechnung ... 85

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Einleitung

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. Mithilfe des erhaltenen STI-Werts kann die potenzielle Sprachverständlichkeit ermittelt werden.

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

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.

Um eine Fehldeutung der STI-Ergebnisse zu vermeiden, ist es wichtig, dass alle Anwender die grundlegenden Konzepte hinter der Funktionsweise des STI, seinen Anwendungsbereich und seine Grenzen verstehen. Diese Norm enthält wichtige Informationen zur Unterstützung der Anwender.

Mögliche Anwendungen des STI

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

- Messungen an Beschallungsanlagen;
- Messung und Zertifizierung von akustischen Notfallwarn- und Kommunikationssystemen;
- Messung von Kommunikationskanälen und -systemen wie Gegensprechanlagen und drahtlosen Kommunikationseinrichtungen;
- Messung der potenziellen Sprachverständlichkeit und Kommunikation in Räumen und Hörsälen;
- Beurteilung einer direkten Sprachkommunikation (Situationen ohne elektronische Verstärkung) in Räumen oder akustischen Bereichen einschließlich Fahrzeugen;
- Beurteilung der potenziellen Verständlichkeit von Hörhilfen.

ANMERKUNG Das STI-Verfahren wurde nicht für die Messung und Beurteilung von Anlagen entwickelt, die eine private Kommunikation (en: speech privacy) oder eine Maskierung von Gesprächen sicherstellen sollen, und ist für derartige Anlagen daher nicht validiert. Es wird nicht empfohlen, den STI unter 0,3 zu verwenden; wenn dies dennoch getan werden soll, sind Expertenwissen und spezielle Techniken notwendig, die über den Anwendungsbereich dieser Norm hinausgehen.

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;

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

- Berater im Bereich Akustik und Elektroakustik;
- Hersteller von Audio- und Telekommunikationsgeräten;
- Installateure von Beschallungsanlagen;
- Wissenschaftler, die STI-Verfahren untersuchen, sowie Entwickler von Geräten zur Messung des STI.

Tabelle 1 – Zur Nutzung dieser Norm

Zweck	Thema	Abschnitt
Alle Anwender	Einführung in das STI-Verfahren	
Routineüberprüfung von Sprachalarm- oder Beschallungsanlagen mit STIPA	Direktes Verfahren zur Messung des STI	4.0
Ausführliche Überprüfung von Beschallungsanlagen mit STIPA und/oder Impulsantwortverfahren bzw. Überprüfung zwecks Zertifizierung solcher Anlagen	Beschreibung des STI-Verfahrens	5.0
	Direktes Verfahren zur Messung des STI	4 und 5
	Indirektes Verfahren zur Messung des STI auf Basis der Impulsantwort	4 und 6
	Messverfahren und Anwendungen	8.0
	Nachbearbeitung gemessener MTF-Daten	8.8
	Grenzen der Messverfahren	5.4, 6.3
	Optional: Theorie und Gleichungen der STI-Verfahren	Anhänge A und B
	Optional: Zusammenhang zwischen subjektiven und objektiven Maßen für die Verständlichkeit	Anhang F
	Optional: Messunsicherheiten	Anhang E
Messen von Telekommunikationseinrichtungen	Nur direktes Verfahren	8.6.2
Hersteller von STIPA-Geräten	Theorie und Gleichungen der STI-Verfahren	Anhänge A und B
	Überprüfung des Leistungsverhaltens von STI-Messgeräten	Anhang C
	Bereitzustellende Informationen	Anhang D
Hersteller von Software zur akustischen Analyse und Simulation	Theorie und Gleichungen der STI-Verfahren	Anhang A
	Kalibrierung der STI-Geräte	Anhang C
	Bereitzustellende Informationen	Anhang D
Forschung zur Sprachverständlichkeit	Theorie und Gleichungen der STI-Verfahren	Anhänge A und B
Einsatz von Simulationssoftware	Vorhersageverfahren	Anhang M
Nachbearbeitung von STI- und STIPA-Messungen	Nachbearbeitung von Messergebnissen	Anhang M
	Optional – entsprechend den oben aufgeführten ausführlichen Messungen des STI	
	Optional – Durchrechnungsbeispiel	Anhang N
Beurteilung der potenziellen Verständlichkeit von assistiven Hörsystemen	Entsprechend den oben aufgeführten ausführlichen Messungen des STI	
	Spezieller Prozess für assistive Hörsystem	8.6.3

Änderungen in Fassung 5

In diese überarbeitete Fassung wurden folgende Änderungen aufgenommen:

– Änderungen am männlichen Sprachspektrum, siehe Tabelle A.4
– Korrekturen an einer Gleichung in Anhang L

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

– Zusätzliche Informationen über Anpassungen von STI-Messergebnissen zwecks Simulation der Effekte alternativer Umgebungsgeräusche und Sprachpegel (Anhang M)
– Präzisere Angabe der Ergebnisse der Beispielberechnung in Anhang M
– Korrektur der Schroeder-Gleichung für MTF in 6.1.
– Entfernen des Spektrums und der Bewertungsfaktoren für weibliche Sprachsignale
– Aufnahme von Informationen zur Überprüfung des Leistungsverhaltens von STI-Messgeräten

Überarbeitungsverlauf

Die Überarbeitungen gestalteten sich wie folgt:

- 1. überarbeitete Fassung, 1988: In der ersten Fassung der STI-Norm wurde ein geschlechterunabhängiges Prüfsignalspektrum verwendet.
- 2. überarbeitete Fassung, 1998: Geschlechterspezifische Prüfsignale für männliche und weibliche Sprecher wurden eingeführt, wobei für jedes Geschlecht eine bestimmte Gruppe von Bewertungsfaktoren galt. Darüber hinaus wurden Bewertungen für Redundanzfaktoren eingeführt. Der Begriff STI_r bezeichnete dabei die Verwendung dieser Redundanzfaktoren.
- 3. überarbeitete Fassung, 2003: Wichtige Unterschiede zwischen der zweiten und der dritten Überarbeitung sind die Einführung von
    - pegelabhängigen Verdeckungsfunktionen und
    - dem vom STI abgeleiteten STIPA.
    - STIPA wurde speziell als ein schnelles Messverfahren entwickelt, das bei der Bestimmung der Sprachübertragungsqualität von Beschallungsanlagen die elektroakustischen und akustischen Effekte berücksichtigen kann.
- 4. überarbeitete Fassung, 2011:
    - Die Verwendung der Begriffe STIr und Raumakustik- Sprachübertragungsindex (RASTI) wurde eingestellt.
    - Stattdessen wurde eine neue Funktion zur Vorhersage von Hörverdeckungseffekten eingeführt.
    - Es wurden STI-Korrekturen für nicht muttersprachliche Hörer und bestimmte Hörverlustarten eingeführt.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

1 Anwendungsbereich

Diese Norm definiert das Modell, die Prüfsignale, die Messung und die Vorhersageverfahren des STI.

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

Diese Norm definiert keine STI-Kriterien für die Zertifizierung von Übertragungskanälen, wie Kriterien für eine Sprachalarmanlage, in Anhang G werden jedoch einige typische Anwendungswerte aufgeführt.

Jedes Messverfahren hat seine Grenzen und der Leser wird ausdrücklich auf die Abschnitte verwiesen, in denen diese Grenzen wie z. B. private Kommunikation, Echo und digitale Sprachkompression (Vocoder) behandelt werden.

Der Einfluss von schwankendem Geräusch auf den STI wird in dieser Norm nicht behandelt, 7.13 und 8.9.3 enthalten jedoch einige allgemeine Hinweise zum Umgang mit diesem komplexen Thema.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 61260-1:2014, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters – Part 1: Specifications*

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

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

IEC 60318-1:2009, *Electroacoustics – Simulators of human head and ear – Ear simulator for the measurement of supra-aural and circumaural earphones*

IEC 60318-7:2011, *Electroacoustics – Simulators of human head and ear – Head and torso simulator for acoustic measurement of hearing aids*

ITU-T P.58, *Head and torso simulator for telephonometry (International Telecommunication Union, Geneva Switzerland 2011)*

3 Begriffe

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter http://www.electropedia.org/
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter http://www.iso.org/obp

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 EN IEC 60268-16:2019-08

3.3
Sprachübertragungsindex
STI
Maß zwischen 0 und 1, das die Übertragungsqualität von Sprache im Hinblick auf die Verständlichkeit eines Sprachübertragungskanals darstellt

3.4
Sprachverständlichkeitsindex
SII
objektives Maß zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit auf der Grundlage des Artikulationsindex

3.5
STI-Modell
Rahmenwerk zur Quantifizierung des potenziellen Effekts, den ein Übertragungsweg zwischen einem Sprecher und einem Hörer auf die Sprachverständlichkeit hat. Das Modell sagt die Sprachverständlichkeit auf Grundlage des Grades voraus, bis zu dem die Intensitätsmodulationen der Sprache bei der Übertragung erhalten bleiben.

3.6
STI-Modell Vollständiger STI
Modell zur Vorhersage und Messung des Sprachübertragungsindex, das 14 Modulationsfrequenzen in jedem von 7 Oktavbändern verwendet

3.7
Verzerrung
jede unbeabsichtigte und generell unerwünschte Änderung des Signalverlaufs in einem Sprachübertragungskanal

Anmerkung 1 zum Begriff Die Verzerrung kann sowohl lineare als auch nichtlineare Effekte im Frequenz- und Zeitbereich enthalten.

3.8
Sprachübertragungsindex für Beschallungsanlagen
STIPA
Modell, das eine gekürzte Version des vollständigen STI nutzt, bei der nur 2 Modulationsfrequenzen in jedem von 7 Oktavbändern verwendet werden

3.9
direktes Verfahren
Verfahren, das modulierte (sprachähnliche) Prüfsignale zur direkten Messung der Modulationsübertragungsfunktion anwendet

3.10
indirektes Verfahren
Verfahren, das unter Verwendung der Schroeder-Gleichung die Impulsantwort für die Ableitung der Modulationsübertragungsfunktion verwendet

3.11
Sprachübertragungskanal
akustischer oder elektroakustischer Signalpfad zwischen einem Sprecher und einem Hörer

3.12
Beschallungsanlage
elektronisches Schallverteilungssystem mit Mikrofonen, Verstärkern und Lautsprechern zur Verstärkung eines bestimmten Signals (zum Beispiel einer Ankündigung oder einer aufgezeichneten Nachricht) und Verteilung des Schalls innerhalb eines Gebäudes oder Raums

3.13
akustisches Notfallwarn- und Kommunikationssystem
Schallverteilungs- oder Kommunikationssystem, das Sprache im Notfall per Rundfunk übertragen kann

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

3.14
tatsächlicher Sprachpegel
Schalldruckpegel des Rundfunk-Sprachsignals, der gemessen und zum Ableiten des korrigierten Sprachpegels (üblicherweise durch Hinzufügen von 3 dB) verwendet wird. Die Differenz zwischen dem tatsächlichen Sprachpegel und dem korrigierten Sprachpegel repräsentiert die Reduktion des Langzeitpegels, die durch Pausen und Stille zwischen Wörtern verursacht wird

3.15
korrigierter Sprachpegel
Langzeit-Sprachpegel in dBA, wobei nur die Sprachsegmente berücksichtigt werden, die zur Verständlichkeit beitragen, und Pausen und Stille zwischen einzelnen Wörtern und Sätzen entsprechend der Definition in Anhang J vernachlässigt werden

3.16
Stimmaufwand
Anstrengung des Sprechers, objektiv quantifiziert durch den A-bewerteten Sprachpegel in 1 m Abstand vor dem Mund und subjektiv qualifiziert durch eine Beschreibung

3.17
künstlicher Mund
Vorrichtung, die aus einem in einem Gehäuse montierten Lautsprecher besteht und deren Richtwirkung und Abstrahlcharakteristik denen des durchschnittlichen menschlichen Mundes ähneln

Anmerkung 1 zum Begriff Der geforderte Grad der Ähnlichkeit lässt sich nicht einfach festlegen und hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Siehe z. B. ITU-T P.51.

3.18
nicht muttersprachlicher Sprecher
Person, die eine andere Sprache spricht als die Sprache, die von dieser Person in ihrer Kindheit als erste Sprache erlernt wurde

3.19
absolute Sprachrezeptionsschwelle
um den Dynamikbereich, der zur Erkennung von Sprachlauten mindestens notwendig ist, erhöhte Hörschwelle

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

Anmerkung 1 zum Begriff Im Rahmen des STI-Modells wird die Hörverdeckung auch als Aufwärtsmaskierung bezeichnet.

3.21
künstliches Ohr
Vorrichtung zum Empfang akustischer Signale mit ähnlichen Merkmalen wie das menschliche Ohr

Anmerkung 1 zum Begriff Siehe IEC 60318 [2].

3.22
Intensitätsfunktion
Quadrat des Amplitudensignals in Abhängigkeit von der Zeit

3.23
Hüllkurvenfunktion
zeitweilige Schwankungen der Intensität eines Sprachsignals innerhalb eines bestimmten Frequenzbandes, das bei etwa 50 Hz tiefpassgefiltert wurde, um die Feinstruktur der Wellenform des Trägersignals zu entfernen

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

3.24
Hüllkurvenspektrum
relative Verteilung der Spektralkomponenten der Hüllkurvenfunktion

3.25
Modulationsfrequenz F
Frequenz der sinusförmigen Schwankung der Hüllkurvenfunktion, die üblicherweise im Bereich 0,1 Hz bis 30 Hz liegt

3.26
Modulationsfrequenz f_m
spezifische Frequenz der sinusförmigen Schwankung der Hüllkurvenfunktion, die im Bereich 0,63 Hz bis 12,5 Hz liegt

3.27
Modulationstiefe
Wert zwischen 0 und 1, der die Tiefe einer sinusförmigen Modulation der Intensitätsfunktion beschreibt

3.28
Modulationsübertragungsverhältnis
Verhältnis zwischen der Modulationstiefe der Intensitätsfunktionen der empfangenen und der ursprünglichen (übertragenen) Signale, auch bezeichnet als m-Wert

3.29
Modulationsübertragungsfunktion MTF
Modulationsübertragungsverhältnis in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz

3.30
Modulationsübertragungsindex MTI
ungewichteter Mittelwert der Übertragungsindizes über alle Modulationsfrequenzen innerhalb eines gegebenen Oktavbandes

3.21
Übertragungsindex TI
effektive Signal-Rausch-Verhältnisse, skaliert auf einen Wert zwischen 0 und 1

3.32
Oktavband-Bewertungsfaktor α
relativer Anteil jedes Oktavbandes am Sprachübertragungsindex

3.33
Oktavband-Redundanzfaktor β
Anteil redundanter Information zwischen zwei benachbarten Oktavbändern im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit

3.34
Hintergrundgeräusch
sämtliche Geräusche, die stationäre, schwankende und impulsartige Geräusche umfassen, die bei Unterdrücken des betrachteten Sprach- oder Prüfsignals übrig bleiben

3.35
stationäres Geräusch
Dauergeräusch mit in etwa konstantem Pegel

Anmerkung 1 zum Begriff Dieser Pegel wird für Vorhersagen und die Nachbearbeitung von Messungen verwendet.

