

DIN EN 60268-16

ICS 17.140.50; 33.160.01

Ersatz für
DIN EN 60268-16:2004-01
Siehe Anwendungsbeginn

**Elektroakustische Geräte –
Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den
Sprachübertragungsindex
(IEC 60268-16:2011);
Deutsche Fassung EN 60268-16:2011**

Sound system equipment –

Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index
(IEC 60268-16:2011);

German version EN 60268-16:2011

Equipements pour systèmes électroacoustiques –

Partie 16: Evaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de
transmission de la parole
(CEI 60268-16:2011);

Version allemande EN 60268-16:2011

Gesamtumfang 74 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE
Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2011-08-02 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2012-05-01.

Für DIN EN 60268-16:2004-01 gilt eine Übergangsfrist bis zum 2014-08-02.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 60268-16:2009-11.

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

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 100 „Audio, video and multimedia systems and equipment“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

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

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

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

Änderungen

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

- a) Verbesserung des *STI*-Modells im Hinblick auf die pegelabhängige Verdeckungsfunktion;
- b) der Raumakustik-Sprachübertragungsindex (*RASTI*) gilt als veraltet und sollte nicht mehr verwendet werden; ebenso der „verbesserte Sprachübertragungsindex“;
- c) Berechnungen zur Hinzurechnung oder Beseitigung der Auswirkungen von Hintergrundgeräuschen und zur Veränderung des Sprachpegels sowie ein durchgerechnetes Beispiel;
- d) Anmerkungen zu den Grenzen des *STI*-Verfahrens;
- e) Verfahren zur Vorhersage der *STI*-Leistung von Übertragungskanälen basierend auf der vorhergesagten (im Gegensatz zur gemessenen Leistung von Teilen des Übertragungskanals oder des Übertragungskanals insgesamt);
- f) Einführung von *STI*-Korrekturen für nicht muttersprachliche Hörer;
- g) Einführung von *STI*-Korrekturen für Hörer mit bestimmten Hörverlust-Arten;
- h) Beziehung zwischen dem *STI* und der Hörschwierigkeitsskala.

Frühere Ausgaben

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

Deutsche Fassung

Elektroakustische Geräte –
Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den
Sprachübertragungsindex
(IEC 60268-16:2011)

Sound system equipment –
Part 16: Objective rating of speech
intelligibility by speech transmission index
(IEC 60268-16:2011)

Equipements pour systèmes
électroacoustiques –
Partie 16: Evaluation objective de
l'intelligibilité de la parole au moyen de
l'indice de transmission de la parole
(CEI 60268-16:2011)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2011-08-02 angenommen. Die 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat 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, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2011 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60268-16:2011 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 100/1812/FDIS, zukünftige 4. Ausgabe von IEC 60268-16, ausgearbeitet von dem IEC/TC 100 „Audio, video and multimedia systems and equipment“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2011-08-02 als EN 60268-16 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60268-16:2003.

EN 60268-16:2011 enthält die folgenden wesentlichen technischen Änderungen in Bezug auf EN 60268-16:2003:

- Entwicklung einer mehr übergreifenden, kompletten und eindeutigen Normung der *STI*-Methodik;
- der Begriff *STI*, wird nicht mehr verwendet. Eine neue Funktion für die Vorhersage von Hörverdeckungs-Effekten wurde eingeführt;
- das Konzept von „Sprachpegeln“ und die Einstellung des Pegels für das Test-Signal wurden eingeführt;
- zusätzliche Information für die Vorhersage und für Messverfahren wurde eingefügt.

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

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2012-05-02
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2014-08-02

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60268-16:2011 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:

- | | | | |
|------|-----------------------|-----------|---|
| [2] | IEC 60318-1:2009 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN 60318-1:2009 (nicht modifiziert). |
| [3] | IEC 61672 (all parts) | ANMERKUNG | Harmonisiert in der Reihe EN 61672. |
| [37] | ISO 7029:2000 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN ISO 7029:2000. |
| [44] | ISO 3382-1:2009 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN ISO 3382-1:2009. |
-

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Beschreibung des <i>STI</i> -Verfahrens	14
4.1 Allgemeines	14
4.1.1 Begründung für das <i>STI</i> -Verfahren	14
4.1.2 Anwendbarkeit des <i>STI</i> -Verfahrens	14
4.2 Hintergrund des <i>STI</i> -Verfahrens	14
4.2.1 Allgemeines	14
4.2.2 Theoretischer Überblick	16
4.2.3 Messung des <i>STI</i>	17
4.3 Anwendbarkeit des <i>STI</i> -Verfahrens	19
4.4 Anwendung direkter und indirekter Verfahren	20
4.5 Grenzen des <i>STI</i> -Verfahrens	20
4.5.1 Allgemeines	20
4.5.2 Frequenzverschiebung	21
4.5.3 Übergangsverzerrung (en: Centre clipping)	21
4.5.4 Aussetzer (en: Drop outs)	21
4.5.5 Jitter	21
4.5.6 Vocoder	21
4.5.7 Überschätzung des <i>STI</i> bei geringen Hintergrundgeräuschen	21
4.5.8 Frequenzgang	22
4.5.9 Echos	22
4.5.10 Schnelle Amplitudenkompression und -expansion	22
4.5.11 Nichtlineare Verzerrung	23
4.5.12 Impulsartige und schwankende Geräusche	23
4.5.13 Schwer hörende Hörer	24
4.6 Schlussfolgerung	24
5 Direktes Verfahren zur Messung des <i>STI</i>	24
5.1 Überblick	24
5.2 STIPA	25
5.3 Anwendung	25
5.4 Grenzen	25
6 Indirektes Verfahren zur Messung des <i>STI</i> auf Basis der Impulsantwort	26
6.1 Überblick	26
6.2 Anwendung	26

