

# Objektivierung des subjektiv wahrgenommenen Profilgeräuschs in Reifen-Fahrbahn-Geräuschen

Sandra Buss<sup>\*)</sup>, Reinhard Weber<sup>\*)</sup>, Werner Liederer<sup>\*\*)</sup>

<sup>\*)</sup> Universität Oldenburg, Physik/Akustik, 26111 Oldenburg

<sup>\*\*)</sup> Continental AG, Jädekamp 30, 30419 Hannover

## Abstract

Bei der Entstehung von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen spielt unter anderem die Profilgestaltung des Reifens eine wesentliche Rolle. Eine akustisch ungünstige, regelmäßige Profilgestaltung führt zu einem als Profilgeräusch bezeichneten tonalen Anteil des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs, deren Frequenz geschwindigkeitsabhängig ist. Ist ein Profilgeräusch wahrnehmbar, führt dies zu einer Abwertung des Reifens bei der Subjektivbeurteilung des Reifengeräuschs.

Um aus einer Reifen-Fahrbahn-Geräusch-Aufnahme die Beurteilung der Stärke des Profilgeräuschs vorhersagen zu können, soll ein objektiver Parameter, berechnet aus dieser Aufnahme, bestimmt werden, der ein Maß für die subjektiv wahrgenommene Stärke des Profilgeräuschs ist.

Über 80 Reifen-Fahrbahn-Geräusche, deren Spektren zum Teil systematisch leicht modifiziert wurden, werden in eine Rangreihenfolge entsprechend der wahrgenommenen Stärke des Profilgeräuschs gebracht. Diese Rangreihenfolge wird korreliert mit verschiedenen objektiven Parametern der verwendeten Geräusche. Außerdem lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Modifikation im Spektrum und der damit verbundenen Änderung der Benotung durch Subjektivbeurteiler finden.

## Profilgeräusch

Das Profilgeräusch entsteht an der Reifenaufstandsfläche beim Abrollen des Reifens. Das Profilgeräusch ist geschwindigkeitsabhängig und tritt überwiegend um die 60. Ordnung der Raddrehzahl auf. Dieser Bereich von ein bis zwei Terzen um die 60. Ordnung wird die 1. Blockharmonische genannt. Auch höhere Blockharmonische können zum Profilgeräusch beitragen.

Der Zusammenhang zwischen der 1. Blockharmonischen und dem subjektiv wahrgenommenen Profilgeräusch soll bestimmt werden.

## Beurteilung der Stärke des Profilgeräuschs

Ziel des Experiments ist es, verschiedene Reifengeräusche in eine Rangreihenfolge entsprechend der wahrgenommenen Stärke des Profilgeräuschs zu bringen.

Die Signale basieren auf vier Reifen-Fahrbahn-Geräusch-Aufnahmen. Es handelt es sich um Kunstkopfaufnahmen auf dem Beifahrersitz beim Ausrollvorgang von 110-100 km/h. Der Bereich der 1. Blockharmonischen wird um -10 bis 10 dB in Schritten von 1 dB verstärkt. So wird aus einem Ausgangssignal eine Signalreihe mit 21 Reifengeräuschen.

In einem Vorexperiment stellt sich heraus, dass innerhalb einer Signalreihe mit zunehmendem Pegel der 1. Blockhar-

monischen die Stärke des Profilgeräuschs zunimmt und dass eine Differenz von 1 dB im Pegel der 1. Blockharmonischen wahrnehmbar ist.

Mit Hilfe eines 2AFC-Verfahrens wird gemessen, wie sich je zwei Signalreihen bezogen auf die Stärke des Profilgeräuschs zueinander verhalten. Folgende Skizze zeigt ein mögliches Ergebnis.