3.36
impulsartiges Geräusch
Geräusch, das durch kurze, einzelne Schalldruck-Bursts gekennzeichnet ist

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

3.37
schwankendes Geräusch
Dauergeräusch, dessen Schalldruckpegel innerhalb der Betrachtungsdauer variiert, jedoch nicht impulsartig

3.38
Signal-Rausch-Verhältnis SNR
Differenz in dB zwischen dem Schalldruckpegel des Sprach- oder Prüfsignals und dem Schalldruckpegel des Hintergrundgeräuschs, wobei die Schalldruckpegel mithilfe einer genormten Frequenzbewertung bestimmt werden

3.39
effektives Signal-Rausch-Verhältnis SNR_{eff}
in die Signal-Rausch-Verhältnis-Domäne umgewandelte und in dB ausgedrückte Modulationsübertragungsfunktion

3.40
Scheitelfaktor
Differenz in dB zwischen dem Spitzen- und dem Effektivwert der Schalldruckpegel während eines bestimmten Zeitintervalls

3.41
Lombard-Effekt
spontaner Anstieg des Stimmaufwands, hervorgerufen durch eine Zunahme des Umgebungsgeräuschpegels am Ohr des Sprechers

Anmerkung 1 zum Begriff Die Tonhöhenverschiebung der Stimme bei höheren Sprechpegeln wird hier nicht berücksichtigt.

3.42
Teiloktavfilter
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 Oktavbandes entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff Das Verhältnis der Grenzfrequenzen ist $f_2/f_1 = 2^{1/b}$, wobei 1/b den Bruchteil einer Oktave bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff Es können auch Filter verwendet werden, die mit der üblicheren Basis 10 abgeleitet wurden.

BEISPIEL 1 Für Halboktavfilter ist das Frequenzverhältnis $2^{1/2} = \sqrt{2}$.

BEISPIEL 2 Für Oktavfilter ist das Frequenzverhältnis 2.

Anmerkung 3 zum Begriff Für weitere Informationen siehe IEC 61260-1.

3.43
Bezugsschalldruck P_0
Schalldruck, der für Luftschall üblicherweise auf 20 µPa festgelegt ist

3.44
Schalldruckpegel L_P
zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Effektivwerts des Schalldrucks zum Bezugsschalldruck, ausgedrückt in dB

3.45
äquivalenter Dauerschallpegel $L_{eq,T}$
zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des quadrierten Effektivwerts des Schalldruckpegels für ein bestimmtes Zeitintervall zum Quadrat des Bezugsschalldrucks

Anmerkung 1 zum Begriff Der Schalldruckpegel $L_{eq,T}$ ist durch folgende Gleichung gegeben:

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

$$L_{eq,T} = 10\lg \frac{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} p^2(t)\ dt}{{p_0}^2}$$

Dabei ist

$p(t)$ der Augenblickswert des Schalldrucks zum Zeitpunkt t;

t die Integrationsvariable für die Zeit;

$T = t_2 - t_1$ die Länge des Zeitintervalls, für das der Dauerschalldruckpegel bestimmt wird;

p_0 der Bezugsschalldruck (20 μPa).

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

Anmerkung 2 zum Begriff Bei der Bestimmung des Dauerschalldruckpegels wird grundsätzlich keine Zeitbewertung angewendet.

Anmerkung 3 zum Begriff Für weitere Definitionen siehe IEC 61672 [3].

4 Beschreibung des STI-Modells

4.1 Überblick

Das STI-Modell ist ein objektives und validiertes Rahmenwerk für die Bewertung der Sprachübertragungsqualität für einen großen Bereich von akustischen und elektroakustischen Verzerrungen, die die Sprachverständlichkeit beeinflussen.

Das Modell wurde als ein schnelles und objektives Prüfverfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsqualität von Sprachübertragungskanälen und -systemen entwickelt. Mithilfe des Sprachübertragungsindex kann die potenzielle Sprachverständlichkeit für unterschiedliche Arten von Wort- und Satzformaten für einen großen Bereich von Bedingungen in Sprachübertragungssystemen vorhergesagt werden. Hierzu gehören z. B. Nachhall und Umgebungsgeräusch.

Das STI-Modell repräsentiert eine idealisierte Situation, in der ein Sprecher mit dem männlichen Norm-Sprachspektrum mit einer guten Artikulation (deutliche Aussprache) mit einer Nenngeschwindigkeit von 3 bis 4 Silben je Sekunde spricht und die Hörer über ein normales Hörvermögen verfügen. Für nicht muttersprachliche Sprecher/Hörer und für Hörer mit Hörverlusten dürfen Korrekturen angewandt werden.

Ein Sprachsignalpegel ändert sich über die Zeit betrachtet sehr schnell und erzeugt so Schwankungen in der Intensitätshüllkurve des Schalls. Langsamere Schwankungen dieser Intensitätshüllkurve entsprechen den Wort- und Satzgrenzen, während schnellere Schwankungen mit einzelnen Phonemen innerhalb der Wörter zusammenfallen. Phoneme sind die grundlegenden Elemente gesprochener Sprache und eine zusammenhängende Äußerung kann als Abfolge von Phonemen angesehen werden.

Das STI-Modell beruht auf der empirischen Erkenntnis, dass diese Schwankungen die relevantesten Informationen für die Sprachverständlichkeit tragen; die Erhaltung der Intensitätshüllkurve hat daher oberste Priorität, siehe [5], [6] und [7]. Verzerrungen im Zeitbereich in einem Übertragungskanal (z. B. Nachhall, Echos und automatische Verstärkungsregelung) sowie Störgeräusche können das schwankende Sprachsignal abschwächen und die Verständlichkeit reduzieren. Das Ausmaß der Abschwächung der Schwankungen bestimmt die potenzielle Sprachverständlichkeit und das STI-Modell misst den Grad, bis zu dem die Schwankungen erhalten bleiben.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Das STI-Modell 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 Störgeräusche, Nachhall, Echos, nichtlineare Verzerrungen und digitale Kodierungstechniken.

Mit dem STI-Verfahren ergibt sich ein Wert auf einer Skala von 0 bis 1, basierend auf gewichteten Beiträgen von sieben Oktavfrequenzbändern, die in der Sprache vorhanden sind.

Untersuchungen [29] haben gezeigt, dass aneinander angrenzende Oktavbänder hinsichtlich der Sprachverständlichkeit redundante Informationen enthalten. Wenn ein Oktavband nicht zur Verständlichkeit beiträgt (z. B. durch Verdeckung durch Nachhall oder Hintergrundgeräusche), dann können die angrenzenden Oktavbänder diesen fehlenden Anteil teilweise ausgleichen. Diese Erkenntnis hat zur Verwendung von Redundanzfaktoren geführt. Die in dem STI-Modell verwendeten Gleichungen sowie weitere technische Einzelheiten werden in Anhang A behandelt.

Da es sich bei dem STI jedoch um eine Vereinfachung der menschlichen Sprachkommunikation handelt, kann das STI-Modell in seiner Anwendbarkeit begrenzt sein. Anwender, die das Modell über seine derzeitigen Grenzen hinaus nutzen, erhalten möglicherweise ungenaue Vorhersagen der Verständlichkeit. Ein Überblick über die Anwendungen und Grenzen soll Anwendern deshalb dabei helfen zu entscheiden, welches Verfahren für ihre Anwendung am besten geeignet ist, so dass sie aussagekräftige und genaue Ergebnisse erhalten.

Im Gegensatz zum Ansatz des Artikulationsindex [4], 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. Es wird eine Modulationsübertragungsfunktion (MTF) bestimmt, mit der quantifiziert wird, wie der Kanal die Intensitätshüllkurve bzw. Schwankungen des Sprachsignals beeinflusst.

4.1.1 Anwendbarkeit des STI-Modells

Das STI-Modell ist monaural und wurde mit akustischen Messungen im akustischen Freifeld mit einem ungerichteten Mikrofon validiert. Die Anwendung eines gerichteten Mikrofons bei der Messung erzeugt andere Ergebnisse und wird im Normalfall nicht empfohlen. Weitere Informationen können 7.10 entnommen werden.

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

4.2 Theoretische Details

4.2.1 Hüllkurvenfunktion und Hüllkurvenspektrum

Die als Modulationen bezeichneten Schwankungen der Sprachintensität können in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz *F* quantifiziert werden, woraus sich das Modulationsspektrum ergibt. Bei gut artikuliertem (deutlichem) Sprechen erstrecken sich die Modulationsfrequenzen üblicherweise von 0,5 Hz bis zu 16 Hz, wobei die maximale Modulation bei etwa 3 Hz liegt.

Jedes Phonem wird durch ein spezifisches Frequenzspektrum in der Intensitätshüllkurve charakterisiert und die Form der Hüllkurve ist für jede Abfolge von Phonemen einzigartig. Für eine deutliche Sprache ist es erforderlich, dass die spektralen Unterschiede der Phoneme erhalten bleiben. Durch eine Verschlechterung der Sprachhüllkurve, z. B. durch Geräusch oder Nachhall, verringert sich das Ausmaß der Schwankungen der Hüllkurve und dies zeigt sich in einer Verringerung der spektralen Unterschiede zwischen den Phonemen.

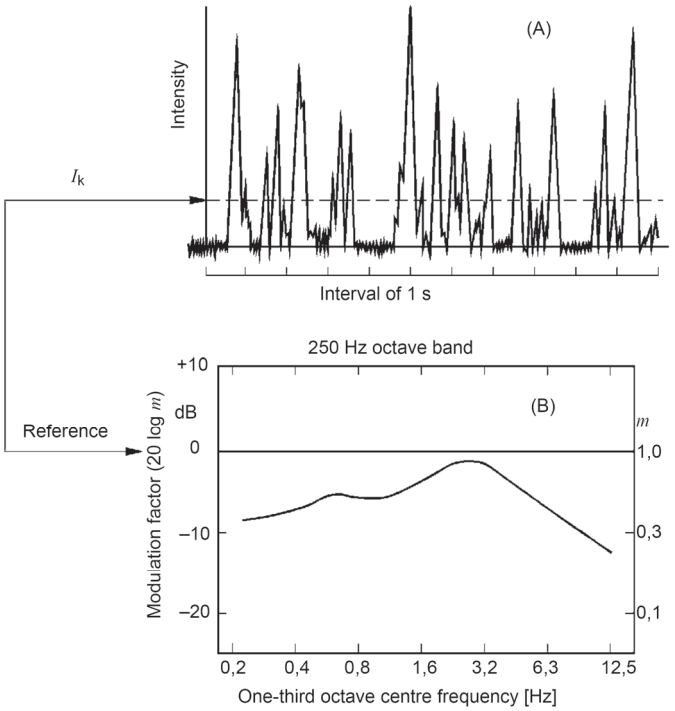
Bild 1, Teilbild (A), zeigt ein Beispiel für eine Hüllkurve für das 250-Hz-Oktavband mit deutlich sichtbarer schwankender Intensität. Das Spektrum der Hüllkurve liefert eine Beschreibung der Hüllkurvenschwankungen und wird mittels Spektralanalyse der Hüllkurve in Terzbändern erzeugt. Typischerweise wird ein Sprachabschnitt von 1 min analysiert, um die spektrale Verteilung der Schwankungen der Hüllkurve zu erhalten. Auf

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

diese Weise kann das Modulationsverhältnis als Funktion der Modulationsfrequenz gebildet werden, wie in Bild 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 liefert die Verringerung der Schwankung durch den Übertragungsweg. Diese Verringerung führt zu der Modulationsübertragungsfunktion oder MTF, die die Reduktion der Modulationstiefe als Funktion der Modulationsfrequenz darstellt.



Englisch	Deutsch
Reference	Bezug
Intensity	Intensität
Modulation factor (20 log m)	Modulationsfaktor (20 log m)
Interval of 1 s	Intervall von 1 s
250-Hz-octave band	250-Hz-Oktavband
One-third octave centre frequency [Hz]	Terzband-Mittenfrequenz [Hz]

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

4.2.2 Verringerung der Modulation

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 Modulationsübertragungswert für jedes Oktavband über den Spektralbereich der Sprache berechnet. Bild 2 zeigt das Konzept der Modulationsreduktion, die zwischen einem Sprecher (Eingabe) und einem Hörer (Ausgabe) auftreten kann.

4.2.3 Rolle der Oktavband-Geräuschträger

Das STI-Prüfsignal wurde anhand von Parametern entwickelt, die von Sprachmaterial abgeleitet wurden. Im Allgemeinen umfasst dieses STI-Prüfsignal Geräuschsignale in den sieben Oktavbändern von 125 Hz bis 8 kHz. Da die Geräuschsignale in diesen Oktavbändern Modulationssignale tragen, werden sie als Geräuschträger bezeichnet. Jeder Geräuschträger wird mit einer oder mehreren Modulationsfrequenzen in Terzintervallen von 0,63 Hz bis einschließlich 12,5 Hz moduliert.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Das STI-Modell bestimmt die Modulationsübertragungsfunktion $m(F)$ des Übertragungskanals. Bei dem Verfahren Vollständiger STI werden insgesamt 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 4.5). Jedes Oktavband hat einen Anteil an der Sprachverständlichkeit, der entsprechend dieses Bandes bewertet wird. Mithilfe der gewichteten Summe dieser Übertragungsindexwerte wird der Gesamt-STI-Wert für den Übertragungskanal bestimmt. Dessen Beschreibung und die Oktavband-Bewertungsfaktoren und Redundanzfaktoren sind in [29] angegeben.

4.2.4 Theoretischer Überblick

Durch eine geeignete Wahl der Form des Prüfsignals kann das effektive Signal-Rausch-Verhältnis Verzerrungen im Zeitbereich enthalten und sowohl Nichtlinearitäten als auch Hintergrundgeräusche usw. berücksichtigen.

Dies wird im STI-Verfahren durch Bestimmen der Modulationsübertragungsfunktion für den Bereich der relevanten Frequenzen, die in der Hüllkurve des natürlichen Sprachsignals vorkommen, nachgebildet. Der relevante Bereich für diese Modulationsfrequenzen erstreckt sich über 14 Terzbänder von 0,63 Hz bis 12,5 Hz. Bild A.3 zeigt als Diagramm eine Messanordnung, in der die Modulationsübertragungsfunktion m (f_m) für jede Modulationsfrequenz in jedem Oktavband getrennt bestimmt wird.

Die Modulationstiefe m_i eines Prüfsignals wird in einen Raum oder durch einen Kommunikationskanal gespielt und an einer Hörerposition mit abgeschwächter Modulationstiefe m_o empfangen. Das Prüfsignal würde von einer an der Sprecherposition angeordneten Schallquelle, die einen menschlichen Sprecher simuliert, zu einem Messmikrofon an beliebiger Hörerposition übertragen.

