

Lautheitsabhängige Sprachverständlichkeit - Objektive Kommunikationsbewertung in einem Fahrzeuginnenraum

Robert Kühler¹, Jan Rennies¹, Jens-E. Appell¹, Birger Kollmeier^{1,2}

¹Fraunhofer IDMT, Hör-, Sprach- und Audiotechnologie, Oldenburg, E-Mail: jan.rennies@idmt.fraunhofer.de

²Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Medizinische Physik

Einleitung

Die akustische Kommunikation in einem Fahrzeuginnenraum stellt einen immer wichtiger werdenden Beitrag für die Automobilbranche dar. Zum einen steigt die Anzahl von Kommunikations- und Entertainment-Elementen mit jeder Neuauflage einer Baureihe und zum anderen kann z.B. eine robuste Sprachsteuerung für mehr Sicherheit im Straßenverkehr sorgen. Dabei ist es wichtig eine Aussage über die Kommunikationsqualität treffen zu können. Besonders wichtig sind hierbei die Sprachverständlichkeit (SV) und die Lautheitsempfindung. Um eine Aussage über die Kommunikationsqualität zu treffen, bieten sich Messungen am Objekt an, welche jedoch einen hohen Zeitaufwand benötigen und in der Regel sehr kostenintensiv sind. Eine Vorhersage der zwei wichtigen Größen SV und Lautheit über Modelle scheint somit eine Lösung. Modellvorhersagen ermöglichen in der Planungsphase eine Orientierung und können u.U. zeitaufwendige Probandenmessungen ersetzen. In diesem Beitrag wird untersucht, inwieweit Modelle die SV und die Lautheitsempfindung für unterschiedliche akustische Situationen in einem PKW vorhersagen können. Dabei wurden zunächst Probandenmessungen als Referenz durchgeführt, um im weiteren Verlauf die Ergebnisse über Modellsimulationen vorherzusagen.

Fahrzeugaufnahmen

Für die Untersuchung wurden Fahrgeräusche bei einer konstanten Geschwindigkeit von 100 km/h und 140 km/h auf Asphalt in einem Kleinwagen (Peugeot 106, Bj.97) mit einem Kunstkopf (Brüel & Kjaer Typ 4128-C-001) aufgezeichnet. Um darüber hinaus eine beispielhafte Kommunikationssituation zwischen Personen im Fahrzeug nachzubilden, wurden verschiedene Impulsantworten mit einem Kunstkopf, platziert auf dem Beifahrersitz, ermittelt. Der Sender (Sprecher) befand sich dabei auf drei verschiedenen Positionen im Fahrzeuginnenraum: „Fahrer“ (1), „hinten links“ (2) und „hinten rechts“ (3).

Sprachverständlichkeit

Experiment

Die experimentelle Bestimmung der Sprachverständlichkeit wurde aufbauend auf den „Oldenburger Satztest“ [1] mit sechs normalhörenden Versuchspersonen (VP) im Alter von 22 bis 31 Jahren durchgeführt. Die Sprachsignale des Satztestes wurden jeweils mit den drei ermittelten Impulsantworten gefaltet. Als Störsignal wurden die Fahrgeräusche (100 und 140 km/h) verwendet.

Dargeboten wurden die Fahrgeräusche bei 89 dB SPL (100 km/h) und 94 dB SPL (140 km/h), gemäß des realen Wertes im Fahrzeug. Es ergaben sich somit sechs Konditionen, zwei Störgeräusche mit je drei verschiedenen Sprecherpositionen. Die Darbietung fand in einer schallisolierten Kabine über Kopfhörer (Sennheiser HDA 200) statt. Ermittelt wurde die SV bei verschiedenen SNR. An diese Datenwerte wurde für jede Versuchsperson eine Verständlichkeitsfunktion angepasst. Die gemittelten Ergebnisse sind in Abbildung 1 als schwarze Linien dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Fahrgeräusche die Verständlichkeit von Sprache nur gering beeinflussen. Dabei wirkt das 140 km/h-Fahrgeräusch stärker maskierend auf die Sprache als das Geräusch bei geringerer Geschwindigkeit. Der SNR-Bereich von keiner Verständlichkeit und 100 % Sprachverstehen umfasst ca. 20 dB SNR. Der Einfluss der Sprecherposition hat sich bei dieser Probandenanzahl als nicht signifikant herausgestellt (ANOVA, $\alpha = 5\%$).

