

Der Einfluss von Raumakustik auf die binaurale Sprachverständlichkeit in moduliertem Störgeräusch – Messungen und Modellvorhersagen

Rainer Beutelmann¹, Thomas Brand²

^{1,2} Medizinische Physik, Universität Oldenburg, 26129 Oldenburg, Deutschland

¹Email: rainer.beutelmann@uni-oldenburg.de ²Email: thomas.brand@uni-oldenburg.de

Einleitung

Sprache als Kommunikationsmittel ist ein wichtiger Bestandteil unseres sozialen Lebens. Häufig findet sie in Umgebungen statt, die durch Störgeräusche, andere Sprecher und oft ungünstige Raumakustik ein Gespräch erschweren. Ein entscheidender Faktor in solchen Situationen ist das binaurale Hören. Durch Auswertung unterschiedlicher interauraler Zeit- und Pegeldifferenzen räumlich getrennter Nutz- oder Störschallquellen kann die Sprachverständlichkeitsschwelle (Signal-Rausch-Verhältnis, das zu einer Verständlichkeit von 50% führt) um bis zu 12 dB verbessert werden. Dieser binaurale Gewinn ist bei Schwerhörigen je nach Hörverlust stark eingeschränkt. Das Modell binauraler Sprachverständlichkeit von Beutelmann und Brand [1] konnte die binauralen Sprachverständlichkeitsschwellen Normalhörender und Schwerhöriger in Situationen mit einer Störquelle und stationärem Rauschen als Störquelle mit hoher Korrelation ($> 0,9$) für verschiedene Einfallsrichtungen und Räume vorhersagen. Da jedoch Situationen mit stationärem Rauschen und einer einzigen Störquelle in der Realität selten auftreten und Sprachverständlichkeitsschwellen in modulierten Störgeräuschen stärker zwischen Schwerhörigen differenzieren als stationäre Störgeräusche [2], soll das Modell auf die Vorhersage binauraler Sprachverständlichkeitsschwellen in moduliertem Störgeräusch erweitert werden, möglichst unter Einbeziehung der Interaktion zwischen binauraler Konfiguration, Raumakustik und Störgeräusch. Zu diesem Zweck wurden Sprachverständlichkeitsmessungen unter Variation dieser drei Parameter mit Normalhörenden und Schwerhörigen durchgeführt.

Methoden und Modell

Es wurden mit acht normalhörenden (Ruhehörschwelle bei höchstens einer audiologischen Frequenz > 15 dB) und 12 schwerhörigen Probanden jeweils das Luftleitungs-Tonaudiogramm und Sprachverständlichkeitsschwellen im Störgeräusch gemessen. Unter den Schwerhörigen befindet sich eine Untergruppe von fünf Probanden mit möglichst ähnlichem, diagonalem Hörverlust, um über die reine Hörbarkeit hinausgehende Effekte abschätzen zu können.

Als Parameter für die Sprachverständlichkeitsmessungen wurden alle Kombinationen von drei verschiedenen Setups der Schallquellen, vier Räume mit unterschiedlichen Nachhallzeiten und drei verschiedenen stark modulierte Störgeräuscharten verwendet. Die Richtungen und Räume wurden mit der Raumakustik-Simulationssoftware ODEON in Form von Impulsantworten berechnet. Die Sprachquelle befand sich immer im Abstand von 2 m direkt vor dem Probanden, bei 0° (vorne), die Störquelle im Abstand von 3 m jeweils bei entweder 0° (S_0N_0 , annähernd diotische Bedingungen), bei 105° (S_0N_{105} , maximaler binauraler Gewinn im Freifeld)

oder bei 315° (S_0N_{315}). In letzterer Situation wurden die Abstände verdoppelt und auf der rechten Seite des Probanden befand sich eine gerade Wand. Als Räume wurden ein reflexionsarmer Raum, ein Wohnzimmer (mittlere $T_{30}=0.41$ s), ein Klassenraum (0.75 s) und eine Kirche (8.7 s) verwendet. Die drei Störgeräusche waren das zum Oldenburger Satztest gehörende stationäre sprachsimulierende Rauschen, ein „Babble“-Rauschen von 6 Sprechern und ein sprachmoduliertes Rauschen (ICRA5-250) mit einer maximalen Pausenlänge von 250 ms.

Die Sprachverständlichkeitsschwellen wurden adaptiv mit dem Oldenburger Satztest [3] über Kopfhörer (Sennheiser HDA200) gemessen, wobei die Stimuli mit den vorher berechneten Impulsantworten gefiltert dargeboten wurden.