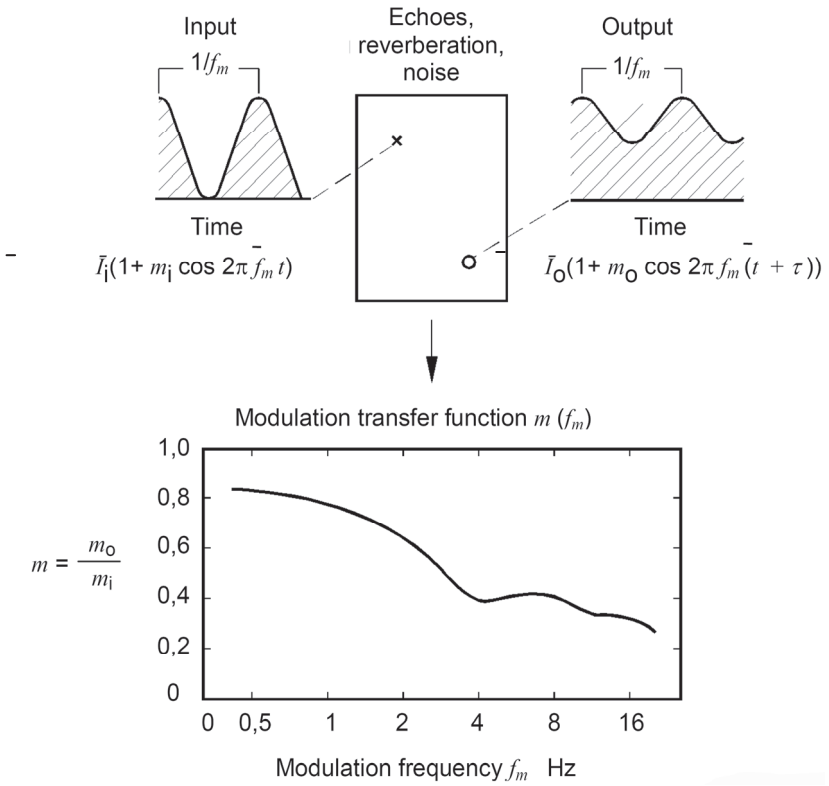
Die wichtigsten Eigenschaften der Schallquelle sind deren Abmessungen und Richtwirkung, Position, Schalldruckpegel und Frequenzgang.

Das typische Prüfsignal besteht aus einem Rauschen mit einem sprachtypischen Frequenzspektrum als Träger und einer sinusförmigen Intensitätsmodulation mit der Modulationsfrequenz f_m, wie in

Bild 2 dargestellt.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08



ANMERKUNG m_i und m_o sind die Modulationstiefen des Eingangs- bzw. des Ausgangsignals. $\bar{I}_i$ und $\bar{I}_o$ sind die Eingangs- und Ausgangsintensitäten, wobei die Intensitäten gleich dem Quadrat der Schalldruckpegel (p^2) sind.

Englisch	Deutsch
Input	Eingang
Time	Zeit
Echoes, reverberation, noise	Echos, Nachhall, Rauschen
Modulation transfer function m (f_m)	Modulationsübertragungsfunktion m (f_m)
Modulation frequency f_m, Hz	Modulationsfrequenz f_m, Hz
Output	Ausgang

Bild 2 – Modulationsübertragungsfunktion – Vergleich Eingang/Ausgang

Die Reduktion der Modulationstiefe bei Frequenz f_m wird durch die Modulationsübertragungsfunktion $m(f_m)$ quantifiziert, die wie folgt lautet:

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

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

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

Die Werte des effektiven Signal-Rausch-Verhältnisses werden dann 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.

Die effektiven Signal-Rausch-Verhältnisse werden zur Berechnung des Modulationsübertragungsindex (MTI) in jedem Oktavband verwendet. Der Sprachübertragungsindex STI kombiniert die MTI-Werte aus Messungen in sieben Oktavbändern zu einem bewerteten Gesamtwert.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Anhang A enthält eine ausführlichere Beschreibung der Berechnung des Sprachübertragungsindex.

4.3 Messung des STI

4.3.1 Direkte und indirekte Verfahren

Der STI kann mit zwei unterschiedlichen Verfahren gemessen werden:

- mit einem direkten Verfahren mit modulierten Prüfsignalen
- mit einem indirekten Verfahren, das auf der Impulsantwort des Systems beruht

Jedes Verfahren hat Vor- und Nachteile, von denen einige in Tabelle 2 aufgeführt sind.

Es sollte beachtet werden, dass das direkte und das indirekte Verfahren nicht immer identische Ergebnisse liefern. Dies ist üblicherweise darauf zurückzuführen, dass bei dem direkten Verfahren ein rauschbasierter Träger verwendet wird, wohingegen die Impulsantwort mit einem wiederholbareren Prüfsignal abgeleitet wird.

Tabelle 2 – Vergleich des direkten und indirekten Verfahrens

Gegenstand	Direktes Verfahren	Indirektes Verfahren [b]
Nachbearbeitung	möglich	vorgeschrieben
Handgerät	möglich	möglich
Nichtlinearitäten von Amplituden	verringert die Zuverlässigkeit des Ergebnisses	verringert die Zuverlässigkeit des Ergebnisses
Nichtlinearitäten des Frequenzgangs (ungleichmäßiges Spektrum) [a]	möglich	möglich
Frequenzverschiebung	nicht möglich	nicht möglich
Geräuschunterdrückung	nein	ja
Genauigkeit der Abtastrate zwischen den Abtastraten der Signalquelle und des Empfängers	Fehler kleiner als 20×10^{-6}	Fehler kleiner als $0{,}5 \times 10^{-6}$

[a] Für weitere Einzelheiten siehe 7.8.

[b] Mit unterschiedlichen Verfahren zur Ableitung der Impulsantwort werden gegebenenfalls leicht voneinander abweichende Ergebnisse erzielt.

4.3.2 Vollständiger STI

Im Rahmen der in [5], [6], [7], [18], [19], [20] und [29] beschriebenen Untersuchungen wurden die Grundlage und das Verfahren für den vollständigen STI entwickelt.

Die vollständige STI-Messung bestand ursprünglich aus 98 separaten Prüfsignalen mit 14 unterschiedlichen Modulationsfrequenzen für sieben Oktavbänder. Jedes Prüfsignal enthielt nur eine Modulationsfrequenz für nur einen Oktavband-Geräuschträger; die übrigen Oktavbänder enthielten kein Signal. Die Prüfsignale wurden sequenziell erzeugt. Mit durchschnittlich 10 s je Modulationssignal nahm eine vollständige STI-Messung etwa 15 min in Anspruch, weswegen diese Messungen mittlerweile nur noch selten durchgeführt werden.

Eine alternative Version des Signals für den vollständigen STI enthält zusätzlich zu der zu prüfenden Modulationsfrequenz und dem zu prüfenden Oktavband zufällige Modulationen in den anderen Oktavbändern.

Durch eine gleichzeitige Nutzung einer Reihe von Modulationsfrequenzen kann der vollständige STI deutlich schneller gemessen werden. Weitere Informationen über die Techniken sind in Anhang O zu finden.

Das indirekte Verfahren wird ebenfalls häufig für den vollständigen STI verwendet.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

4.3.3 STIPA

STIPA ist eine vereinfachte Form des vollständigen STI, die auf Messungen mit einer geringeren Anzahl von Modulationsindizes beruht (siehe Abschnitt 5). Das STIPA-Prüfsignal verwendet eine vordefinierte Menge von zwei Modulationen je Oktavband, die gleichzeitig erzeugt werden, was insgesamt 14 Modulationsindizes ergibt. Die STIPA-Messung nimmt deutlich weniger Zeit in Anspruch als die des vollständigen STI und bildet den vorrangigen Anwendungsfall des direkten Verfahrens. Anhang B enthält eine ausführliche Beschreibung des STIPA.

Das STIPA-Prüfsignal 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 hat eine Dauer von 15 s bis 25 s.

STIPA kann auch mit dem indirekten Verfahren abgeleitet werden; in diesem Fall muss die Bezeichnung STIPA(IR) verwendet werden.

4.3.4 Wahl des Verfahrens

Das direkte ebenso wie das indirekte STI-Modell liefert nachgewiesenermaßen gültige Ergebnisse für eine große Anzahl von linearen Verzerrungen sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich. Die folgenden Verzerrungen werden mit dem STI-Modell erfasst:

- Zeitverzerrungen, z. B. Nachhall und Echos;
- Störgeräusche;
- starke spektrale Verzerrungen, z. B. Bandpassfilterung.

ANMERKUNG Einige Arten von spektralen Verzerrungen können möglicherweise nicht berücksichtigt werden, siehe 7.8.

Darüber hinaus erfassen die direkten STI-Verfahren auch nichtlineare Verzerrungen, z. B. Begrenzung (en: clipping), wohingegen die indirekten Verfahren nur bei linearen Systemen angewendet werden sollten. Weitere Informationen zu den Effekten nichtlinearer Verzerrung enthält Abschnitt 6. Tabelle und Tabelle geben einen Überblick über die STI-Prüfverfahren im Hinblick auf die Arten von linearen und nichtlinearen Verzerrungen, für die sie geeignet sind. Die Symbole „+“ und „−“ geben einen generellen Hinweis auf die Eignung des Verfahrens.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Tabelle 3 – Eignung der STI-Prüfverfahren im Hinblick auf unterschiedliche Verzerrungsarten

Verfahren	Art der Verzerrung				
	Rauschen	Nachhall	Echos	Nichtlineare Verzerrung	Spektrale Verzerrung [a]
Direkt, vollständiger STI	ja	ja	ja	situationsabhängig	ja
Direkt, STIPA	ja	ja	begrenzt	situationsabhängig	ja
Indirekt, vollständiger STI [c]	nein[b]	ja	ja	nein	ja
Indirekt, STIPA [c]	nein[b]	ja	begrenzt	nein	ja

ANMERKUNG Der Begriff „situationsabhängig“ gibt an, dass es von der genauen Verzerrungsart abhängt, ob das jeweilige Prüfsignal ausreichend genaue Ergebnisse hervorbringt. Zum Beispiel:

- Es ist unwahrscheinlich, dass die Übergangsverzerrung einen Effekt auf die Modulationstiefe hat, wohingegen die Spitzenbegrenzung die Modulationstiefe reduziert, aber grundsätzlich einen geringen Effekt auf die Sprachverständlichkeit hat; daher ist der gemessene STI-Wert gegebenenfalls pessimistisch.
- Das STIPA-Verfahren kann für Beschallungsanlagen eingesetzt werden, die nichtlineare Verzerrungskomponenten erzeugen, es sei denn, das Signal ist in verschiedenen Frequenzbändern stark begrenzt.

[a] Der Frequenzgang des Übertragungskanals kann einen wahrgenommenen Verlust der Verständlichkeit hervorrufen, der in dem Messergebnis nicht hinreichend berücksichtigt ist, siehe 7.8.

[b] Ja, wenn ein MLS-Prüfsignal verwendet wird, es darf jedoch keine Mittelung von Signalen im Zeitbereich erfolgen und das Anregungsspektrum muss sprachförmig sein.

[c] Dazu gehört die Zeitverzögerungs-Spektrometrie (TDS).

Theoretisch könnte auch ein anderes mathematisch deterministisches Pseudo-Rauschsignal angewendet werden.

Die Wirkung von Geräusch sollte mathematisch berechnet werden.

Tabelle 4 – Eignung der Prüfverfahren

Art der Verzerrung	Vollständiger STI, direkt	STIPA	Vollständiger STI, indirekt	Grenzen	Alternative Lösung
Nichtlinear	++	++	–		
Nachhall	++	++	++		
Echoverzögerung	++	-	++		
Rauschen	++	++	+/–	Abhängig vom Prüfsignal	Nachträgliches Hinzurechnen von Geräusch zur MTF-Matrix
Automatische Verstärkungsregelung	++	++	+/–	Abhängig vom Prüfsignal	
Nachhall + Rauschen	++	++	+/–		Nachträgliches Hinzurechnen von Geräusch zur MTF-Matrix
Analoge Phasen- oder Frequenzverschiebung	++	++	–	Sämtliche Verfahren, bei denen die Rate der digitalen Abtastung des Prüfsignals geändert wird, sind ungeeignet	

Tabelle 5 bietet einen Überblick darüber, welche Formen des STI für verschiedene Anwendungsarten empfohlen werden. Die Symbole „+“ und „−“ geben einen generellen Hinweis auf die Eignung des Verfahrens.

Wenn wesentliche Teile der Hörerschaft keine Muttersprachler und/oder älter sind, sollte der STI entsprechend Anhang H interpretiert werden.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Tabelle 5 – Anwendung der Messungen

Anwendung	Vollständiger STI, direkt	STIPA	Vollständiger STI, indirekt	Bemerkung	Alternative Lösung/Abschnitt
Einschätzung der Eignung der Raumakustik für Sprachkommunikation (keine elektronische Verstärkung)	++	++	++		
Beurteilung von Beschallungs- und Sprachalarmanlagen	++	++	++		
Beurteilung von Telekommunikationskanälen (Telefon, Funk)	+	+	--		
Kanal zeigt Amplitudenkompression	+	+	--		
Messungen unter Bedingungen mit Industriegeräuschen mit schwankendem Geräusch	+/-	+/-	+/-	Unter Vorbehalt	Siehe 8.9 Messpegel und Nachbearbeitung
Sprache und Geräusch sind räumlich deutlich getrennt oder es existiert ein starker Direktschallanteil in einer stark nachhallenden Umgebung	+	+/-		Unter Vorbehalt anzuwenden. Derzeit sind die genormten Verfahren ungenau.	Siehe 8.11
Kanäle, die keine künstlichen Prüfsignale zulassen, wie z. B. Vocoder	+/-	+/-		Derzeit sind die genormten Verfahren ungenau.	Verwendung eines sprachbasierten STI-Prüfsignals oder Hörerprüfungen

5 Direktes Verfahren zur Messung des STI – Leitlinien für Anwender

5.1 Überblick

Vollständiger STI: besteht aus 98 separaten Prüfsignalen mit 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 sequenziell erzeugt. Mit durchschnittlich 10 s je Prüfsignal nimmt eine vollständige STI-Messung etwa 15 min in Anspruch. Eine alternative Version des Signals für den vollständigen STI enthält zusätzlich zu der zu prüfenden Modulationsfrequenz und dem zu prüfenden Oktavband zufällige Modulationen in den anderen Oktavbändern.

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 hat typischerweise eine Dauer von 15 s bis 25 s.

Damit der STI die tatsächlichen Signal-Rausch-Verhältnisse und den korrigierten Sprachpegel berücksichtigt, sollte die mittlere Intensität des Prüfsignals äquivalent zu dem korrigierten (tatsächlichen) Sprachpegel in der Prüfposition sein. Dazu kann das in Anhang J beschriebene Verfahren angewendet werden, bei dem der L_{Aeq} des Prüfsignals so eingestellt wird, dass er um 3 dB höher ist als der typische L_{Aeq} des gemessenen tatsächlichen Sprachpegels an der Messposition (d. h., es wird ein Korrekturfaktor von 3 dB addiert).

5.2 STIPA

Das STI-Prüfsignal kann vereinfacht werden, wenn die zugehörigen Modulationen in anderen Oktavbändern, die für die korrekte Interpretation nichtlinearer Verzerrungen erforderlich sind, weggelassen werden [21]. Dadurch sind eine simultane Modulation und eine parallele Verarbeitung aller Frequenzbänder möglich, wodurch sich die Messzeit verkürzt, allerdings können einige Formen nichtlinearer Verzerrung dadurch nicht

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

mehr so genau erfasst werden, siehe Tabelle 5. Für jedes Oktavfrequenzband wird die Modulationsübertragungsfunktion für zwei Modulationsfrequenzen bestimmt.

Das in Anhang B beschriebene STIPA-Verfahren wendet diese Vereinfachung an und weist eine Messzeit von 15 s bis 25 s auf. Das STIPA-Verfahren ist für eine Messung bei natürlicher Sprachübertragung (raumakustische Übertragung) sowie auch von Beschallungsanlagen geeignet.

