

# Computersimulation der Sprachverständlichkeit

Thomas Steinbrecher<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bose GmbH, Professional Systems Division, 61381 Friedrichsdorf, Deutschland

Email: thomas\_steinbrecher@bose.com

## Einleitung

Die Prognose der erzielbaren Sprachverständlichkeit erhält eine stetig zunehmende Bedeutung für eine Vielzahl von Bauprojekten, in denen ein elektroakustisches Sprachalarm-system gefordert ist. Nationale und internationale Normen (z.B. [1], [2]) fordern die Einhaltung bestimmter Mindestwerte. In Messtechnik und Simulation weit verbreitet ist der Sprachübertragungsindex STI (Speech Transmission Index), welcher in [3] standardisiert ist. Der Einzahlenwert STI wird durch ein Post Processing der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) des untersuchten Systems ermittelt und kann Werte zwischen 0 (keine Sprachverständlichkeit) und 1 (perfekte SV) annehmen. Der typische Grenzwert für Sprachalarmssysteme liegt bei  $STI = 0,5$ , die gerade wahrnehmbare Differenz (JND) bei etwa 0,03. Die MTF lässt sich entweder auf analogem Weg („Direkte“ Methode, [4]) oder – bei LTI-Systemen - durch Fouriertransformation der quadrierten Impulsantwort bestimmen („Schroeder“ Methode). [5] enthält einen empfehlenswerten Überblick über die Entwicklung des STI in den vergangenen Jahrzehnten.

Für diesen Beitrag wurde für acht unterschiedliche Räume und neun verschiedene raumakustische Szenarien (insgesamt 84 Konditionen) die Übereinstimmung zwischen den realen Messergebnissen und der Prognose des STI in einem neuen Simulationsprogramm zur Elektroakustik [6] ermittelt. Die Simulationsmodelle wurden dabei auf die tatsächlichen Nachhallzeiten der Objekte angepasst.

## Messtechnik

Zur messtechnischen Bestimmung des STI wurden zwei unterschiedliche Verfahren angewandt:

Für alle Räume wurden Maximalfolgen-basierte Messungen mit MLSSA 10w6 durchgeführt, bei denen die Modulationsübertragungsfunktion nach Schroeder ermittelt wird. Für sieben der neun untersuchten Räume wurden außerdem Messungen nach dem STIPA-Verfahren [4] mit Geräten der Fa. Gold Line durchgeführt. Die mittlere Differenz zwischen MLSSA und STIPA lag bei etwa 0,013 bei einer Standardabweichung von 0,030. Soweit verfügbar, wurden die für den Vergleich mit der Simulation verwendeten Messwerte durch lineare Mittelung der MLSSA- und STIPA-Werte bestimmt. Die Messungen wurden mit Pegeln durchgeführt, bei denen keine Verschlechterungen der Ergebnisse durch pegelabhängige Aufwärts-Maskierung oder unzureichenden Signal-Stör-Abstand zu erwarten sind.

## Simulationstechnik

Zur Prognose der STI-Werte in den Simulationsmodellen wurde die aktuelle Version (6.0.1b1) der Bose-Software

Modeler<sup>®</sup> unter Windows XP verwendet. Die Berechnung der MTF erfolgt hier für jeden Analysepunkt durch Fouriertransformation einer rechtechnisch effizient ermittelten Form der quadrierten Impulsantwort (HEDC<sup>™</sup>, siehe auch [7]). Die Berechnung des STI erfolgt anschließend nach [8].

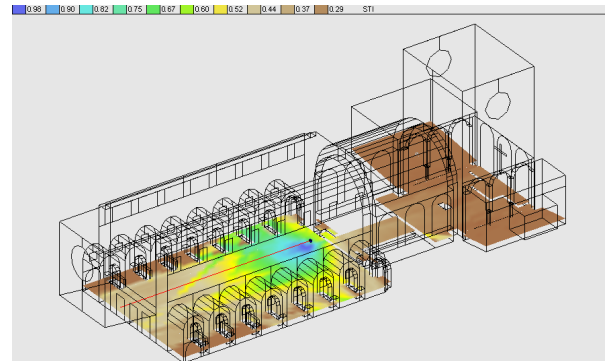


Abbildung 1: Simulationsmodell mit kalkuliertem STI-Mapping für das Testmodell 3 (Abteikirche).

