# Akustische Bewertung von Motorradhelmen

Jörg Bienert<sup>1</sup>, Karola Krehl<sup>1</sup>, Mamatha Yerramada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Hochschule Ingolstadt, 85049 Ingolstadt, E-Mail: joerg.bienert@thi.de

# **Einleitung**

Im Gegensatz zur Entwicklung der akustischen Eigenschaften bei PKW gibt es bei Motorradhelmen keine etablierten Messverfahren. Dies wird im Beitrag erarbeitet.

Die Versuche können entweder im Labor oder im Fahrversuch durchgeführt werden. Ein Fahrversuch wurde mit Hilfe der statistischen Faktorenanalyse entwickelt.

Die Messung während einer Motorradfahrt zeigt im Vergleich zum PKW-Innengeräusch eine hohe Streuung. Außerdem ist sie neben der Geschwindigkeit von der Sitzposition und dem Motorrad abhängig.

Es wurde deshalb eine statistische Versuchsplanung mit den Faktoren Helmtyp, Sitzposition und Geschwindigkeit mit 108 Datenbeiträgen aufgesetzt und ausgewertet.

Im Ergebnis als Gesamtpegel oder Terzspektrum zeigen sich insgesamt hohe Schalldruckpegel unter dem Helm und vergleichsweise kleine Unterschiede der 3 getesteten Helmmodelle.

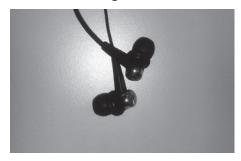
Zur Validierung der Fahrversuche wurden Untersuchungen im Labor durchgeführt. Einerseits wurden die Helme im Hallraum bezüglich der Schalldämmung untersucht. Die Dämmung wurde als Differenz des Schalldrucks im diffusen Hallfeld und unter dem Helm auf einem Kunstkopf ermittelt.

Schließlich wurden die Helme noch auf dem Kunstkopf im Laborwindkanal verglichen. Es zeigt sich eine gute Korrelation der Pegel vom Windkanal zu den Fahrversuchen bei verschiedenen Geschwindigkeiten.

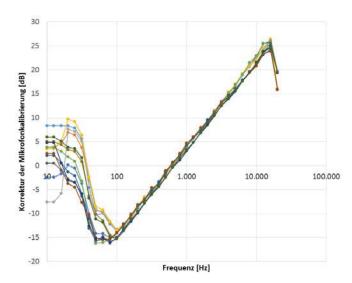
#### **Fahrversuch**

#### Messtechnik

Basis ist ein geeignetes Headset, welches unter dem Helm getragen wird. Hier wurde auf ein preiswertes Modell zurückgegriffen und eine frequenzabhängige Kalibrierung in einem Hallraum war erforderlich. Dies bedeutet, dass im Hallraum ein Referenzmikrofon bei einem Rauschpegel um die 90 dB in 1/3-Oktaven analysiert wurde und in den weiteren Auswertungen alle Messungen zunächst als 1/3-Oktaven berechnet und korrigiert wurden.



**Abbildung 1:** Einfaches Headset-Mikrofonpaar Roland CS-10EM.



**Abbildung 2:** Korrekturpegel aus 9 Messungen im Hallraum mit Messmikrofon als Referenz.

### **Design of Experiments (DOE)**

Für den Fahrversuch wurde das Motorrad aus Abb. 3 verwendet. Die untersuchte akustische Eigenschaft ist das Windgeräusch, so dass die Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit durchgeführt wurden. Durch die Verkleidung stellt die Sitzposition einen entscheidenden Faktor dar, der in der Versuchsplanung berücksichtigt wurde. Mit der DOE-Methode sind folgende Faktoren mit einer geeigneten Stufeneinteilung festgelegt worden:

- Helmtyp (3 Helme unterschiedlicher Preisklasse anonymisiert über die Farbe weiß, grau, schwarz)
- Fahrgeschwindigkeit 80 / 100 / 120 km/h
- Sitzposition bei **einem** Fahrer: normal / high (gestreckt) / low (geduckt)

