

EINFLUß DER ABSORPTION AUF DIE AKUSTISCHE QUALITÄT IM FAHRZEUGINNENRAUM

Jörg Becker und Marcel Heppelter

Ford Werke AG, Acoustic Centre Cologne, 50725 Köln
Tel: +49 (221) 903-1951; Fax: +49 (221) 903-5145
e-mail: jbecke11@ford.com; mheppelt@ford.com

1 Einleitung

Die Akustik im Innenraum eines Fahrzeugs wird durch viele Faktoren bestimmt. Neben der Forderung nach einem niedrigen Innengeräuschpegel, dient der Innenraum auch als Übertragungssystem für die Kommunikation zwischen seinen Insassen, woraus sich weitere Forderungen ableiten lassen. Darüber hinaus nehmen weitere Faktoren, wie das Gewicht und der Preis der verwendeten Absorptions- oder Dämmmaterialien und der zum Einbau zur Verfügung stehende Raum, indirekt Einfluß auf die Innenraumakustik.

Da der Forderung nach einem niedrigen Innengeräuschpegel aufgrund ökonomischer und ökologischer Gründe oftmals durch ein hohes Maß an absorbierenden Materialien im Fahrzeuginnenraum nachgekommen wird, steht diese Forderung nicht selten in Konflikt mit der Forderung nach einer optimalen Innenraumakustik.

Durch neue Kommunikations- und Multimediasysteme wie Freisprecheinrichtungen oder Mehrkanalaudiosysteme, aber auch durch neue Fahrzeugtypen mit 3 Sitzreihen, sind die Anforderungen an die Innenraumakustik eines Fahrzeuges stark gestiegen. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Untersuchung des Einflusses der Nachhallzeit auf die Akustik im Fahrzeuginnenraum. Der Einfluß der Nachhallzeit auf die Sprachverständlichkeit und die Klangqualität von Audiosystemen wird anhand von theoretischen Überlegungen, Messungen und Hörversuchen untersucht.

2 Meßverfahren und Messungen

Als Maß zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit in Fahrzeugen und zur Bewertung des Hintergrundgeräusches hat sich der Articulation Index (AI) bewährt [1]. Wesentlicher Rechenschritt bei der Berechnung des AI ist die Berechnung des Verhältnis von Signal zu Rauschleistung eines durchschnittlichen Sprachspektrum zum vorliegenden Hintergrundgeräusch. Örtliche Übertragungsfunktionen, wie zum Beispiel die eines Sprechers zum Ohr des Empfängers oder zum Mikrophon einer Freisprecheinrichtung werden dabei nicht berücksichtigt. Bei der Beurteilung von Freisprecheinrichtungen oder auch Telefonsystemen, gehen bei modernen Meßverfahren diese Übertragungsstrecken hingegen mit in die Berechnung der Übertragungsqualität des Systems mit ein [3].

Ein bewährtes Maß zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit in Räumen ist der Speech Transmission Index (STI) [2]. Hohe Korrelation zwischen der Beurteilung durch den Hörer und dem STI konnten gefunden werden. Bei diesem Maß wird die Übertragungstrecke zwischen Sender und Empfänger durch Auswertung Modulations Transferfunktion (MTF) berücksichtigt. Ferner wird das S/N-Verhältnis am Ort des Empfängers berücksichtigt (vergl. Gleichung 1 zweiter Quotient).

$$MTF(F, T, S, N) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi F \cdot \frac{T}{13,8})^2}} \cdot \frac{1}{1 + 10^{(-S/N)/10}} \quad (1)$$

Eine Diskussion der MTF-Gleichung für ein diffuses Schallfeld bei der Modulationsfrequenz F mit Nachhallzeit T und gegebenen S/N-Verhältnis am Empfangsort zeigt daß eine Minimierung der Nachhallzeit nicht immer die optimale Sprachverständlichkeit zur Folge hat, da die frühe Reflexionen auch dem Sprachpegel am Empfangsort zugute kommen.

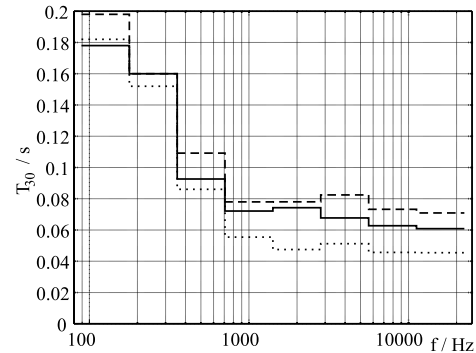


Abbildung 1: Nachhallzeitveränderung durch Einbringung und Wegnahme von Absorptionsmaterial im Fahrzeuginnenraum. Durchgezogen Absorptionsgrad unverändert; gepunktet Absorptionsgrad erhöht; gestrichelt Absorptionsgrad vermindert.

