DIN EN IEC 60268-16

ICS 17.140.50; 33.160.01

Ersatz für
DIN EN 60268-16:2012-05
Siehe Anwendungsbeginn

Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2020); Deutsche Fassung EN IEC 60268-16:2020

Sound system equipment –
Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index
(IEC 60268-16:2020);
German version EN IEC 60268-16:2020

Équipements pour systèmes électroacoustiques –
Partie 16: Évaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de transmission de la parole
(IEC 60268-16:2020);
Version allemande EN IEC 60268-16:2020

Gesamtumfang 112 Seiten

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

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2020-10-30 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2021-10-01.

Für DIN EN 60268-16:2012-05 besteht eine Übergangsfrist bis 2023-10-30.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN IEC 60268-16:2019-08.

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

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom IEC/TC 100 „Audio, video and multimedia systems and equipment“ erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieses Dokuments bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter "http://webstore.iec.ch" zu diesem Dokument angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees das Dokument

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

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.

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;
b) einige Gleichungen wurden korrigiert;
c) es wurden zusätzliche Informationen über Vorhersage- und Messverfahren aufgenommen;
d) das Spektrum und die Bewertungsfaktoren für weibliche Sprachsignale wurden entfernt;
e) es wurden Informationen zur Überprüfung des Leistungsverhaltens von STI-Messgeräten aufgenommen;

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

f) der Zusammenhang zwischen dem STI und verschiedenen Verfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit in Anhang E wurde aktualisiert;

g) Anhang M enthält zusätzliche Informationen über Anpassungen von STI-Messergebnissen zwecks Simulation der Effekte alternativer Umgebungsgeräusche und Sprachpegel.

Frühere Ausgaben

DIN EN 60268-16: 1999-02, 2004-01, 2012-05

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

– Leerseite –

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPÉENE

EN IEC 60268-16

November 2020

ICS 33.160.01

Ersatz für EN 60268-16:2011 und alle Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden)

Deutsche Fassung

Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2020)

Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index
(IEC 60268-16:2020)

Équipements pour systèmes électroacoustiques – Partie 16: Évaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de transmission de la parole
(IEC 60268-16:2020)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2020-10-30 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 100/3202/CDV, zukünftige 5. Ausgabe der IEC 60268-16, erarbeitet vom IEC/TC 100 „Audio, video and multimedia systems and equipment“ wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 60268-16:2020 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

• spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss	(dop)	2021-07-30
• spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen	(dow)	2023-10-30

Dieses Dokument ersetzt EN 60268-16:2011 und alle Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden).

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60268-16:2020 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60318-1:2009	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60318-1:2009 (nicht modifiziert).
IEC 61672-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61672-1.
IEC 60118-4	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60118-4.
ISO 9921:2003	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 9921:2003 (nicht modifiziert).
ISO/TR 22411:2008	ANMERKUNG	Harmonisiert als CEN ISO/TR 22411:2011 (nicht modifiziert).
ISO 3382-1:2009	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 3382-1:2009 (nicht modifiziert).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Anhang ZA
(normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

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).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abweichungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgelisteten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.eu

Publikation	Jahr	Titel	EN/HD	Jahr
IEC 61260-1	2014	Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters - Part 1: Specifications	EN 61260-1	2014

