Einfluss verschiedener Raumparameter des Fahrzeuginnenraums auf die Klimatisierungsakustik

Silke Hohls[1], Thomas Biermeier[2], Ralf Blaschke[2], Stefan Becker[1]
[1] *Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik, 91058 Erlangen, Deutschland,*
E-Mail: Silke.Hohls@ipat.uni-erlangen.de
[2] *Audi AG, 85045 Ingolstadt, Deutschland*

Einleitung

Das Klimatisierungssystem wird durch den zunehmenden Einsatz von Technologien wie der Start-Stopp-Automatik oder von Elektromotoren vermehrt demaskiert. Hinzu kommt eine weitere akustische Optimierung weiterer Lärmquellen am Fahrzeug. Es ist daher notwendig, die Geräuschqualität der Klimaanlage im Fahrzeug bereits im frühen Produktentwicklungsprozess messbar zu machen. In der vorliegenden Studie wurde ein Klimagerät in ein vereinfachtes Fahrzeugmodell verbaut und eine Raumparameterstudie durchgeführt.

Modellbildung

Es wurde ein Serienklimagerät in ein vereinfachtes Fahrzeugmodell (SAE-Modell) im Maßstab 1:1 verbaut. Das Klimagerät wird dabei im Frischluft-Modus betrieben, was durch eine prüfstandsgerechte Einlaufstrecke realisiert wurde. Die im Rahmen dieser Studie bewerteten Schalle wurden im Defrost-Modus aufgezeichnet, wobei die Luftversorgungskanäle und Ausströmdüsen ebenfalls analog der Serie ausgeführt sind. Die Instrumententafel wurde generisch aus Holzverkleidungen gestaltet. Der Fahrzeuginnenraum ist mit einer Mischung aus schallabsorbierenden Akustikschaumstoffen (50 mm stark) und schallreflektierenden Stahlblechen (1 mm stark) verkleidet. Der Himmel und Boden sind hierbei vollständig und die Seitenflächen zur Hälfte mit Schaumstoffen ausgekleidet. Die Windschutzscheibe wird durch eine 5 mm starke Aluminiumplatte simuliert. Das Fahrzeugmodell verfügt über eine Entlüftung, die mit einem Kulissenschalldämpfer ausgestattet ist, um den Schalleintrag von außen in das Modell zu minimieren. Es wurde an sechs Positionen der Schalldruck mit Freifeldmikrofonen des Typs 4189-L-001 des Herstellers Bruel&Kjaer gemessen. Die Ergebnisse für das Mikrofon an der Fahrerposition sind spektral in Abbildung 1 abgebildet.

Verglichen werden hierbei die Spektren des Klimagerätes als Komponente im Halbfreifeld (Akustikraum_Komponente), des Klimagerätes inklusive Kanälen, Ausströmern und generischen Armaturen ebenfalls im Halbfreifeld (Akustikraum_Armaturen), dem Aufbau im Fahrzeugmodell (SAE_Referenz) sowie im zugehörigen Serienfahrzeug(Serie_mitSitzen). Zwischen den Aufbauten im Akustikraum liegt kein Einfluss der Armaturen in den tiefen Frequenzen bis ca. 100 Hz vor. Darüber ist eine dämpfende und dämmende Wirkung der Armaturen erkennbar. Mit Einbau des Aufbaus in

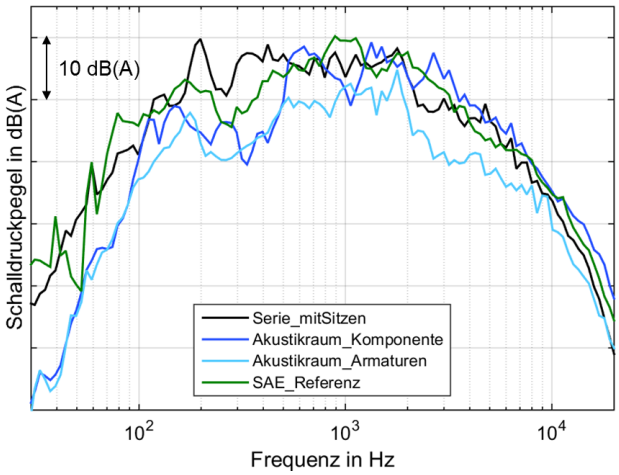

Abbildung 1: Schalldruckspektren des untersuchten Klimagerätes in verschiedenen Messumgebungen