Die Bezeichnung STIPA bezieht sich speziell auf ein moduliertes, sprachförmiges Signal (wie in Anhang B beschrieben). Wird der STIPA aus einer Impulsantwort abgeleitet, z. B. durch Vorhersage, muss dies deutlich angegeben werden und es sollte die Bezeichnung STIPA(IR) verwendet werden, um eine Konfusion zu vermeiden. Es sei darauf hingewiesen, dass das Norm-STIPA-Signal auf einem männlichen Sprachspektrum basiert.

Ohne spezifische Korrekturen lässt das STIPA-Verfahren keine zuverlässige Vorhersage der Sprachverständlichkeit für schwer hörende Hörer zu [15]. Die Messung von Hörhilfesystemen oder -kanälen ist möglich, wobei ebenfalls spezifische Korrekturen erforderlich sein können [16].

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 Messbericht angegeben werden. Ein Beispiel für einen solchen Messbericht ist in Anhang K angegeben.

5.4 Grenzen

Zusätzlich zu den Grenzen des in Abschnitt 4 beschriebenen STI-Modells gibt es noch andere 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 Abweichung um einen Mittelwert. Dies hängt neben anderen Faktoren von der Anzahl der diskreten Messungen der Modulationsübertragungsfunktion (beim STI-Verfahren üblicherweise 98 bzw. 14 für das STIPA-Verfahren) und der gewählten Messzeit ab.

Der Wert der maximalen Abweichung beträgt beim vollständigen STI typischerweise ungefähr 0,02 STI für eine Messzeit von 10 s für jede Modulation $m(f_m)$ und mit stationärem Geräusch. Beim STIPA-Verfahren und einer Messzeit von 15 s beträgt die maximale Abweichung für wiederholte Messungen etwa 0,03 STI; siehe [9],[21],[22],[55].

Bei schwankendem Geräusch (z. B. Stimmengemurmel) kann eine höhere Abweichung 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 0,30 ergeben sollte. Eine Abschätzung der Abweichung sollte durch Wiederholen der Messungen für mindestens einen beschränkten Satz von Bedingungen durchgeführt werden.

Daher gilt es als gute Praxis, aus den STI-Ergebnissen aus zwei oder drei Messungen für eine bestimmte Bedingung den Mittelwert zu bilden. Eine Reihe von Normen fordern eine Bewertung der Schwankungen und eine anschließende Mittelwertbildung.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

6 Indirektes Verfahren zur Messung des STI (Impulsantwort) – Leitlinien für Anwender

6.1 Überblick

Die Modulationsübertragungsfunktion MTF – als die Basis des STI – kann auch aus der Impulsantwort eines Übertragungskanals berechnet werden, wobei der als Schroeder-Verfahren bekannte Prozess angewendet wird [17]. Die Impulsantwort wird erfasst (üblicherweise mithilfe einer rechnergestützten Ausrüstung) und die MTF abgeleitet, aus der anschließend der STI berechnet wird.

Zur Berechnung der Modulationsübertragungsfunktion $m_{f,k}$ bei der Modulationsfrequenz f_m im Oktavband k sollte die folgende Gleichung (deren erster Faktor die Schroeder-Gleichung ist), angewendet werden.

$$m_k\ (f_m) = \frac{\left| \int_0^\infty h_k^2\ (t) e^{-j2\pi f_m t}\, dt \right|}{\int_0^\infty h_k^2(t)\ dt} \cdot \left[1 + 10^{-SNR_k/10} \right]^{-1}$$

Dabei ist

$h_k(t)$ die Impulsantwort von Oktavband k;

f_m die Modulationsfrequenz;

SNR_k das Signal-Rausch-Verhältnis in dB.

Das indirekte Verfahren ist nur auf lineare, zeitinvariante Systeme anwendbar.

Die Anwendung dieses Verfahrens setzt ein erhebliches Maß an Erfahrung voraus, da an dem Messsystem eine Vielzahl von Parametern eingestellt werden kann, die das Endergebnis beeinflussen können.

Dieses Verfahren ist auch auf die vereinfachten Formen des STI anwendbar. Da die Verarbeitungszeit bei dieser Technik relativ kurz ist, wird jedoch empfohlen, den vollständigen STI zu berechnen. Die Berechnung der kürzeren Ableitungen des STI kann sich allerdings als nützlich erweisen.

Aus Messungen der Impulsantwort abgeleitete STIPA-Werte müssen als STIPA(IR) gekennzeichnet werden.

6.2 Anwendung

Bei Ableitung von STI-Werten aus Impulsantwortmessungen ist es üblich, eine störgeräuschfreie Messung durchzuführen und diese dann um die Auswirkungen von Hintergrundgeräuschen und Sprachpegel zu korrigieren. Es stehen jedoch Techniken zur Verfügung, die es ermöglichen, die Auswirkungen von Hintergrundgeräuschen direkt in der Messung 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 müssen nach ISO 18233 vorgenommen werden.

b) Die Länge der erfassten Impulsantwort muss mindestens 1,6 s sein, jedoch nicht kürzer als die Hälfte der Nachhallzeit des Raums.

c) Um eine „störgeräuschfreie“ Impulsantwort zu erzeugen, sollte ein SNR 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 Zeitverzögerungs-Spektrometrie (TDS, en: time delay spectrometry) oder Maximalfolgen (MLS, en: maximum length sequences)) sollte unter normalen Bedingungen vermieden werden, es sei denn, der Hintergrundgeräuschpegel ist sehr niedrig. Ein rosa Frequenzspektrum (−3 dB/Oktave), erzeugt durch rosa Rauschen oder logarithmischen Sinus-Sweep (genauer: „exponentieller Sweep“), ist im Allgemeinen besser

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

geeignet. Jedoch kann auch ein sprachförmiges MLS-Signal ohne Mittelwertbildung angewendet werden, um die Auswirkung von Hintergrundgeräuschen auf den STI direkt zu messen.

e) Impulsartige Signale wie zum Beispiel die Dirac-Funktion sind bei signifikanten Hintergrundgeräuschen, Bandbegrenzungen und nichtlinearen Verzerrungen im Allgemeinen nicht geeignet, da das mittlere Frequenzspektrum und die Pegelverteilung der typischen Sprache 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 eine nichtlineare Reduktion der Signaldynamik ansteigt, muss dies durch separate Messung des maximalen Schalldruckpegels und durch eine entsprechende Korrektur berücksichtigt werden.

g) Zeitvarianzen aufgrund von Luftbewegungen (Wind) oder klimatischen Veränderungen während des Messprozesses müssen vermieden werden (sie führen außerdem zur Unwirksamkeit der 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, Messmikrofon, Personen) während des Messzyklus nicht bewegen.

i) Unter kritischen Bedingungen muss die Wiederholpräzision der Messergebnisse durch wiederholte Messungen nachgewiesen werden.

a) j) Die Auswirkung von Hintergrundgeräuschen (L_n) und tatsächlichem Sprachpegel (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-Modells gibt es noch andere Einschränkungen des Impulsantwort-Verfahrens zur Messung des STI, unter denen nichtlineare Verzerrungen besonders bedeutend sind.

Nichtlineare Verzerrungen des Messsignals sollten vermieden werden, da das indirekte Verfahren diese Verzerrungseffekte nicht korrekt berücksichtigt. Wenn dieses Verfahren angewendet wird, hängt die Verzerrungsempfindlichkeit stark von dem angewendeten Messverfahren ab [13], [22]. Verfahren, die auf einer Fourier-Transformation beruhen, sind beispielsweise nur für lineare Systeme fehlerfrei.

Daher muss kritisch analysiert werden, wie die Impulsantwort erhalten und möglicherweise durch Nichtlinearitäten im Übertragungssystem beeinflusst wurde, vor allem, weil Systemkomponenten in der Praxis an den Grenzen ihres Leistungsbereichs betrieben werden können. Bei der Verwendung von Sinus-Sweep-Prüfsignalen erscheinen die nichtlinearen Verzerrungskomponenten am Anfang oder am Ende der rückgewonnenen Impulsantwort und können so schnell beurteilt werden. Dennoch können Fehler bei langer Nachhallzeit auftreten, da das Ende des Nachhalls der Verzerrungskomponenten die Haupt-Impulsantwort verwischen kann.

Bei der Verwendung 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 der Ankunft des Signals auf.

Bei der Verwendung eines Sinus-Sweep-Prüfsignals müssen etwaige erkannte Verzerrungskomponenten aus der Impulsantwort ausgeblendet oder beseitigt werden, bevor mit der Berechnung des STI begonnen werden kann.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

7 Grenzen des STI-Modells

7.1 Allgemeines

Es ist wichtig zu verstehen, dass der STI selbst kein vollständiges Maß der Sprachverständlichkeit ist, da er die Verständlichkeit des Sprechers nicht berücksichtigt. Per Definition kann die Sprachverständlichkeit nur in Hörprüfungen mit menschlichen Versuchsteilnehmern gemessen werden. Der STI sagt vielmehr den Einfluss voraus, den ein Übertragungskanal auf die Sprachverständlichkeit hat. Der STI hat sich als ein Werkzeug erwiesen, das präzise Vorhersagen liefert, sofern es entsprechend seinem vorgesehen Anwendungsbereich eingesetzt wird. Naturgemäß hat auch dieses Verfahren seine Grenzen.

Der STI beruht auf der allgemeinen Beobachtung, dass ein Verlust der Verständlichkeit bei der Übertragung von Sprache über einen bestimmten Kanal mit einer Abschwächung der Intensitätsmodulationen im Sprachsignal zusammenhängt.

Um die Messung des Grades, um den die Intensitätsmodulationen abgeschwächt werden, zu vereinfachen, wird Sprache in STI-Prüfungen durch ein künstliches Prüfsignal ersetzt. Das bedeutet, dass die Anwendbarkeit des STI in mindestens dreierlei Hinsicht begrenzt ist:

- Einige Arten von Kanälen haben einen nachweisbaren Einfluss auf die Sprachverständlichkeit, wirken sich jedoch nicht auf das Modulationsspektrum aus. Dies ist bei bestimmten (weiter unten aufgeführten) Arten der Signalverzerrung der Fall, bei denen die Feinstruktur des Signals erheblich beschädigt wird, die Hüllkurve jedoch nicht beeinträchtigt wird.
- Einige Übertragungskanäle wurden speziell für die Übertragung von Sprache entwickelt; die Verarbeitung der künstlichen STI-Prüfsignale durch diese Kanäle ist möglicherweise nicht repräsentativ.
- Auch wenn der STI aus theoretischer Sicht mit der Sprachverständlichkeit korreliert, so können durch die technischen Messverfahren des STI dennoch Fehler eingebracht werden. Mit anderen Worten: Die Messeinrichtungen sind für den zu prüfenden Kanal gegebenenfalls nicht geeignet.

Es sei darauf hingewiesen, dass das STI-Prüfsignal in seinen zeitlichen und spektralen Eigenschaften leicht von menschlicher Sprache abweicht. Diese Unterschiede können zu Abweichungen zwischen dem STI und der wahrgenommenen Verständlichkeit führen und betreffen z. B. die folgenden Faktoren:

- den Dynamikbereich von Sprache, dessen Messwert von der Integrationszeit abhängt;
- die Energieverteilung von Sprache in jedem Zeitabschnitt;
- die Verteilung von Signalpegeln über die gesamte Länge eines Sprachsegments oder Prüfsignals (Perzentil-Überschreitungen);
- die Abwesenheit von Lücken im Prüfsignal;
- die Tatsache, dass die Träger bei Sprache nicht nur auf die festen Trägerfrequenzbänder und Modulationsfrequenzen beschränkt sind;
- die spektralen Unterschiede zwischen einzelnen Wörtern und dem STI-Signal;
- die spektralen Unterschiede zwischen verschiedenen Sprechern.

ANMERKUNG Das für STI festgelegte Sprachspektrum unterscheidet sich von dem durch ANSI festgelegten Spektrum [4].

Infolgedessen muss bei Anwendung des STI in bestimmten Situationen und bei möglichen (schmalbandigen) Übertragungskanälen umsichtig vorgegangen werden. In einigen Fällen kann die Verständlichkeit durch eine Verzerrung nur wenig beeinträchtigt werden, 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 werden spezifische Situationen genauer betrachtet, in denen die Anwendbarkeit des STI begrenzt ist.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

7.2 Frequenzverschiebung

Diese Art der Verzerrung kann auftreten bei:

- Abspielen eines digitalen Signals mit der falschen Abtastrate;
- Einrichtungen zur Vermeidung einer akustischen Rückkopplung;
- Einseitenband-Rundfunkübertragungen.

Frequenzverschiebungen stören den Prozess der Zuordnung der Modulationen im empfangenen STI-Prüfsignal zu den Modulationen im Quellsignal durch den Analysator. Bereits kleine Frequenzverschiebungen können einen großen Einfluss auf den gemessenen STI haben, ohne sich im Allgemeinen jedoch nennenswert auf die Verständlichkeit auszuwirken. Bei Systemen mit Frequenzverschiebungen wird die Verständlichkeit durch den gemessenen STI also möglicherweise unterschätzt.

Zwar sind Frequenzverschiebungen in Echtzeitkanälen (wie z. B. Beschallungsanlagen) selten, bei Sprachaufzeichnungen (und insbesondere, wenn Sprache auf CD-Spielern abgespielt wird) tritt das Phänomen jedoch häufig auf.

7.3 Übergangsverzerrung

Diese Verzerrungsart kann auftreten, wenn Teile eines Signals mit niedrigem Pegel nicht getreu übertragen werden oder stummgeschaltet werden. Dies könnte der Fall sein bei Verstärkern und korrodierten Steckern. Mit dem STI-Verfahren wird die Verständlichkeit von Systemen, die eine starke Übergangsverzerrung aufweisen, zu hoch eingeschätzt, weil die Auswirkungen einer beschädigten Feinstruktur des Signals auf die Verständlichkeit von dem STI-Modell nicht erkannt werden.

ANMERKUNG Übergangsverzerrung wird auch als Übernahmeverzerrung und Nullpunktfehler bezeichnet.

7.4 Aussetzer

Signalaussetzer in regelmäßigen Abständen können aus selektiven Schwundmustern (en: fading patterns) bei drahtlosen Übertragungen und einer Verfälschung digitaler Signale resultieren. Der STI wird dabei möglicherweise nicht sehr stark herabgesetzt, aber die Verständlichkeit kann sehr schlecht sein. Um Aussetzer zu kennzeichnen und wenn möglich eine Berechnung des STI ohne die Aussetzer vorzunehmen, wird eine Analyse der Feinstruktur des empfangenen modulierten Signals empfohlen.

7.5 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, so dass die Verständlichkeit bei Systemen mit Jitter durch das STI-Modell als zu gering eingeschätzt werden kann.

7.6 Digitale Sprachkompressionssysteme

Digitale Sprachkompressionssysteme beruhen häufig auf Modellen menschlicher Sprache. STI-Prüfsignale hingegen beruhen auf moduliertem Rauschen, das diese Systeme tendenziell eher unterdrücken als wiedergeben. STI-Prüfsignale sind daher von Grund auf nicht für digitale Sprachkompressionssysteme geeignet.

Dies stellt eine dem STI-Messmodell inhärente Einschränkung dar. Hinzu kommt, dass Sprachcodierer dazu neigen, die Feinstruktur der Sprache so stark zu beeinträchtigen, dass es sich auf die Verständlichkeit auswirkt.