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort 6

Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen 7

Einleitung 14

1 Anwendungsbereich 17

2 Normative Verweisungen 17

3 Begriffe 17

4 Beschreibung des STI-Modells 22

4.1 Überblick 22

4.2 Anwendbarkeit des STI-Modells 23

4.3 Theoretische Details 24

4.3.1 Hüllkurvenfunktion und Hüllkurvenspektrum 24

4.3.2 Verringerung der Modulation 25

4.3.3 Rolle der Oktavband-Geräuschträger 25

4.3.4 Theoretischer Überblick 25

4.4 Messung des STI 27

4.4.1 Direktes und indirektes Verfahren 27

4.4.2 Vollständiger STI 27

4.4.3 STIPA 28

4.4.4 Wahl des Verfahrens 28

5 Direktes Verfahren zur Messung des STI – Leitlinien für Anwender 31

5.1 Überblick 31

5.2 STIPA 31

5.3 Anwendung 31

5.4 Grenzen 31

6 Indirektes Verfahren zur Messung des STI (Impulsantwort) – Leitlinien für Anwender 32

6.1 Überblick 32

6.2 Anwendung 33

6.3 Grenzen (nichtlineare Verzerrung) 33

7 Grenzen des STI-Modells 34

7.1 Allgemeines 34

7.2 Frequenzverschiebung 35

7.3 Übergangsverzerrung 35

7.4 Aussetzer 35

7.5 Jitter 35

7.6 Digitale Sprachkompressionssysteme 36

7.7 Überschätzung des STI bei geringem Hintergrundgeräusch 36

7.8 Frequenzgang 36

7.9 Echos 37

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

7.10 Schnelle Amplitudenkompression und -expansion 39
7.11 Nichtlineare Verzerrung....40
7.12 Schwer hörende Hörer 40
7.13 Impulsartige und schwankende Geräusche 40
7.14 Schlussfolgerung 40
8 Messverfahren, Nachbearbeitung der Daten und Anwendungen....41
8.1 Allgemeines 41
8.2 Akustische Einspeisung 41
8.3 Akustische Ausspielung 43
8.4 Elektrische Einspeisung 43
8.5 Elektrische Ausspielung 43
8.6 Beispiele für Kombinationen von Einspeisung/Ausspielung....43
8.6.1 Akustische Einspeisung – akustische Ausspielung 43
8.6.2 Elektrische Einspeisung – elektrische Ausspielung (z. B. Beurteilung von kabelgebundenen und kabellosen Kommunikationssystemen) 43
8.6.3 Akustische Einspeisung – elektrische Ausspielung (z. B. Beurteilung von Mikrofonen)....44
8.6.4 Elektrische Einspeisung – akustische Ausspielung (z. B. Beurteilung von Beschallungsanlagen) 44
8.7 Räumliche Mittelung der STI-Messungen 44
8.8 Nachbearbeitung der gemessenen MTF-Daten 45
8.9 Störgeräuschbezogene Aspekte....46
8.9.1 Allgemeines 46
8.9.2 Messung des Hintergrundgeräuschs 46
8.9.3 Schwankende Geräusche 46
8.10 Analyse und Interpretation der Ergebnisse 47
8.11 Binaurale STI-Messungen....47
9 Nutzung des STI als Entwicklungswerkzeug....48
9.1 Überblick....48
9.2 Statistische Vorhersagen....48
9.3 Vorhersage aus simulierter Impulsantwort 48
Anhang A (informativ) Grundlagen des STI-Konzepts....50
A.1 Einleitung zu diesem Anhang 50
A.1.1 Zweck 50
A.1.2 Modulationsübertragungsfunktion (MTF) 50
A.1.3 STI-Modell 51
A.1.4 STI-Modulationsfrequenzen 52
A.2 Berechnung des STI 52
A.2.1 Allgemeine STI-Gleichung....52
A.2.2 Geschlechterspezifische Oktavbandbewertungs- und Redundanzfaktoren....53
A.2.3 Anpassung der MTF im Hinblick auf Umgebungsgeräusch 54

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

A.2.4 Anpassung der MTF im Hinblick auf Hörverdeckungs- und Schwelleneffekte 54
A.3 Berechnung der Werte des Modulationsübertragungsverhältnisses 55
A.3.1 Direktes Verfahren: Analyse des STI-Prüfsignals 55
A.3.1.1 Grundlegende Verarbeitungsschritte 55
A.3.1.2 Frequenzfilterung und Intensitätsbestimmung 55
A.3.1.3 Ableitung der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) mit dem direkten Verfahren 55
A.3.2 Indirektes Verfahren: Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) 56
A.3.2.1 Grundlegende Verarbeitungsschritte 56
A.3.2.2 Frequenzfilterung und Intensitätsbestimmung 56
A.4 Hörbezogene Auswirkungen auf den STI 57
A.4.1 Überblick 57
A.4.2 Pegelabhängige Hörverdeckung 57
A.4.3 Absolute Sprachrezeptionsschwelle 59
A.5 Erzeugung des STI-Prüfsignals (direktes Verfahren) 60
A.5.1 Signal von einer Quelle für rosa Rauschen 60
A.5.2 Erzeugen von Oktavband-Trägersignalen 60
A.5.3 Intensitätsmodulation der Trägersignale 60
A.5.4 Anwenden des Sprachspektrums auf das STI-Prüfsignal 61
A.6 Spektrum des STI-Prüfsignals 61
A.6.1 Genormtes Sprachspektrum 61
A.6.2 Sprachförmiges Geräusch 61
Anhang B (normativ) STIPA-Verfahren 63
B.1 Überblick 63
B.2 Prüfsignal 63
Anhang C (normativ) Überprüfung von STI-Messgeräten 65
C.1 Spezifikation des Messgeräts 65
C.2 Signale für das Prüfen von STI-Implementierungen 65
C.3 Prüfen des Dynamikbereichs im Modulationsbereich 65
C.3.1 Allgemeines 65
C.3.2 Prüfen der Modulationstiefe für das direkte STIPA-Verfahren 66
C.3.3 Prüfen der Modulationstiefe für das indirekte STI-Verfahren 66
C.4 Prüfen von Übersprechen zwischen Oktavfiltern 67
C.4.1 Flankensteilheit 67
C.4.2 Prüfen von Oktavfiltern – direktes STIPA-Verfahren 67
C.4.3 Dateien zur Überprüfung des Leistungsvermögens 68
Anhang D (informativ) Verwendung von STI-Messgeräten 69
D.1 Überblick 69
D.2 STIPA beschreibt nur den Sprachübertragungskanal 69
D.3 Beispiele für Prüfszenarien für STIPA-Prüfungen 70
D.4 Erforderliche Ausrüstung und Ressourcen für eine STIPA-Prüfung 73

