

Beurteilung der Sprachverständlichkeit bei Störlärmeinfluß: Eine vergleichende Untersuchung zwischen Sprachübertragungs- Index und Signal- Geräuschabstandsmessung

Renate Türk
Karl Körpert

Zusammenfassung Die Beurteilung bzw. Voraussage der Sprachverständlichkeit in Räumen unter vorgegebenen Störeinflüssen ist eine zeitaufwendige Aufgabe. Eine Automatisierung des Bestimmungsverfahrens wäre daher sehr von Vorteil. Für die Ermittlung einer RASTI (rapid speech transmission index) steht derzeit ein technisches Gerät mit standardisierten Sprachpegeln zur Verfügung.

In der vorliegenden Arbeit werden für fünf Geräuscharten und vier Störlärmpegeln RASTI Werte ermittelt und mit Erfahrungen aus Signal-Geräuschabstandsmessungen verglichen. Es zeigt sich, daß die RASTI Methode nicht uneingeschränkt anwendbar ist.

Schlüsselworte: Sprachverständlichkeit, STI, RASTI,
Signal-Geräusch-Abstandsmessungen

Einleitung

Im normalen Alltagsleben wird Sprache immer unter bestimmten Störeinflüssen gesprochen. Die Hauptfaktoren dieser Störung sind die Frequenzzusammensetzung und der Schallpegel des Hintergrundgeräusches sowie die akustischen Eigenschaften des jeweiligen Raumes. Durch diese Umgebungseinflüsse ändert sich einerseits die Intensität und Geschwindigkeit der Sprache, andererseits verändert sich auch die Sprachverständlichkeit.

Die Beurteilung der Sprachenverständlichkeit von Vortragssälen, Maschinenhallen, Sprachübertragungsanlagen usw. kann mit objektiven und subjektiven Methoden vorgenommen werden.

Nach den objektiven Methoden wird aus physi-

kalischen Meßgrößen ein Einzahlwert abgeleitet, der für sich allein noch kein Maß für die Sprachverständlichkeit darstellt. Erst durch vergleichende Sprachverständlichkeitsmessungen mit Personen können der Skala des Einzahlwertes Güteklassen der Sprachverständlichkeit zugeordnet werden. Vorteil der objektiven Methoden ist die rasche Bestimmbarkeit des gewünschten Wertes durch rechnerunterstützte Erfassung und Verarbeitung der Meßdaten. Nachteilig ist, daß auf diese Weise nur physikalisch erfaßbare Einflußgrößen berücksichtigt werden. Die Sprachverständlichkeit wird aber darüber hinaus durch Intelligenz, Tagesverfassung und andere personenabhängige Parameter mitbestimmt.

Die bekanntesten objektiven Sprachenverständlichkeitsmaße sind (2, 4, 7) der Artikulationsindex — AI (1962), der Sprachübertragungsindex

Judgement of Speech Intelligibility in Background Noise: A Comparative Investigation Between Speech-Transmission Index and S/N Measurement

Summary *The verbal communication in rooms is always influenced by disturbing factors as e. g. the spectrum and the level of background noise as well as the acoustical properties of the room itself. The assessment of the speech transmission quality can be performed by objective and subjective methods.*

Objective methods use physical parameters from which single number rating values are determined. By performing intelligibility tests with trained talkers and listeners relations between these rating values and intelligibility scores can be set up. An advantage of objective methods is, that rating values are quickly achievable. It is disadvantageous, that only physical parameters are taken into account. The speech intelligibility however is also dependent on subjective factors. The best known objective intelligibility scores are the articulation index (AI), the speech transmission index (STI) and the rapid speech transmission index (RASTI). The latter can now easily be measured by using a commercially available instrument (B & K 3361).

For subjective methods a group of talkers and listeners as well as a carefully selected speech material is necessary. The advantage of subjective methods is, that results can directly be interpreted and used. The outstanding drawbacks are the need for large groups of test personal and the time consuming measurement procedure.