## Beschallungstechnische Situationen

Die Messwerte wurden bei der Besichtigung und Vermessung typischer Beschallungsprojekte des Autors aus den vergangenen Jahren ermittelt. Die für die Untersuchungen verwendete Beschallungsanlage bestand dabei in 88% der Fälle aus einem einzelnen Lautsprecher (Bose 802), der - als Array aus acht 4,5“ Treibern - über ein mittelkomplexes Abstrahlverhalten verfügt. Die Richtwirkung des Lautsprechers beträgt bei mittleren Frequenzen etwa  $Q = 10$ .

## Raumakustische Situationen

Die Untersuchungen erfolgten in acht verschiedenen Räumen und bei insgesamt neun unterschiedlichen Nachhallzeiten, die in Abbildung 2 dargestellt sind und von etwa 0,8 Sekunden bis etwa fünf Sekunden reichen.

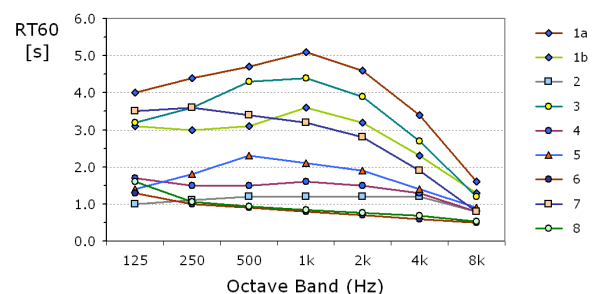


Abbildung 2: Verlauf der Nachhallzeiten für die neun untersuchten raumakustischen Situationen. Die Zuordnung der Codierung erfolgt gemäß Tabelle 1.

Die nachfolgende Tabelle 1 ordnet die neun verschiedenen Räume den verwendeten Abkürzungen zu und listet außerdem die Raumvolumina sowie die Anzahl der im jeweiligen

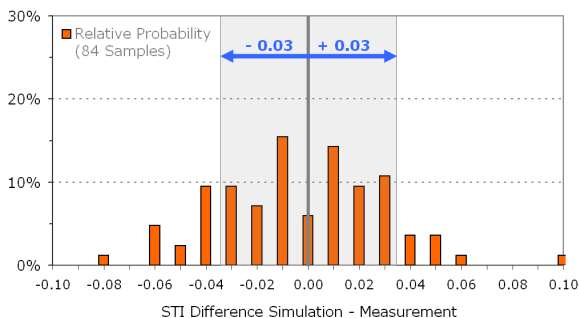
Simulationsmodell verwendeten Oberflächen:

**Tabelle 1:** Übersicht der untersuchten Räume

Beschreibung	Code	Raumvolumen [m <sup>3</sup> ]	Anzahl Flächen
Kantine, original	1a	4000	118
Kantine, renoviert	1b	4000	118
Konferenzraum	2	860	55
Abteikirche	3	33000	743
Stadhalle, klein	4	4600	262
Golf Club	5	1900	126
Theater, klein	6	1600	52
Vortragsraum	7	2000	259
Multifunktionsraum	8	1600	138

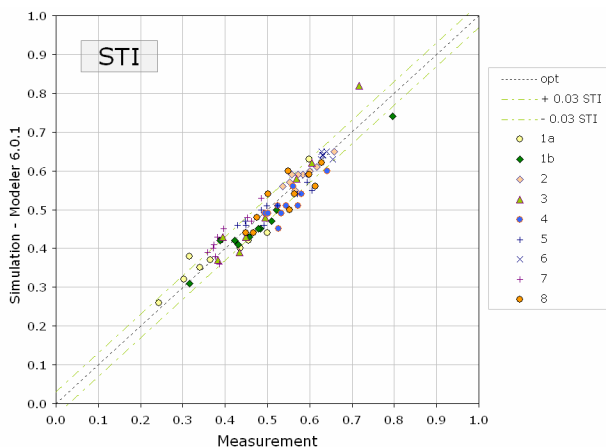
### Ergebnisse

In den Abbildungen 3 bis 5 sind einige Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt. Zunächst wurden die Differenzen zwischen Simulation und Messung ermittelt. Die Häufigkeitsverteilung der Differenzen ist in Abb. 3 dargestellt. Die mittlere Differenz über alle Messpunkte beträgt -0,003 STI bei einer Standardabweichung von 0,032. Dabei lagen 73% der 84 untersuchten Proben innerhalb von  $\pm 0,03$  STI (entspricht JND) und 52% der Proben innerhalb von  $\pm 0,02$  STI.