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

D.4.1 Verfügbarkeit des Prüfsignals 73
D.4.2 Eine Quelle des STIPA-Prüfsignals 73
D.4.3 Ein STIPA-Analysator 73
D.5 Verfahrensschritte 73
Anhang E (informativ) Qualifizierung des STI und Zusammenhänge mit anderen Maßen der Sprachverständlichkeit 74
E.1 Zusammenhang zwischen dem STI und Wort-/Satz-Werten 74
E.2 Zusammenhang zwischen dem STI und der Höranstrengung 74
Anhang F (informativ) Nominelle Qualifikationsbänder für den STI 76
Anhang G (informativ) Beispiele für STI-Qualifikationsbänder und typische Anwendungen 77
Anhang H (informativ) Nicht muttersprachliche Hörer 79
Anhang I (informativ) Auswirkung von altersbedingten Hörverlusten und Hörbeeinträchtigungen auf die Sprachverständlichkeit 80
Anhang J (normativ) Einstellung und Anpassung des STI-Prüfsignalpegels 81
J.1 Überblick 81
J.2 Das Konzept des „Sprachpegels“ und das Messverfahren 81
J.3 Tatsächlicher Sprachpegel 81
J.4 Von dem tatsächlichen Sprachpegel abgeleiteter korrigierter Sprachpegel 82
J.5 Vergleich der dynamischen Strukturen von Sprach- und Prüfsignalen 82
Anhang K (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht zu STI-Messungen 83
Anhang L (normativ) Vorhersage des STI mithilfe statistischer Verfahren 86
Anhang M (informativ) Anpassung von STI-Daten zur Simulation von anderen Umgebungsgeräuschspektren und unterschiedlichen Sprachpegeln 88
Anhang N (informativ) Weitere Verfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit 97
N.1 Überblick 97
N.2 Worttests 97
N.3 Modifizierte Reimtests 97
N.4 Sprachverständlichkeitsindex (SII) 97
N.5 PESQ 98
Anhang O (informativ) Alternative direkte Verfahren zur Messung des vollständigen STI 99
Anhang P (normativ) Von Herstellern bereitzustellende Informationen 100
P.1 Zweck dieses Anhangs 100
P.2 Formale Vorgaben bezüglich den bereitzustellenden Informationen 100
P.3 Vorgeschriebene Informationen 100
P.4 Erklärung 100
Anhang Q (informativ) Auswirkung von Unsicherheiten der gewählten Parameter auf die STI-Unsicherheit 101
Q.1 Berechnungsansatz des STI 101
Q.1.1 Überblick 101
Q.1.2 Statistische MTF 101
Q.1.3 Korrekturen 101

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Q.1.4 Effektives SNR 102
Q.1.5 Modulationsübertragungsindex (MTI) 102
Q.1.6 Sprachübertragungsindex (STI) 102
Q.2 Die Auswirkung der Unsicherheit der Nachhallzeit auf die STI-Unsicherheit 102
Q.2.1 Allgemeines 102
Q.2.2 Modulationsübertragungsfunktion 102
Q.2.3 STI-Unsicherheit 103
Q.2.4 Schlussfolgerungen: 104
Q.3 Die Auswirkung der Unsicherheit des Signal-Rausch-Pegels (S/N) auf die STI-Unsicherheit 104
Q.3.1 Allgemeines 104
Q.3.2 Ideale Übertragungsfunktion 105
Q.3.3 Nachhall 105
Q.3.4 Schlussfolgerungen: 106
Q.4 Die Auswirkung der Unsicherheit des Signalpegels auf die STI-Unsicherheit 106
Q.4.1 Überblick 106
Q.4.2 Hörverdeckung 106
Q.4.3 Schlussfolgerungen 108
Literaturhinweise 109