Als Fahrstrecke wurde eine Überlandstraße mit sehr wenig Verkehr im Raum Ingolstadt gewählt. Die Varianz der Messung erfordert eine Wiederholung bezüglich:

- Messung wechselweise in beiden Fahrtrichtungen
- Wiederholung der "Messaufbaus" durch erneutes Einsetzen der Ohrmikrofone und Aufsetzen des Helms

Insgesamt ergaben sich über den vollfaktoriellen Test 3x3x3x2x2=108 Einzelmessungen. Diese wurden aus den Aufnahmen als 2s Abschnitte geschnitten. Über eine Sprachansage während der Fahrt konnte die richtige Faktorenzuordnung sichergestellt werden. Die Korrektur der Mikrofonkalibrierung in Terzbändern stellt dabei einen erheblichen Auswerteaufwand dar, der in Zukunft noch automatisiert werden könnte.

Als Metrik hat sich der dB(A) Pegel als sinnvoll erwiesen. Weiterhin wurde noch die linke und rechte Ohrposition gemittelt. Die Auswertung von anderen psychoakustischen

Metriken wie Lautheit, Schärfe etc. ist Gegenstand zukünftiger Arbeiten.



Abbildung 3: Testmotorrad mit Halbverkleidung

Die statistische Auswertung erfolgt am besten über sogenannte Effektdiagramme. Hier lassen sich die Einflüsse der Faktoren trennen. Abb. 4 zeigt ein Haupteffektdiagramm, welches zunächst einmal erschreckend hohe Mittelwerte von ca. 94 dB(A) zeigt. Für eine regelmäßige, länger andauernde Exposition ist dies für das Hörorgan schon bedenklich. Ein Gehörschutz beim Motorradfahren ist also grundsätzlich empfehlenswert.

Bei der eigentlichen Auswertung stellt die Geschwindigkeit den wesentlichen Faktor dar. Überschlagsmäßig steigt der Schalldruckpegel um etwa 4 dB pro 20 km/h Geschwindigkeitssteigerung. Die Sitzposition ist ebenfalls wesentlich. In Übereinstimmung mit dem subjektiven Empfinden ist die geduckte Haltung überraschenderweise am lautesten. Hier ergibt sich durch die Verwirbelung der Verkleidung ein starkes tieffrequentes Wummern. Die normale Sitzposition ist auch noch nicht optimal, da sich der Helm in der beschleunigten Strömung der Verkleidung befindet. Dies verbessert sich in der gestreckten Sitzposition. Die Helme unterscheiden sich erstaunlicherweise wenig. Die Reihenfolge entspricht dabei durchaus der subjektiven Bewertung. Alle Helme waren auch von gleicher Bauart (geschlossener Integralhelm). Das Preisniveau lag in der Region niedrig bis mittel. Bei anderen Bauarten wie z.B. Crosshelmen sind sicher deutlichere Unterschiede zu erwarten.

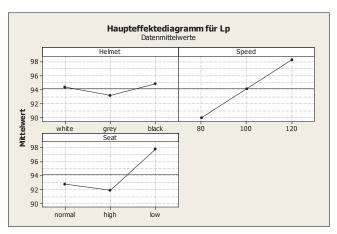


Abbildung 4: Haupteffektdiagramm für Schalldruckpegel

Das Wechselwirkungsdiagramm zeigt zusätzlich, ob bestimmte Faktorenkombinationen auffällig sind. Da hier alle Kurven recht parallel zueinander verlaufen, ist dies eher nicht der Fall. Eventuell zu bemerken wäre, dass rechts-oben der weiße Helm in der gestreckten Sitzposition lauter ist als in der Normalposition.

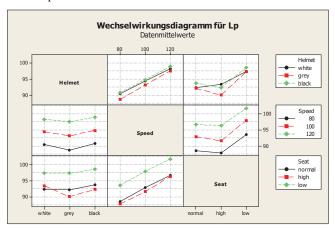


Abbildung 5: Wechselwirkungsdiagramm für Schalldruckpegel

#### Windkanal

Während die Straßenmessung mit dem Motorrad im Mittelpunkt dieser Untersuchungen stand, lässt sich im Laborwindkanal das Ergebnis validieren.