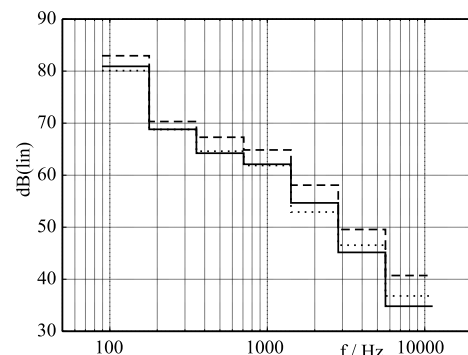


Abbildung 2: Hintergrundgeräusch im Musterfahrzeug mit Nachhallzeit als Parameter. Durchgezogen Absorptionsgrad unverändert; gepunktet Absorptionsgrad erhöht; gestrichelt Absorptionsgrad vermindert.

Da in Fahrzeugen zur Senkung des Innengeräuschpegels zumeist eine Minimierung der Nachhallzeit angestrebt wird, wurde in dieser Untersuchung die Nachhallzeit im einem Versuchsfahrzeug variiert und der Einfluß auf die Sprachverständlichkeit untersucht. Im ersten Fall (Abbildung 1 gepunktet), wurde durch Einbringung zusätzlichen Absorbiermaterials die Nachhallzeit oberhalb von 1000 Hz herabgesetzt. Im zweiten Fall (Abbildung 1 gestrichelt) wurde durch Entfernung von Rücksitzbanksitzfläche und Headliner die Nachhallzeit verlängert. Den dritten Fall stellt der Originalzustand des Fahrzeugs dar (Abbildung 1 durchgezogen). Die Nachhallzeiten wurden aus breitbandigen Messung mittels zeitgespiegelter Oktavfilter bestimmt [4].

Der Einfluß der veränderten Nachhallzeit auf das Hintergrundgeräusch bei einer Konstantfahrt ist in Abbildung 2 dargestellt. Erwartungsgemäß zeigt die Modifikation mit der längsten Nachhallzeit den höchsten Innengeräuschpegel, was jedoch nicht ausschließlich auf die veränderte Nachhallzeit, sondern auch auf die fehlende Dämmwirkung des Headliners zurückzuführen ist. Es wurde für die drei Nachhallzei-

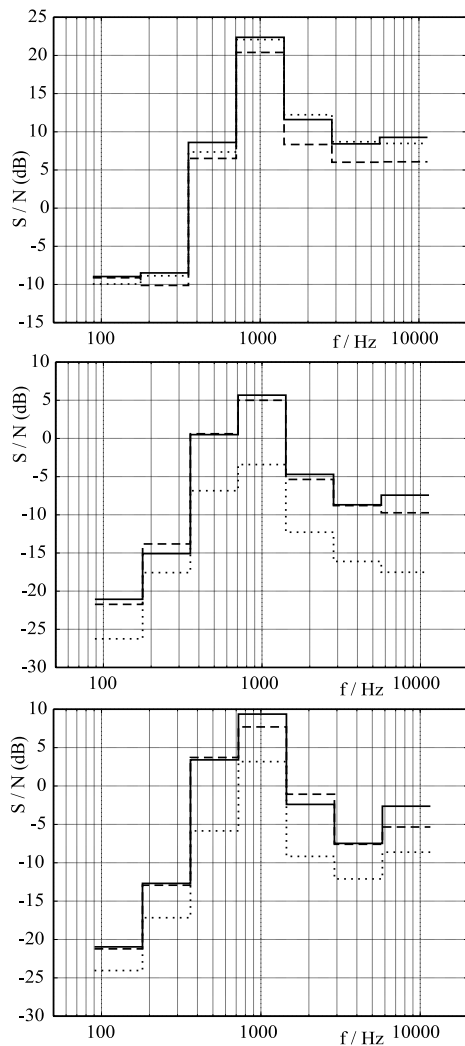


Abbildung 3: S/N-Verhältnisse für verschiedene Übertragungswege in Abhängigkeit von verschiedenen Nachhallzeiten. Durchgezogene Absorptionsgrad unverändert; gepunktet Absorptionsgrad erhöht; gestrichelt Absorptionsgrad vermindert. Oben front-front; mitte front-rear; unten rear-front

ten die Übertragungsfunktionen zwischen einem künstlichen Sprecher und einem Kunstkopf auf den vorderen Sitzen, einem Sprecher auf dem vorderen Sitz und einem Kunstkopf in der 3. Sitzreihe und umgekehrt bestimmt. Zusätzlich wurden die Übertragungsfunktionen zwischen einem künstlichen Sprecher auf der Fahrerposition und einem Freisprechermikrophon am Rückspiegel, sowie den vier Lautsprechern des Audiosystems und einem Hörer auf dem Beifahrersitz bestimmt.