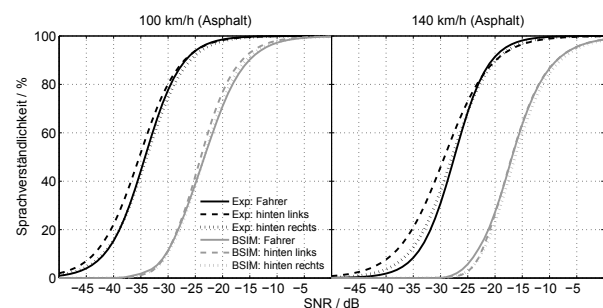


Abbildung 1: Mittlere Verständlichkeitsfunktionen (Median) aller Versuchspersonen (schwarz) im Vergleich zur Vorhersage des BSIM [2] (grau) für alle Konditionen.

Modellierung

Für die Modellierung wurden zwei Standards der objektiven Sprachverständlichkeitsbewertung, der Sprachübertragungsindex (STI, IEC 60268-16) und der Sprachverständlichkeitsindex (SII, ANSI S3.5-1997) verwendet. Darüber hinaus wurde eine Weiterentwicklung des SII, das *Binaural Speech Intelligibility Model* (BSIM) [2], verwendet. Die Simulation erfolgte über eine Softwareentwicklung der Fraunhofer-Projektgruppe in MATLAB, die sog. *Speech Intelligibility Prediction Toolbox* [5]. Hierbei ist es möglich eine beliebige akustische Situation durch unterschiedliche objektive Maße z.B. der SV und der Lautheit vergleichend zu bewerten. Den Modellen wurden die gleichen Signale entsprechend dem Probandentest zugeführt. Abbildung 2 zeigt einen

Vergleich der Modellvorhersagen für die Kondition 100 km/h-Fahrgeräusch mit Sprecherposition „Fahrer“. Im rechten Teilbild ist zu erkennen, dass SII und STI für diese Kondition die gleichen Verständlichkeiten vorher-sagen. Dabei ist ein durch die Position bedingter großer Unterschied zwischen den beiden Ohren ersichtlich. Im linken Teilbild ist zu erkennen, dass das binaurale Modell (BSIM) einen Vorteil bei der Kombination beider Ohrkanäle vorhersagt.

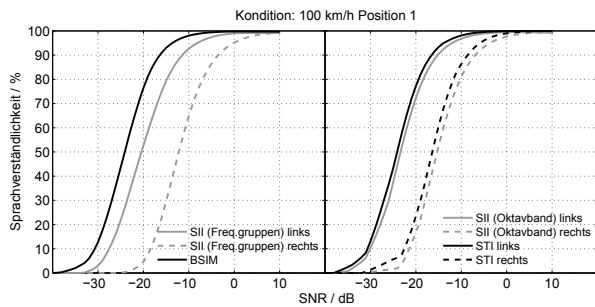


Abbildung 2: Verständlichkeitsvorhersagen der Modelle STI, SII und BSIM für eine akustische Situation im Fahrzeug (Peugeot 106, Bj.97). Maskierer war ein 100 km/h-Fahrgeräusch mit 89 dB SPL bei einer Kommunikationssituation „Fahrer spricht zu Beifahrer“.

Abbildung 1 zeigt den Vergleich zwischen Experiment und Vorhersage des BSIM. Es zeigt sich, dass das BSIM den Verlauf der Verständlichkeitsfunktionen der Probanden nachbilden kann, jedoch wird dabei die SV unterschätzt. Der Fehler der Vorhersage ist bei beiden Fahrgeräuschen gleich groß, somit sagt das Modell einen Unterschied der Maskierung bezogen auf die Geräusche richtig vorher. Das BSIM bewertet die Sprecherposition ebenfalls als unbedeutend für die SV im Fahrzeug.