In this paper the results from RASTI measurements (using B & K 3361) are compared with S/N — data, which both were determined for five different types of noise (party noise, noise from air jets, noise from water turbines, speech simulating noise and white noise) at four different A-weighted sound pressure levels (50 dB/A, 60 dB/A, 70 dB/A and 80 dB/A). The main results of the investigation are:

- The RASTI procedure uses the speech frequencies 500 Hz and 2 000 Hz, with the weight on 500 Hz. Our experience from S/N measurements is that 2 000 Hz is of superior importance for understanding speech. This is also supported by results from (9).
- In the RASTI method it is further disadvantageous, that speech levels are standardized to 60 dB/A and 70 dB/A. Whereas we found that the level and time structure of speech is dependent on the level and spectrum of the background noise.
- The applicability of RASTI seems at least for us to be restricted to the assessment of passive speech transmission channels.

Key Words: *Speech Intelligibility, STI, RASTI, S/N-measurement*

— STI (1978) und der verkürzte Sprachübertragungsindex — RASTI (1984).

Für die *subjektive Methode* benötigt man eine Gruppe von ausgebildeten Sprechern und Zuhörern sowie ein ausgewähltes Sprachmaterial. Vorteil der subjektiven Methoden ist die direkte Umsetzbarkeit der gewonnenen Ergebnisse in die Praxis. Nachteilig sind der hohe Aufwand an Zeit, Geld und Personen.

In der vorliegenden Arbeit sollen zwei Arten dieser Meßmethoden einander gegenübergestellt werden.

Beurteilung der Sprachverständlichkeit durch objektive Methoden

a) Sprachübertragungsindex — STI

Der Sprachübertragungsindex ist eine Größe, die eine Messung und Bewertung der Sprachverständlichkeit in Räumen unter Berücksichtigung von Störlärm und Nachhall ermöglicht.

Die Grundüberlegungen, die zum STI führten, sind die folgenden: Die Einhüllende eines Sprachsignals ist frequenzmoduliert mit Modulationsfrequenzen zwischen 0,63 Hz bis 12,5 Hz. Eine perfekte Sprachübertragung liegt dann vor, wenn die Einhüllende des Sprachsignals am Platz des Zuhörers identisch ist mit der am Mund des Sprechers. Bedingt durch Hintergrundgeräusche und oder Nachhall kommt es zu Modulationsänderungen in der Hüllkurve des Sprachsignals und damit zu einer Verringerung der Sprachverständlichkeit.

Die Verringerung des Modulationsgrades wird durch den Modulations-Verlustfaktor (m) ausgedrückt. Die Modulations-Übertragungsfunktion $m(F)$, das ist der Modulations-Verlustfaktor als Funktion der Frequenz (F), kann bei Kenntnis der Nachhallzeit (T) und des Signal-Geräuschabstandes (S/N) nach folgender Formel berechnet werden:

$$m(F) = \frac{1}{1 + (2\pi F \frac{T}{13,8})^2} \cdot \frac{1}{1 + 10^{-\frac{S}{N}} \cdot \frac{1}{10}}$$

- F . . . Modulationsfrequenz, Wertbereich:
Terzbandmittenfrequenz von 0,63 Hz bis 12,5 Hz
- T . . . Nachhallzeit für Oktavbandmittenfrequenz aus dem Bereich von 125 Hz bis 8000 Hz
- S/N . . . Signal-Geräuschabstand in den Oktavbandmittenfrequenzen 125 Hz bis 8000 Hz

Für die Beschreibung einer konkreten Sprachsituation sind die Werte der Modulations-Übertragungsfunktion für 14 Modulationsfrequenzen und 7 Sprachfrequenzen zu ermitteln. Insgesamt ergeben sich 98 Einzeldaten, die in der Folge zu einem einzigen, zwischen 0 und 1 normierten Wert zusammengefaßt werden.

b) Wortverständlichkeit — STI

In (7) wird ein Zusammenhang zwischen dem Sprachenübertragungsindex (STI) und der Wortverständlichkeit dargestellt. Dadurch können den Wertebereichen des STI subjektive Beurteilungsmaße für die Verständlichkeit zugeordnet werden (Tab. 1).

Tab. 1 Beziehung zwischen dem RASTI-Wert und der Güte der Sprachübertragung.