Im Allgemeinen sollten STI-Messungen daher nicht mit Kanälen durchgeführt werden, die digitale Sprachkompressionssysteme umfassen. Ausnahmen können dann gemacht werden, wenn nachgewiesen wird, dass das Prüfsignal (und zwar die Feinstruktur ebenso wie die Intensitätshüllkurve) vom Sprachcodierer nicht beeinträchtigt wird. Dies ist zum Beispiel bei Kompressionssystemen mit höherer Bitrate möglich.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

7.7 Überschätzung des STI bei geringen Hintergrundgeräuschen

Es sollte beachtet werden, dass das STI-Modell so ausgelegt ist, dass es in jedem Oktavband von einem endlichen Signal-Rausch-Verhältnis ausgeht, da die Sprach-Rezeptionsschwelle 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 kann beispielsweise bei der Untersuchung des STI-Verhaltens bei Veränderungen der Form des Prüfsignalspektrums auftreten. Wenn eine MTF-Matrix mit jedem m-Wert auf 1 (d. h. keine Abschwächung 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 [8].

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

7.8 Frequenzgang

Bisherige Untersuchungen [8], [9], [10], [11], [12], [13] deuten darauf hin, dass der Frequenzgang des Übertragungskanals (der sich als die subjektive tonale Balance von Sprache äußert) bedeutend wichtiger für die wahrgenommene Verständlichkeit ist, als durch STI-Messungen angegeben wird, insbesondere beim Vorhandensein von Nachhall. Wenn der Frequenzgang nicht annähernd flach ist, ist es möglich, dass der STI im Verhältnis zur wahrgenommenen Verständlichkeit zu hohe Werte annimmt.

Es wurde von Systemen berichtet, deren gemessene STI-Werte bei geringen Hintergrundgeräuschen 0,5 überschritten und bei denen sich die wahrgenommene Sprachverständlichkeit aufgrund des schlechten Frequenzgangs oder der schlechten tonalen Balance des Systems als unzureichend erwies. Eine Entzerrung zur Verbesserung des Frequenzgangs verbesserte die wahrgenommene Verständlichkeit erheblich.

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung des STI-Verfahrens besteht eine geeignete Lösung zur Sicherstellung eines gleichmäßigen Amplitudengangs in einer getrennten Messung des Amplituden- im Verhältnis zum Frequenzgang des Systems, vorzugsweise bei einer höheren Auflösung als Oktavbandbreite (z. B. Anwendung von Terz-Bandbreite oder Terz-Glättung). Dennoch gibt es wesentliche Faktoren, die in derartigen Messungen möglicherweise nicht enthalten sind:

- Der aus der Impulsantwort abgeleitete Frequenzgang hängt in hohem Maße von der Länge der für die Messung verwendeten Zeitdaten und der auf diese Daten angewendeten Fensterung ab.
- Es gibt kein Maß, das mit der wahrgenommenen tonalen Balance für verschiedene akustische Umgebungen hinreichend korreliert ist. Zum Beispiel ist in Situationen mit wenig Nachhall der Einfluss des direkten Schallfeldes auf die tonale Balance typischerweise viel größer als in sehr stark hallenden Umgebungen, in denen der Leistungsfrequenzgang der Quelle dominanter wird.
- Der Einfluss sich ändernder Sprecherpositionen auf den effektiven Frequenzgang des Mikrofons.

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 nicht muttersprachlichen Sprechers oder Hörers von Bedeutung sein. Beispiele für Färbungen umfassen das Vorhandensein schmaler Bandspitzen oder Resonanzen, bei denen sich bereits Anpassungen an das System von 1 dB über einer Bandbreite von bereits einer Terz als vorteilhaft für die resultierende wahrgenommene Verständlichkeit erwiesen haben [9], [10].

7.9 Echos

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

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

hängt auch von der Sprachübertragungsrate ab. Dieses Problem wird derzeit noch untersucht, siehe zum Beispiel [8], [48].

In diesem Abschnitt wird der Einfluss einer einzelnen, sekundären Reflexion oder verzögerten Ankunft auf die MTF ausführlich beschrieben.

Während sich Nachhall in ähnlicher Weise auf die Schwankung der MTF mit der Frequenz auswirkt wie ein Tiefpassfilter, gleicht der Effekt einer sekundären Ankunft (Echo) auf den Frequenzgang der MTF einem Kerbfilter.

ANMERKUNG In dem Beispiel in Bild 2 erstreckt sich der Frequenzgang der MTF von 0,5 Hz bis auf unter 20 Hz. Für STI-Messungen werden Frequenzen über 12,5 Hz nicht betrachtet.

In einem einfachen Übertragungssystem, das nur aus dem Direktschall und einer einzelnen Reflexion (oder verzögerten Ankunft) besteht, erzeugt die Reflexion stets eine Reduktion der Modulation. Bei sehr kurzen Verzögerungen von bis zu zwei oder drei Millisekunden tritt diese Reduktion bei sehr hohen Modulationsfrequenzen auf und liegt deshalb zumeist außerhalb des oberen Grenzwertes des STI-Verfahrens von 12,5 Hz. Mit steigenden Verzögerungen verschiebt sich die Kerbe in Richtung der niedrigeren Modulationsfrequenzen und da sich die Kerbe bei mehreren Modulationsfrequenzen wiederholt, weist die MTF schließlich mehrere Kerben auf.

Wenn die Intensitäten der beiden Ankünfte gleich sind, wird der Modulationswert auf der Kerbfrequenz auf null reduziert. Je größer der Pegelunterschied zwischen den beiden Intensitäten, desto geringer ist die Reduktion der Modulation.

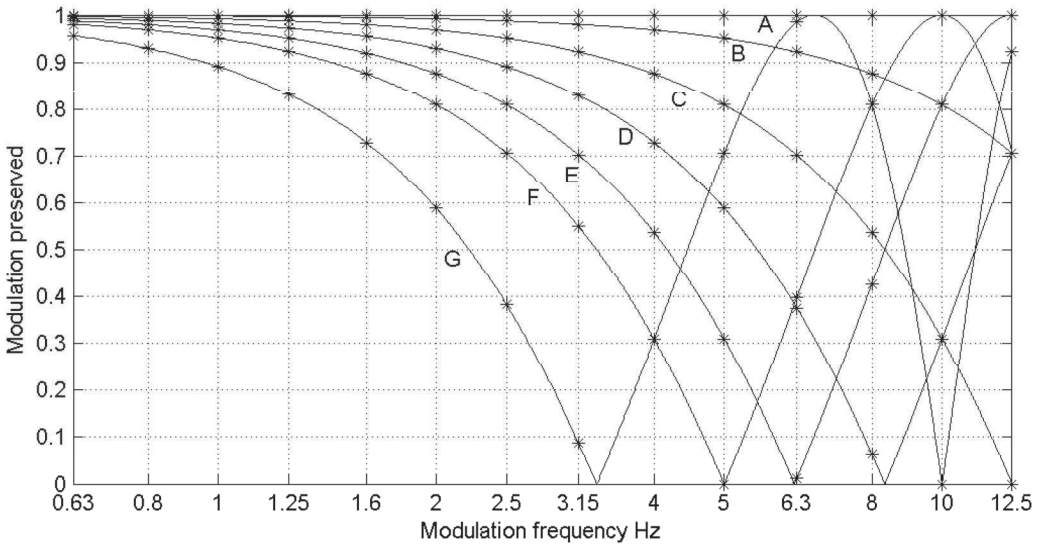
Die Frequenz, bei der eine Kerbe auftritt, fällt nicht notwendigerweise mit einer der Terzband-Frequenzen zusammen, bei denen die MTF abgetastet wird, so dass die Modulation eines gegebenen Bandes nicht unter allen Verzögerungsbedingungen bei der MTF-Abtastfrequenz auf null reduziert wird.

In Bild 3 ist der Effekt von sekundären Ankünften auf die Modulationsübertragungsfunktion und die resultierenden MTF-Werte für einen Bereich unterschiedlicher Ankunftszeiten dargestellt. Es wird angenommen, dass die Intensitäten der ersten und zweiten Ankunft gleich sind, was zu m-Werten zwischen 0 und 1 führt. Die Kurven wurden mit einer kontinuierlichen Frequenzeingabe berechnet, wobei die dicken Punkte auf jeder Kurve die Werte anzeigen, die in der entsprechenden MTF-Matrix erfasst werden würden.

Die Kerben in der MTF sind klar zu sehen. Für die sechs Bedingungen aus Bild 1 ergeben sich aus den jeweiligen MTFs die STI-Werte 1, 0,92, 0,77, 0,72, 0,71 und 0,64.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08



Legende

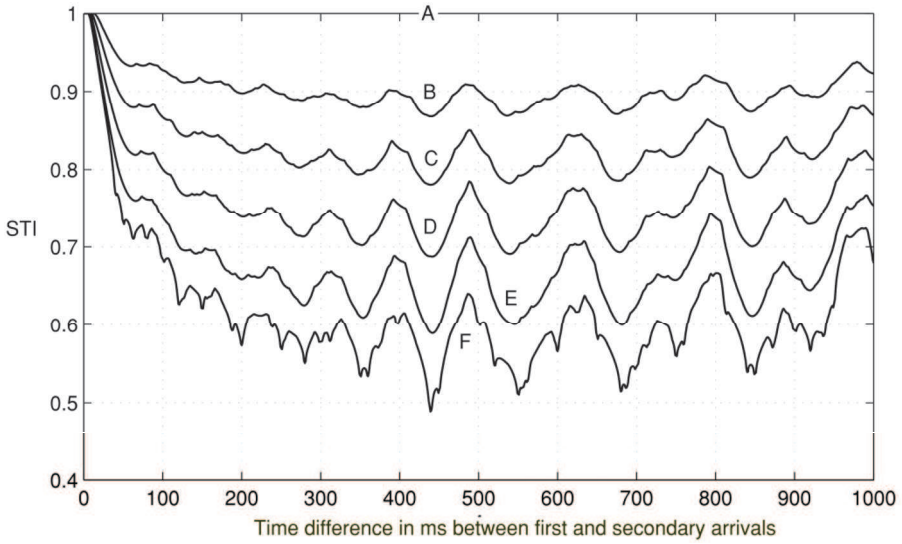
A 0 ms
B 20 ms
C 40 ms
D 60 ms
E 80 ms
F 100 ms
G 150 ms

Englisch	Deutsch
Modulation preserved	Modulation erhalten
Modulation frequency Hz	Modulationsfrequenz Hz

Bild 3 – Effekt einer einzelnen verzögerten Ankunft auf die MTF (idealisierte Bedingungen)

Bild 4 zeigt die TI-Werte, die sich ergeben, wenn die MTFs durch Sekundärankünfte mit Verzögerungen zwischen 0 und 1 000 ms und mehreren relativen Pegeln zwischen den beiden Ankünften kerbgefiltert werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08



Legende

A ±15 dB
B ±12 dB
C ±9 dB
D ±6 dB
E ±3 dB
F 0 dB

Englisch	Deutsch
Time difference in ms between first and secondary arrivals	Zeitunterschied in ms zwischen der ersten und der zweiten Ankunft

Bild 4 – Idealisierter STI (männliches Sprachspektrum) in Abhängigkeit von der Verzögerung und dem Pegel der sekundären Ankunft

ANMERKUNG Die sekundäre Ankunft kann entweder einen niedrigeren oder einen höheren Pegel als das Primärsignal haben – beide Situationen haben den gleichen Effekt auf den STI.

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

7.10 Schnelle Amplitudenkompression und -expansion

Gemessene STI- und STIPA-Werte können sich ändern, wenn das Prüfsignal einer Kompression oder Expansion unterzogen wird. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass bei einer begrenzten Kompression oder Expansion nur geringfügige Veränderungen der wahrgenommenen Verständlichkeit auftreten. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass Kompressionsschemata im Allgemeinen die wahrgenommene tonale Balance von Sprache verändern, was sich wiederum nachteilig auf die wahrgenommene Sprachverständlichkeit auswirken kann.

Wenn geeignet ausgeführt, haben Ausdehnungsgeräte (komplementäre Kompressoren und Expander) wahrscheinlich keinen übergeordneten Effekt auf die Sprachverständlichkeit.

Eine schnelle Kompression reagiert auf die Hüllkurven der annähernd momentanen Amplituden eines Bereichs von Frequenzbändern. Mit dieser Kompression werden Signalpegelschwankungen über dem Kompressionsschwellenpegel (Kniepunkt) entsprechend dem Kompressionsverhältnis verringert. Da eine Kompression den Dynamikbereich des Signals verringert, ist auch damit zu rechnen, dass die Modulationstiefe verringert wird [51].

Andererseits hat eine automatische Verstärkungsregelung (AGC, en: automatic gain control) lange Reaktionserholungszeiten und verringert den kurzfristigen Dynamikbereich nicht.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Kompressions- und AGC-Techniken werden häufig angewendet, um die Sprachverständlichkeit zu verbessern (z. B. für schwer hörende Hörer mit einem begrenzten Dynamikbereich) und können auch in Beschallungsanlagen eingesetzt werden.

Es hat sich erwiesen, dass sich die mittels der Sprachrezeptionsschwelle (SRT, en: speech reception threshold) 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.

7.11 Nichtlineare Verzerrung

Obwohl der STI verzerrungsempfindlich ist, ist das Ergebnis stark abhängig von dem angewendeten Messverfahren (dies wird in 6.3 ausführlicher erläutert).

7.12 Schwer hörende Hörer

Ohne spezifische Korrekturen lässt das STI-Modell keine zuverlässige Vorhersage der Sprachverständlichkeit für schwer hörende Hörer zu [15]. Die Messung von Hörhilfesystemen oder -kanälen ist möglich, wobei spezifische Korrekturen erforderlich sein können [16]. Insbesondere müssen die Rezeptionsschwellenwerte und die Verdeckungsfunktion deaktiviert und die Bandbreite berücksichtigt werden.

7.13 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 Beitrags der Frequenzbänder.

Die Interpretation der Sprachverständlichkeit unter schwankenden Geräuschbedingungen ist äußerst schwierig und kann in dieser Ausgabe der Norm nicht behandelt werden. 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 Geräuschs vorhergesagt wird.

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 gemitteltem Effektivwertpegel [14].

Wenn das impulsartige oder schwankende Hintergrundgeräusch nicht entfernt werden kann, so sollte eine STI-Messung ohne das Prüfsignal einen Wert unter 0,3 liefern, um sicherzugehen, dass die zeitlichen Schwankungen in dem Geräusch die STI-Messung mit dem Prüfsignal nicht zu stark beeinträchtigen.

Es ist von Vorteil, wenn die STIPA-Messgeräte Fehler aufgrund von schwankendem oder impulsartigem Geräusch anzeigen.

7.14 Schlussfolgerung

Das STI-Modell ist im Allgemeinen ein konservativer Ansatz und kann dazu führen, dass die Verständlichkeit bei einigen Anwendungen zu gering eingeschätzt wird, allerdings gibt es eine Reihe wichtiger Ausnahmen.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

8 Messverfahren, Nachbearbeitung der Daten und Anwendungen

8.1 Allgemeines

Obwohl STI-Messungen üblicherweise 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, darf das Prüfsignal elektrisch eingespeist und/oder empfangen werden.