Bilder

Bild 1 – Hüllkurvenfunktion (Teilbild A) eines 10-s-Sprachsignals für das 250-Hz-Oktavband und entsprechendes Hüllkurvenspektrum (Teilbild B) 25
Bild 2 – Modulationsübertragungsfunktion – Vergleich Eingang/Ausgang 26
Bild 3 – Effekt einer einzelnen verzögerten Ankunft auf die MTF (idealisierte Bedingungen) 38
Bild 4 – Idealisierter STI (männliches Sprachspektrum) in Abhängigkeit von der Verzögerung und dem Pegel der sekundären Ankunft 39
Bild A.1 – Theoretische Darstellung der MTF 50
Bild A.2 – Messanordnung und Frequenzen für das STI-Verfahren 52
Bild A.3 – Hörverdeckung von Oktavband (k – 1) in Oktavband k 58
Bild A.4 – Zusammenhang zwischen STI und Sprachpegel für verschiedene Nachhallzeiten 59
Bild D.1 – Schematische Darstellung der Definition eines Sprachübertragungskanals 70
Bild E.1 – Zusammenhänge zwischen einigen Maßen der Sprachverständlichkeit 74
Bild E.2 – Zusammenhang zwischen STI, Sprachverständlichkeitsbewertungen und Höranstrengungsbewertungen [43], [44] 75
Bild F.1 – STI-Qualifikationsbänder 76
Bild Q.1 – Unsicherheit des Absolutwertes des STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit (RT) mit unterschiedlichen Graden der Unsicherheit der Nachhallzeit 104
Bild Q.2 – Unsicherheit des Absolutwertes des STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit (RT) mit 1 dB Unsicherheit des SNR bei verschiedenen SNR 106
Bild Q.3 – Unsicherheit des Absolutwertes des STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit (RT) mit unterschiedlichen Graden der Verdeckung 108

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Tabellen

Tabelle 1 – Zur Nutzung dieses Dokuments 15
Tabelle 2 – Vergleich des direkten und indirekten Verfahrens 27
Tabelle 3 – Eignung der STI-Prüfverfahren im Hinblick auf unterschiedliche Verzerrungsarten 29
Tabelle 4 – Eignung der Prüfverfahren 29
Tabelle 5 – Anwendung der Messungen 30
Tabelle A.1 – MTI-Oktavband-Bewertungsfaktoren 54
Tabelle A.2 – Hörverdeckung als Funktion des Oktavbandpegels 58
Tabelle A.3 – Absolute Sprachrezeptionsschwelle in Oktavbändern 59
Tabelle A.4 – Oktavbandpegel (dB), bezogen auf den A-bewerteten Sprachpegel 61
Tabelle A.5 – Filterparameter und Polynome der s-Ebene, die sprachförmiges rosa Rauschen erzeugen 62
Tabelle B.1 – Modulationsfrequenzen für das STIPA-Verfahren 63
Tabelle C.1 – Spezifikation eines STI-Messgeräts 65
Tabelle D.1 – Szenario 1, Beschallungsanlage mit Live-Ansager 71
Tabelle D.2 – Szenario 2, Beschallungsanlage mit aufgezeichneten Ansagen 71
Tabelle D.3 – Szenario 3, Beschallungsanlage mit Live-Besprechungen und -Unterhaltungen 72
Tabelle D.4 – Szenario 4, Vorlesung 72
Tabelle E.1 – Kategorien der Höranstrengung 75
Tabelle G.1 – Beispiele für typische Anwendungen der STI-Qualifikationsbänder 77
Tabelle H.1 – Für nicht muttersprachliche Hörer angepasste Tabelle der Verständlichkeitsqualifikation 79
Tabelle I.1 – Angepasste Tabelle der Verständlichkeitsqualifikation für normale Hörer und Hörer über 60 Jahre mit Hörverlust 80
Tabelle J.1 – Typische Dynamikwerte von Sprach- und Prüfsignalen 82
Tabelle J.2 – Vergleich von Sprach- und Prüfsignalen 82
Tabelle K.1 – Beispiel für einen Prüfbericht 83
Tabelle K.2 – Messdatenblatt 84
Tabelle M.1 – Ablauf der Anpassungsschritte bei der Nachbearbeitung 88
Tabelle M.2 – Beispielberechnung 93

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

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. Dieses Dokument 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;
- Berater im Bereich Akustik und Elektroakustik;
- Installateure von Beschallungsanlagen;

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

- Wissenschaftler, die STI-Verfahren untersuchen, sowie Entwickler von Geräten zur Messung des STI.

In Tabelle 1 ist zusammengefasst, welche Abschnitte dieses Dokuments für die verschiedenen Anwender und Anwendungen von Interesse sind.