Das hier verwendete binaurale Modell der Sprachverständlichkeit ist eine Kombination von mehrbändiger binauraler Vorverarbeitung mit dem Equalization-Cancellation-Modell [4] und dem nachgeschalteten Speech Intelligibility Index [5] und wird in Beutelmann und Brand [1] im Detail beschrieben.

Ergebnisse und Diskussion

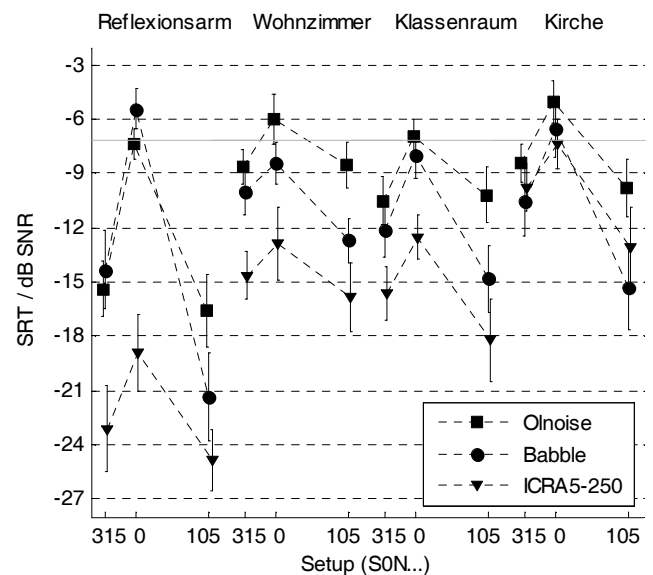


Abbildung 1: Mittlere Sprachverständlichkeitsschwellen von acht Normalhörenden und interindividuelle Standardfehler. Die dünne graue Linie gibt die monaurale Referenzschwelle für den Oldenburger Satztest (-7,1 dB SNR) an.

In Abb. 1 sind die Messergebnisse der Normalhörenden dargestellt. In den S_0N_0 -Schwellen ist kein binauraler Gewinn zu erwarten und in stationärem Rauschen liegen die Schwellen auch sehr nah an der monauralen Referenzschwelle. Eine leichte Erhöhung der S_0N_0 -Schwellen ist im Wohnzimmer und in der Kirche zu erkennen. Diese beruht

vermutlich auf dem negativen Einfluss des Nachhalls auf die Sprache unabhängig vom Störgeräusch. Mit steigendem Modulationsgrad verbessern sich die Schwellen, durch das Ausnutzen des Hörens in den Lücken des Störgeräusches. Dieser Effekt wird jedoch insbesondere im langen Nachhall der Kirche wieder stark eingeschränkt, denn der Modulationsgrad wird durch den langen Nachhall verringert. Insbesondere in reflexionsarmen Bedingungen zeigen sich Interaktionen zwischen Modulationsgrad des Störgeräusches und dem binauralen Gewinn.

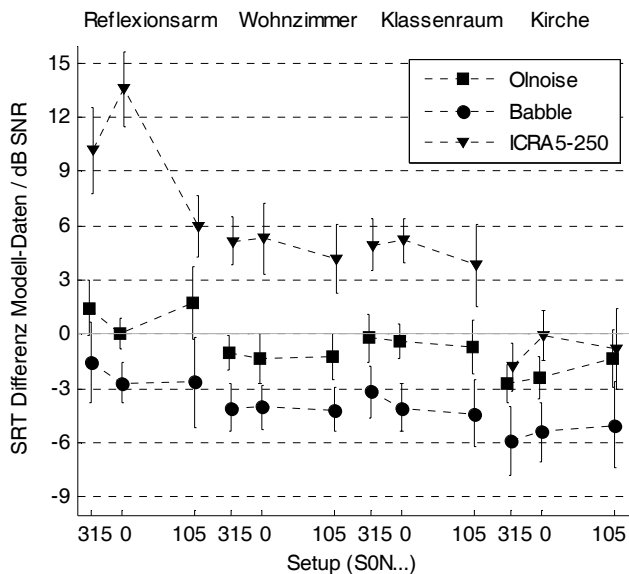


Abbildung 2: Differenz zwischen Modellvorhersagen und Messdaten von acht Normalhörenden, Mittel und interindividuelle Standardfehler.

Abb. 2 zeigt die Differenzen zwischen Modellvorhersagen und Messdaten in derselben Anordnung wie in Abb. 1. Eine ANOVA mit Posthoc-Test (Tukey-Kramer) bei 5%-Signifikanzschwelle zeigt, dass die Abhängigkeit des Vorhersagefehlers von der Störgeräuschrichtung nur in den Situationen mit ICRA5-250-Rauschen in reflexionsarmen Bedingungen signifikant ist. Dies lässt die Vermutung zu, dass sich der Effekt von moduliertem Störgeräusch in realen Räumen als zusätzlicher Korrekturfaktor modellieren lässt, der nicht von der Richtung, aber von der Kombination des Störgeräusches mit dem Raum abhängig ist. Der raumabhängige Vorhersagefehler bei stationärem Störgeräusch macht einen weiteren Korrekturfaktor nötig, der vermutlich auf dem monauralen Effekt von Nachhall auf die Sprache alleine basiert.