Von wesentlicher Bedeutung ist, dass bei jeder Nachbearbeitung der MTF-Matrix ein realistischer Hintergrundgeräuschpegel verwendet wird [8]. Wenn der Ausgang des Übertragungskanals akustisch ist, muss als Mindestwert die Sprach-Rezeptionsschwelle (SPL) verwendet werden.

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

Bei Messungen oder Vorhersagen des STI sollte angegeben werden, welche Ausgabe dieser Norm verwendet wurde.

8.2 Akustische Einspeisung

Durch Anlegen des Prüfsignals an das Mikrofon des zu prüfenden Systems über einen speziellen Lautsprecher (siehe unten) wird sichergestellt, dass Faktoren an der Mikrofonposition, 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 muss dazu das genormte Prüfsignal verwendet werden.

Folgende Vorgehensweise muss angewendet werden:

a) Überprüfen der Integrität des Prüfsignals (z. B. mittels einer Schleifenmessung, indem der Ausgang der Prüfsignalquelle direkt mit dem Eingang des Analysators verbunden wird). Dies ist vor allem dann wichtig, wenn das Prüfsignal von einem CD-Player erzeugt wird, obwohl auch PCM-Quellen (zum Beispiel .wavDatei-Quellen) überprüft werden sollten (digital komprimierte Signalformate wie MP3 sollten im Allgemeinen nicht verwendet werden, obwohl sich gezeigt hat, dass Kompressionsschemata mit mindestens 128 kbit/s ohne offensichtlichen Fehler arbeiten). Weitere Informationen sind [9] zu entnehmen.

b) Überprüfen, ob der Terz-Frequenzgang der Prüfsignalquelle (künstlicher Mund oder geeigneter Prüflautsprecher) bei Messung im Freifeld (reflexionsfrei) innerhalb von ±1 dB über dem Frequenzbereich von 88 Hz bis 11,6 kHz (den effektiven Grenzwerten des 125-Hz- und des 8-kHz-Oktavbandes) liegt.

c) Überprüfen, ob die einzelnen Oktavbandpegel L_{eq} über dem Bereich 125 Hz bis 8 kHz innerhalb von ±1 dB und vorzugsweise ±0,5 dB der Werte des Signals mit männlichem Spektrum in Tabelle A.4 liegen, wenn ein STIPA- oder ein anderes sprachförmiges, dem STI-Spektrum entsprechendes Prüfsignal verwendet wird.

ANMERKUNG 1 Bei einer indirekten Messung kann der von einer MLS- oder anderen Impulsantwort-Messung abgeleitete Frequenzgang verwendet werden, um ein Oktavbandspektrum zu berechnen.

Erforderlichenfalls muss zur Erfüllung dieser Anforderung die Entzerrung (sofern vorhanden) des künstlichen Mundes oder Prüflautsprechers angepasst werden.

d) Ist kein künstlicher Mund vorhanden, darf ein geeigneter Wandler, zum Beispiel ein kleiner, hochwertiger Lautsprecher mit nur einer Quelle und einem Konusdurchmesser oder einer Öffnung von höchstens

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

65 mm benutzt werden, der mit den Ergebnissen beschrieben werden muss. Die Quelle muss den folgenden Parametern entsprechen:

- Richtwirkung wie bei einem menschlichen Sprecher.
- Die Form des Prüfspektrums in einem Abstand von 50 mm zu der Quelle darf um höchstens ±2,5 dB von der Form des definierten STI-Spektrums (siehe Tabelle A.4) abweichen, wenn die Messung am festgelegten Bezugspunkt bei 250 mm oder 500 mm (je nach Angabe des Herstellers) erfolgt.
- Die mit dem System zusammenhängenden Kenngrößen der Verzerrung (z. B. Treiberablenkung, Leistungskapazität des Verstärkers, Schwingungsmoden des Gehäuses) müssen hinreichend niedrig sein, so dass die m-Werte (in der MTF-Matrix) den Wert Eins haben, wenn sie unter reflexionsfreien Bedingungen am Bezugspunkt mit dem höchsten korrigierten Sprachpegel gemessen werden.

Allgemein hängt die Sprachverständlichkeit in einem Hörraum von der Richtwirkung der Schallquelle ab; deshalb sollte ein künstlicher Mund mit ähnlichen Richtwirkungseigenschaften wie der menschliche Kopf/Mund verwendet werden, wenn die Verständlichkeit von unverstärkten Sprechern oder die akustische Aufnahme von Mikrofonen beurteilt wird. Die Richtwirkungseigenschaften der akustischen Prüfquelle können bei STI-/STIPA-Messungen signifikante Auswirkungen auf die Ergebnisse haben, insbesondere in hallenden Räumen oder wenn das Aufnahmemikrofon in einem gewissen Abstand zum Sprecher angeordnet ist.

Öffnungen (Konusdurchmesser) von höchstens 65 mm repräsentieren die Richtwirkung eines menschlichen Sprechers im Allgemeinen besser. Wenn Treiber mit größeren Durchmessern verwendet werden, um Live-Sprecher zu simulieren, so ist die hochfrequente Richtwirkung für präzise STI-Messungen gegebenenfalls zu hoch, insbesondere, wenn die Mikrofone in großem Abstand angeordnet sind. Für weitere Informationen siehe [16],[23],[50],[51],[56].

Ist das System(quell)mikrofon in einer hallenden oder lauten Umgebung angeordnet oder wird ein Nahbesprechungs- oder Geräuschunterdrückungsmikrofon verwendet, so sollte ein künstlicher Mund/Sprecher als Prüfsignalquelle eingesetzt werden. Unter geräusch-/hallarmen Bedingungen empfiehlt sich möglicherweise eine Direkteinspeisung des Prüfsignals.

e) Aufstellen der akustischen Prüfquelle auf der Achse des Systemmikrofons an der üblichen Position und in dem üblichen Abstand des Sprechers.

f) Einstellen des Prüfsignalpegels an der Mikrofonposition auf den korrigierten Sprachpegel, der im System verwendet werden wird. Sprach- und Prüfsignalpegel müssen nach dem in Anhang J beschriebenen Verfahren einander angepasst werden.

Wenn der korrigierte Sprachpegel nicht bekannt ist, sollte ein standardmäßiger Ersatzpegel von 60 dBA in 1 m Abstand vor dem künstlichen Mund oder Prüflautsprecher verwendet werden.

Kleinere Sprecherabstände führen typischerweise zu Sprachpegeln von etwa 86 dBA bis 94 dBA für Handmikrofone (Abstände von 5 cm bis 2 cm), während sich für Schwanenhalsmikrofone (Abstände von 10 cm bis 5 cm) Sprachpegel von etwa 80 dBA bis 86 dBA ergeben.

ANMERKUNG 3 Diese Prüfung kann den Verstärker belasten, der die Quelle antreibt. Siehe IEC 60268-3, 14.9. [24]. 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.

ANMERKUNG 4 Die genannten Pegel unterliegen in der Praxis erheblichen Schwankungen.

g) Ausführen der STI- oder STIPA-Prüffolge. Üblicherweise sollte, wenn verfügbar, die Möglichkeit „mit Störgeräusch“ gewählt werden.

h) Dem Schallfeld des Prüfsignals sollten mindestens 2 s Zeit gegeben werden, damit es sich in dem Raum aufbauen und stabilisieren kann, bevor eine Messung beginnt. In stark hallenden Räumen wie Verkehrstunneln muss dieser Mindestwert möglicherweise auf 5 s bis 10 s ausgedehnt werden. Eine unzureichend lange Stabilisierungsperiode kann zu einem zu hohen STI führen.

i) 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 [25].

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

j) Werden zur Bestimmung der störgeräuschfreien Impulsantwort Sinus-Sweeps, MLS oder TDS genutzt, müssen auf die geräuschfreie MTF im Rahmen der Nachbearbeitung geeignete Anpassungen der Sprach- und den Geräuschpegel sowohl an der Mikrofon- als auch an der Empfängerposition angewendet werden.

k) 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 Messverfahrens ordnungsgemäß berücksichtigt werden.

8.3 Akustische Ausspielung

Das STI-Modell beruht auf der Verwendung eines einzelnen omnidirektionalen Messmikrofons, das im Hinblick auf Empfindlichkeit und Frequenzgang akustisch kalibriert werden muss. Die Messungen müssen in der üblichen Hörerposition und Hörhöhe (oder in einer festgelegten Hörhöhe) durchgeführt werden. Alternativ kann eine Messung mit einer künstlichen binauralen Ohr-/Kopfnachbildung mit geeigneten Anpassungen nach 8.11 durchgeführt werden.

8.4 Elektrische Einspeisung

Es gilt das unter 8.2 beschriebene Verfahren, wobei Schritt d) durch den unten beschriebenen Schritt ersetzt und der Einspeisepunkt für das Signal möglichst nahe am normalen Signaleingang gewählt wird, um einen möglichst großen Teil des Systems in der Prüfung zu berücksichtigen.

Das STI-Prüfsignal am Einspeisepunkt muss so eingestellt werden, dass es dem Sprachpegel an dieser Stelle entspricht. Der Sprachpegel wird bestimmt mithilfe des in Anhang J beschriebenen Sprachpegel-Messverfahrens.

8.5 Elektrische Ausspielung

Da am elektrischen Ausgang keine akustischen Bedingungen beteiligt sind, müssen Höreffekte wie Verdeckung und die Sprach-Rezeptionsschwelle 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 (etwa zwischen 55 dBA und 85 dBA). Die Breitband-Ausgangspegel sollten A-bewertet werden und dann als A-bewertete Spannungspegel in dB relativ zu einer festgelegten Bezugsspannung, z. B. 1 V, im Bericht angegeben werden.

8.6 Beispiele für Kombinationen von Einspeisung/Ausspielung

8.6.1 Akustische Einspeisung – akustische Ausspielung

Im normalen STI-Messaufbau für Beschallungsanlagen und in Hörsälen 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, wie in 7.2 beschrieben. An der Empfängerposition wird ein kalibriertes STI-Messgerät verwendet, um den STI des Übertragungskanals zu bestimmen.

8.6.2 Elektrische Einspeisung – elektrische Ausspielung (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 tatsächlichen Pegel), 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 wie Telefonleitungen und Funkverkehrssystemen durchgeführt.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

8.6.3 Akustische Einspeisung – elektrische Ausspielung (z. B. Beurteilung von Mikrofonen)

Um Mikrofone hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Verständlichkeit zu vergleichen, sollte der STI-Prüfsignalpegel am Mikrofon nach 7.2 kalibriert werden. Messungen werden in Kombination mit dem entsprechenden Umgebungsgeräuschspektrum und in Abhängigkeit vom Geräuschpegel durchgeführt, um das Geräuschunterdrückungsverhalten des Mikrofons zu bestimmen. Vorzugsweise sollten Messungen bei unterschiedlichen Sprachpegeln vorgenommen werden, um die Auswirkung einer gesenkten und einer erhobenen Stimme auf die Verständlichkeit zu untersuchen.

Der STI darf für die Messung der Leistung von assistiven Hörsystemen (ALS) und insbesondere von deren akustischen Pfaden im Hinblick auf ihre potenzielle Verständlichkeit herangezogen werden. Bei den meisten ALS (z. B. Hörschleifensysteme (HLS), die auch als Induktionsschleifensysteme (AFILS) bezeichnet werden, oder Infrarotsysteme) ist vor allem der Pfad zwischen dem Aufnahmemikrofon und dem Übertragungssystem von entscheidender Bedeutung. In sogenannten Schallfeld- oder Stimmverstärkungssystemen ist der Pfad zwischen dem Lautsprecher und dem Hörer wichtiger. Weitere Informationen sind in IEC 60118-4 [53] zu finden.

Für die Messung des STI von Hörhilfesystemen und Hörschleifensystemen können besondere Verfahren erforderlich sein, siehe z. B. [16]. Insbesondere müssen die Rezeptionsschwellenwerte und die Verdeckungsfunktion deaktiviert werden. Ein Großteil der allgemeinen Hinweise aus Abschnitt 7 trifft jedoch zu.

8.6.4 Elektrische Einspeisung – akustische Ausspielung (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 Schalldruckpegel wiedergegeben werden, der für den Normalbetrieb repräsentativ ist.

Bei einer Beschallungsanlage oder einem ähnlichen Schallverteilungssystem sollten die Messungen an einer repräsentativen 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 die Berechnung des Mittelwertes der Messdaten abzüglich einer Standardabweichung. Dies wird mitunter auch als Bewertung des Raums bezeichnet und gibt an, dass eine gegebene Position (unter Annahme einer Gaußschen Verteilung) statistisch eine Wahrscheinlichkeit oder ein Vertrauensniveau von 84 % in Bezug auf das Erreichen eines bestimmten Sollwerts besitzt. Ein genaueres Verfahren ist das Auftragen der vollständigen statistischen Verteilung der Ergebnisse.

Bei der Bewertung von Hör-Sprech-Garnituren sollte ein In-Ohr-Mikrofon oder ein künstliches Ohr (siehe IEC 60318) verwendet werden.

8.7 Räumliche Mittelung der STI-Messungen

Für einige Anwendungen, z. B. Evakuierungen mithilfe von Sprachmitteilungen, liefern die jeweils gültigen Normen Informationen dazu, wie die STI-Messungen im Einzelnen durchzuführen sind und wie ein kombiniertes Ergebnis aus mehreren Messungen zu berechnen ist, das als Durchschnitt für eine bestimmte Fläche gelten kann. Oftmals wird in solchen Normen gefordert, dass ein Raum in mehrere Flächen unterteilt wird, die sich jeweils durch bestimmte Eigenschaften auszeichnen, in denen also beispielsweise eine einheitliche Nachhallzeit und/oder ein einheitliches Hintergrundgeräusch herrscht. Solche Flächen werden typischerweise als „Acoustically Distinguishable Area“ (ADA, de: akustisch unterscheidbare Fläche) bezeichnet. Die meisten geltenden Normen legen auch die Anzahl der durchzuführenden Messungen fest oder sie legen ein typisches Raster fest, in dem die Messungen durchgeführt werden müssen (siehe z. B. ISO 7240-19).

Um als Ergebnis der Berechnung eine einzelne Zahl zu erhalten, ist die Mittelwertbildung aus den einzelnen Messungen sowie einige statistische Nachbearbeitung erforderlich. Das Vorgehen ist in den jeweiligen geltenden Normen festgelegt, zwei häufig verwendete Verfahren werden jedoch nachfolgend beschrieben.

- Es werden STI-Messungen an jeder festgelegten Position auf einer ADA entsprechend der zutreffenden Norm durchgeführt. Um statistische Schwankungen zu reduzieren, wird für jede einzelne Position der Durchschnittswert gebildet.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

- Bei einem der Verfahren wird anschließend eine Datenmenge aus all diesen Positionsdaten gebildet und es werden der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. In einem letzten Schritt wird die Standardabweichung von dem Mittelwert abgezogen.
- Andere Verfahren erfordern eine umfangreichere Nachbearbeitung der Einzelergebnisse, beispielsweise mittels Aufstellung einer kumulativen Verteilungsfunktion, die einen bestimmten prozentualen Anteil der erhobenen Werte aussortiert und für die verbleibenden Werte die Mittel- und Kleinstwerte berechnet.