RASTI	Beurteilung
0 — 0,30	sehr schlecht
0,30 — 0,45	schlecht
0,45 — 0,60	befriedigend
0,60 — 0,75	gut
0,75 — 1,00	sehr gut

c) Sprachenübertragungsindex — RASTI

RASTI ist eine vereinfachte Methode zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit, die auf dem Sprachübertragungsindex STI beruht. Für die Berechnung von RASTI werden nur die Sprachfrequenzen 500 Hz und 2000 Hz herangezogen. Das Spektrum der Modulationsfrequenzen wird auf 4 bzw. 5 Werte beschränkt. RASTI wird somit nur aus 9 Werten der Modulations-Übertragungsfunktion bestimmt.

d) Messung von RASTI

Zur schnellen Bestimmung des Schallübertragungsindex sind hinsichtlich des Meßsignals folgende weitere Punkte zu beachten (1):

- Der mittlere Pegel der Sprache ist festzulegen (im hier verwendeten Meßsystem Brüel & Kjaer 3361 bestehen die Einstellungsmöglichkeiten 60 dB/A und 70 dB/A).
- Der Schalldruckpegel im 500 Hz Oktavband muß 1 dB, im 2000 Hz Oktavband 9 dB unter dem nach (a) festgelegten Pegel liegen.

Die Meßdauer für die Bestimmung eines RASTI-Wertes beträgt im System B & K wahlweise 8, 16 oder 32 Sekunden.

Um verlässliche Meßwerte zu erhalten

- müssen die Übertragungsverhältnisse linear sein;
- dürfen keine Einzeltöne außerhalb der Frequenzen 500 Hz und 2000 Hz auftreten;
- darf das Hintergrundgeräusch nicht ausgeprägt impulsiven Charakter haben und
- muß die Nachhallzeit weitgehend frequenzunabhängig sein.

Zur Genauigkeit von RASTI Messungen ist anzuführen, daß für Werte zwischen 0,2 und 0,95 die Standardabweichung etwa $\pm 0,025$ beträgt.

Beurteilung der Sprachverständlichkeit durch Bestimmung des Signal-Geräuschabstandes

Hierzu wurden 6 Sprechpaare normalhörender Versuchspersonen in einem Abstand von 2 m einander gegenübergestellt. Sie hatten die Aufgabe, Einsilber des Freiburger Sprachtestes so vorzusprechen bzw. zu wiederholen, daß eine 100%ige Verständlichkeit gegeben war. Die Untersuchungen fanden in einem Raum mit definierter Halligkeit statt, wobei der mittlere Schallabsorptionsgrad im Frequenzbereich von 125 Hz bis 4000 Hz einen Wert von $\alpha = 0,20 \pm 0,03$ aufwies. Die Schallpegel wurden mit einem Echtzeitanalysator gemessen, über 60 Sekunden gemittelt und auf Kassetten gespeichert. Die Untersuchungen fanden für fünf verschiedene Geräuscharten (Sprachsimulierendes Rauschen, Weißes Rauschen, Partyrauschen, Turbinengeräusche und Geräusch von Prebluftdüsen) statt. Die Geräusche unterschieden sich durch ein verschiedenes Frequenzspektrum und wurden alle

mit A-bewerteten Schalldruckpegeln von 50 dB/A, 60 dB/A, 70 dB/A und 80 dB/A angeboten (8).

Ergebnisse

Bei der Auswertung des Signal-Geräuschabstandes in Abhängigkeit vom Schallpegel des Hintergrundgeräusches konnte folgendes festgestellt werden:

- 1) Der Signal-Geräuschabstand verschiebt sich von plus zu minus mit zunehmendem Schallpegel des Hintergrundgeräusches. Das bedeutet, die Sprache wird bei zunehmendem Hintergrundgeräusch lauter (Abb. 1).
- 2) Der Signal-Geräuschabstand bei einem bestimmten Schallpegel des Hintergrundgeräusches ist abhängig vom Frequenzspektrum des Hintergrundgeräusches. Geräusche mit hohen Frequenzanteilen haben eine schlechtere Sprachverständlichkeit zur Folge.