das Fahrzeugmodell ist ein Schallbeitrag im gesamten Frequenzbereich ersichtlich. Im Vergleich zwischen den Spektren des SAE-Modells mit dem Serienfahrzeug liegt eine gute Annäherung durch das Modell vor. Insbesondere in den tiefen Frequenzen bis 200 Hz besteht eine deutliche Verbesserung in der Abschätzung im Vergleich zu Halbfreifeldmessungen. Oberhalb von 500 Hz wird ebenfalls eine gute Annäherung erzielt. Lediglich im Frequenzbereich zwischen 200 und 500 Hz besteht eine größere Abweichung zwischen Modell und Serienfahrzeug, wobei die Annäherung auch in diesem Bereich besser ist, als im Halbfreifeld.

Parameterstudie

Der im vorigen Abschnitt beschriebene Aufbau wird als seriennaher Referenzfall für eine Parameterstudie definiert. Die variierten Parameter sind in Abbildung 2 gestrichelt skizziert.

Es wurde das Raumvolumen bzw. die Raumlänge variiert, indem eine senkrechte, verschiebbare Wand in das Modell eingebaut wurde, auf die ebenfalls hälftig Schaumstoff und hälftig Stahlbleche aufgebracht wurden. Die variierten Positionen verkürzen die Länge zwischen dem senkrechten Teil des Armaturenbretts und der Rückwand auf 50 bzw. 75 %. Der zweite Parameter ist der Scheibenneigunswinkel der Windschutzscheibe, welcher durch Abhängen des Aluminiumbleches auf einen

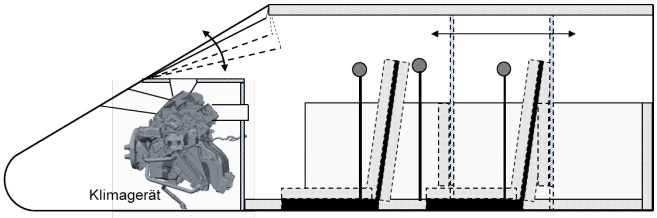

Abbildung 2: Skizze des Fahrzeugmodells mit schematischer Darstellung der variierten Parameter und Messpositionen

Winkel von 15 bzw. 20° realisiert wurde. Im Referenzfall beträgt der Winkel 25°. Der dritte Variationsparameter ist das Einbringen von generischen Sitzen, die aus einer Blechkonstruktion mit aufgebrachten Schaumstoffen bestehen. Es wurde gleichzeitig jeweils lediglich ein Parameter variiert, während alle anderen jeweils analog des Referenzfalls konstant gehalten wurden. Für jeden Parameter wurden die Größen Gesamtschalldruckpegel, Lautheit und Schärfe über dem Massenstrom ausgewertet, sowie die Frequenzspektren bei einem Massenstrom von 7 kg/min betrachtet.

Volumen / Raumlänge

Der Einfluss des Volumens bzw. der Raumlänge auf den Gesamtschalldruckpegel ist in Abbildung 3 dargestellt. Er steigt mit abnehmendem Volumen leicht an.