Tabelle 1 – Zur Nutzung dieses Dokuments

Zweck	Thema	Abschnitt
Alle Anwender	Einführung in das STI-Verfahren	
Routineüberprüfung von Sprachalarm- oder Beschallungsanlagen mit STIPA	Direktes Verfahren zur Messung des STI	4
Ausführliche Überprüfung von Beschallungsanlagen mit STIPA und/oder Impulsantwortverfahren bzw. Überprüfung zwecks Zertifizierung solcher Anlagen	Beschreibung des STI-Verfahrens	5
	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
	Nachbearbeitung gemessener MTF-Daten	8.8
	Grenzen der Messverfahren	5.4, 6.3
	Optional: Theorie und Gleichungen der STI-Verfahren	Anhang A und Anhang B
	Optional: Zusammenhang zwischen subjektiven und objektiven Maßen für die Verständlichkeit	Anhang F
	Optional: Messunsicherheiten	Anhang Q
Messen von Telekommunikationseinrichtungen	Nur direktes Verfahren	8.6.2
Hersteller von STIPA-Geräten	Theorie und Gleichungen der STI-Verfahren	Anhang A und Anhang 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 P
Forschung zur Sprachverständlichkeit	Theorie und Gleichungen der STI-Verfahren	Anhang A und Anhang 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 M
Beurteilung der potenziellen Verständlichkeit von assistiven Hörsystemen	Entsprechend den oben aufgeführten ausführlichen Messungen des STI	
	Spezieller Prozess für assistive Hörsysteme	8.6.3

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Überarbeitungsverlauf

Die Überarbeitungen gestalteten sich wie folgt:

- Überarbeitung 1: 1988. In der ersten Fassung der STI-Norm wurde ein geschlechterunabhängiges Prüfsignalspektrum verwendet.
- Überarbeitung 2: 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.
- Überarbeitung 3: 2003. Wichtige Unterschiede zwischen der zweiten und der dritten Überarbeitung sind die Einführung von
  - pegelabhängigen Verdeckungsfunktionen;
  - 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.
- Überarbeitung 4: 2011.
  - Die Verwendung der Begriffe STI_r 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: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60268 definiert das Modell, die Prüfsignale, die Messung und die Vorhersageverfahren des STI.

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

Dieses Dokument definiert keine STI-Kriterien für die Zertifizierung von Übertragungskanälen (z. B. 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 diesem Dokument 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*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden 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

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

3.5
STI-Modell
Rahmenwerk zur Quantifizierung des potenziellen Effekts, den ein Übertragungsweg zwischen einem Sprecher und einem Hörer auf die Sprachverständlichkeit hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Modell sagt die Sprachverständlichkeit auf Grundlage des Grades voraus, bis zu dem die Intensitätsmodulationen der Sprache bei der Übertragung erhalten bleiben.

3.6
vollständiger STI
Modell zur Vorhersage und Messung des Sprachübertragungsindex, das 14 Modulationsfrequenzen in jedem der 7 Oktavbänder verwendet

3.7
Verzerrung
unbeabsichtigte und im Allgemeinen 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

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

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
PA
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

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

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

3.14
tatsächlicher Sprachpegel
Schalldruckpegel des Rundfunk-Sprachsignals, der gemessen und zum Ableiten des korrigierten Sprachpegels, üblicherweise durch Hinzufügen von 3 dB, verwendet wird

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Anmerkung 1 zum Begriff: 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 [1].

3.18
Talkbox
in einem Gehäuse eingebauter Lautsprecher, der dafür ausgelegt ist, eine ähnliche Richtwirkung und Abstrahlcharakteristik wie ein durchschnittlicher menschlicher Kopf aufzuweisen und einen kalibrierten Frequenzgang für reproduzierte Prüfsignale zu erzeugen

3.19
nicht muttersprachlicher Sprecher
Person, die eine andere Sprache spricht als die Sprache, die von dieser Person in ihrer Kindheit als erste Sprache erlernt wurde

3.20
absolute Sprachrezeptionsschwelle
um den Dynamikbereich, der zur Erkennung von Sprachlauten mindestens notwendig ist, erhöhte Hörschwelle

3.21
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.

3.22
künstliches Ohr
Vorrichtung zum Empfang akustischer Signale mit ähnlichen Merkmalen wie das menschliche Ohr

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe IEC 60318-1 [2].