Beurteilung der Sprachverständlichkeit durch Bestimmung von RASTI

Die RASTI-Ergebnisse, die mit denselben Hintergrundgeräuschen ermittelt wurden, zeigen:

- 1) Eine sehr gute Beurteilungsmöglichkeit der Sprachverständlichkeit im jeweiligen Raum. In der vorliegenden Untersuchung zeigt sich bei einem Störpegel von 50 dB/A und Sprachpegeln von 60 dB/A bzw. 70 dB/A eine gute Verständlichkeit. Bei 60 dB/A Störlärm war die Verständlichkeit bei 60 dB/A befriedigend, bei 70 dB/A Sprache gut. Bei 70 dB/A Störlärm und 70 dB/A Sprache war eine be-

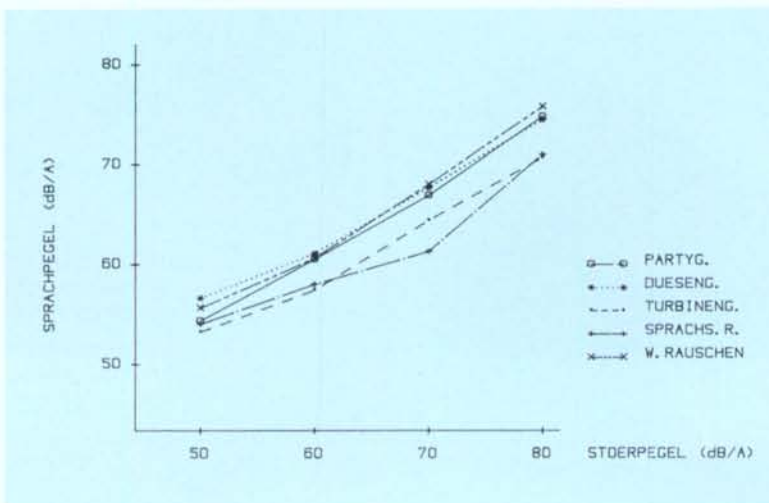


Abb. 1 Abhängigkeit des Sprachpegel vom Pegel verschiedener Störgeräusche

Fig. 1 Connection between speech level and different noises

Tab. 2 Sprachverständlichkeit für Sprachpegel von 60 dB/A und 70 dB/A mit Störgeräuschpegel von 50 dB/A bis 80 dB/A mit RASTI

Pegel (dB/A) Geräusch	Pegel (dB/A) Sprache	
	60	70
50	gut	gut
60	befriedigend	gut
70	s. schlecht	befriedigend
80	s. schlecht	s. schlecht

riedigende Sprachverständlichkeit gegeben. Bei 70 dB/A Störlärm und 60 dB/A Sprache ebenso bei 80 dB/A Störlärm und 60 bzw. 70 dB/A Sprache muß die Sprachverständlichkeit als sehr schlecht bezeichnet werden. (Tab. 2)

- 2) Die Sprachverständlichkeit bei einem bestimmten Geräuschpegel zeigt innerhalb der verschiedenen Geräuscharten keine deutlichen Unterschiede (Abb. 2).

Die Ergebnisse aus den RASTI-Werten und aus der Bestimmung des Signal-Geräuschabstandes lassen sich schwer miteinander vergleichen, da der Sprachpegel im ersten Fall durch Einstellung am Gerät (60 dB/A bzw. 70 dB/A) und im zweiten Fall durch Anpassung des Sprechers an die Umgebungsbedingungen bestimmt wird. Um einen besseren Vergleich der beiden Methoden ziehen zu können, wurden zusätzliche differenzierende Analysen durchgeführt:

Aus den Messungen des Signal-Geräuschabstandes bei vorgegebener Störlärmsituation kann in einem ersten Schritt ein mittlerer Sprachpegel berechnet werden. In einem zweiten Schritt wird dann festgestellt, ob dieser berechnete Sprachpegel näher bei 60 dB/A oder bei 70 dB/A liegt. Im letzten Schritt wird dann der zum standardisierten Sprachpegel gehörende RASTI-Wert ermittelt.

