

SCHWANKUNGSSTARKE UND SPRACHVERSTÄNDLICHKEIT IN RÄUMEN

H. Fastl, H. Frisch und E. Zwicker

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

Einleitung

Das Spektrum der zeitlichen Hüllkurvenschwankung fließender Sprache stimmt sehr gut mit der Abhängigkeit der Hörempfindung Schwankungsstärke von der Modulationsfrequenz überein (Fastl 1982a, 1984, 1987). Sprachquelle und Empfangsorgan sind in dieser Hinsicht gut aneinander angepaßt. Daher ist zu erwarten, daß sich die Sprachverständlichkeit in Räumen anhand der Hörempfindung Schwankungsstärke beschreiben läßt. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde folgende Pilot-Studie durchgeführt: In Räume mit stark unterschiedlicher Raumakustik wurden sowohl Testworte als auch amplitudenmodulierte Breitbandrauschen eingespielt und auf Band aufgezeichnet. Darüber hinaus wurden in den Räumen die Nachhallzeiten sowie die RASTI-Werte gemessen. In getrennten psychoakustischen Meßreihen wurde einerseits die Sprachverständlichkeit der Testworte und andererseits die Schwankungsstärke der amplitudenmodulierten Rauschen beurteilt. Die Zusammenhänge zwischen Sprachverständlichkeit und Schwankungsstärke bzw. RASTI-Wert werden aufgezeigt. Zusätzlich wurde für die verschiedenen Räume die "Güte der Sprachübertragung" in psychoakustischen Meßreihen erfragt und zur Sprachverständlichkeit, Schwankungsstärke, Nachhallzeit und zu RASTI-Werten in Beziehung gesetzt.

Messungen

Die Schallaufnahmen und RASTI-Messungen wurden an verschiedenen Plätzen einer Eissporthalle ($V = 42000\text{m}^3$, $T_N = 7,7\text{s}$), einer Mehrzweckhalle ($V = 7000\text{m}^3$, $T_N = 3,5\text{s}$), sowie einer Stadthalle ($V = 8000\text{m}^3$, $T_N = 2,2\text{s}$) durchgeführt. Die RASTI-Werte wurden mit einem Sprachübertragungsmesser bei 16s Meßdauer ermittelt, wobei über je 3 Einzelmeßwerte arithmetisch gemittelt wurde. Für die Bestimmung der Sprachverständlichkeit wurde der Reimtest nach Sotscheck (1982) verwendet. Die Messungen zur Schwankungsstärke wurden mit sinusförmig amplitudenmodulierten Rosa Rauschen ($f_{\text{mod}} = 4\text{ Hz}$, $m = 1$) durchgeführt. Die Sprachschalle bzw. Rauschen wurden direkt über die Beschallungsanlage in den jeweiligen Raum eingespielt und an verschiedenen Stellen im Raum über Kondensatormikrophon, Verstärker, PCM-Prozessor und Video-Recorder digital aufgezeichnet. Die Wiedergabe der Schalle erfolgte in einem schallisolierten Raum beidohrig (diotisch) über elektrodynamische Kopfhörer (Beyer DT 48), denen ein Freifeldentzerrer nach Zwicker und Feldtkeller (1967, S.40) vorgeschaltet war. Alle Schalle wurden mit 60 dB Schallpegel dargeboten.

Als Meßmethode zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit wurde der bei Sotscheck (1982) ausführlich beschriebene Reimtest verwendet. Die Schwankungsstärke der amplitudenmodulierten Rauschen wurde mittels der Methode der Größenschätzung mit Ankerschall (vgl. Fastl 1982b) bestimmt. Die Beurteilung der "Güte der Sprachübertragung" wurde folgendermaßen durchgeführt: Die Versuchspersonen sollten sich vorstellen, sie würden sich in einem Saal befinden und wollten sich einen Vortrag anhören. Der "Vortrag" bestand für jede raumakustische Situation aus jeweils drei Sätzen aus dem Reimtest. Nach der Darbietung dieser drei Sätze sollte die "Güte der Sprachübertragung" durch Vergabe von Prädikaten (Schulnoten) beurteilt werden. Dabei entspricht die Zahl 1 dem Prädikat "sehr gut", die Zahl 6 dem Prädikat "ungenügend".