Stärke des Profilgeräuschs	Signalreihe 1	Signalreihe 2	
:	↑	-10 dB	↑
:	Δ	:	
:	↓	0 dB	λ
:	-10 dB	:	
:	:	10 dB	↓
:	0 dB	:	
:	:	:	
:	10 dB	:	

Es wird bestimmt, um welches  $\Delta$  zwei Signalreihen bezogen auf den Rang gegeneinander verschoben sind und um welchen Faktor  $\lambda$  eine Signalreihe gegen eine andere gestreckt ist. Für bestimmte Referenzsignale (-4, 0, 4 dB Verstärkung der 1. Blockharmonischen) einer Signalreihe wird bestimmt, welche Verstärkung der 1. Blockharmonischen innerhalb einer anderen Signalreihe zu einem gleich starken Profilgeräusch führt.

Das Experiment wird von vier Versuchspersonen für jede Kombination aus zwei Signalreihen durchgeführt.

## Ergebnis des Experiments

Die Verstärkung der 1. Blockharmonischen von jeweils zwei Signalen, so dass beide Geräusche gleich starkes Profilgeräusch enthalten, werden gegeneinander aufgetragen, was sechs Darstellungen pro Versuchsperson entspricht (Beispiel in Abb. 1). Es sind Fehlerbalken in x- und in y-Richtung eingezeichnet, da beide Signalreihen sowohl als Test- als auch als Referenzsignal dienen. In jedem Fall zeigt sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Verstärkung der 1. Blockharmonischen beider Signale.

## Zusammenhang zwischen dem Pegel der 1. Blockharmonischen und der Stärke des Profilgeräuschs

Aus dem Experiment ergibt sich eine Rangfolge aller 84 Signale entsprechend der Stärke des Profilgeräuschs. Diese Rangfolge wird korreliert mit dem Pegel bzw. der Überhöhung der 1. Blockharmonischen.

Um einen Parameter zu finden, der möglichst gut mit der subjektiv wahrgenommenen Stärke des Profilgeräuschs korreliert, werden der Pegel und die Überhöhung der 1. Blockharmonischen auf verschiedene Art bestimmt. Der Pegel der

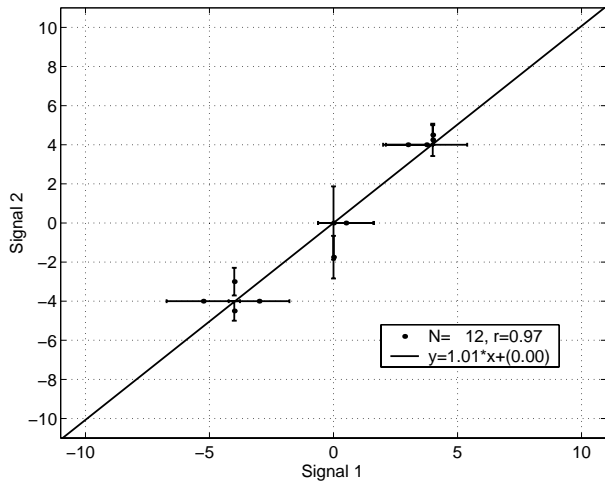


Abbildung 1: Verstärkung der 1. Blockharmonischen zweier Originalsignale, so dass beide Geräusche gleich starkes Profilgeräusch enthalten.

1. Blockharmonischen wird bestimmt als der Maximalpegel und das 10%-Perzentil des über rechten und linken Kanal gemittelten Signals im Bereich der 1. Blockharmonischen. Außerdem wird der Pegel berechnet als die Wurzel aus dem zweiten Moment der Pegelverteilung der ersten Blockharmonischen des über rechten und linken Kanal gemittelten Signals im Bereich der 1. Blockharmonischen.

Die Überhöhung der 1. Blockharmonischen wird berechnet als die Differenz der Wurzel des zweiten Moments des Pegels der 1. Blockharmonischen und der Wurzel des zweiten Moments des Pegels benachbarter höherer und tieferer Ordnungen, wobei dieser Bereich so viele Ordnungen umfasst wie die 1. Blockharmonische. Außerdem wird die Überhöhung bestimmt als die Differenz zwischen der Wurzel des zweiten Moments des Pegels eines terzbreiten Bereichs um die Mitte der 1. Blockharmonischen und der Wurzel des zweiten Moments des Pegels eines jeweils terzbreiten Bereichs zu höheren und tieferen Ordnungen. Die Überhöhung der 1. Blockharmonischen wird ebenfalls bestimmt als die Differenz zwischen 10%- und 90%-Perzentil der 1. Blockharmonischen.