3.23
Intensitätsfunktion
Quadrat des Amplitudensignals in Abhängigkeit von der Zeit

3.24
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: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

3.25
Hüllkurvenspektrum
Spektralkomponenten der Hüllkurvenfunktion

3.26
Modulationsfrequenz
F_e
Frequenz der sinusförmigen Schwankung der Hüllkurvenfunktion, die üblicherweise im Bereich 0,1 Hz bis 30 Hz liegt

3.27
spezifische Modulationsfrequenz
f_m
spezifische Frequenz der sinusförmigen Schwankung der Hüllkurvenfunktion, die im Bereich 0,63 Hz bis 12,5 Hz liegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Indexvariable m, der Index für die Modulationsfrequenz, ist weder die gleiche Variable wie in IEC 61260-1 noch entspricht sie dem sog. „m-Wert“ (siehe 3.29) oder den in 4.3.4 für die Modulationstiefe verwendeten Symbolen m_i und m_o.

Anmerkung 2 zum Begriff: m nimmt Werte von 1 bis 14 an. Siehe Bild A.1 und A.2.1.

3.28
Modulationstiefe
Wert zwischen 0 und 1, der die Tiefe einer sinusförmigen Modulation der Intensitätsfunktion beschreibt

3.29
Modulationsübertragungsverhältnis
***m*-Wert**
Verhältnis zwischen der Modulationstiefe der Intensitätsfunktionen der empfangenen und der ursprünglichen (übertragenen) Signale

3.30
Modulationsübertragungsfunktion
MTF
Modulationsübertragungsverhältnis in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

3.31
Modulationsübertragungsindex
MTI
$m(f_m)$
ungewichteter Mittelwert der Übertragungsindizes über alle Modulationsfrequenzen innerhalb eines gegebenen Oktavbandes

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

3.32
Übertragungsindex
TI
T
effektive Signal-Rausch-Verhältnisse, skaliert auf einen Wert zwischen 0 und 1

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

3.33
Oktavband-Bewertungsfaktor
α
relativer Anteil in jedem Oktavband am Sprachübertragungsindex

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

3.34
Oktavband-Redundanzfaktor
β
Anteil redundanter Information zwischen zwei benachbarten Oktavbändern im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit

3.35
Hintergrundgeräusch
Geräusche, die stationäre, schwankende und impulsartige Geräusche umfassen, die bei Unterdrücken der betrachteten Sprach- oder Prüfsignale übrigbleiben

3.36
stationäres Geräusch
Dauergeräusch mit einem in etwa konstanten Pegel

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

3.37
impulsartiges Geräusch
Geräusch, das durch kurze, einzelne Schalldruck-Bursts gekennzeichnet ist

3.38
schwankendes Geräusch
Dauergeräusch, dessen Schalldruckpegel innerhalb der Betrachtungsdauer variiert, jedoch nicht impulsartig

3.39
Signal-Rausch-Verhältnis
SNR
ρ
Differenz in dB zwischen dem Schalldruckpegel des Sprach- oder Prüfsignals und dem Schalldruckpegel des Hintergrundgeräuschs, wobei die Schalldruckpegel mithilfe einer genormten Frequenzbewertung bestimmt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Anmerkung gilt nur für die französische Sprachfassung.

3.40
effektives Signal-Rausch-Verhältnis
SNR_{eff}
ρ_{eff}
in die Signal-Rausch-Verhältnis-Domäne umgewandelte und in dB ausgedrückte Modulationsübertragungsfunktion

3.41
Scheitelfaktor
Differenz in dB zwischen dem Spitzen- und dem Effektivwert der Schalldruckpegel während eines bestimmten Zeitintervalls

3.42
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.

3.43
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

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

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

BEISPIEL 2 Für Oktavfilter ist das Frequenzverhältnis 2.

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.

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

3.44
Bezugsschalldruck
p_0
Schalldruck, der für Luftschall üblicherweise auf 20 µPa festgelegt ist

3.45
Schalldruckpegel
L_p
zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Effektivwerts des Schalldrucks zum Bezugsschalldruck, ausgedrückt in dB

3.46
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:

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

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 Kommunikationskanäle, die von einem großen Bereich von akustischen und elektroakustischen Verzerrungen, die sich auf die Sprachverständlichkeit auswirken, beeinflusst werden können.

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

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

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 die in Anhang H bzw. Anhang I angegebenen 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 [4], [5] und [6]. 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.

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 [8] 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 Hintergrundgeräusch), dann können Modulationen in den angrenzenden Oktavbändern 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 [7], 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.

ANMERKUNG Anhang E enthält einen Vergleich der STI-Verfahren mit anderen Verfahren zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit.

4.2 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.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Lässt die Situation oder der Übertragungskanal die Anwendung von STI-Modellen nicht zu, müssen alternative Techniken zur Einschätzung der Verständlichkeit angewendet werden. Es gibt noch andere Verfahren zur Einschätzung der Qualität von Sprachkommunikation, von denen jedes seine Vor- und Nachteile hat. In Anhang N werden weitere Maße für die Verständlichkeit beschrieben.