Die auf diese Weise gewonnenen RASTI-Werte sind in Abhängigkeit vom Pegel des Störgeräusches in Abb. 3 festgehalten. Es zeigt sich, daß vor allem bei einem Geräuschpegel von 70 dB/A ein deutlicher Unterschied der Sprachverständlichkeit bei den Hintergrundgeräuschen feststellbar ist.

Diskussion

Zur Berechnung des RASTI werden die Sprachfrequenzen bei 500 Hz und 2000 Hz herangezogen. Nach unserer Erfahrung (8) ist aber der Pegel des Störgeräusches bei 2000 Hz von entscheidender Bedeutung für die Sprachverständlichkeit. Diese Erfahrung deckt sich auch mit Untersuchungsergebnissen aus (9), wonach der tonaudiometrische Hörverlust bei 1,5 kHz in enger Beziehung zum Diskriminationsvermögen für Sprache steht. Weitere Bedeutung für das Diskriminationsvermögen haben nach (9) in abnehmender Reihenfolge die Frequenzen 2 kHz, 1 kHz, 3 kHz, 0,5 kHz und 0,25 kHz. Durch die Verwendung der 500 Hz Sprachfrequenz kommt es unserer Meinung nach zu einer Nivellierung der Ergebnisse und damit zu einer verminderten Aussagekraft des RASTI. Es kann dann nicht mehr beurteilt werden, unter welchem Störge-

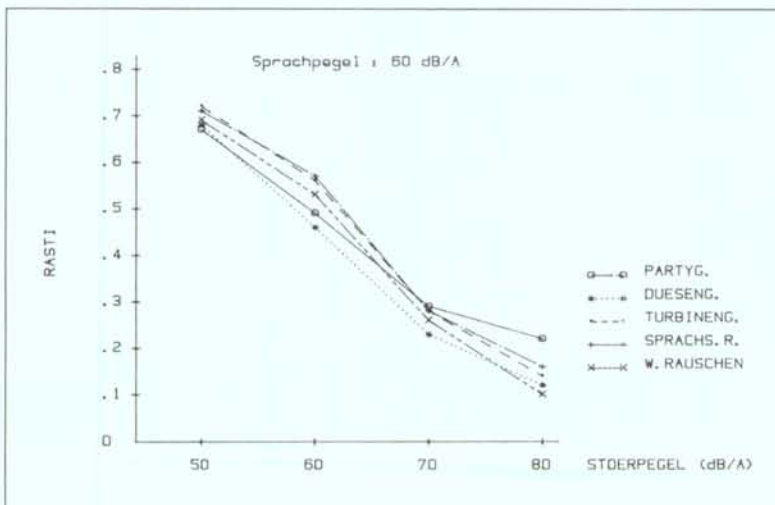
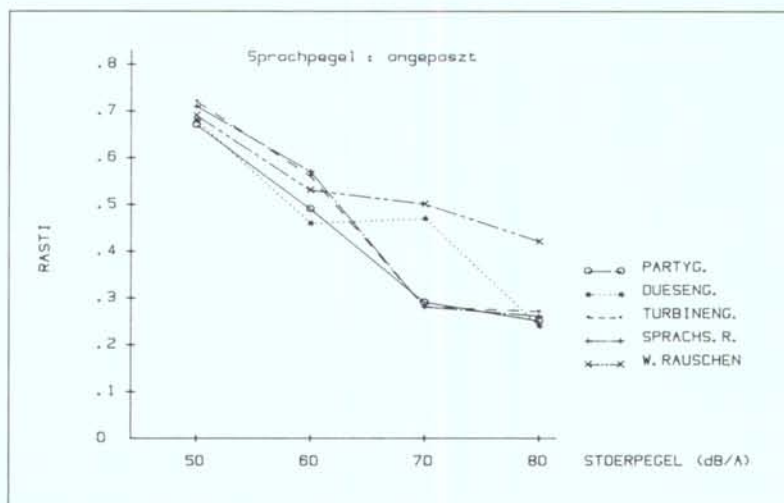


