

# Wahrnehmung des Profilgeräuschs in Reifen-Fahrbahn-Geräuschen

Sandra Buss\*, Reinhard Weber\*, Werner Liederer\*\*

\* Universität Oldenburg, Physik/Akustik, 26111 Oldenburg

\*\* Continental AG, Jädekamp 30, 30419 Hannover

## Einleitung

Eine ungünstige Profilgestaltung trägt u.a. zum Reifen-Fahrbahn-Geräusch bei. Das Profilgeräusch wird als tonaler Anteil mit geschwindigkeitsabhängiger Tonhöhe im Reifen-Fahrbahn-Geräusch erkennbar. Bei einer Qualitätsbeurteilung führt ein wahrnehmbares Profilgeräusch zu einer Abwertung des Reifens.

Die Stärke des Profilgeräuschs wird in der Regel von professionellen Testern beurteilt, die ein großes Maß an Erfahrung besitzen, um reliable Urteile mit dem verwendeten (kategorialen) Notensystem abzugeben. Für Laborexperimente stehen solche professionellen Tester selten zur Verfügung. Deshalb soll hier vorgestellt werden, inwieweit es mit der Paarvergleichsmethode gelingt, von nicht professionellen Beurteilern Profilgeräuschbewertungen zu erhalten, die zumindest die gleiche Rangfolge zeigen, wie die der professionellen Tester. Weitere Anforderungen an derartige Bewertungen sind Konsistenz, Reliabilität und Reproduzierbarkeit. Trotz kaum wahrnehmbarer Unterschiede der zu beurteilenden Signale führt die Methode zu konsistenten und reproduzierbaren Ergebnissen.

## Profilgeräusch

Das Profilgeräusch entsteht beim Abrollen des Reifens an der Reifenaufstandsfläche und ist geschwindigkeitsabhängig. Es tritt überwiegend, entsprechend der Verteilung der Profilklötze, um die 60. Ordnung der Raddrehzahl auf über einen Bereich von etwa ein bis zwei Terzen, der als 1. Blockharmonische bezeichnet wird. Auch höhere Blockharmonische können zum Profilgeräusch beitragen.

Die Unterschiede in der Stärke des Profilgeräuschs zwischen verschiedenen Reifen sind sehr gering und daher für einen ungeübten Beurteiler kaum wahrnehmbar. Die hier vorgestellte Methode erlaubt es aber trotz dieser geringen Unterschiede, eine reproduzierbare Rangfolge verschiedener Signale hinsichtlich der Stärke des Profilgeräuschs zu bestimmen.

## Subjektive Beurteilung der Stärke des Profilgeräuschs

### Signale

Die Signale basieren auf Reifen-Fahrbahn-Geräusch-Aufnahmen. Es handelt es sich um Kunstkopfaufnahmen auf dem Beifahrersitz beim Ausrollvorgang. Die Signale

umfassen eine Geschwindigkeitsabnahme von 10 km/h. Bei den untersuchten Geräuschen interessieren Änderungen in der Geräuschqualität bei gleichbleibender Lautstärke. Um daher einen Einfluss des Gesamtpegels auf die Beurteilung auszuschließen, wird dieser konstant gehalten.

Da sich in einer vorhergehenden Untersuchung [1] eine Zunahme der beurteilten Profilgeräuschstärke mit zunehmendem Pegel der 1. Blockharmonischen bei konstantem Gesamtpegel zeigte, wird auch der Pegel der 1. Blockharmonischen konstant gehalten.

### Subjektive Beurteilung

Die Signale werden in einem Paarvergleichsexperiment in eine Rangfolge entsprechend der wahrgenommenen Stärke des Profilgeräuschs gebracht.

Die Versuchsperson sitzt dazu in einer schallisolierten Kammer und ihr werden die Signale über Kopfhörer dargeboten. Die Aufgabe besteht darin, zu entscheiden, bei welchem von zwei dargebotenen Signalen das Profilgeräusch stärker ist. Die Versuchsperson kann sich die Signale so oft anhören, bis sie sich ihres Urteils sicher ist.