	Seite
6.3 Grenzen (nichtlineare Verzerrung)	27
7 Messverfahren, Nachbearbeitung der Daten und Anwendungen	28
7.1 Allgemeines	28
7.2 Akustische Einspeisung	28
7.3 Akustische Ausspielung	29
7.4 Elektrische Einspeisung	29
7.5 Elektrische Ausspielung	30
7.6 Beispiele für Kombinationen von Einspeisung/Ausspielung	30
7.6.1 Akustische Einspeisung – akustische Ausspielung	30
7.6.2 Elektrische Einspeisung – elektrische Ausspielung (z. B. Beurteilung von kabelgebundenen und kabellosen Kommunikationssystemen)	30
7.6.3 Akustische Einspeisung – elektrische Ausspielung (z. B. Beurteilung von Mikrofonen)	30
7.6.4 Elektrische Einspeisung – akustische Ausspielung (z. B. Beurteilung von Beschallungsanlagen)	30
7.7 Nachbearbeitung gemessener <i>MTF</i> -Daten	31
7.8 Störgeräuschbezogene Aspekte	31
7.8.1 Allgemeines	31
7.8.2 Messung des Hintergrundgeräuschs	32
7.8.3 Schwankende Geräusche	32
7.9 Analyse und Interpretation der Ergebnisse	32
7.10 Binaurale <i>STI</i> -Messungen	32
8 Nutzung des <i>STI</i> als Entwicklungswerkzeug	33
8.1 Überblick	33
8.2 Statistische Vorhersagen	33
8.3 Vorhersage aus simulierter Impulsantwort	34
Anhang A (normativ) Methoden für Sprachübertragungsindex (<i>STI</i>) und verbesserten <i>STI</i>	35
Anhang B (normativ) <i>STIPA</i> -Verfahren	48
Anhang C (normativ) <i>STITEL</i> -Verfahren	49
Anhang D (informativ) <i>RASTI</i> -Verfahren (veraltet)	50
Anhang E (informativ) Qualifizierung des <i>STI</i> und Zusammenhänge mit anderen Verfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit	52
Anhang F (informativ) Nominelle Qualifikationsbänder für den <i>STI</i>	54
Anhang G (informativ) Beispiele von <i>STI</i> -Qualifikationsbändern und typischen Anwendungen	55
Anhang H (informativ) Nicht muttersprachliche Hörer	56
Anhang I (informativ) Auswirkung von altersbedingten Hörverlusten und Hörbeeinträchtigungen auf die Sprachverständlichkeit	57
Anhang J (normativ) Kalibrierung des <i>STI</i> -Prüfsignalpegels	58
Anhang K (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht zu <i>STI</i> -Messungen	60
Anhang L (normativ) Vorhersage des <i>STI</i> mit Hilfe statistischer Verfahren	62
Anhang M (informativ) Anpassung von gemessenen <i>STI</i> - und <i>STIPA</i> -Ergebnissen zur Simulation von Betriebsgeräuschen und unterschiedlichen Sprachpegeln	64

	Seite
Anhang N (informativ) Weitere Verfahren zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit	68
Literaturhinweise	70
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	72
Bilder	
Bild 1 – Konzept der Modulationsreduktion durch einen Übertragungskanal	15
Bild 2 – Modulations-Übertragungsfunktion – Vergleich Eingang/Ausgang.....	16
Bild A.1 – Hüllkurvenfunktion (Teilbild A) eines 10-s-Sprachsignals für das 250-Hz-Oktavband und entsprechendes Hüllkurvenspektrum (Teilbild B)	36
Bild A.2 – Theoretische Darstellung der <i>MTF</i>	37
Bild A.3 – Messanordnung und Frequenzen für das <i>STI</i> -Verfahren.....	39
Bild A.4 – Hörverdeckung von Oktavband ($k - 1$) in Oktavband (k).....	40
Bild D.1 – Darstellung eines geeigneten <i>RASTI</i> -Prüfsignals.....	51
Bild E.1 – Zusammenhänge zwischen einigen Messverfahren zur Sprachverständlichkeit	52
Bild E.2 – Zusammenhang zwischen <i>STI</i> , Sprachverständlichkeitsbewertungen und Höranstrengungsbewertungen.....	53
Bild F.1 – <i>STI</i> -Qualifikationsbänder	54
Tabellen	
Tabelle 1 – Vergleich der <i>STI</i> -Verfahren im Hinblick auf unterschiedliche Verzerrungsarten.....	18
Tabelle 2 – Anwendbarkeit der Prüfung	19
Tabelle 3 – Wahl des Verfahrens	20
Tabelle A.1 – Hörverdeckung als Funktion des Oktavbandpegels	41
Tabelle A.2 – Absolute Sprach-Rezeptionsschwellen in Oktavbändern	42
Tabelle A.3 – Oktavband-Bewertungsfaktoren für den <i>STI</i>	42
Tabelle A.4 – Oktavbandpegel (dB), bezogen auf den A-bewerteten Sprachpegel	43
Tabelle B.1 – Modulationsfrequenzen für das <i>STIPA</i> -Verfahren	48
Tabelle C.1 – Modulationsfrequenzen für das <i>STITEL</i> -Verfahren	49
Tabelle D.1 – Modulationsfrequenzen für das <i>RASTI</i> -Verfahren	50
Tabelle E.1 – Kategorien der Höranstrengung.....	53
Tabelle G.1 – Beispiele zwischen <i>STI</i> -Qualifikationsbändern und typischen Anwendungen.....	55
Tabelle H.1 – Für nicht muttersprachliche Hörer angepasste Tabelle der Verständlichkeitsqualifikation	56
Tabelle I.1 – Angepasste Tabelle der Verständlichkeitsqualifikation für normale Hörer und Hörer über 60 Jahre mit Hörverlust.....	57
Tabelle M.1 – Beispielberechnung	64

