

Optimierung der Auralisierung von Reifengeräuschen basierend auf dem Modellierungs-Tool SPERoN

Alice Hoffmann¹, Jens Forssén¹, Wolfgang Kropp¹

¹ Division of Applied Acoustics, Chalmers, Göteborg, Schweden, Email: alice.hoffmann@chalmers.se

Einleitung

Um den Höreindruck eines Reifens im Entwicklungsstadium in Form einer Vorbeifahrt zu bekommen, werden die gerechnete Spektren aus dem SPERoN-Tool [1] mit einer Auralisierungs-Methode gekoppelt.

Zur Validierung der auralisierten Reifengeräusche wurden die simulierten Geräusche zusammen mit aufgenommenen Geräuschen in Hörversuchen bewertet. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Wahrnehmung der Signale. Abgefragt wurde die Bewertung der Signale für „Angenehmheit“, „Lautheit“, „Rauigkeit“ und „Schärfe“.

In vorhergegangenen Versuchen [5] konnte gezeigt werden, dass die Auralisierung gut funktioniert. Ein Problem ist aber, dass die Frequenzen unter 315 Hz nicht berücksichtigt werden konnten, da sie in der Simulation nicht berechnet werden.

Um den Einfluss der tiefen Frequenzen genauer zu ermitteln und sie zu berücksichtigen wurden die auralisierten Signale im tieffrequenten Bereich mit den aufgenommenen Signalen spektral verglichen und allgemeingültige Anpassungswerte für die Auralisierung ermittelt.

Diese Werte wurden an den 9 Reifen Fahrbahnkombinationen getestet die in den vorherigen Versuchen [5] verwendet wurden.

Mit den so angepassten Signalen wurde der Hörversuch wiederholt.

Auralisierung

Das SPERoN-Tool [1] berechnet aus Materialdaten von Reifen und Fahrbahn ein Schallspektrum im Kontakt. Messdaten liegen in der selben Form vor. Für die Auralisierungen wurden die Messdaten verwendet um weniger Fehler mitzunehmen. Das verwendete Auralisierungstool wurde von Jens Forssén im schwedischen Listen Projekt [4] entwickelt. Hierbei wird von einer aufgenommenen Vorbeifahrt unter bekannten Bedingungen ausgegangen. Schrittweise wird auf die Quellen zurück gerechnet. Aus diesen können dann neue Vorbeifahrtssignale erzeugt werden. Das Verfahren wird beschrieben in [2] und [3].

Der Quellterm für den Reifen kann mit dem Spektrum aus dem SPERoN-Tool verglichen werden. In beiden Programmen werden die Daten in Terzbändern zusammengefasst. Die SPERoN Datenbank enthält nur die Frequenzbänder über 315 Hz, da tiefere Frequenzen überwiegend dem Windgeräusch zuzuordnen sind. In [5] wurden die fehlenden Frequenzbänder abfallend aufgefüllt.

Die Ergebnisse ließen jedoch darauf schließen, dass die tiefen Frequenzbänder stärker berücksichtigt werden müssen.

Hierfür wurden die auralisierten Signalen mit aufgenommenen Vorbeifahrten mit den selben Reifen und Straßenoberflächen spektral verglichen. Aus dem Vergleich ergaben sich für die aus SPERoN übertragenen Terzbänder neue Kalibrationswerte bei der Übertragung in das Auralisierungstool. Mit diesen Kalibrationswerten wurde ein neues Set Vorbeifahrten erzeugt und im Hörversuch gegen die aufgenommenen Vorbeifahrten getestet.

Diese optimierte Auralisierung ist in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

In Abbildung 2 ist beispielhaft eine Vorbeifahrt ausgewählt und das Spektrum der ersten Auralisierung (rot), der neuen Auralisierung (blau) und der aufgenommenen Vorbeifahrt (grün) dargestellt.

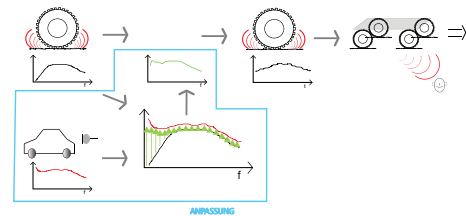


Abbildung 1: Veranschaulichung der Auralisierung : SPERoN berechnet aus den Eigenschaften von Reifen und Fahrbahn ein Schallspektrum im Kontakt; neu: im Vergleich mit gemessenen Vorbeifahrten wird das Spektrum angepasst an das Auralisierungstool; Quellterme im Auralisierungstool werden mit dem angepassten Spektrum verglichen und an die neue Quelle angepasst; vom Quellterm wird zu einer Vorbeifahrt unter vorgegebenen Bedingungen gerechnet (Geschwindigkeit, Abstand, Umgebung) siehe auch [5]

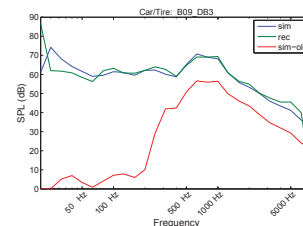


Abbildung 2: Vergleich der gemittelten Spektren vom aufgenommenem (rec), einfach simuliertem (sim-old) und angepasst simuliertem Signal (sim)

Hörversuch

Für den Hörversuch wurden sowohl aufgenommene als auch simulierte Signale verwendet. In beiden Fällen wurden die neun schon in früheren Versuchen verwendeten Reifen-Fahrbahn Kombinationen verwendet. Sie basieren auf Vorbeifahrten mit 50 km/h mit den Fahrbahnoberflächen A04, A07 und B09, und den Reifen DB03, DB04 und VW03. Die Daten stammen aus den Sperenberg-Projekt [1].