Der Einfluss eines Hörverlusts kann hier nur grob angerissen werden. Es lässt sich jedoch feststellen, dass schon bei mittleren Hörverlusten der binaurale Gewinn und der Vorteil von moduliertem Störgeräusch fast ganz verschwinden. Die Korrelationskoeffizienten zwischen Vorhersage und Messdaten für den reinen Effekt des Hörverlusts liegen bei 0.67 (ICRA5-250), 0.72 (olnoise) und 0.81 (babble). Der Fehler der Vorhersage bei den Normalhörenden liegt je nach Störgeräusch zwischen 2.2 und 2.5 dB, für Schwerhörnde jedoch zwischen 4 und 4.5 dB. Unter der Annahme, dass alle Information aus dem Audiogramm im Modell richtig verwendet wird, müssten hier weitere Parameter eingeführt werden.

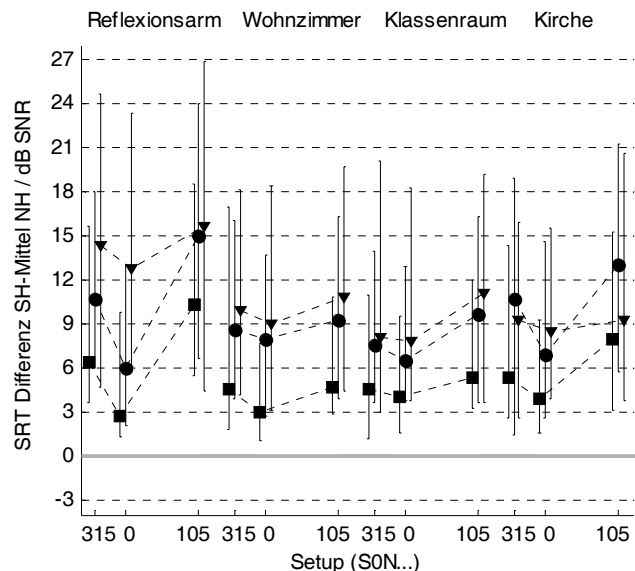


Abbildung 3: Differenz der gemessenen Sprachverständlichkeitsschwellen von zwölf Schwerhörnden zum Mittel der Normalhörenden in der entsprechenden Situation. Dargestellt sind jeweils Minimum, Median und Maximum. Legende: s. Abb. 3

Zusammenfassung

In dieser Studie wurden Sprachverständlichkeitsschwellen im Störgeräusch in Abhängigkeit von der Position von Stör- und Sprachschallquellen, der Raumakustik und bei verschiedenen Modulationen des Störgeräusches gemessen und mit einem binauralen Modell der Sprachverständlichkeit modelliert. Es zeigte sich in den Messdaten der Normalhörenden, dass die Raumakustik einen signifikanten Einfluss auf die Effekte der anderen Parameter hat und dass das Modell erweitert werden muss, um die Effekte von moduliertem Störgeräusch und Hall auf Sprache alleine mit einzubeziehen. Schwerhörnde haben, je nach Hörverlust, teilweise gar keinen binauralen Gewinn und weniger Vorteil von moduliertem Störgeräusch. Die Vorhersagen in Abhängigkeit vom Hörverlust korrelieren zwar signifikant mit den Messdaten, es bleiben aber Diskrepanzen, die sich nicht einfach mit dem Audiogramm erklären lassen.

Literatur

- [1] Beutelmann, R. und Brand, T (2006): "Prediction of speech intelligibility in spatial noise and reverberation for normal-hearing and hearing-impaired listeners", *J. Acoust. Soc. Am.* **120**(1), 331-342.
- [2] Wagener, K (2003): „Factors influencing sentence intelligibility in noise“ Dissertation, Universität Oldenburg.
- [3] Wagener, K., Brand, T., Kühnel, V. und Kollmeier, B (1999): „Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache“, *ZfA* 38(1-3).
- [4] Durlach, N.I. (1963): „Equalization and Cancellation Theory of Binaural Masking-Level Differences“, *J. Acoust. Soc. Am.*, 35(8), 1206-1218.
- [5] ANSI (1997): "Methods for the Calculation of the Speech Intelligibility Index", Standards Secretariat, Acoustical Society of America, American National Standard, S3.5-1997.