Lautheit

Experiment

Für die Bewertung der Lautheit in einem Fahrzeug mit Probanden wurde die kategoriale Lautheitsskalierung, ACALOS [3], verwendet. Dabei hatten die zwölf normalhörenden Versuchspersonen die Aufgabe, die verwendeten Fahrgeräusche bei unterschiedlichen Darbietungspegeln mit Hilfe von Kategorien zu bewerten. Die resultierenden Lautheitsfunktionen sind in Abbildung 3 dargestellt. Werden beide Funktionen vergleichend dargestellt, ergibt sich, dass das 140-km/h-Geräusch bei gleichem Darbietungspegel lauter bewertet wird.

Modellierung

Für die Vorhersage der Lautheitsempfindung im Fahrzeug wurden zwei Modelle verwendet. Ein standardisiertes Modell zur Vorhersage der Lautheit für stationäre Signale (DIN 45631) und ein dynamisches Lautheitsmodell, das *Dynamic Loudness Model* (DLM) [4]. Die Modelle bewerteten ebenfalls die Fahrgeräusche bei verschiedenen Darbietungspegeln. Abbildung 3 zeigt die Vorhersagen im Vergleich zur ACALOS. Es ist zu erkennen, dass

die Vorhersagen der Lautheitsmodelle innerhalb der Experimentertoleranzen liegen. Der Unterschied zwischen den Modellen ist dabei gering. In der Realität besaßen die verwendeten stationären Fahrgeräusche einen festen Pegel. In der Abbildung 3 sind diese Pegel markiert und die zugehörigen Lautheitswerte dargestellt. Die Probanden bewerteten das 100-km/h-Geräusch mit „laut“ (< 40 CU) und das Fahrgeräusch bei 140 km/h mit „sehr laut“ (> 40 CU).

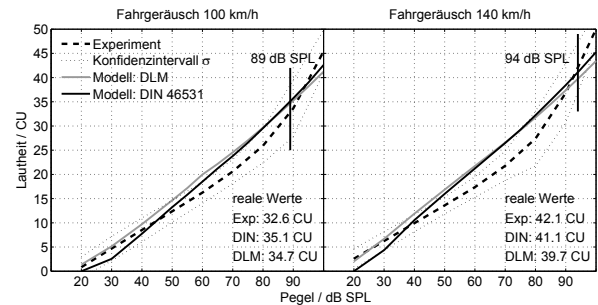


Abbildung 3: Vergleich der Lautheitsfunktionen der Modelle mit den mittleren Funktionen der Versuchspersonen in Abhängigkeit vom Darbietungspegel der Fahrgeräusche.

Fazit

Bei der SV im Fahrzeuginnenraum hat sich gezeigt, dass die Fahrgeräusche aufgrund ihrer tieffrequenten Charakteristik die Verständlichkeit von Sprache nur gering beeinflussen. Die Modelle konnten den Einfluss der unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Sprecherpositionen auf die SV richtig vorhersagen, unterschätzten dabei aber die SV um einen konstanten Offset. Zur korrekten Vorhersage der SV in einem Fahrzeuginnenraum muss ein binaurales Modell verwendet werden.

Die Untersuchung zur Lautheitsempfindung hat gezeigt, dass höhere Geschwindigkeiten in einem Kleinwagen bereits als „sehr laut“ empfunden wurden. Die verwendeten Lautheitsmodelle konnten diese Empfindung quantitativ vorhersagen. Für die gewählten Fahrgeräusche war dabei kein dynamisches Lautheitsmodell notwendig.

Literatur

- [1] Wagener et al.: Entwicklung und Evaluation eines Satztestes für die deutsche Sprache. I: Design des Oldenburger Satztestes. *Zeitschrift für Audiologie* 38(1):4-14 (1999)
- [2] Beutelmann, R. und Brand, T.: Prediction of speech intelligibility in spatial noise and reverberation for normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Journal Acoustical Society of America* 120(1):331-342 (2006)
- [3] Brand, T. und Hohmann, V.: An adaptive procedure for categorical loudness scaling. *Journal Acoustical Society of America* 112(4):1597-1604 (2002)
- [4] Chalupper, J. und Fastl, H.: Dynamic loudness modell (DLM) for normal hearing and hearing-impaired listeners. *Acta Acoustica United with Acustica* 88:378-386 (2002)
- [5] http://www.idmt.fhg.de/de/presse_medien/download/produktinformation/09_sip_toolbox.de.pdf