Einleitung

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

Die Überarbeitungen gestalteten sich wie folgt:

- 1. überarbeitete Fassung 1988: In der ersten Fassung der *STI*-Norm wurde ein geschlechter-unabhängiges Prüfsignalspektrum verwendet.
- 2. überarbeitete Fassung 1998: Geschlechterspezifische Prüfsignale für männliche und weibliche Sprecher wurden eingeführt, wobei für jedes Geschlecht eine bestimmte Gruppe von Bewertungsfaktoren gilt. Darüber hinaus wurden Bewertungen für Redundanzfaktoren eingeführt. Der Begriff *STI_r* bezeichnet dabei die Verwendung dieser Redundanzfaktoren.
- 3. überarbeitete Fassung 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.

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

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

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

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

Änderungen in der vorliegenden Fassung

In diese überarbeitete Fassung wurden folgende Änderungen aufgenommen:

- Verbesserung des *STI*-Modells im Hinblick auf die pegelabhängige Verdeckungsfunktion;
- der Raumakustik-Sprachübertragungsindex (*RASTI*) gilt als veraltet und sollte nicht mehr verwendet werden;
- Berechnungen zur Hinzurechnung oder Beseitigung der Auswirkungen von Hintergrundgeräuschen und zur Veränderung des Sprachpegels sowie ein durchgerechnetes Beispiel;
- Anmerkungen zu den Grenzen des *STI*-Verfahrens;
- Verfahren zur Vorhersage der *STI*-Leistung von Übertragungskanälen basierend auf der vorhergesagten (im Gegensatz zur gemessenen) Leistung von Teilen des Übertragungskanals oder des Übertragungskanals insgesamt;

- Einführung von *STI*-Korrekturen für nicht muttersprachliche Hörer;
- Einführung von *STI*-Korrekturen für Hörer mit bestimmten Hörverlust-Arten;
- Beziehung zwischen dem *STI* und der Höranstrengungsskala.

Mögliche Anwendungen des *STI*

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

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

ANMERKUNG Das *STI*-Verfahren ist nicht geeignet für die Messung und Beurteilung von Anlagen, die eine private Kommunikation (en: Speech Privacy) oder eine Maskierung von Gesprächen sicherstellen sollen.

Mögliche Anwender des *STI*

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

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

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

1 Anwendungsbereich

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

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

Diese Internationale Norm definiert keine *STI*-Kriterien für die Zertifizierung von Übertragungskanälen (z. B. Kriterien für ein Sprachalarm-System).

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

ANMERKUNG Keines der Verfahren ist für die Messung und Bewertung von Anlagen, die eine private Kommunikation (en: Speech Privacy) oder eine Maskierung von Gesprächen sicherstellen sollen, geeignet, da der *STI* nicht für solche Bedingungen validiert wurde [1]¹⁾.

Folgende Informationen werden bereitgestellt:

- direkte und indirekte Messverfahren;
- Vorhersageverfahren.

2 Normative Verweisungen

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

IEC 61260:1995, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters*
Amendment 1 (2001)

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Sprachverständlichkeit

Bewertung des Anteils der Sprache, der verstanden wird

3.2

Sprachqualität

Bewertung der Sprachqualität eines Sprachsignals

3.3

Sprachübertragungsindex

STI (en: speech transmission index)

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

¹⁾ Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

3.4

Sprachverständlichkeitsindex

(en: speech intelligibility index, *SII*)

objektives Maß zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit auf der Grundlage des Artikulationsindex

3.5

***STI*-Verfahren**

vollständiger *STI*

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

3.6

Verzerrung

jede unbeabsichtigte und generell unerwünschte Änderung des Signalverlaufs in einem Sprachübertragungskanal

ANMERKUNG Die Verzerrung kann sowohl lineare als auch nichtlineare Effekte im Frequenz- und Zeitbereich enthalten.