4.3 Theoretische Details

4.3.1 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 diese Weise kann das Modulationsverhältnis als Funktion der Modulationsfrequenz gebildet werden, wie in Bild 1, Teilbild B, dargestellt, wo das Spektrum im Hinblick auf die mittlere Intensität I_k normiert ist.

ANMERKUNG k ist die Oktavbandzahl. Siehe 6.1.

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.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

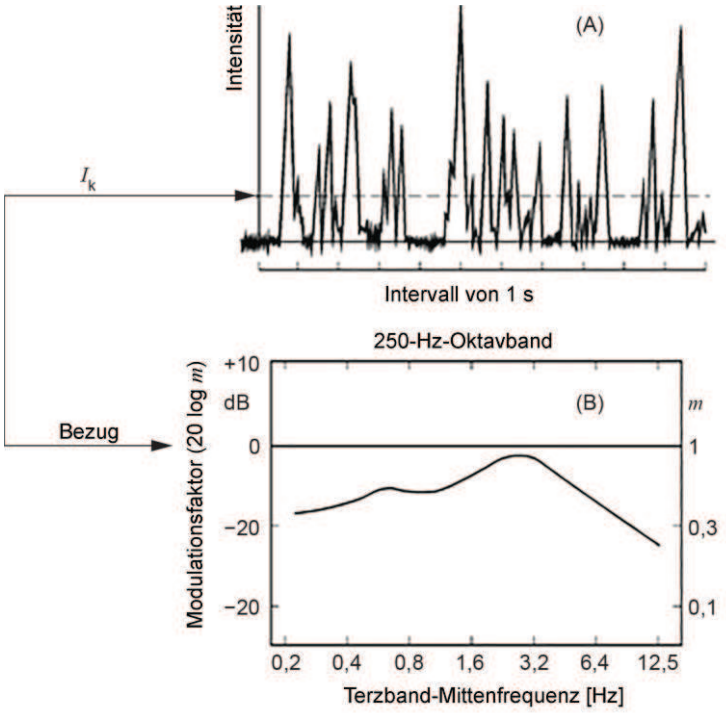


Bild 1 – Hüllkurvenfunktion (Teilbild A) eines 10-s-Sprachsignals für das 250-Hz-Oktavband und entsprechendes Hüllkurvenspektrum (Teilbild B)

4.3.2 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.

4.3.3 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.

Das STI-Modell bestimmt die Modulationsübertragungsfunktion $m(F)$ des Übertragungskanals. Das Verfahren des vollständigen STI liefert insgesamt 98 Ergebnisse, 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 5.4). 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 [8] angegeben.

4.3.4 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.

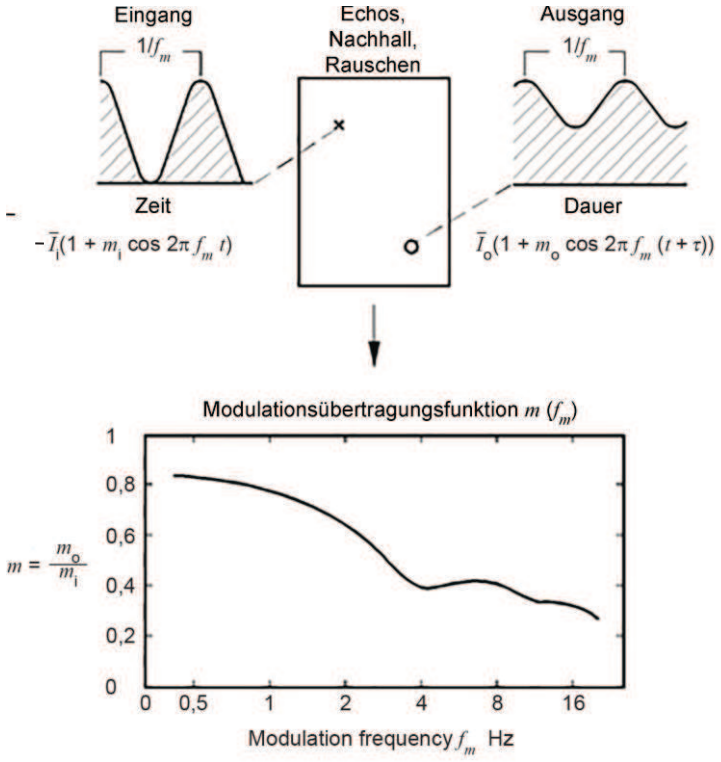
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

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.2 zeigt 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 über einen Kommunikationskanal eingespielt und an einer Hörerposition mit der verminderten Modulationstiefe m_o empfangen. Das Prüfsignal wird von einer Schallquelle, die einen menschlichen Sprecher an der Sprecherposition nachbildet, übertragen und an allen Hörerpositionen befindet sich ein empfangendes Prüfmikrofon.