### Konsistenzprüfung

Die Urteile der Versuchspersonen werden vor einer weiteren Auswertung auf ihre Konsistenz überprüft [2].

Dazu wird überprüft, ob die Daten das Kriterium der Transitivität erfüllen, d.h. für jeweils drei Signale muss gelten: wenn Signal a ein stärkeres Profilgeräusch als Signal b enthält und Signal b ein stärkeres Profilgeräusch als Signal c, muss das Profilgeräusch in Signal a stärker sein als in Signal c. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, spricht man von einer zirkulären Triade. Zirkuläre Triaden treten häufig dann auf, wenn die Signale ununterscheidbar sind oder die Versuchsperson ihr Urteilskriterium wechselt. Zirkuläre Triaden sind daher ein Zeichen eines inkonsistenten Datensatzes.

Die Anzahl der zirkulären Triaden in einem Datensatz  $d$  beträgt

$$d = \left[ \frac{n(n-1)(2n-1)}{12} \right] - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_j^2. \quad (1)$$

Dabei ist  $a_j$  die Anzahl der Urteile, bei denen Signal  $j$  als das Signal mit dem stärkeren Profilgeräusch beurteilt wird und  $n$  die Anzahl der Datensätze. Daraus lässt sich ein Konsistenzkoeffizient berechnen als das Verhältnis

der Anzahl tatsächlich vorhandener zur maximal möglichen Anzahl zirkulärer Triaden:

$$\zeta = 1 - \frac{d}{d_{max}} = \begin{cases} 1 - \frac{24d}{n(n^2-4)} & n \text{ gerade} \\ 1 - \frac{24d}{n(n^2-1)} & n \text{ ungerade} \end{cases} \quad (2)$$

Der Konsistenzkoeffizient kann Werte zwischen 0 (maximale Anzahl zirkulärer Triaden) und 1 (keine zirkuläre Triade) annehmen. Ein Datensatz wird i.a. als konsistent angesehen, wenn  $\zeta \geq 0,7$ .

### Subjektive Skalenwerte nach Thurstone

Nach einem Ansatz von Thurstone werden Skalenwerte berechnet, die die Profilgeräuschstärke auf einer eindimensionalen, die Wahrnehmung repräsentierenden Skala angibt, die Intervallskalenniveau hat [2].

Der Ansatz von Thurstone geht davon aus, dass jeder Darbietung eines Signals ein Wert auf dieser subjektiven Skala zuzuordnen ist. Bei wiederholter Darbietung des selben Signals sind diese Werte normalverteilt, wobei der Mittelwert dieser Verteilung dem Signal als Skalenwert zugeordnet wird, der die Wahrnehmung dieses Signals repräsentiert. Zwei Signale erzeugen auf der subjektiven Skala zwei Normalverteilungen, deren Differenz wieder eine Normalverteilung ist.

Bei wiederholter Durchführung eines Paarvergleichs erhält man für jede Kombination aus zwei Signalen eine Aussage darüber, wie oft jedes Signal als das Geräusch mit dem stärkeren Profilgeräusch beurteilt wird, d.h. wieviel Prozent der Verteilung der Differenz größer bzw. kleiner Null ist. So lassen sich für jede Kombination aus zwei Signalen die Distanzen auf der subjektiven Skala berechnen. Unter der Vorgabe, dass das Geräusch mit dem schwächsten Profilgeräusch den Skalenwert Null bekommt, lassen sich die Skalenwerte aller Signale berechnen.

### Tonalität der 1. Blockharmonischen

Die Methode wird in zwei Experimenten angewendet. Beim ersten Experiment basieren die verwendeten Signale auf einer Reifen-Fahrbahn-Geräusch-Aufnahme beim Ausrollvorgang von 110-100 km/h. Bei diesem Geräusch wurde die Form der 1. Blockharmonische und damit deren Tonalität verändert. Die Stärke des Profilgeräuschs von 6 Signalen wird von 8 Versuchspersonen jeweils viermal beurteilt.