3.7

Sprachübertragungsindex für Beschallungsanlagen

(en: speech transmission index for public address systems, *STIPA*)

Maßzahl, die durch eine gekürzte Version des *STI*-Verfahrens ermittelt wird, aber bei Verzerrungen durch die Raumakustik und/oder die Beschallungsanlage noch aussagekräftig ist

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

3.8

Sprachübertragungsindex für Telekommunikationssysteme

(en: speech transmission index for telecommunication systems, *STITEL*)

Maßzahl, die durch eine gekürzte Version des *STI*-Verfahrens ermittelt wird, aber bei Verzerrungen in Kommunikationssystemen noch aussagekräftig ist

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

3.9

Raumakustik-Sprachübertragungsindex

(en: room acoustical speech transmission index, *RASTI*)

Maßzahl, die durch eine gekürzte Version des *STI*-Verfahrens ermittelt und nur für Übersichtsmessungen verwendet wird; der *RASTI* ist auf die direkte Kommunikation zwischen Personen ohne Gebrauch eines elektroakustischen Kommunikationssystems ausgerichtet

ANMERKUNG 1 Der *RASTI* berücksichtigt Störgeräusche sowie Verzerrungen im Zeitbereich (Echo, Nachhall).

ANMERKUNG 2 Der *RASTI* ist mittlerweile veraltet.

3.10

direktes *STI*-Verfahren

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

3.11

indirektes *STI*-Verfahren

Verfahren unter Anwendung von Impulsantwort und Vorwärts-Energie-Integral (Schroeder-Integral) zur Ableitung der Modulations-Übertragungsfunktion

3.12

Sprachübertragungskanal

akustischer oder elektroakustischer Signalpfad zwischen einem Sprecher und einem Hörer

3.13

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

3.14

Sprachalarmanlage

Schallverteilungssystem, das in einem Notfall Sprachmitteilungen und/oder Warnsignale aussendet

3.15

tatsächlicher Sprachpegel

Signalpegel eines Sprachsignals in dB(A), wobei nur die Sprachsegmente berücksichtigt werden, die zur Verständlichkeit beitragen; Pausen und Stille zwischen einzelnen Wörtern und Sätzen werden vernachlässigt

ANMERKUNG Siehe auch Anhang J.

3.16

Bezugssprachpegel

Sprachpegel, der 60 dB(A) in 1 m Abstand vor dem Mund eines Sprechers entspricht

3.17

Stimmaufwand

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

3.18

künstlicher Mund

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

ANMERKUNG Der geforderte Grad der Ähnlichkeit kann nicht einfach spezifiziert werden und hängt von einer speziellen Anwendung ab. Siehe z. B. ITU-T P.50 [47].

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 Sprach-Rezeptionsschwelle

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

3.21

Hörverdeckung

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

ANMERKUNG Im Rahmen des *STI*-Verfahrens wird die Hörverdeckung auch als Aufwärtsmaskierung bezeichnet.

3.22

künstliches Ohr

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

ANMERKUNG Siehe IEC 60318 [2].

3.23

Intensitätsfunktion

Quadrat des Amplitudensignals in Abhängigkeit von der Zeit

3.24

Hüllkurvenfunktion

Hüllkurve der Intensitätsfunktion

3.25

Hüllkurvenspektrum

relative Verteilung der Spektralkomponenten der Hüllkurvenfunktion

3.26

Modulationsfrequenz

Frequenz der sinusförmigen Schwankung der Hüllkurvenfunktion

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

3.27

Modulationsindex

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

3.28

Modulationsübertragungsverhältnis

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

3.29

Modulations-Übertragungsfunktion

(en: modulation transfer function, *MTF*)

Modulationsübertragungsverhältnisse in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz

3.30

Oktavbandbewertungsfaktor

α

relativer Anteil jedes Oktavbands am Sprachübertragungsindex

3.31

Oktavband-Redundanzfaktor

β

Anteil redundanter Information zwischen zwei benachbarten Oktavbändern im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit

3.32

Hintergrundgeräusch

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

3.33

schwankendes Geräusch

Dauergeräusch, dessen Schalldruckpegel im Betrachtungszeitraum erheblich, jedoch nicht impulsartig variiert

3.34

impulsartiges Geräusch

Geräusch, das durch kurze Schalldruck-Bursts gekennzeichnet ist

3.35

Signal-Rausch-Verhältnis

SNR (en: signal-to-noise ratio)

Differenz zwischen dem Schalldruckpegel des Sprach- oder Prüfsignals und dem Schalldruckpegel des Hintergrundgeräuschs, wobei die Schalldruckpegel mit Hilfe einer genormten Frequenzbewertung bestimmt werden

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

3.36

effektives Signal-Rausch-Verhältnis

SNR_{eff}

Differenz zwischen dem Pegel der Intensitätsmodulation und dem Pegel der Intensität sämtlicher Verzerrungen eines empfangenen *STI*-Prüfsignals

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

ANMERKUNG 2 Beispiele für Verzerrungen sind Nachhallfeldpegel, Umgebungsgeräuschpegel, nichtlineare Verzerrungspegel und Hörverdeckungspegel.