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.



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

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:

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

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

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

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

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.

Anhang A enthält eine ausführlichere Beschreibung der Berechnung des Sprachübertragungsindex.

4.4 Messung des STI

ANMERKUNG Abschnitt 8, Anhang D, Anhang P und Anhang Q enthalten nähere Informationen zu praktischen Messungen, zu den Festlegungen für die Messgeräte sowie zur Unsicherheit der Ergebnisse.

4.4.1 Direktes und indirektes 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
Messabweichung der Abtastrate zwischen den Abtastraten der Signalquelle und des Empfängers während des Messdauer	Fehler kleiner als 20×10^{-6}	Fehler kleiner als $0{,}5 \times 10^{-6}$

[a] Siehe 7.8 für weitere Informationen.

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

4.4.2 Vollständiger STI

Im Rahmen der in [4], [5], [6], [8], [9], [10] und [11] beschriebenen Untersuchungen wurden die Grundlage und das Verfahren für den vollständigen STI entwickelt.

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

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 diese Techniken sind in Anhang O zu finden.

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

4.4.3 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.

4.4.4 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 3 und Tabelle 4 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: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

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

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Art der Verzerrung	Vollständiger STI, direkt	STIPA	Vollständiger STI, indirekt	Grenzen	Alternative Lösung
Analoge Phasen- oder Frequenzverschiebung	++	++	--	Sämtliche Verfahren, bei denen die Rate der digitalen Abtastung des Prüfsignals geändert wird, sind ungeeignet	
Die Symbole „+“ und „−“ geben einen generellen Hinweis auf die Eignung des Verfahrens.					

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.

Tabelle 5 – Anwendung der Messungen

Anwendung	Vollständiger STI, direkt	STIPA	Vollständiger STI, indirekt	Bemerkung	Alternative Lösung / Abschnitt
Einschätzung der Eignung der Raumakust k für Sprachkommun kation (keine elektronische Verstärkung)	++	++	++		
Beurteilung von Beschallungs- und Sprachalarmanlagen	++	++	++		
Beurteilung von Telekommun kationskanälen (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
Die Symbole „+“ und „−“ geben einen generellen Hinweis auf die Eignung des Verfahrens.					

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

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

Diese Vereinfachung kommt bei dem in Anhang B beschriebenen STIPA-Verfahren zum Einsatz, bei dem die Messzeit 15 s bis 25 s umfasst. Das STIPA-Verfahren eignet sich für die Messung von natürlicher Sprache (Übertragung über die Raumakustik) sowie von Beschallungsanlagen.

Die Bezeichnung STIPA bezieht sich speziell auf ein moduliertes, sprachförmiges Signal (entsprechend der Beschreibung in Anhang B). 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 [13]. Die Messung von Hörhilfesystemen oder -kanälen ist möglich, wobei ebenfalls spezifische Korrekturen erforderlich sein können [14].

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.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

Da das Prüfsignal ein bandbegrenztes Rauschen oder Pseudorauschen ist, liefert die Wiederholung der Messungen üblicherweise keine identischen Ergebnisse, 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 etwa 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 [12], [15], [16].

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. Es empfiehlt sich nicht, den STI zu messen, wenn erhebliche impulsartige Geräusche vorliegen, deren Auswirkungen komplex und sehr variabel sind.

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.

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 $m_k(f_m)$ bei der Modulationsfrequenz f_m im Oktavband k sollte die folgende Gleichung (deren erster Faktor die Schroeder-Gleichung ist) angewendet werden.

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

Dabei ist

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

f_m die Modulationsfrequenz;

ρ_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 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.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

6.2 Anwendung

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

a) Messungen der Impulsantwort müssen nach ISO 18233 vorgenommen werden.

b) Die Länge der erfassten Impulsantwort muss mindestens 1,6 s betragen, keinesfalls jedoch weniger 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 geeignet. Jedoch kann auch ein sprachförmiges MLS-Signal ohne Mittelwertbildung angewendet werden, um die Auswirkung von Hintergrundgeräusch 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.

j) Die Auswirkung von Hintergrundgeräusch (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 [16], [17]. 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

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10

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.

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 vorgesehenen 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 sollte beachtet werden, 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.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60268-16:2021-10