An allen Hörversuchen nahmen acht normalhörende Versuchspersonen im Alter zwischen 24 und 43 Jahren teil. Die Ergebnisse sind in den Figuren als Zentralwerte mit wahrscheinlichen Schwankungen (Zwicker 1982, S.14) dargestellt. Die Zentralwerte basieren auf jeweils 8 Daten bei den Messungen zur Sprachverständlichkeit, je 32 Daten bei der Schwankungsstärke und je 16 Daten bei der Beurteilung der Güte der Sprachübertragung.

Ergebnisse

Fig.1a zeigt für die Raumsituationen a bis l die Reimtestverständlichkeit. Sie ergibt sich aus dem Prozentsatz richtig verstandener Testworte nach Korrektur der Ratewahrscheinlichkeit. Die Reihenfolge der Raumsituationen ist so gewählt, daß mit fortschreitender Position im Alphabet die Reimtestverständlichkeit zunimmt. Die Raumsituation l entspricht dem akustisch sehr trockenen Aufnahme-raum des Reimtests, d.h. das Sprachmaterial wurde direkt ohne Wiedergabe in einem Raum auf die digitale Tonaufzeichnung kopiert. Abgesehen von der Raumsituation (a) zeigen sich nur geringe wahrscheinliche Schwankungen. Dies bedeutet, daß alle acht Versuchspersonen die unterschiedliche Sprachverständlichkeit in den verschiedenen Räumen in etwa gleich beurteilten.

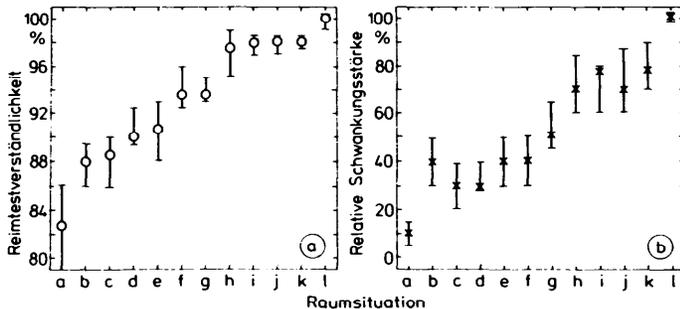


Fig. 1 Reimtestverständlichkeit (a) und relative Schwankungsstärke (b) für verschiedene Raumsituationen.

In Fig.1b ist die relative Schwankungsstärke der amplitudenmodulierten Breitbandrauschen für die Raumsituationen a bis l dargestellt. Dabei repräsentiert die Situation l wieder die direkte Aufnahme des amplitudenmodulierten Rauschens ohne Raumeinfluß. Die wahrscheinlichen Schwankungen in Fig.1b beruhen vorwiegend auf interindividuellen Unterschieden. Mit Ausnahme des Wertes bei (b) ergibt sich für die relative Schwankungsstärke unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Schwankungen ein monotoner Anstieg mit steigender Position der Raumsituation im Alphabet. Ein Vergleich der in Fig.1a bzw. Fig.1b dargestellten Ergebnisse weist auf eine hohe Korrelation von Reimtestverständlichkeit und relativer Schwankungsstärke hin ($r_g = 0,972$, Signifikanzniveau 0.1 %). Die hohe Korrelation von Sprachverständlichkeit und Schwankungsstärke soll anhand von Fig.2a weiter verdeutlicht werden. Die Reimtestverständlichkeit ist für die Raumsituationen a bis l als Funktion der zugehörigen relativen Schwankungsstärke dargestellt. Mit zunehmender Schwankungsstärke steigt die Reimtestverständlichkeit an. Mit Ausnahme von Raumsituation (b) läßt sich die Sprachverständlichkeit in einem Raum anhand der Hörempfindung Schwankungsstärke gut beschreiben.