Abb. 2 Abhängigkeit des RASTI von verschiedenen Störgeräuschen und Störgeräuschpegeln bei einem standardisierten Sprachpegel (60 dB/A)

Fig. 2 Connection between RASTI of different noises and noise levels of a standardized speech level (60 dB/A)

Abb. 3 Abhängigkeit des RASTI von verschiedenen Störgeräuschen und Störgeräuschpegeln bei einem in Abhängigkeit vom tatsächlichen Sprachpegel gewählten standardisiertem Sprachpegel (60 dB/A oder 70 dB/A)

Fig. 3 Connection between RASTI of different noises and noise levels of a standardized speech level (60 dB/A or 70 dB/A) which are selected dependent of veal measured speech levels



räusch die Sprachverständlichkeit besser oder schlechter ist. Als weiterer Nachteil der RASTI-Methode kann sich Sprache mit einem standardisiert vorgegebenen Pegel von 60 dB/A und 70 dB/A erweisen. Es ist bekannt, daß sich der Sprachpegel aber auch die Zeitstruktur der Sprache sehr nach dem Schallpegel, der Frequenz des Hintergrundgeräusches und auch nach der Halligkeit des Raumes richtet (5,8). Dies wird jedoch bei der in B & K 3361 implementierten Methode nicht berücksichtigt.

Die Anwendbarkeit der RASTI-Methode hängt unseres Erachtens sehr von der Fragestellung der Untersuchung ab. Geht es darum, die Sprachverständlichkeit eines Raumes bei wechselseitig angebotener Sprache, wie z. B. in Maschinenhallen, bei Diskussionsrunden usw., zu beurteilen, dann halten wir die RASTI-Methode für zu ungenau, da sie auf die Veränderung der Sprache unter geänderten Bedingungen nicht eingeht. Ebenso scheint die Methode zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit in ein und demselben Raum bei verschiedener Art von Störgeräuschen wenig geeignet zu sein, da die Unterschiede in der Frequenzzusammensetzung des Störgeräusches durch das Herausgreifen der Sprachpegel bei 500 Hz und 2000 Hz nicht deutlich genug betont werden.

Handelt es sich darum die Güte einer passiven Sprachübertragung zu bestimmen, wie sie z. B. bei der Beurteilung von Sprachübertragungssystemen oder Vortragssälen gegeben ist, dann scheint sich die RASTI-Methode zu bewähren (6). Als weitere Vorteile der RASTI-Methode sind die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sowie die schnelle und wenig aufwendige Meßmethode zu sehen.

Literatur

- [1] IEC 268 Draft: Sound system equipment part 16 — Report on the RASTI-method for the objective rating of speech intelligibility in auditoria (1983).
- [2] Houtgast, T., Steeneken, H. J. M.: A multi language evaluation of the RASTI-method for estimating speech intelligibility in auditoria. *Acustica* 54, 185-199, 1984
- [3] Houtgast, T., Steeneken H. J. M.: A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimation speech intelligibility in auditoria, *JASA* 77, 1069-1077, 1985
- [4] Kryter, K. D.: Methods for calculation and use of the articulation index. *JASA* 34, 1689-1697, 1962
- [5] Nevers, T. H., Anderson, J. S.: Some acoustical properties of St. Paul's Cathedral, London, *Journal of Sound and Vibration* 62, 285, 1984
- [6] Steeneken, H. J. M., Houtgast, T.: A tool for evaluating auditoria, *B & K Technical Review* 3 (1985)
- [7] Steeneken, H. J. M., Houtgast, T.: A physical method for measuring speech transmission quality. *JASA* 67, 318-326, 1980
- [8] Türk, R., Körpert, K.: Effects of noise on the speech-reception threshold. Vortrag: International Adam Politzer society, Wien September 1985
- [9] Schwetz, F.: Die 1,5 kHz Hörschwelle als Gradmesser der Lärmschwerhörigkeit, *Laryngologie, Rhinologie, Otologie* 57, 1052-1058, 1978

Danksagung

Wir danken der Fa. Brüel & Kjaer und insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Flensburg-Riess für die leihweise Überlassung des RASTI-Gerätes.