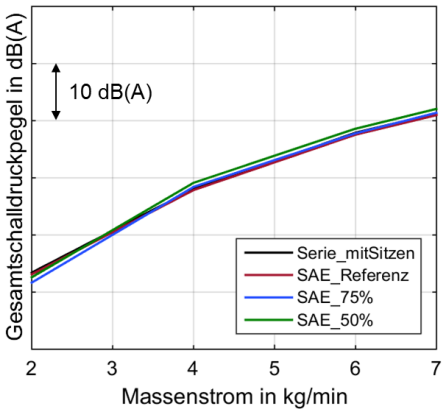

Abbildung 3: Gesamtschalldruckpegel über Massenstrom für verschiedene Volumina

Spektral (Abbildung 4) ist eine Erhöhung des hochfrequenten Breitbandanteils mit Verkleinerung des Raumes sichtbar. Hinzu kommen stärkere Einflüsse im Frequenzbereich, die durch die Veränderung der Raummoden erklärt werden können.

In Abbildung 5 ist die Lautheit über dem Massenstrom dargestellt. Analog zum Gesamtschalldruckpegel liegt eine Anhebung mit kleiner werdendem Raum vor. Der Einfluss zeigt sich bei der Lautheit jedoch deutlicher, was neben dem unterschiedlichen qualitativen Verlauf die verschiedene Eignung beider Parameter aufzeigt.

Bei dem Schärfeverlauf (Abbildung 6) zeigt sich ebenfalls ein Anstieg mit Abnahme des Volumens, was in der Zunahme des hochfrequenten Breitbandanteils begründet ist.

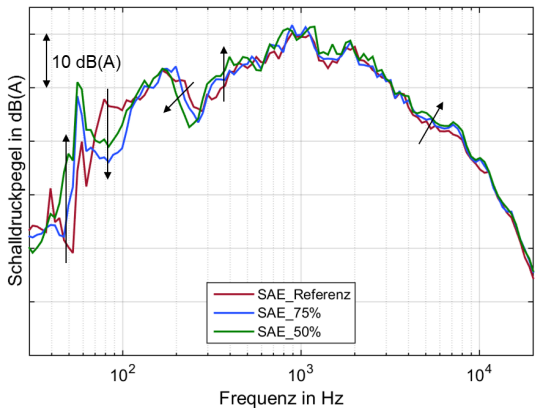

Abbildung 4: Schalldruckspektren für verschiedene Volumina

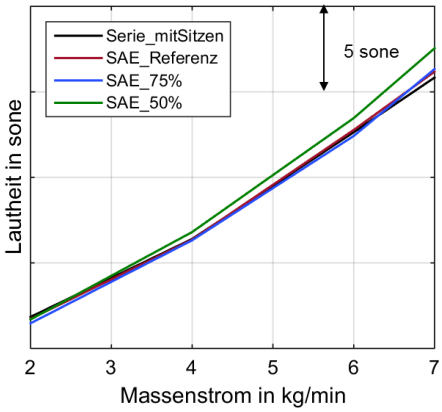

Abbildung 5: Lautheit über Massenstrom für verschiedene Volumina

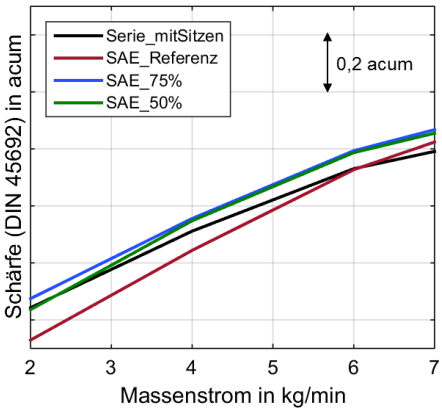

Abbildung 6: Schärfe über Massenstrom für verschiedene Volumina

Das Raumvolumen hat somit seine bedeutendste Wirkung im Modalfeld und nimmt darüber hinaus Einfluss auf die Schärfe. Die Raumlänge und das Volumen sollte somit für die Abschätzung in einem Modell dem entsprechenden Serienfahrzeug angenähert werden.

Scheibenneigungswinkel

Der Scheibenneigungswinkel hat entsprechend Abbildung 7 keinen Einfluss auf den Gesamtschalldruckpegel.