Der Rang der Signale wird aufgetragen gegen den Pegel bzw. die Überhöhung der 1. Blockharmonischen, in Abb. 2 zu sehen am Beispiel der Wurzel des zweiten Moments bei VP4. Die Rangkorrelationen werden jeweils berechnet und sind zu sehen in Tabelle 1.

Die Wurzel des zweiten Moments des Pegels der 1. Blockharmonischen ist sehr stark korreliert mit der Stärke des Profilgeräuschs. Die Korrelation zwischen dem 10%-Perzentil der 1. Blockharmonischen bzw. der Differenz der Wurzel des zweiten Moments des Pegels der 1. Blockharmonischen und der Wurzel des zweiten Moments des Pegels benachbarter höherer und tieferer Ordnungen sind nur wenig schlechter. Diese drei Parameter eignen sich gut zur Beschreibung der Stärke des Profilgeräuschs. Die übrigen Parameter sind schwächer bzw. nicht mit der wahrgenommenen Stärke des Profilgeräuschs korreliert.

### Zusammenfassung

In einem Experiment wird der Zusammenhang zwischen

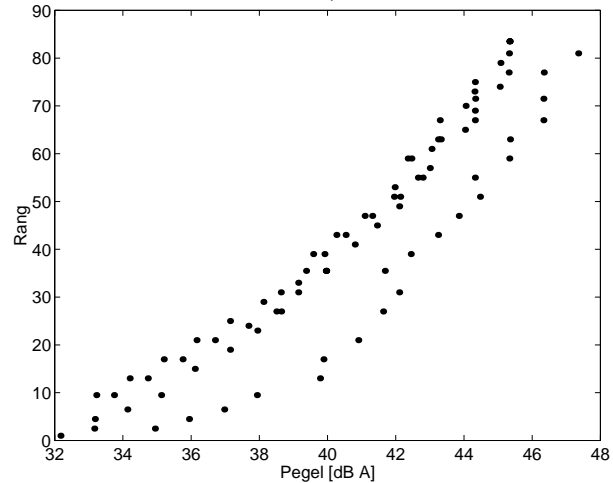


Abbildung 2: Rang entsprechend der Stärke des Profilgeräuschs (höherer Rang entspricht mehr Profilgeräusch) in Abhängigkeit vom Pegel (Wurzel des zweiten Moments) der 1. Blockharmonischen.

Parameter	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4
Maximalpegel	0,87	0,85	0,84	0,87
10%-Perzentil	0,95	0,94	0,89	0,95
Wurzel des 2. Moments	0,95	0,97	0,93	0,95
Diff. Pegel der 1. BH und benachbarter Ordnungen	0,95	0,93	0,89	0,96
Diff. Pegel der 1. BH und benachbarter Ordnungen (terzbreit)	0,75	0,69	0,71	0,77
Diff. 10% - 90%-Perz.	0,30	0,22	0,21	0,33

Tabelle 1: Rangkorrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen den Parametern zur Beschreibung des Pegels bzw. der Überhöhung der 1. Blockharmonischen und der subjektiven Rangfolge für jede Versuchsperson.

dem Pegel bzw. der Überhöhung der 1. Blockharmonischen und der Stärke des Profilgeräuschs untersucht. Dazu werden verschiedene Reifengeräusche, bei denen der Pegel der 1. Blockharmonischen variiert wurde, in eine Rangreihenfolge entsprechend der Stärke des Profilgeräuschs gebracht. Die wahrgenommene Stärke des Profilgeräuschs lässt sich beschreiben durch den Pegel bzw. die Überhöhung der ersten Blockharmonischen. Dabei ist die Wurzel des zweiten Moments des Pegels der ersten Blockharmonischen am stärksten mit der Stärke des Profilgeräuschs korreliert.

### Literatur

Gauterin, F.: Objektivierung der subjektiven Beurteilung zeitlich schwankender tieffrequenter Reifengeräusche. Dissertation, Oldenburg, 1994.