Bei der Auswahl der Analysepositionen in einem Raum oder einem Gebäude sollten einige grundlegende Regeln beachtet werden:

- Generell müssen für jeden Raum eigene Messungen durchgeführt werden.
- Um Zeit zu sparen, dürfen Messungen in Beispielräumen durchgeführt werden, sofern diese im Hinblick auf Raumakustik (einschließlich Möbel und Ausstattung), Maße, Anordnung der Beschallungsanlage und Umgebungsgeräusche identisch sind.
- Die Auswahl der Messpositionen muss repräsentativ sein. An Positionen direkt neben Lautsprechern sollte nicht gemessen werden, damit keine übermäßig guten Ergebnisse erzielt werden. Die Maße des Rasters sollten unter Berücksichtigung der Anwendung und der zutreffenden Normen ausgewählt werden, mindestens sollte ein Raster jedoch zwei Positionen je Raum umfassen. Für weitere Informationen siehe IEC 7240-19.
- Höchstens ein Drittel der Messungen sollte auf der Achse der Lautsprecher erfolgen.
- Unter Ausnutzung von Symmetrien im Hinblick auf die Geometrie des Raums, die Oberflächenbeschaffenheit und die Ausführung der Beschallungsanlage kann die Anzahl der erforderlichen Messpositionen reduziert werden.
- Bei der Auswahl müssen etwaige Uneinheitlichkeiten der räumlichen Bedingungen innerhalb des Raums (z. B. zu-/abnehmende Deckenhöhe, Schalldämpfung der Oberfläche oder Abschattungseffekte) berücksichtigt werden.
- Das Mikrofon sollte bei den Messungen schätzungsweise auf Ohrhöhe positioniert werden. Hierfür wird bei sitzenden Personen von einer Höhe von 1 m bis 1,2 m und bei stehenden Personen von einer Höhe von 1,5 m bis 1,7 m ausgegangen.

8.8 Nachbearbeitung der gemessenen MTF-Daten

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

- Beseitigung von Störgeräuschen aus einer gemessenen MTF;
- Hinzurechnung eines Umgebungsgeräuschpegels und -spektrums;
- Berücksichtigung der Sprach-Rezeptionsschwelle;
- 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

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

Anhang M enthält ein Beispiel für das Entfernen des Geräuschs aus einer gemessenen MTF-Matrix und das Hinzurechnen des stationären Hintergrundgeräuschs und der gewünschten tatsächlichen Sprachpegel. Für diesen Vorgang werden die in Anhang A aufgeführten Gleichungen angewendet.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

8.9 Störgeräuschbezogene Aspekte

8.9.1 Allgemeines

Wie bei allen linearen Systemen ist der Einfluss von Verzerrungen wie zum Beispiel Nachhall unabhängig vom Amplitudengang. Demzufolge sind die Variablen, die vom Signalpegel abhängen, das Signal-Rausch-Verhältnis in jedem Oktavband und die zugehörige Aufwärtsmaskierung. Daher kann das STI-Modell gegenüber Veränderungen des Amplituden-Frequenzgangs des Übertragungskanals relativ unempfindlich sein, insbesondere bei niedrigen Hintergrundgeräuschpegeln.

Werden niedrige Hintergrundgeräuschpegel zu der MTF-Matrix hinzugerechnet, die die Störgeräuschpegel 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 [26]).

Unerwünschte kurze Ereignisse (zum Beispiel impulsartige Geräusche) können durch Analyse der Signalstatistik nachgewiesen werden. In der Praxis ist es jedoch einfacher, die STI-Messung mit physisch beseitigter Geräuschquelle zu wiederholen oder das indirekte Verfahren und Mittelungstechniken anzuwenden.

Schwankende und impulsartige Geräusche werden durch Messung des direkten STI unter Abwesenheit des Prüfsignals nachgewiesen. Ist der STI zu hoch (z. B. STI > 0,3), ist es wahrscheinlich, dass die Messergebnisse fehlerhaft sind. Vorzugsweise sollte die STI-Messung ohne das Geräusch durchgeführt werden. Anschließend sollte das Geräusch separat gemessen (siehe 0) und der STI mathematisch errechnet werden.

8.9.2 Messung des Hintergrundgeräuschs

Um eine STI-Messung im Hinblick auf den Effekt der Hintergrundgeräusche zu korrigieren, ist es erforderlich, das Hintergrundgeräusch genau zu charakterisieren. Der äquivalente Dauerschallpegel (L_{eq}) des Hintergrundgeräuschs in jedem der sieben Oktavbänder von 125 Hz bis 8 kHz muss über eine ausreichend lange Zeitspanne gemessen werden, damit eine präzise Charakterisierung möglich ist. 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 Summenpegel für das Hintergrundgeräusch (z. B. $L_{A,eq}$) zu bestimmen und einen einzelnen A-bewerteten Breitband-Schalldruckpegel-Wert für das Sprachsignal in dB zu verwenden. Siehe auch 0.

8.9.3 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 idealerweise mindestens 20 dB über dem Geräuschpegel in jedem Oktavband liegt. Anschließend wird der zeitlich gemittelte Pegel (L_{eq}) des tatsächlichen Umgebungsgeräuschs bestimmt. Unter Verwendung der gemessenen Modulationsindizes wird auf der Grundlage der ursprünglichen Signalpegel vor der Verstärkung und des zeitlich gemittelten Umgebungsgeräuschs der STI berechnet. Dieser Vorgang setzt gewisse rechnerische Fähigkeiten voraus.

Wenn der Einfluss des schwankenden Geräuschs nicht reduziert werden kann, sollten die Messungen mindestens dreimal wiederholt werden, bevor der Mittelwert des STI gebildet wird. Ist die Spanne innerhalb der drei Wiederholungen kleiner als 0,03 STI, sind keine weiteren Wiederholungen erforderlich.

Werden die STI-Messungen bei Vorhandensein von impulsartigen oder schwankenden Geräuschen durchgeführt, dann sollte das indirekte (in Abschnitt 6 beschriebene) Verfahren angewendet werden. Eine Signalmittelung mit MLS oder langsame Sinus-Sweeps sollten angewendet werden, um die Geräusche in den Mes-

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

sungen zu reduzieren. Anschließend können die Auswirkungen des Geräuschs der MTF hinzugefügt werden, indem die „geräuschfreien“ MTF-Daten nachbearbeitet werden.

Bei Anwendung von Sinus-Sweeps zur Bestimmung des STI ist eine geräuschfreie Messung erforderlich. In praktischer Hinsicht gilt eine geräuschfreie Messung als dann gegeben, wenn das Signal-Rausch-Verhältnis in jedem Oktavband mindestens 20 dB beträgt.

8.10 Analyse und Interpretation der Ergebnisse

Es ist wichtig, die MTF-Daten in jedem Oktavband zu untersuchen, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu bestimmen. Es sollten beispielsweise die folgenden Punkte untersucht werden:

- Konstante oder leicht verringerte Werte des Modulationsübertragungsverhältnisses in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz deuten darauf hin, dass Störgeräusch der dominante Mechanismus ist; siehe Bild A.1.
- Werte des Modulationsübertragungsverhältnisses, die mit der Modulationsfrequenz monoton fallen, deuten darauf hin, dass Nachhall der Hauptmechanismus ist; siehe Bild A.1.
- Werte, die anfangs sinken und dann mit der Modulationsfrequenz steigen, zeigen das Vorhandensein starker Reflexionen an, die erst nach mehr als 50 ms ankommen, was eine zu optimistische Einschätzung der Verständlichkeit zur Folge haben kann. Es wird empfohlen, diesen Effekt, sofern er festgestellt wird, zusammen mit dem Ergebnis im Bericht anzugeben.

Die Messunsicherheit des STI selbst ist geringer als die Messunsicherheit eines beliebigen einzelnen m-Wertes, da der STI auf einem über alle m-Werte in jedem Oktavband gemittelten Wert beruht.

In der Realität treten häufig Störmodulationen auf und einzelne m-Werte über 1,00 sind nicht unüblich; m-Werte über 1,00 bedeuten nicht notwendigerweise, dass die Messung ungültig ist. Beispiel: Wenn der mit einem gemessenen m-Wert verbundene statistische Fehler unter bestimmten Umständen 0,15 beträgt und der wahre m-Wert, der geschätzt wird, einen Wert von 1,00 hat, so sind geschätzte m-Werte von bis zu 1,15 zu erwarten. Ebenso können in einen letztendlichen Durchschnitt von 1,00 auch niedrige Werte bis herunter auf 0,85 eingeflossen sein.

Realistische Prüfumgebungen ergeben jedoch keine einzelnen m-Werte über 1,3. Wenn m-Werte über 1,3 gemessen werden, so ist dies ein eindeutiges Anzeichen dafür, dass die Messung ungültig ist, und zwar höchstwahrscheinlich aufgrund des Einflusses von impulsartigem oder schwankendem Geräusch.

8.11 Binaurale STI-Messungen

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

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

Bei der Durchführung von binauralen STI-Messungen mithilfe eines künstlichen Kopfes wird empfohlen, die STI-Ergebnisse für das bessere Ohr zu verwenden. Für weitere Informationen siehe [27].

Die Diffusfeld-Korrekturfaktoren zur Umrechnung von im Freifeld gemessenen Pegeln in Messungen mit einem künstlichen Kopf können ITU-T P.58 entnommen werden (dies ist wichtig, damit die Pegel am Ohr-Bezugspunkt im Verdeckungsalgorithmus korrekt berücksichtigt werden).

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

9 Nutzung des STI als Entwicklungswerkzeug

9.1 Überblick

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

- Berechnung auf der Grundlage eines vorhergesagten Direktschallfeldes, gegebenenfalls in Kombination mit Strahlenverfolgung („Raytracing“) für frühe Reflexionen und einer simulierten exponentiellen Nachhallabnahme sowie einfachen elektroakustischen Parametern
- Berechnungen auf der Grundlage eines vorhergesagten Direktschallfeldes und statistisch berechneten Nachhallzeiten
- Vorhersage auf der Grundlage einer berechneten Impulsantwort des Systems im akustischen Raum

Vorhersagen auf der Grundlage von berechneten Impulsantworten sind präziser. Dieses Verfahren wird auch in Fällen bevorzugt, in denen statistisch berechnete Nachhallzeiten (Sabine/Eyring) bekannterweise fehlerbehaftet sind, z. B. in gekoppelten Räumen oder Räumen mit ungleicher Verteilung der Schalldämpfung.

Wenn der tatsächliche Sprachpegel und das tatsächliche Sprachspektrum bekannt sind, so muss dieser Pegel für die Vorhersage des STI angewendet werden, da er sowohl das effektive SNR als auch Verdeckungseffekte beeinflusst. Für diese Vorhersage muss ein Breitband-Sprachsignal verwendet werden und es muss sichergestellt werden, dass der Übertragungskanal fähig ist, den korrigierten Sprach-Schalldruckpegel zu übertragen.

9.2 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 muss das Verfahren nach Houtgast et al. [28] angewendet werden, das in Anhang L vorgestellt ist.

In jedem Oktavband muss ein Zugriff auf die MTI-Werte und alle Oktavbandpegel des Ausgangs-Sprachsignals gegeben sein.

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

- dass eine statistische Schätzung unter Anwendung des Verfahrens nach Houtgast et al. [28] vorgenommen wurde;
- dass der STI unter Anwendung entsprechender männlicher oder weiblicher Bewertungsfaktoren berechnet wurde.

Es gilt zu beachten, dass

- der RASTI nicht als Angabe des vorhergesagten STI verwendet werden darf;
- der STI nicht durch Umrechnung eines prozentualen Alcons-Werts des Konsonantenverlusts geschätzt werden darf;
- das Verfahren der statistischen Vorhersage gegenüber den Auswirkungen starker diskreter früher und später Signalankünfte und dem möglichen Verlust der Verständlichkeit aufgrund eines schlechten Frequenzgangs noch weniger empfindlich ist als der direkte STI.

9.3 Vorhersage aus simulierter Impulsantwort

Bei der Vorhersage des STI aus einer simulierten Impulsantwort muss wie folgt vorgegangen werden:

a) Mithilfe der Schroeder-Gleichung (siehe 6.1) muss die MTF-Matrix berechnet werden. Der bewertete Teil der Impulsantwort darf nicht kleiner als die halbe Nachhallzeit sein und muss mindestens 1,6 s betragen,

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

um eine zuverlässige Berechnung der Modulationsindizes für die niedrigste Modulationsfrequenz von 0,63 Hz sicherzustellen.

b) Sowohl die Sprach-Rezeptionsschwellen als auch die gemessenen bzw. geschätzten Schalldruckpegel des Hintergrundgeräuschs für jedes Oktavband müssen in die MTF-Matrix eingerechnet werden.

c) Das Sprachspektrum und der tatsächliche Sprachpegel müssen ausgewählt werden und die in Tabelle A.1 aufgelisteten Hörverdeckungskorrekturen auf die MTF-Matrix angewendet werden.

Auf die MTI-Werte müssen die in Tabelle A.3 angegebenen oktavbandspezifischen männlichen Bewertungsfaktoren angewendet werden.

Für jede Analyseposition muss ein Zugriff auf die MTI-Werte in jedem Oktavband und die Oktavbandpegel des Ausgangs-Sprachsignals zusammen mit dem Frequenzgang vorhanden sein.

Für Vorhersagen mit mehreren Analysepositionen müssen die statistischen Eigenschaften und die Verteilung der Ergebnisse über den Hörbereich angegeben werden.

Mit den Ergebnissen muss außerdem Folgendes angegeben werden:

- dass der STI aus einer MTF berechnet wurde, die aus einer vorhergesagten Impulsantwort mit den entsprechenden männlichen bzw. weiblichen Bewertungsfaktoren abgeleitet wurde;
- die Hintergrundgeräuschpegel, die auf die Vorhersage angewendet wurden.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Anhang A
(informativ)

Grundlagen des STI-Konzepts

A.1 Einleitung zu diesem Anhang

A.1.1 Zweck

Dieser Anhang legt die Grundlagen des STI und seine Berechnungsschritte dar; er soll Herstellern von Messeinrichtungen und Vorhersagesoftware Hilfestellung leisten. Auch für andere Anwender, die die theoretischen Grundlagen und die Nachbearbeitung der MTF-Daten verstehen möchten, ist der Anhang von Interesse.