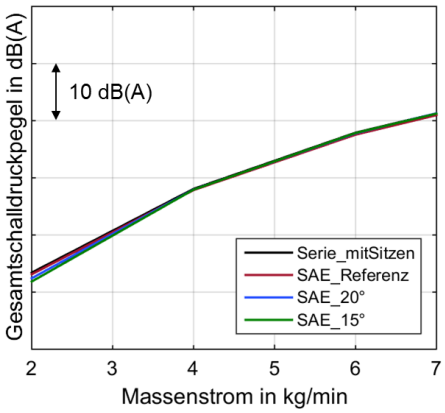

Abbildung 7: Gesamtschalldruckpegel über Massenstrom für verschiedene Scheibenneigungswinkel

Bei der spektralen Betrachtung in Abbildung 10 sind erneut leichte Einflüsse im Modalfeld erkennbar. Darüber hinaus sind parameterspezifische Einflüsse im Frequenzbereich zwischen 1000-2000 Hz sowie 4000-8000 Hz sichtbar. Mit abnehmendem Scheibenneigungswinkel liegt hier eine Anhebung der Schalldruckpegel vor.

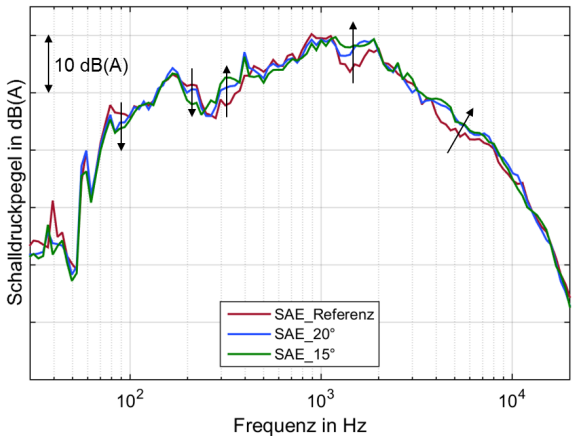

Abbildung 8: Schalldruckspektren für verschiedene Scheibenneigungswinkel

Der Einfluss auf die Lautheit durch die Variation des Scheibenneigungswinkels (Abbildung 9) ist analog dem Gesamtschalldruckpegel nur sehr gering.

Begründet durch die Anhebung um einige dB(A) im Frequenzbereich zwischen 4000 und 8000 Hz liegt eine Erhöhung der Schärfe vor (Abbildung 10). Die Schärfe des Serienfahrzeugs wird hierbei überschätzt, jedoch unterschätzen die variierten Scheibenneigungswinkel den Winkel im Fahrzeug erheblich.

Neben Einflüssen im Modalbereich liegen durch das Verändern des Scheibenneigungswinkels Anhebungen des Schalldrucks im hochfrequenten Bereich vor.

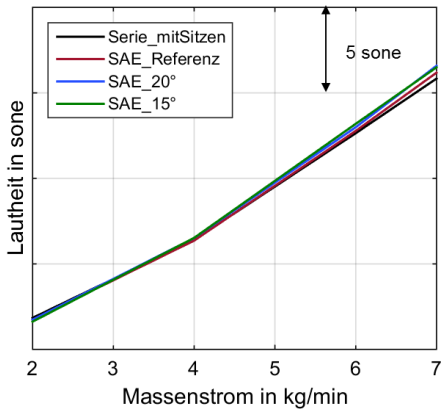

Abbildung 9: Lautheit über Massenstrom für verschiedene Scheibenneigungswinkel

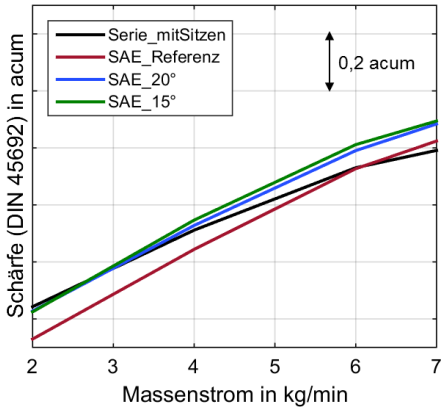

Abbildung 10: Schärfe über Massenstrom für verschiedene Scheibenneigungswinkel

Sitze

Bei der Bewertung des Einflusses durch Einbringen von Sitzen muss zwischen dem Einfluss auf den vorderen und hinteren Messpositionen unterschieden werden. Der Verlauf des Gesamtschalldruckpegels über dem Massenstrom ist in Abbildung 11 aufgetragen.

