

Audiologische Tests zur Beurteilung der Geräuschqualität im Fahrzeuginnenraum

Oliver Jung¹, Jörg Becker-Schweitzer², Volker Grützmaker¹

¹ Adam Opel GmbH, 65423 Rüsselsheim, Email: oliver.jung-contractor@de.opel.com

² Fachhochschule Düsseldorf, Institut für Schwingungstechnik, Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf

Einleitung

Die Sprachverständlichkeit stellt ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der akustischen Qualität eines Fahrzeuginnenraumes dar. Diese wird üblicherweise mit Einzelmaßen wie z. B. dem Articulation Index (AI), in jüngerer Zeit auch zunehmend mit dem ausgefeilteren „Speech Transmission Index“ (STI) beschrieben. [1] Diese Metriken wurden ursprünglich nicht für Fahrzeug-Applikationen entwickelt, woraus sich bisweilen Abweichungen der gemessenen Werte von subjektiven Empfindungen von Versuchspersonen ergeben. Zudem treten bei hohen Werten des AI und des STI (>0.8) Sättigungseffekte auf, die in diesem Fall eine differenzierte Betrachtung der Messwerte erschweren. [2]

Die vorliegende Arbeit hat daher den Ansatz, die Erfassung der Sprachverständlichkeit im Fahrzeug über Hörversuche mit Probanden zu realisieren. Das benötigte Sprachmaterial und die entsprechenden Prozeduren sollten aus gängigen audiologischen Sprachtests stammen. Die Modellannahme bei diesen Tests ist eine Verdeckung von dargebotener Sprache, zum einen durch internes Rauschen, das von neuronalen Verarbeitungsfehlern hervorgerufen wird, und zum anderen durch externe Störgeräusche. Dadurch wird die Sprache bei Unterschreitung eines bestimmten Signal-Rausch-Abstandes unverständlich.

Audiologische Tests

Eine übliche Anwendung audiologischer Tests, wie z. B. des „Oldenburger Satztests“, ist die genaue Anpassung von Hörgeräten. Hierbei werden Verständlichkeitsschwellen in einem Störgeräuschumfeld gemessen. Dieses Störgeräusch generiert sich im Oldenburger Satztest durch vielfache Überlagerung des Sprachmaterials, so dass die Langzeitspektren des Störgeräuschs und des Sprachmaterials identisch sind. Der Pegel der dargebotenen Sätze wird in Abhängigkeit von der Anzahl verstandener Wörter aus dem jeweils vorhergehenden Satz bis zu einem Pegelwert adaptiert, bei dem lediglich 50 % aller Wörter verstanden werden. Dieser Wert nennt sich „Sprachverständlichkeitsschwelle“ (SVS) und wird in Dezibel ausgedrückt.

Der „Freiburger Zahlentest“ ist Bestandteil des „Freiburger Wörterttests“ nach DIN 45621/1 und ermittelt den Hörverlust für Zahlen in Ruhe. Dieser Test unterscheidet sich im Sprachmaterial (stark artikulierte Aussprache) sowie in der Testprozedur erheblich vom Oldenburger Satztest, so dass er trotz einiger bekannter Unzulänglichkeiten in die vorliegende Untersuchung aufgenommen wurde. So ist der Zahlentest ursprünglich nicht für Störgeräuschmessungen konzipiert und weist zudem phonetische Unausgewogenheiten auf, die zu Abweichungen in der Diskrimination der einzelnen Testlisten führen. [3]

Methodik

Um eine große Spanne an Ergebnissen bei der Messung der Sprachverständlichkeitsschwellen zu erlangen, wurden u. a. drei Mini-Vans (Opel Zafira) mit unterschiedlichen Graden an Absorption im Innenraum für die Untersuchung ausgewählt: Ein Wagen hatte ein Glasdach und wird folgend mit „ZG“ abgekürzt. Ein „normaler“ Zafira mit Stoff-Dachhimmel (ZN) und ein Fahrzeugzustand mit zusätzlicher absorptiver Auskleidung (ZA) waren ebenso im Test wie ein Opel Astra GTC mit Panorama-Windschutzscheibe (AP) sowie ein Astra GTC mit „normaler Scheibe“ (AN).