3.37

Scheitelfaktor

Differenz zwischen dem Spitzen- und dem Effektivwert der Schalldruckpegel während eines bestimmten Zeitintervalls

ANMERKUNG Der Scheitelfaktor wird in Dezibel (dB) angegeben.

3.38

Lombard-Effekt

spontaner Anstieg des StimmAufwands, hervorgerufen durch eine Zunahme des Umgebungsgeräuschpegels am Ohr des Sprechers

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

3.39

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 Oktavbands entspricht

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

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

BEISPIEL 2 Für Oktavfilter ist das Frequenzverhältnis 2.

ANMERKUNG 2 Für weitere Informationen siehe IEC 61260.

3.40

Bezugsschalldruck

p_0

Schalldruck, der für Luftschall üblicherweise auf 20 μPa festgelegt ist

3.41

Schalldruckpegel

zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Effektivwerts des Schalldrucks zum Bezugsschalldruck

ANMERKUNG Der Schalldruckpegel wird in Dezibel (dB) angegeben. Das Formelzeichen ist L_p .

3.42

äquivalenter Dauerschallpegel

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des quadrierten Effektivwerts des Schalldruckpegels für ein bestimmtes Zeitintervall zum Quadrat des Bezugsschalldrucks

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

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

Dabei ist

- $p(t)$ der Augenblickswert des A-bewerteten Schalldrucks zum Zeitpunkt t ;
 t die Integrationsvariable für die Zeit;
 $T = t_2 - t_1$ die Länge des Zeitintervalls, für das der Dauerschalldruckpegel zu bestimmen ist, und
 p_0 der Bezugsschalldruck (20 µPa).

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

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

ANMERKUNG 3 Für weitere Definitionen siehe IEC 61672 [3].

3.43

Perzentilpegel

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des quadrierten Effektivwerts des Schalldruckpegels, der im Verhältnis zum Quadrat des Bezugsschalldrucks für ein bestimmtes Zeitintervall überschritten ist, wobei der Effektivwert des Schalldrucks durch eine definierte Bewertung von Zeit und Frequenz, z. B. L_{10} oder L_{A10} festgelegt ist

ANMERKUNG 1 Für die Anwendung im Rahmen dieses Dokuments ist die zeitliche Bewertung „Schnell“ (en: Fast, F) für die Festlegung des Perzentilpegels anzuwenden.

ANMERKUNG 2 L_{A10} ist der A- und „F“-bewertete Schalldruckpegel, der bei 10 % der Messzeit überschritten wird.

3.44

Modulations-Übertragungsindex

MTI (en: modulation transfer index)

ungewichteter Mittelwert der skalierten effektiven Signal-Rausch-Verhältnisse innerhalb eines Oktavbandes

3.45

operativer Sprachpegel

(en: operational speech level)

Schalldruckpegel des Sprachsignals, der in der geeigneten Situation angewendet oder für diese ermittelt wird

3.46

operativer Hintergrundgeräuschpegel

(en: operational background noise level)

Schalldruckpegel des Hintergrundgeräusches, der vorhanden ist oder für eine geeignete Situation ermittelt wird

ANMERKUNG Dieser Pegel wird für Vorhersagen und die Nachbearbeitung von Messungen verwendet.

4 Beschreibung des *STI*-Verfahrens

4.1 Allgemeines

4.1.1 Begründung für das *STI*-Verfahren

Das *STI*-Verfahren wurde als ein schnelles und objektives Prüfverfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsqualität von Sprachübertragungskanälen entwickelt. Mit Hilfe des Sprachübertragungsindex kann die Sprachverständlichkeit für unterschiedliche Arten von Wort- und Satzformaten für einen großen Bereich von Sprachübertragungssystemen vorhergesagt werden.

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

Im Gegensatz zum ursprünglichen Ansatz des Artikulationsindex [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. Eine Modulations-Übertragungsfunktion (*MTF*) wird bestimmt, mit der quantifiziert wird, wie der Kanal die Intensitätshüllkurve des Sprachsignals beeinflusst.

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

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

4.1.2 Anwendbarkeit des *STI*-Verfahrens

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

Das *STI*-Verfahren wurde für ein akustisches Ausgangssignal unter Anwendung eines einfachen ungerichteten Mikrofons validiert. Die Anwendung eines gerichteten Mikrofons erzeugt unterschiedliche Ergebnisse und wird im Normalfall nicht empfohlen.

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

4.2 Hintergrund des *STI*-Verfahrens

4.2.1 Allgemeines

Das *STI*-Konzept beruht auf der empirischen Feststellung, dass die Schwankungen von Sprachsignalen die relevantesten Informationen hinsichtlich der Sprachverständlichkeit tragen, siehe [5], [6] und [7]. Sprachschwankungen ergeben sich aus der akustischen Trennung von Sätzen, Wörtern und Phonemen, den

grundlegendsten Elementen von Sprache. Die als Modulationen bezeichneten Schwankungen können in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz $f^{N1)}$ quantifiziert werden, woraus sich das Modulationsspektrum ergibt. Bei deutlichem Sprechen erstrecken sich die Modulationsfrequenzen normalerweise von 0,5 Hz bis zu 16 Hz, wobei die maximale Modulation bei etwa 3 Hz liegt.