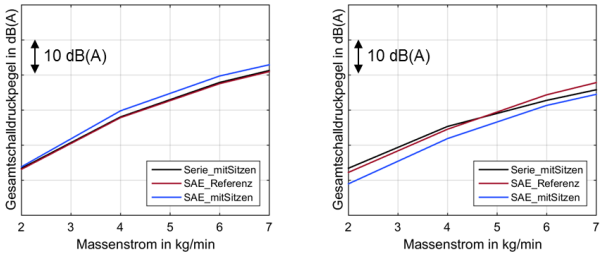

Abbildung 11: Gesamtschalldruckpegel über Massenstrom für den Parameter Sitze

Während auf den vorderen Sitzpositionen der Gesamtschalldruckpegel mit der Berücksichtigung der Sitze zunimmt, nimmt er auf den hinteren Sitzpositionen ab. An den vorderen Positionen ist dies in Reflexionen an der Blechkonstruktion begründet. Im hinteren Bereich liegt

sowohl Dämpfung als auch Dämmung durch die vorderen Sitze vor.

Spektral liegt erneut ein Einfluss im Modalfeld vor. Für die vorderen Messpositionen (Abbildung 12) liegt zusätzlich ein Schallbeitrag zwischen 100 und 300 Hz sowie zwischen 800 - 2000 Hz vor. Die erstgenannte Erhöhung der Schalldruckpegel hat eine deutliche Annäherung an das Serienfahrzeug in diesem Frequenzbereich zur Folge. Im Frequenzbereich zwischen 500 und 800 Hz besteht eine Abnahme der Schalldruckpegel durch das Einbringen von Sitzen.

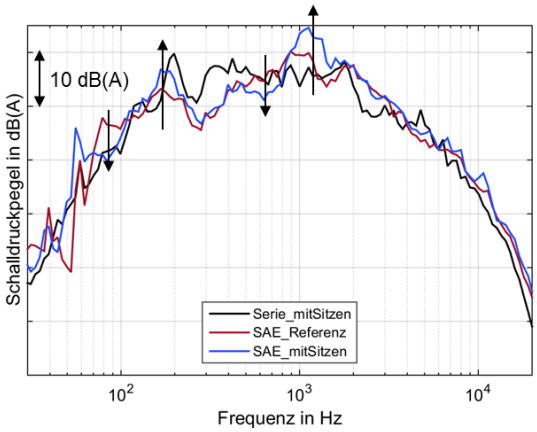

Abbildung 12: Schalldruckspektren für den Parameter Sitze an der Fahrerposition

An der hinteren Messposition (Abbildung 13) besteht über den gesamten Frequenzbereich eine deutliche Senkung des Schalldruckpegels, wodurch insbesondere im hochfrequenten Bereich eine Annäherung an das Serienfahrzeug erreicht wird.