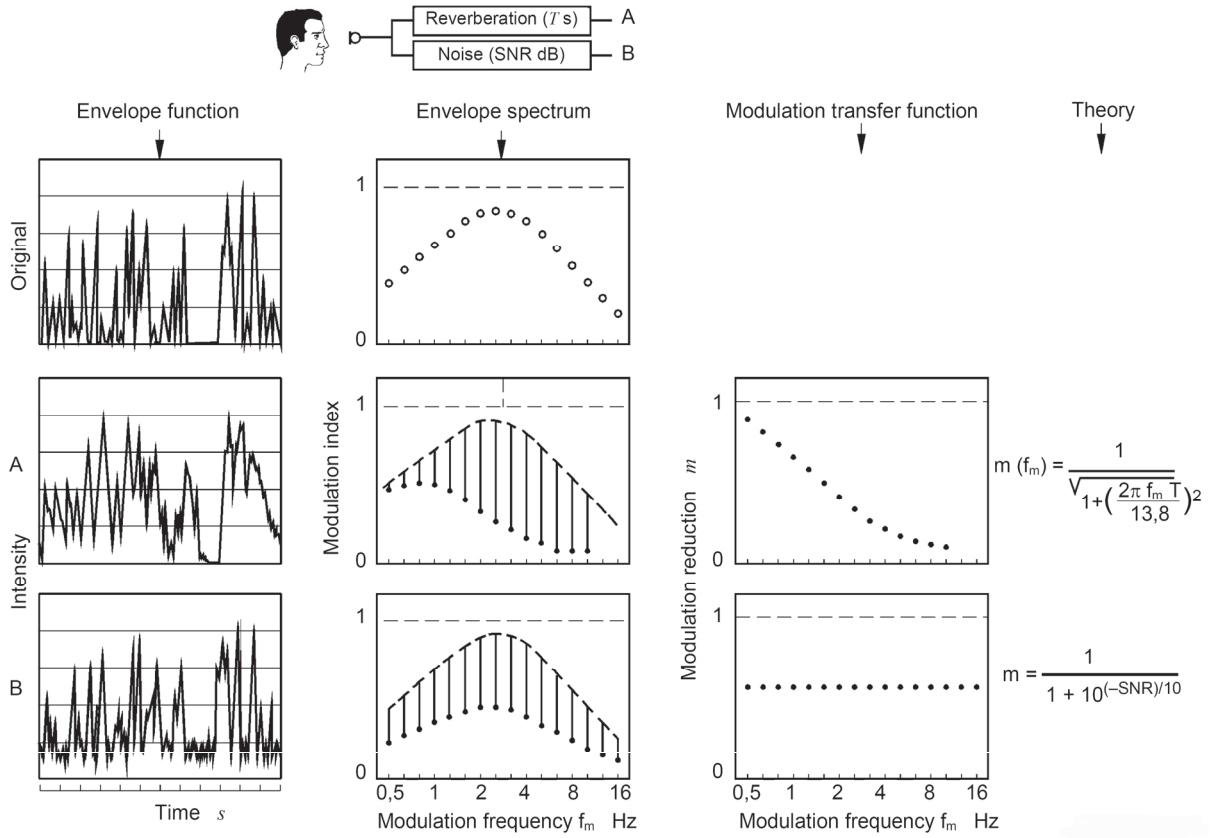
A.1.2 Modulationsübertragungsfunktion (MTF)

Die Begründung für die Nutzung des MTF-Konzepts zur Untersuchung der Raumakustik wurde bereits in anderen Publikationen beschrieben [5], [6], [19], [20]. 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 beeinflusst, ohne ihre Form zu verändern, wird die Modulation durch die Intensitätshüllkurve des Signals definiert.

Bild A.1 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 ein anderes ausschließlich mit Geräusch (Fall B: Signal-Rausch-Verhältnis = 0 dB). (Die vertikalen Linien im Hüllkurvenspektrum zeigen die Reduktion des Modulationsindexes bei jeder Modulationsfrequenz an.)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08



Englisch	Deutsch
Envelope function	Hüllkurvenfunktion
Intensity	Intensität
Time s	Zeit s
Reverberation (T s)	Nachhall (T s)
Noise (SNR dB)	Rauschen (SNR dB)
Envelope spectrum	Hüllkurvenspektrum
Modulation index	Modulationsindex
Modulation frequency f_m Hz	Modulationsfrequenz f_m Hz
Modulation transfer function	Modulationsübertragungsfunktion
Modulation reduction m	Modulationsreduktion m
Theory	Theorie

Bild A.1 – Theoretische Darstellung der MTF

Mit Nachhall hat der Frequenzgang der MTF die Form eines Tiefpassfilters; die schnelleren Schwankungen werden relativ stärker beeinflusst als die langsameren. Im theoretischen Fall eines diffusen Schallfeldes mit einer rein exponentiellen Nachhallabnahme kann die MTF mathematisch abgeleitet werden (siehe Bild A.1, Fall A) und das Produkt von f_m und T 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.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Bei Geräusch wird die MTF durch das Signal-Rausch-Verhältnis definiert und ist von der Modulationsfrequenz unabhängig (siehe Bild A.1, Fall B). Das Geräusch vermindert durch Erhöhen der mittleren Intensität die Modulationstiefe für alle Modulationsfrequenzen wie folgt:

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

Dabei ist

SNR das Signal-Rausch-Verhältnis in dB.

Bei starken Echos (deutliche Reflexionen) weist der Frequenzgang der MTF die Form eines Kerbfilters auf, wobei sie zunächst abfällt und dann mit höheren Modulationsfrequenzen wieder steigt. Dies ist in Bild 3 in 7.9 dargestellt.

A.1.3 STI-Modell

Das STI-Modell verwendet eine diskretisierte Version der MTF, wobei die Modulationsübertragungsverhältnisse (die auch als m-Werte bezeichnet werden) bei bestimmten Modulationsfrequenzen berechnet werden.

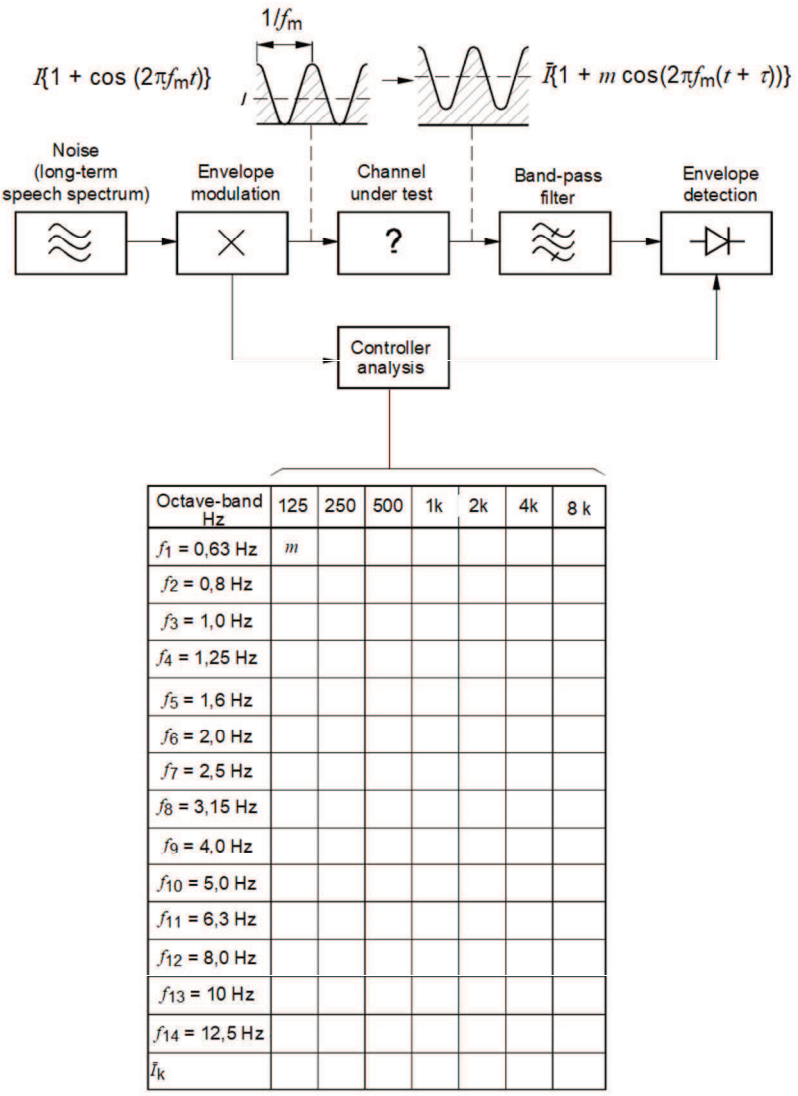
Die umfassendste Messung des STI stellt der vollständige STI dar. Um einen einzelnen STI-Wert zu erhalten, verwendet das Modell des vollständigen STI 98 unabhängige Prüfsignale (14 Modulationsfrequenzen × 7 Oktavbandträger).

Bei der ursprünglichen Entwicklung des STI-Modells wurde ein Prüfsignal verwendet, das jede Modulationsfrequenz sequenziell auf jedes Oktavband anwendete. Für alle anderen, nicht geprüften Oktavbänder wurden zufällige Modulationen verwendet. Die zufälligen Modulationen beruhten auf Energieverteilungen, die in der natürlichen Sprache auftreten, und hatten einen ungefähr 3 dB höheren momentanen Pegel als der Gesamt-Sprachpegel des jeweiligen untersuchten Oktavbandes. Dieses Modell wird als vollständiges STI-Verfahren bezeichnet.

Da jedes Prüfsignal etwa eine Dauer von 10 s hat, nimmt eine direkte vollständige STI-Messung 980 s in Anspruch. Da dies in vielen Situationen nicht praktikabel ist, wird heutzutage das schnellere Verfahren STIPA verwendet. Das direkte vollständige STI-Verfahren wird nur für STI-Grundlagenforschung angewendet.

Das Konzept ist in Bild A.2 in einem Diagramm beschrieben.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08



Englisch	Deutsch
Noise (long-term speech spectrum)	Geräusch (Langzeit-Sprachspektrum)
Envelope modulation	Hüllkurvenmodulation
Channel under test	Zu prüfender Kanal
Band-pass filter	Bandpassfilter
Envelope detection	Hüllkurvenerfassung
Controller analysis	Controller-Analyse
Octave-band Hz	Oktavband Hz

ANMERKUNG Der Wert der Modulationsübertragungsfunktion (m) wird für alle Zellen der Matrix von 7 Oktavbandträgern und 14 Modulationsfrequenzen bestimmt. Für die Berechnung der Hörverdeckungseffekte werden auch die Oktavintensitätspegel ($\bar{I}_k$, gleich dem Quadrat der Schalldruckpegel) ermittelt.

Bild A.2 – Messanordnung und Frequenzen für das STI-Verfahren

A.1.4 STI-Modulationsfrequenzen

Die 14 STI-Modulationsfrequenzen weisen Nenn-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; 6,3 Hz; 8,00 Hz; 10,0 Hz; 12,5 Hz.

ANMERKUNG Für bei STIPA angewendete Frequenzen siehe Tabelle B.1.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

A.2 Berechnung des STI

A.2.1 Allgemeine STI-Gleichung

Der STI wird berechnet mit:

$$STI = \sum_{k=1}^{7} \alpha_k \times MTI_k - \sum_{k=1}^{6} \beta_k \times \sqrt{MTI_k \times MTI_{k+1}}$$

Dabei ist

MTI_k der Modulationsübertragungsindex für Oktavband k;

α_k der geschlechterspezifische Bewertungsfaktor für Oktavband k;

β_k der geschlechterspezifische Redundanzfaktor zwischen Oktavband k und Oktavband k + 1.

Werden STI-Werte von mehr als 1,0 erhalten, sollten diese auf 1,0 gekürzt werden.

Der Modulationsübertragungsindex (MTI_k) für ein Oktavband k wird durch Durchschnittsbildung der Übertragungsindizes (TI) über die Modulationsfrequenzen ermittelt:

$$MTI_k = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^{n} TI_{k,f_m}$$

Dabei ist

TI_{k,f_m} der Übertragungsindex für jedes Oktavband k und jede Modulationsfrequenz f_m;

m der Index der Modulationsfrequenz;

n die Anzahl der Modulationsfrequenzen je Oktavband.

Der Übertragungsindex (TI) für jedes Oktavband und jede Modulationsfrequenz wird wie folgt berechnet:

$$TI_{k,f_m} = \frac{SNR_{eff\ k,f_m} + 15}{30}$$

Dabei ist

$SNR_{eff\ k,f_m}$ das effektive Signal-Rausch-Verhältnis für jedes Oktavband k und jede Modulationsfrequenz f_m in dB.

Es wird mit den korrigierten Werten des Modulationsübertragungsverhältnisses berechnet:

$$SNR_{eff\ k,f_m} = 10 \times \log \frac{m'_{k,f_m}}{1 - m'_{k,f_m}}$$

Dabei ist

m'_{k,f_m} der korrigierte Wert des Modulationsübertragungsverhältnisses für Oktavband k und Modulationsfrequenz f_m (zumeist als m-Werte bezeichnet).

Da das Ergebnis der Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses unendlich werden kann, müssen die Werte auf den Bereich von −15 dB bis +15 dB begrenzt werden.

A.2.2 Geschlechterspezifische Oktavbandbewertungs- und Redundanzfaktoren

Das STI-Verfahren kann zwischen männlichen und weiblichen Sprachsignalen unterscheiden. In der Praxis und zur Vereinfachung des Vorhersage- und Messverfahrens werden jedoch nur männliche Sprachsignale verwendet.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08

Die STI-Bewertungsfaktoren (α) und Redundanzfaktoren (β) für männliche Sprachsignale sind in Tabelle A.1 als Funktion der Oktavbänder aufgeführt.

Tabelle A.1 – MTI-Oktavband-Bewertungsfaktoren

Oktavband Hz		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Männlich	a	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	–
Die Bewertungsfaktoren für den männlichen STI enthalten ein Artefakt, das gelegentlich bei Durchführung von Vorhersageberechnungen auftreten kann. Wenn beispielsweise das Modulationsübertragungsverhältnis des 250-Hz-Oktavbandes gleich oder kleiner als 0,08 ist (entspricht einem Übertragungsindex TI von 0,15) und 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-Bandes beträgt der STI 1,03. Für diese Situation wird empfohlen, den STI-Wert bei 1,0 zu begrenzen. In praktischen STI-Messsituationen ist ein Auftreten dieses Artefakts unwahrscheinlich, da Geräusche dies verhindern.								

A.2.3 Anpassung der MTF im Hinblick auf Umgebungsgeräusch

$$m'_{k,f_m} = m_{k,f_m} \times \frac{I_{sk}}{I_{sk} + I_{n,k}}$$

Dabei ist

m'_{k,f_m} der abgeleitete Wert des Modulationsübertragungsverhältnisses für Oktavband k und Modulationsfrequenz f_m mit Umgebungsgeräusch;

m_{k,f_m} der abgeleitete Wert des Modulationsübertragungsverhältnisses für Oktavband k und Modulationsfrequenz f_m ohne Umgebungsgeräusch;

$I_{s,k}$ der akustische Intensitätspegel des Prüfsignals in Oktavband k;

$I_{n,k}$ der akustische Intensitätspegel des Hintergrundgeräuschs in Oktavband k.

In der Praxis wird m'_{k,f_m} häufig direkt gemessen, unter Bedingungen oder in Simulationen mit sehr hohem SNR muss der Term $I_{n,k}$ für das Geräusch jedoch möglicherweise in der Nachbearbeitung eingefügt werden.

ANMERKUNG $I_k = I_{s,k} + I_{n,k}$ ist gleich dem akustischen Gesamtintensitätspegel, der in A2.4 verwendet wird.

A.2.4 Anpassung der MTF im Hinblick auf Hörverdeckungs- und Schwelleneffekte

Die abgeleiteten Werte des Modulationsübertragungsverhältnisses (m-Werte) werden mithilfe von Hörverdeckungs- und Schwelleneffekten durch Anwendung der folgenden Gleichung korrigiert:

$$m''_{k,f_m} = m'_{k,f_m} \times \frac{I_k}{I_k + I_{am,k} + I_{rt,k}}$$

Dabei ist

m''_{k,f_m} der abgeleitete Wert des Modulationsübertragungsverhältnisses für Oktavband k und Modulationsfrequenz f_m;

I_k der akustische Gesamtintensitätspegel für Oktavband k; beinhaltet den empfangenen Prüfsignalpegel und das Geräusch, $(I_k = I_{s,k} + I_{n,k})$;

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08