In Fig.2b ist die Reimtestverständlichkeit für die Raumsituationen a bis l als Funktion der zugehörigen RASTI-Werte dargestellt. Ähnlich wie für die Schwankungsstärke zeigt sich ein Zusammenhang zwischen Sprachverständlichkeit und RASTI-Wert. Allerdings ergibt sich beispielsweise für die Raumsituationen (a) und (d) der gleiche RASTI-Wert, obwohl die Reimtestverständlichkeit um immerhin 7,5% differiert. Darüber hinaus zeigt ein Vergleich der in Fig.2a bzw. Fig.2b dargestellten Ergebnisse, daß die RASTI-Werte trotz der recht unterschiedlichen raumakustischen Gegebenheiten relativ dicht beieinander liegen, während die zugehörigen Werte der relativen Schwankungsstärke einen größeren Bereich und somit die Zuordnung zur Sprachverständlichkeit erleichtern.

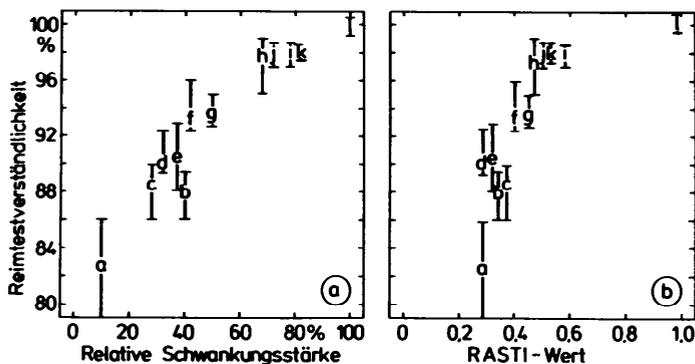


Fig. 2 Reimtestverständlichkeit und relative Schwankungsstärke (a) bzw. RASTI-Wert (b) für die Raumsituationen a bis 1.

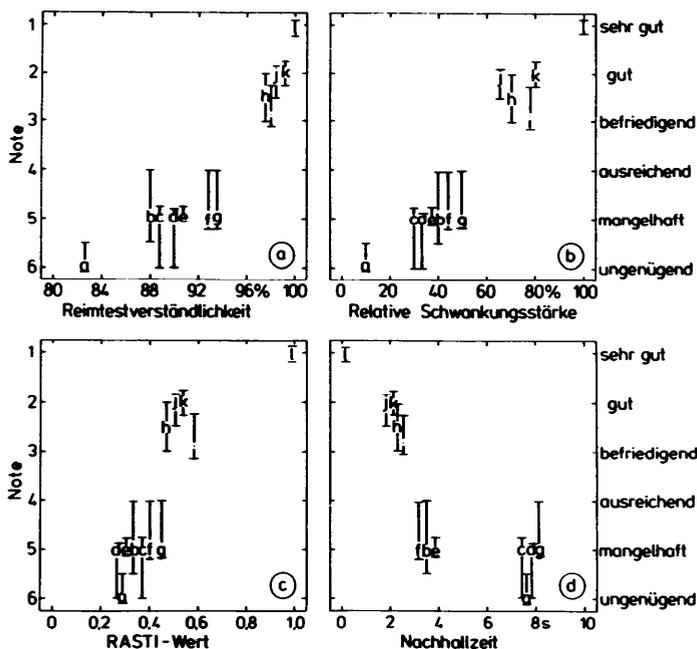


Fig. 3 Prädikat für die Güte der Sprachübertragung als Funktion der Reimtestverständlichkeit (a), der relativen Schwankungsstärke (b), des RASTI-Wertes (c) und der Nachhallzeit (d).

In Fig.3 sind für die Raumsituationen a bis 1 die Zusammenhänge zwischen den Prädikaten für die Güte der Sprachübertragung mit den subjektiven Beurteilungen Reimtestverständlichkeit und relative Schwankungsstärke, sowie mit den objektiven Beurteilungen RASTI-Wert und Nachhallzeit dargestellt. Die in Fig.3a