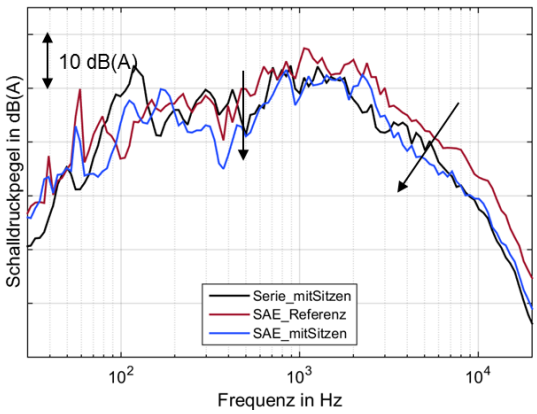

Abbildung 13: Schalldruckspektren für den Parameter Sitze an der Sitzposition hinten links

Analog des Gesamtschalldruckpegels liegt für die Lautheit an den vorderen Messposition eine Anhebung und an den hinteren Positionen eine etwa doppelt so hohe Absenkung vor (vgl. Abbildung 14). In beiden Fällen führt dies zu einer etwas schlechteren Annäherung des Serienfahrzeugs, dennoch können durch die Sitze einige Charakteristika der Spektren erklärt werden.

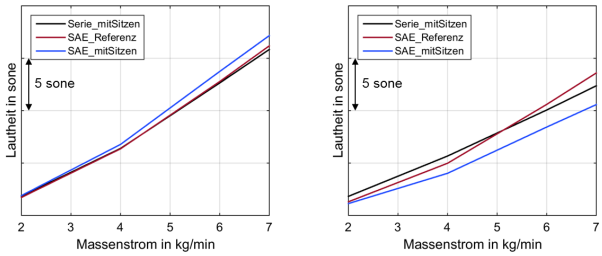

Abbildung 14: Lautheit über Massenstrom für den Parameter Sitze

Für die Schärfe (Abbildung 15) wird durch das Einbringen von Sitzen im vorderen Teil des Fahrzeugs eine leichte Anhebung, im hinteren Teil eine Absenkung der Schärfe erzielt. In beiden Fällen wird neben der Annäherung der Absolutwerte eine bessere Approximation der Steigung im Schärfeverlauf über den Massenstrom zum Serienfahrzeug erreicht.

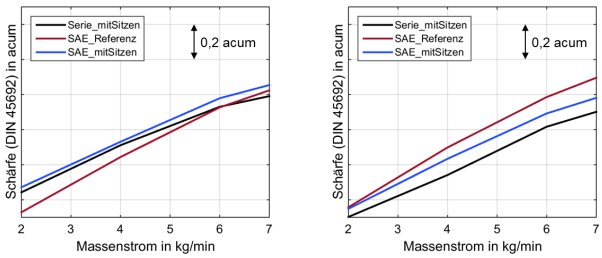

Abbildung 15: Schärfe über Massenstrom für den Parameter Sitze

Die Sitze haben bei der Modellbildung einen großen Einfluss auf alle schallbeschreibende und bewertende Größen. Durch sie kann eine bessere Annäherung des Frequenzspektrums an das Serienfahrzeug erzielt werden, da durch sie sowohl Dämpfungs- und Dämmungseigenschaften als auch zusätzliche Reflexionseigenschaften des Fahrzeuges berücksichtigt werden.

Zusammenfassung

Für eine bessere Abschätzung des im Fahrzeuginnenraum zu erwartenden Schallfeldes, das durch die Klimaanlage erzeugt wird, wurde ein vereinfachtes Fahrzeugmodell verwendet, in den ein Serienklimagerät als Schallquelle integriert wurde. Es wurde ein Referenzfall definiert, auf dessen Grundlage eine Parameterstudie durchgeführt wurde. Die variierten Parameter waren die Raumgröße, der Scheibenneigungswinkel der Windschutzscheibe und das Einbringen von modellhaften Sitzen. Alle Parameter haben einen deutlichen Einfluss im Frequenzbereich, in dem modale Eigenschaften des Raumes auftreten. Darüber hinaus bestehen weitere, parameterspezifische Einflüsse, die meist einen geringen Einfluss auf den Gesamtschalldruckpegel und die Lautheit haben. Der Geräuscheindruck wird jedoch durch die spektrale Veränderung des jeweiligen Schalls wahrnehmbar verändert, was sich ebenfalls im Einfluss auf die Schärfe widerspiegelt.