Die Konsistenzprüfung der Ergebnisse führt zu der in Abb. 1a dargestellten Häufigkeitsverteilung für die Konsistenzkoeffizienten. Dabei zeigt sich, dass 38% der Datensätze mit einem Konsistenzkoeffizienten größer als 0,7 als konsistent angesehen werden können. Weitere 28% der Datensätze haben mit einem Konsistenzkoeffizienten von 0,63 das Kriterium für Konsistenz nur knapp verfehlt.

Die berechneten Skalenwerte erweisen sich als gut reproduzierbar und zeigen eine gute Übereinstimmung mit

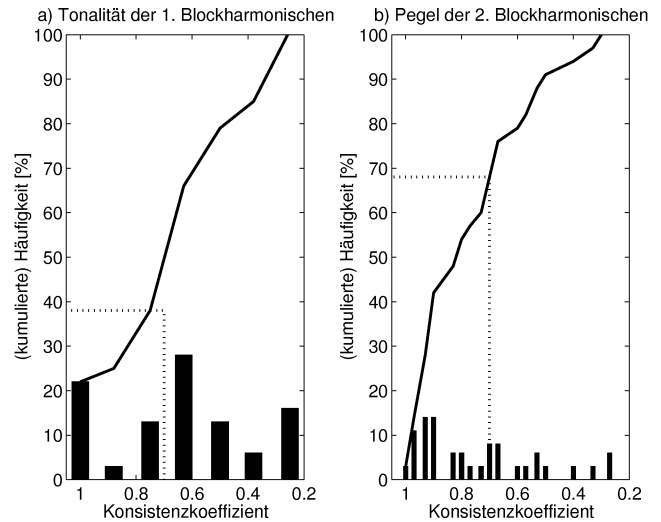


Abbildung 1: Häufigkeit der Konsistenzkoeffizienten und kumulierte Häufigkeit. a) Experiment zur Tonalität der 1. Blockharmonischen, b) Experiment zum Pegel der 2. Blockharmonischen.

der von professionellen Subjektivbeurteilern bestimmten Rangfolge der Signale.

### Pegel der 2. Blockharmonischen

Die verwendeten Signale des zweiten Experiments basieren auf fünf Reifen-Fahrbahn-Geräusch-Aufnahmen beim Ausrollvorgang von 60-50 km/h. Bei einigen Geräuschen wurde die zweite Blockharmonische abgeschwächt. Die Stärke des Profilgeräuschs von 9 Signalen wird von 9 Versuchspersonen jeweils viermal beurteilt. Bei der Konsistenzprüfung erweisen sich 68% der Datensätze mit einem Konsistenzkoeffizienten größer als 0,7 als konsistent (Abb. 1b).

Auch hier zeigen sich wieder eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und eine Übereinstimmung der berechneten Skalenwerte mit der durch professionelle Subjektivbeurteiler ermittelten Rangfolge der Signale.

### Zusammenfassung

Für die Untersuchung der Stärke des Profilgeräuschs in Reifen-Fahrbahn-Geräuschen wird in Laborversuchen die Paarvergleichsmethode eingesetzt im Unterschied zur üblichen kategorialen Bewertung durch professionelle Tester. Obwohl die Unterschiede in der Stärke des Profilgeräuschs sehr gering und daher von ungeübten Personen kaum wahrnehmbar sind, führt die Methode zu einem hohen Anteil konsistenter Datensätze und zu einer reproduzierbaren Beurteilung der Signale.

### Literatur

- [1] Buss, S., Weber, R., Liederer, W. (2002). Objektivierung des subjektiv wahrgenommenen Profilgeräuschs in Reifen-Fahrbahn-Geräuschen. In: Fortschritte der Akustik - DAGA 2002.
- [2] Sixtl, F. (1967). Meßmethoden der Psychologie. Verlag Julius Beltz, Weinheim.