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

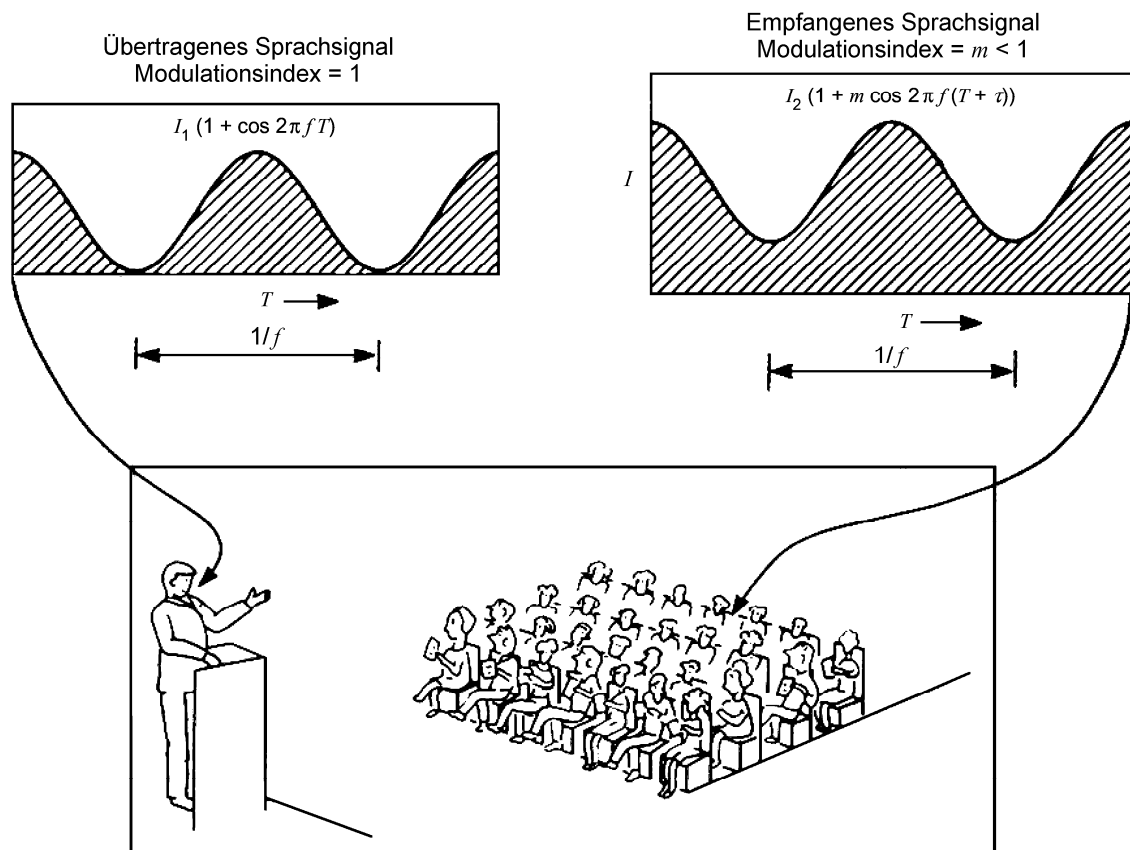


Bild 1 – Konzept der Modulationsreduktion durch einen Übertragungskanal

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

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

Das in Anhang A beschriebene *STI*-Verfahren bestimmt die Modulations-Übertragungsfunktion $m(f^{N1)})$ des Übertragungskanals. Insgesamt werden 98 Ergebnisse erhalten, die den 14 Modulationsfrequenzen und den sieben Oktavbändern entsprechen (siehe Bild A.3). Der Effektivwert-Pegel jedes Oktavbandträgers entspricht

^{N1)} Nationale Fußnote: f ist falsch, richtig ist f_m , auch in Bild 1.

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 für das Band bewertet wird. Mit Hilfe der bewerteten Summe dieser Übertragungsindexwerte wird der Gesamt- *STI*-Wert für den Übertragungskanal bestimmt.