Abbildung 1: Opel Zafira mit zusätzlicher absorptiver Auskleidung (links) und Opel Astra GTC mit Panorama-Windschutzscheibe (rechts) zur Untersuchung extremer Fahrzeugzustände

Die Fahrgeräusche bei konstant 120 km/h wurden auf einer Teststrecke binaural auf der jeweils letzten Sitzreihe (dritte Reihe im Zafira, zweite im Astra) aufgenommen und die binauralen Impulsantworten auf einem Prüfstand vom Beifahrersitz zur letzten Sitzreihe bestimmt. Das Sprachmaterial wurde mit den Impulsantworten gefaltet und zusammen mit den Fahrgeräuschen bei Hörversuchen via Kopfhörer Probanden dargeboten. Den nach Vorgaben des Oldenburger Satztests (OST) und des Freiburger Zahlentests (FNT) gemessenen Sprachverständlichkeitsschwellen lag eine A-Bewertung der Sprache und der Fahrgeräusche zugrunde. Zusätzlich wurde der Pegelverlust vom Sender zum Empfänger im Fahrzeug berücksichtigt. Die Addition der SVS und der Sprachpegelveränderung im Fahrzeug gegenüber Freifeld-Bedingungen erhält den Namen „Adaptierte Sprachverständlichkeitsschwelle“ (ASVS).

Auswertung der Hörversuche

Insgesamt drei Hörversuche fanden im Rahmen dieser Untersuchung statt. Das Sprachmaterial aus dem OST wurde in einem ersten Versuch mit 57 Probanden zwischen 23 und 63 Jahren (Median 35 Jahre) und unterschiedlicher Hörversuchserfahrung verwendet. An der Validierung der Ergebnisse in realen Fahrzeugen auf einer Teststrecke nahmen neun Probanden aus der Personengruppe des ersten Hörversuches zwischen 23 und 54 Jahre (Median 38 Jahre) teil. Der dritte Versuch mit zwölf hörversuchserfahrenen Probanden

(24 – 47 Jahre, Median 26,5 Jahre) verwendete das Sprachmaterial des FNT. Im ersten Hörversuch (mit dem OST) konnte eine Altersunabhängigkeit der Ergebnisse festgestellt werden, so dass die Versuche trotz unterschiedlicher Probanden-Zusammensetzung miteinander vergleichbar sind. *Abbildung 2* zeigt die ASVS-Ergebnisse in den einzelnen Fahrzeugen mit dem OST und dem FNT.

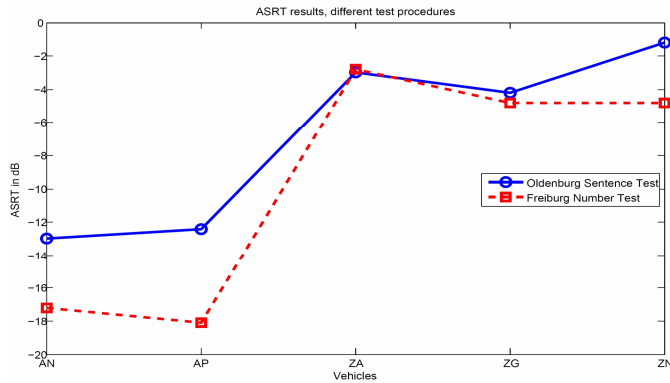


Abbildung 2: ASVS-Werte in den einzelnen Fahrzeugen, gemessen mit dem Oldenburger Satztest und dem Freiburger Zahlentest

Die ausschließlich negativen ASVS-Werte zeigen, dass die Sprache grundsätzlich (mit A-Bewertung) in allen getesteten Fahrzeugen leiser sein kann als das Fahrgeräusch, um eine Verständlichkeit von 50 % zu erreichen. Die Unterschiede zwischen dem besten und dem schlechtesten Fahrzeug liegen allerdings bei über zehn Dezibel. Obwohl man beim FNT aufgrund der Diskriminationsunterschiede der verwendeten Testlisten nur von einer Genauigkeit von +/- 2 dB ausgehen kann, zeigt die Kurve dennoch - ebenso wie der OST - große Unterschiede zwischen den beiden Astras und den Zafiras, die aus den verwendeten Sitzpositionen in der zweiten bzw. dritten Reihe resultieren. Die Ergebnisse des OST sind bei den Astras deutlich schlechter als die Werte des FNT, was auf die Überartikulation im Sprachmaterial des Freiburger Tests zurückzuführen ist.