Die aufgenommenen Signale waren auf ihren Maximalschallpegel kalibriert (L_{AFmax}). Die simulierten Signale wurden wie oben beschrieben erzeugt.

Der Versuch wurde als Kategorienskalen-Versuch durchgeführt. Die Versuchssprache war schwedisch.

Die verwendeten Aussagen in deutscher Übersetzung waren:

1. Das Geräusch ist angenehm.
2. Das Geräusch ist scharf.
3. Das Geräusch ist laut.
4. Das Geräusch ist rau.

Die Antwortskala hatte sieben Stufen. Die Endpunkte waren mit „stimme nicht zu“ / „stimme zu“ benannt.

Der Versuch wurde in einem schallisolierten, neutralen Raum durchgeführt. Die Durchführung war computerbasiert. Die Geräusche wurden über einen Sennheiser HD 650 Kopfhörer wiedergegeben (kalibriert via Kunstkopf). Signale und Fragen wurden randomisiert dargeboten. Es wurde jeweils eine Frage mit einem Signal abgefragt.

An dem Versuch haben insgesamt 20 Personen teilgenommen. 2 Datensätze wurden wegen Unvollständigkeit verworfen.

Ergebnisse und Vergleich

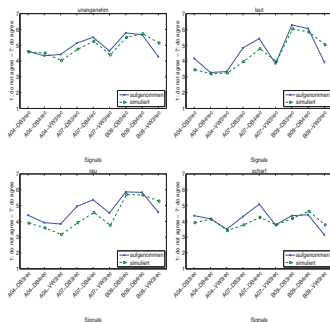


Abbildung 3: Vergleich der antworten im Hörversuch zwischen aufgenommenem und simuliertem Signal (angepasst für $f < 315$ Hz) für die untersuchten Wahrnehmungsgrößen „angenehm“, „rau“, „laut“ und „scharf“

Um vergleichen zu können wie ähnlich simulierte und aufgenommene Signale für verschiedene Begriffe bewertet werden, sind sie in Abbildung 3 pro Begriff zusammen dargestellt. Man kann sehen, dass sich die Bewertungen deutlich ähnlicher geworden sind im Vergleich zur vorherigen Simulation (Abbildung 4) [5]. In Abbildung 5 sind die entsprechenden Korrelationen berechnet.

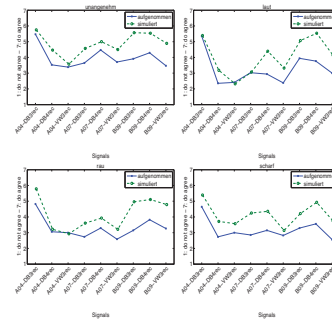


Abbildung 4: Vergleich der Antworten der Hörversuche mit aufgenommenen und simulierten Signalen (alt, aus [5]) für die untersuchten Wahrnehmungsgrößen „angenehm“, „rau“, „laut“ und „scharf“

Demnach korrelieren die Bewertungen für „angenehm“, „laut“, „rau“ und „aktivierend“ eindeutig. Das heißt simuliertes und aufgenommenes Signal werden gleich bewertet. Für die Schärfe lässt sich keine Korrelation finden. Die Klangfarbe korreliert nur nach der 5% Grenze. Für „stressend“ liegt der Wert nur über der 1% Grenze. Das heißt die Bewertung ist ähnlich aber nicht gleich.

	angenehm	scharf	laut	rau
R_{opt}	0.769	0.658	0.86	0.843
P_{opt}	0.015	0.054	0.003	0.004
R_{alt}	0.729	0.852	0.813	0.811
P_{alt}	0.026	0.004	0.008	0.008

Tabelle 1: Tabelle der Korrelationen zwischen simulierten und aufgenommenen Signalen für die alte und die optimierte Auralisierung

In Abbildung 5 sind ebenfalls die Korrelationswerte des vorherigen Versuches angegeben. Für konnten diese verbessert werden. Für die Schärfe hat sich der Wert verschlechtert. Zu Berücksichtigen ist allerdings das die Schärfe immer sehr neutral bewertet wurde. Durch das ergänzen der tiefen Frequenzen ist noch mehr unterdrückt als es schon so in der alten Auralisierung war.

Literatur

- [1] Homepage of the SPERoN tool
URL: <http://www.Speron.net/>
- [2] Pendharkar, C.: Auralization of road vehicles using spectral modeling synthesis. Master thesis:Chalmers, Sound and Vibration program (2012)
- [3] Forssén, J et all.: Auralization of traffic noise within the LISTEN project : Preliminary results for passenger car pass-by. Euronoise 2009, (2009), 10
- [4] Homepage about the Listen Project URL: <http://https://www.tii.se/projects/listen>
- [5] Hoffmann, A., Forssén, J., Kropp, W.: Auralization of tire road noise based on the SPERoN prediction tool AIA-DAGA 2013 Conference on Acoustics, Meran, Italy, March 18-21, 2013, s. 114-117