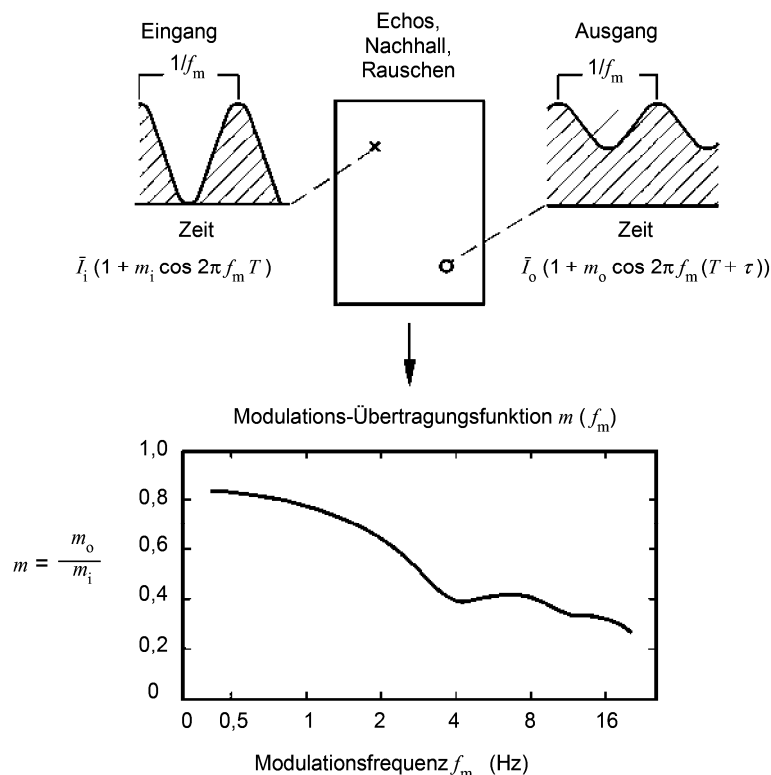
Untersuchungen [4] haben gezeigt, dass aneinander angrenzende Oktavbänder hinsichtlich der Sprachverständlichkeit redundante Informationen enthalten. Wenn ein Oktavband nicht zur Verständlichkeit beiträgt (z. B. durch Verdeckung von Nachhall oder Hintergrundgeräusch), dann können die benachbarten Oktavbänder diesen fehlenden Anteil teilweise ausgleichen. Dieses Erkenntnis hat zur Verwendung von Redundanzfaktoren in der *STI*-Methodologie geführt.

4.2.2 Theoretischer Überblick

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

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

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



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

Bild 2 – Modulations-Übertragungsfunktion – Vergleich Eingang/Ausgang

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

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

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

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

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

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

Anhang A enthält eine ausführlichere Beschreibung der Berechnung des Sprachübertragungsindex.

4.2.3 Messung des STI

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

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

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

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

Zur Messung des STI gibt es zwei Möglichkeiten:

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

Bei den direkten Verfahren unter Anwendung des $STIPA$ und des $STITEL$ ist die Messdauer wesentlich kürzer als beim vollständigen STI . Das direkte vollständige STI -Verfahren wird in der Praxis nur selten angewendet.

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

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

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

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

Darüber hinaus berücksichtigen die direkten *STI*-Verfahren nichtlineare Verzerrungen, z. B. Begrenzung, wohingegen die indirekten Verfahren nur bei linearen Systemen angewendet werden sollten. Weitere Informationen zu den Effekten der nichtlinearen Verzerrung enthält Abschnitt 6. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die *STI*-Prüfverfahren im Hinblick auf die Arten von linearen und nichtlinearen Verzerrungen, für die sie geeignet sind.

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

Verfahren	Art der Verzerrung			
	Rauschen	Nachhall, Echos	Nichtlineare Verzerrung	Spektrale Verzerrung ^a
Direkt, vollständiger <i>STI</i>	ja	ja	situationsabhängig	ja
Direkt, <i>STIPA</i>	ja	ja	situationsabhängig	ja
Direkt, <i>STITEL</i>	ja	situationsabhängig	situationsabhängig	ja
Indirekt, vollständiger <i>STI</i> , Anwendung von <i>MLS</i> ^e	ja ^b	ja	nein	ja
Indirekt, vollständiger <i>STI</i> , Anwendung von Gleitsinussignalen ^c	nein ^d	ja	nein	ja

ANMERKUNG Der Begriff „situationsabhängig“ wird verwendet, um anzugeben, dass das jeweilige Prüfsignal ausreichend genaue Ergebnisse hervorbringen kann oder auch nicht, je nach der genauen Verzerrungsart. Zum Beispiel:

- ist es unwahrscheinlich, dass die Übergangsverzerrung einen Effekt auf die Modulationstiefe hat, wobei die Spitzenbegrenzung die Modulationstiefe reduziert, aber grundsätzlich einen geringen Effekt auf die Sprachverständlichkeit hat; daher kann der gemessene *STI*-Wert pessimistisch sein;
- kann das *STITEL*-Verfahren in nachhallenden Umgebungen angewendet werden, vorausgesetzt, die Nachhallzeit ist nicht stark frequenzabhängig;
- kann das *STIPA*-Verfahren für Beschallungsanlagen eingesetzt werden, die nichtlineare Verzerrungskomponenten erzeugen, es sei denn, das Signal ist in verschiedenen Frequenzbändern stark begrenzt (en: clipped).

^a Die Frequenzgänge des Übertragungskanal können einen merklichen Verlust der Verständlichkeit hervorrufen, der in der Messung nicht hinreichend berücksichtigt ist, siehe 4.5.8.

^b Es darf keine Mittelung von Signalen im Zeitbereich erfolgen, und das Anregungsspektrum muss sprachförmig sein.

^c Dazu gehört die Zeitverzögerungs-Spektrometrie (en: Time Delay Spectrometry).

^d Die Wirkung von Geräuschen darf mathematisch berechnet werden.

^e Theoretisch kann auch ein anderes mathematisch deterministisches Pseudo-Rauschsignal angewendet werden.