Trägt man nun die Beträge der ASVS-Werte zusammen mit den gemessenen Sprachverständlichkeits-Indizes in ein Diagramm, so ergibt sich folgendes Bild:

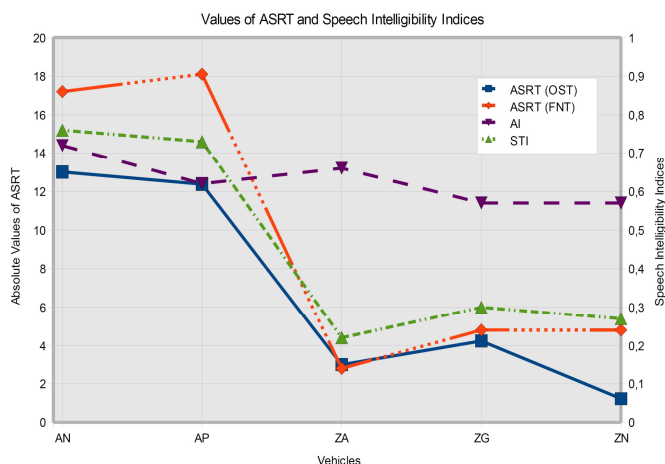


Abbildung 3: Beträge der ASVS-Messungen zusammen mit den Werten von AI und STI

Es ist ersichtlich, dass die Kurvenform des STI den Werten der ASVS-Messungen folgt, während der AI aufgrund seines per Definition vorgegebenen Sprachspektrums sogar eine vermeintliche Verbesserung der Sprachverständlichkeit im absorptiv ausgekleideten Zafira gegenüber den Astras feststellt. Die Korrelation zwischen den Kurven der ASVS und des STI liegt bei 98 bzw. 99 %, wohingegen der AI lediglich eine Korrelation von 84 % Prozent erreicht. Von Signifikanz kann ab einem Wert von 95 % ausgegangen werden.

Erkenntnisse

Grundsätzlich scheinen audilogische Tests für die Beurteilung und Abstufung unterschiedlicher Fahrzeuggeräusche geeignet zu sein. Erste Vergleiche mit subjektiven Urteilen im erweiterten Rahmen der vorliegenden Untersuchung scheinen diese Vermutung zu bestätigen. [4] Zudem validierten die Ergebnisse der Vergleichsmessung in realen Fahrzeugen die gemessenen Sprachverständlichkeitsschwellen im Studio. Die Addition der ASVS und des Fahrgeräusch-Pegels bietet eine Einschätzung der erforderlichen Sprechlautstärke für gute Verständlichkeit im jeweiligen Fahrzeug. Der STI stellt eine gute Approximation der tatsächlichen Sprachverständlichkeit im Fahrzeuginnenraum dar, weicht jedoch unter bestimmten Voraussetzungen von den ASVS-Messungen ab, wie eine zusätzliche Messung mit einem Zafira mit künstlich verlängerter Nachhallzeit zeigt. Das Sprachmaterial des Oldenburger Satztests scheint aufgrund seiner phonetischen Ausgewogenheit sehr gut für die Bewertung der Verständlichkeit im Fahrzeug geeignet zu sein. Die Testprozedur gilt es jedoch noch zeitlich zu optimieren, da für eine SVS-Messung zwischen fünf und sieben Minuten pro Proband und Fahrzeug nötig sind.

Ausblick

Eine Anpassung der Verständlichkeitsschwelle von 50 % auf beispielsweise 80 % könnte die Kundenrelevanz einer Untersuchung mit audilogischen Tests weiter erhöhen. Eine Ausweitung auf unterschiedliche Fahrzustände (z. B. niedrige Geschwindigkeiten, nicht-stationäre Zustände) würde die Unterschiede der ASVS zu vorhandenen Sprachverständlichkeits-Indizes vermutlich noch deutlicher zu Tage treten lassen. In diesem Zusammenhang ist eine intensivere Untersuchung von Fahrzeugzuständen mit starker Absorption oder längerer Nachhallzeit ebenso wünschenswert wie eine detaillierte Abfrage subjektiver Empfindungen.

Literatur

- [1] Becker, Jörg und Heppeler, Marcel: Einfluss der Absorption auf die akustische Qualität im Fahrzeuginnenraum, DAGA 2002, Tagungsband, Bochum 2002
- [2] Lazarus, Hans et al.: Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation, Springer-Verlag, Berlin 2007
- [3] Bangert, Hans: Probleme bei der Ermittlung des Diskriminationsverlustes nach dem Freiburger Sprachtest, Audiologische Akustik 19 (5) 1980
- [4] Jung, Oliver: Comparison of different acoustical concepts in car interior, Diplomarbeit, FH Düsseldorf 2007