3 Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der AI und STI Berechnungen für die verschiedenen Sprecher-Hörerkombinationen. Da die Berechnung des AI aus dem Hintergrundgeräusch erfolgt und dieses für alle Sitzpositionen als konstant angenommen wurde, ergibt sich für den AI für alle Sprecher-Hörerkombinationen derselbe Wert.

Die Ermittlung der STI-Werte zeigt für Sprecher und Hörer in der vorderen Sitzreihe zum AI vergleichbare Werte. Das erhöhte Innengeräusch bei der Fahrzeugmodifikation mit der längsten Nachhallzeit, führt zu einer Verschlechterung der Sprachverständlichkeit für diese Übertragungsstrecke. Diese Verhältnisse drehen sich, für den Fall eines Sprechers auf dem Fahrersitz und eines Hörers in der dritten Sitzrei-

	Absorption erhöht	Original	Absorption vermindert
AI	60%	58%	46%
STI (front/front)	0,51	0,51	0,45
STI (front/rear)	0,04	0,14	0,15
STI (rear/front)	0,07	0,18	0,22

Tabelle 1: AI- und STI-Werte für verschiedene Nachhallzeiten und Sprecher-Hörerkombination im Fahrzeuginnenraum

he, um. Hier ergibt sich für die Fahrzeugmodifikation mit der längsten Nachhallzeit die beste Sprachverständlichkeit.

Wird eine reine Analyse der Übertragungsstrecken mit Hilfe der MTF aus den quadrierten Stoßantworten unter Vernachlässigung des S/N Verhältnisses durchgeführt, so ergibt sich für alle Sprecher-Hörerkombinationen eine nahezu ideale Übertragungsverhalten ($STI = 0,97 \pm 0,02$). Die Abweichung der STI-Werte resultieren also aus den unterschiedlichen S/N-Werten für die verschiedenen Sender-Empfängerkombination. Da an allen Empfangspositionen für die jeweilige Nachhallzeitmodifikation das gleiche Innengeräusch angenommen wurde, resultieren diese Abweichung nur aus dem Gewinn bzw. der Abschwächung des Sprechers auf den unterschiedlichen Übertragungswegen. Zur Veranschaulichung dieses Sachverhalts wurden die S/N-Verhältnisse für alle Fahrzeugmodifikationen und Sprecher-Empfängerkombinationen in Abbildung 3 zusammengefasst. Es zeigt sich, daß aufgrund der Richtcharakteristik von Sprecher und Kunstkopf in Kombination mit den unterschiedlichen Nachhallzeiten deutlich unterschiedliche S/N-Werte am Empfangsort erzielt werden, welche in einer mehr oder weniger guten Sprachverständlichkeit resultieren.

Eine Auswertung der Kombination Sprecher-Freisprechermikrophon ergab, aufgrund der kurzen Distanz ähnliche S/N-Verhältnisse wie bei der Sprecher-Hörerkombination in der vorderen Sitzreihe. Hier zeigte sich das nicht modifizierte Fahrzeug aufgrund des niedrigen Innengeräusches und der längeren Nachhallzeit als die beste Kombination. Die nicht optimale Bewertung der langen Nachhallzeit ist hier sicherlich auf die fehlende Dämmwirkung des Headliner zurückzuführen.

Zur Bewertung des Audiosystems wurde eine Hörversuch durchgeführt bei dem die Versuchspersonen dieses insbesondere hinsichtlich seiner räumlichen Abbildungseigenschaften beurteilen sollten. Die Fahrzeugmodifikation mit der längsten Nachhallzeit wurde auch hier am besten bewertet, was mit niedrigen IACC-Werte aus den Messungen der Übertragungsfunktionen korreliert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Einfluß der Nachhallzeit auf Übertragungsstrecken im Fahrzeuginnenraum wurde durch unterschiedliche Sprachverständlichkeitsmaße bestimmt. Hierbei zeigt sich, daß eine Minimierung der Nachhallzeit im Fahrzeuginnenraum zwar eine Minimierung des Geräuschpegels, nicht aber zwangsläufig auch eine Optimierung der Sprachverständlichkeit zur Folge hat. Inwieweit die Sprachverständlichkeitsmaße Hörerempfindungen in Fahrzeugen widerspiegeln muß noch untersucht werden.

Literatur

- [1] L. L. Beranek. The design of speech communication systems. In *Proc. IRE*, Vol. 35, S. 880–890, 1947.
- [2] T. Houtgast und H. J. M. Steeneken. The modulation transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility. *Acustica*, 28: S.66–73, 1973.
- [3] W. Krebber und J. Becker. Prediction of speech transmission quality of wideband and narrowband telephone handsets using short-time subband analysis and psychoacoustics models. In *Proc. 15th Int. Congress on Acoustics, ICA95*, Vol. 3, S. 85–88, 1995.
- [4] E. Mommertz und S. Müller. Measuring impulse responses with digitally preemphasized pseudorandom-noise derived from maximum-length sequences. *Applied Acoustics*, 44: S.195–214, 1995.