4.3 Anwendbarkeit des *STI*-Verfahrens

Tabelle 2 bietet einen Überblick darüber, welche Formen des *STI* für verschiedene Anwendungsarten empfohlen werden. Die „+“- und „-“-Symbole geben einen generellen Hinweis auf die Eignung des Verfahrens.

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

Tabelle 2 – Anwendbarkeit der Prüfung

Anwendung	Empfohlene Prüfung	Vollständiger <i>STI</i> ^a	STIPA	STITEL	Grenzen	Alternative Lösung
Einschätzung der Eignung der Raumakustik für Sprachkommunikation (keine elektronische Verstärkung)	STIPA	++	++	+/-	Eignung von STITEL hängt vom Nachhall ab	
Beurteilung von Beschallungs- und Sprachalarmanlagen	STIPA	+	++	+/-	Eignung von STITEL hängt vom Nachhall und Echos ab	
Beurteilung von Telekommunikationskanälen (Telefon, Funk)	STITEL	+	+	++	STITEL besitzt größere Diagnoseleistung	
Kanal zeigt Amplituden-Kompression	STIPA	+	+	+		
Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Stimmen erfordert besondere Aufmerksamkeit	Vollständiger <i>STI</i>	++	-	+	STIPA nicht für das weibliche Spektrum geeignet (nur für das männliche)	
Starke Übergangsverzerrung	keine	-	-	-		keine
Stark schwankende Geräusche	STIPA	+/-	+/-	+/-		Durchführung mehrerer <i>STI</i> -Messungen
Sprache und Geräusche sind räumlich deutlich getrennt, oder ein starker Direktschallanteil existiert in einer stark nachhallenden Umgebung	<i>STI</i>	+	+/-	+/-	Mit Vorsicht anzuwenden. Derzeit sind die genormten Verfahren ungenau.	Siehe 7.10
Kanäle, die keine künstlichen Prüfsignale zulassen, wie z. B. Vocoder	keine	+/-	+/-	+/-	Derzeit sind die genormten Verfahren ungenau.	^b Verwendung eines sprachbasierten <i>STI</i> -Prüfsignals oder Hörer-Tests
++ sehr gut geeignetes Verfahren; + gut geeignetes Verfahren; +/- geeignetes Verfahren; - kein geeignetes Verfahren ^a Siehe Tabelle 1 für geeignete Messverfahren. ^b Hierbei handelt es sich um ein direktes Verfahren, das in einer zukünftigen Ergänzung der Norm einbezogen werden kann.						

4.4 Anwendung direkter und indirekter Verfahren

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

Tabelle 3 – Wahl des Verfahrens

Gegenstand	Direktes Verfahren	Indirektes Verfahren
Nachbearbeitung	möglich	vorgeschrieben
Handgerät	möglich	möglich
Nichtlinearitäten von Amplituden	verringert die Zuverlässigkeit des Ergebnisses	verringert die Zuverlässigkeit des Ergebnisses
Nichtlinearitäten von Frequenzen (ungleichmäßiges Spektrum) ^a	möglich	möglich
Frequenzverschiebung	nicht möglich	nicht möglich
Geräuschunterdrückung	nein	ja
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 Weitere Einzelheiten siehe 4.5.8.		

4.5 Grenzen des *STI*-Verfahrens

4.5.1 Allgemeines

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

- dem Dynamikbereich von Sprache, der von der Integrationszeit abhängt;
- der Energieverteilung in jedem Zeitabschnitt;
- der Verteilung von Signalpegeln über die gesamte Länge eines Sprachsegments oder Prüfsignals (Perzentil-Überschreitungen);
- dem Fehlen von Lücken im Prüfsignal;
- die Träger sind bei Sprache nicht nur auf die festen Trägerfrequenzbänder und die Modulationsfrequenzen beschränkt;
- den spektralen Unterschied zwischen einzelnen Wörtern und dem *STI*-Testsignal;
- den spektralen Unterschied 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 mit Sorgfalt vorgegangen werden. In einigen Fällen wird die Verständlichkeit durch eine Verzerrung nur wenig beeinträchtigt, während der *STI* eine erhebliche Verringerung zeigt. In anderen Fällen, in denen der *STI* nur geringfügige Veränderungen zeigt, kann die Verständlichkeit stark herabgesetzt sein. In den folgenden Unterabschnitten sind mögliche Grenzen ausführlicher erläutert.

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

4.5.3 Übergangsverzerrung (en: Centre clipping)

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.

ANMERKUNG Übergangsverzerrung wird auch als Übernahmeverzerrung und Nullpunktfehler bezeichnet.

4.5.4 Aussetzer (en: Drop outs)

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

4.5.5 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 mit dem *STI*-Verfahren die Verständlichkeit bei Systemen mit Jitter möglicherweise zu gering eingeschätzt wird.

4.5.6 Vocoder

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

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

4.5.7 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 ist zum Beispiel der Fall bei der mathematischen Untersuchung des *STI*-Verhaltens bei Veränderungen im Spektrum des Eingangssignals. Wenn eine *MTF*-Matrix mit jedem Wert auf Eins (d. h. keine Kontamination durch Nachhall oder Hintergrundgeräusche) mit einem Eingangssignal verwendet wird, das