**Abbildung 3:** Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zwischen Simulation und Messung des STI für die 84 Testsituationen.

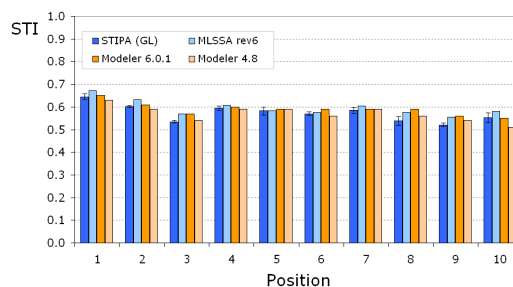
Abbildung 4 zeigt ein Scatterdiagramm für alle 84 untersuchten Bedingungen. Die überwiegende Zahl der STI-Werte liegt dabei in dem für Sprachalarmanlagen wichtigen Bereich von STI = 0,4 bis 0,6.



**Abbildung 4:** Vergleich der gemessenen STI-Werte mit den für identische Testsituationen simulierten Werten für die 84 untersuchten Bedingungen. Die mittlere Diagonale repräsentiert perfekte Übereinstimmung.

Die für die Einzelräume ermittelten Korrelationskoeffizienten liegen zwischen  $r = 0,83$  und  $0,99$  bei einem Mittelwert von  $0,91$ .

Abbildung 5 zeigt für einen exemplarischen Raum Einzelwerte für den STI, die mit vier verschiedenen Methoden gewonnen wurden. Es ist zu sehen, dass die Simulationsergebnisse nicht systematisch von den Messwerten abweichen, und dass die Differenz zwischen Simulation und Messung etwa gleich der Differenz zwischen den beiden Messmethoden ist.



**Abbildung 5:** Vergleich der STI-Werte für zehn Analysepositionen des Testmodells 2 (Konferenzraum). Gezeigt sind die Messergebnisse nach dem STIPA-Verfahren mit den örtlichen Standardabweichungen der Einzelmessungen sowie die MLS-basierte Messung. Vergleichend dargestellt sind die Ergebnisse für die Simulation in Modeler 4.8.1 (Macintosh) und 6.0.1b1 (XP). Der Korrelationskoeffizient zwischen dem Mittelwert der Messungen und der Simulation (6.0.1) beträgt hier  $r = 0,90$ .

### Fazit

Es wurden für neun unterschiedliche raumakustische Varianten die Simulationsergebnisse zur Berechnung des Sprachübertragungsindex STI den Messungen (STIPA und MLS) gegenübergestellt. Für die 84 untersuchten Situationen ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung der simulierten Ergebnisse mit den Messwerten.

### Literatur

- [1] DIN EN (IEC) 60849 (1999).
- [2] DIN VDE 0833-4 (April 2006), 2. Entwurf.
- [3] DIN EN (IEC) 60268-16 (2003).
- [4] Jacob, K., Steeneken, H.J.M., Verhave, J. and McManus, S. "Development of an accurate, handheld, simple-to-use meter for the prediction of speech intelligibility". Institute of Acoustics, Proc. Reproduced Sound **17** (2001).
- [5] Van Wijngaarden, S. (Ed.). "Past, present and future of the Speech Transmission Index". TNO, Soesterberg, The Netherlands, 2002. ISBN 90-76702-02-0.
- [6] Bose Modeler Design Program. <http://www.bose.com/modeler>
- [7] Jacob, K., Birkle, T. and Ickler, C. "Accurate prediction of speech intelligibility without the use of In-Room-Measurements". JAES, Vol. **39**, No. 4 (April 1991).
- [8] Houtgast, T., Steeneken, HJM. JASA, Vol. **67** (1) (1980).