gezeigten Ergebnisse deuten an, daß für eine "gute" Sprachübertragung eine Reimtestverständlichkeit von etwa 98% nötig ist. Reimtestverständlichkeiten von weniger als 90% führen bereits zu mangelhafter Sprachübertragung. Gemäß den in Fig.3b dargestellten Ergebnissen sind für eine gute bis sehr gute Sprachübertragung Werte der relativen Schwankungsstärke von mehr als 80% notwendig. Werte der relativen Schwankungsstärke um 40% führen zu mangelhafter Sprachübertragung, während für relative Schwankungsstärken unter 20% nur eine "ungenügende" Qualität der Sprachübertragung erreicht wird. Die in Fig.3c gezeigten Ergebnisse ermöglichen eine Zuordnung von RASTI-Werten zur Güte der Sprachübertragung. Während RASTI-Werte bis zu 0,3 zu den Prädikaten "mangelhaft" bis "ungenügend" führen, ergeben RASTI-Werte um 0,5 Prädikate zwischen "befriedigend" und "gut". Houtgast und Steeneken (1984) haben eine ähnliche Zuordnung von RASTI-Werten zu Prädikaten angegeben; allerdings vergeben sie das Prädikat "gut" erst für RASTI-Werte über 0,6. Gemäß den in Fig.3d dargestellten Ergebnissen ist in Räumen mit Nachhallzeiten um 2 s eine gute bis befriedigende Sprachübertragung möglich. Bei 3 s Nachhallzeit ist die Sprachübertragung "ausreichend" bis "mangelhaft", bei längeren Nachhallzeiten "mangelhaft" bis "ungenügend". Eine Ausnahme bildet Raumsituation (g): Trotz einer Nachhallzeit von 8 s ist die Sprachübertragung noch "ausreichend" bis "mangelhaft". Dieser Effekt rührt daher, daß wegen der Richtcharakteristiken der Lautsprecher-Beschallungsanlage für die Raumsituation (g) eine "early decay time" (vgl. z.B. Cremer und Müller 1978) von 3 s entsteht.

Schlußbemerkung

In der hier beschriebenen Pilot-Studie konnte aufgezeigt werden, daß die Hörempfindung Schwankungsstärke hoch mit der Sprachverständlichkeit korreliert. Bei der Erfassung der Güte der Sprachübertragung ergibt sich für die Schwankungsstärke ein günstigerer Wertebereich als für die gedrängten Skalen von Reimtestverständlichkeit oder RASTI-Wert. Während bisherige Verfahren wie RASTI auf Eigenschaften der menschlichen Stimme als Schallquelle basieren, bildet bei der Beurteilung der Sprachverständlichkeit in Räumen anhand der Schwankungsstärke eine Eigenschaft des menschlichen Gehörs als Schallempfänger die Grundlage.

Die Autoren danken Müller-BBM, Planegg bei München für die Ermöglichung von Aufnahmen in unterschiedlichen Räumen, sowie für die Ausleihe eines Sprachübertragungsmessers.

Literatur

- Cremer, L. und Müller, H.A. (1978) Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik. Hirzel-Verlag, Stuttgart
- Fastl, H. (1982a) Beschreibung dynamischer Hörempfindungen anhand von Mithörschwellen-Mustern. Hochschul-Verlag, Freiburg
- Fastl, H. (1982b) Fluctuation strength and temporal masking patterns of amplitude modulated broadband noise. *Hear. Res.* 8, 59-69.
- Fastl, H. (1984) Schwankungsstärke und zeitliche Hüllkurve von Sprache und Musik. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'84, Verl.: DPG-GmbH, Bad Honnef, 739-742
- Fastl, H. (1987) Ein Störgeräusch für die Sprachaudiometrie. *Audiol. Akustik* 26, 2-13
- Houtgast, T. und Steeneken, H.J.M. (1984) A multi-language evaluation of the RASTI-method for estimating speech intelligibility in auditoria. *Acustica* 54, 185-199
- Sotscheck, J. (1982) Ein Reimtest für Verständlichkeitsmessungen mit deutscher Sprache als ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsgüte. *Der Fernmeldeingenieur* 36, Heft 4/5
- Zwicker, E. (1982) Psychoakustik. Hochschultext, Springer, Berlin
- Zwicker, E. und Feldtkeller, R. (1967) Das Ohr als Nachrichtenempfänger 2. erw. Auflage, Hirzel-Verlag, Stuttgart