Mit gewissen Einschränkungen wie z.B. der etwas kleinen Querschnittsfläche der Kanaldüse lassen sich die drei Helme aus der Straßenmessung miteinander vergleichen.

Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden wiederum zu 80/100/120 km/h gewählt.

Weitere Faktoren, die die Vergleichbarkeit beeinträchtigen sind:

- Eigengeräusch des Windkanals (ca. 80dB(A) bei 100km/h)
- fehlendes Motorgeräusch
- Einfluss der Verkleidung
- Passgenauigkeit des Helms auf dem Kunstkopf

Die generelle Erkenntnis über die akustischen Eigenschaften der drei Helme ist jedoch ähnlich (Abb.7). Aufgrund des Eigengeräusches des Windkanals wäre die Straßenmessung zu bevorzugen.



Abbildung 6: Aufbau im Laborwindkanal mit Kunstkopf

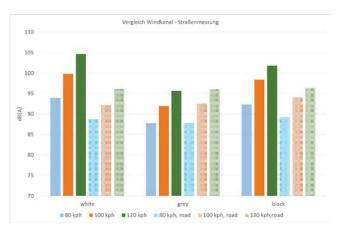


Abbildung 7: Schalldruckpegel aus dem Laborwindkanal im Vergleich zur Straßenmessung (schattiert)

Abb. 8 zeigt die spektrale Verteilung des Geräusches. Wie für Windgeräusche üblich liegt das pegelbestimmende Frequenzband zwischen 150 und 1500Hz.

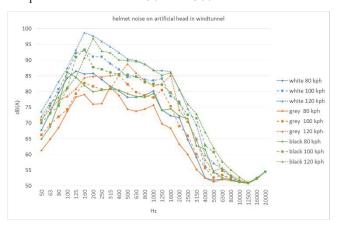


Abbildung 8: Terzpegel im Laborwindkanal

# Dämmung im Hallraum

Neben dem aerodynamischen Design zeichnet sich ein Helm durch seine Schalldämmung aus. Zum Vergleich der Helme wurden Untersuchungen in einem Hallraum durchgeführt. Verglichen werden die Differenzen der Schalldrücke am Kunstkopf mit und ohne Helm. Die Differenz liefert das Dämmmaß, welches der Helm aufweist. Die Darstellung erfolgt in 1/3-Oktaven.

Die Dämmung wird erst etwa bei 400 Hz wirksam und erreicht Spitzenwerte von etwa 30 dB. Die Unterschiede zwischen den Helmen sind relativ gering. Auffallend ist, dass der schwarze Helm (preiswertester der Reihe) im niedrigen Frequenzbereich schlechter und im höheren besser als die beiden anderen ist. Ursache könnte sein, dass dieser im Vergleich zu den anderen fast neu war und die Schaumstoffe noch nicht verformt waren.



Abbildung 9: Aufbau im Hallraum mit Kunstkopf

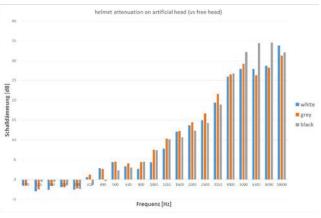


Abbildung 10: Dämmung der Helme

### Zusammenfassung

Die Akustik von Motorradhelmen ist im Vergleich zur Innenraumakustik von PKWs ein vernachlässigtes Forschungsgebiet. Die Pegel sind in Bezug auf den Gesundheitsschutz bedenklich. Hier ist der Helm ein wichtiges Element, welches aber akustisch keine großen Performanceunterschiede zeigt. Zusätzlicher Gehörschutz ist empfehlenswert.

Bei der Untersuchung der akustischen Qualitätsunterschiede müssen neue Testmethoden aufgebaut werden. Die Dämmung allein ist nicht ausreichend. Ein Windkanalversuch ist empfehlenswert, aber insofern unrealistisch, weil Laborwindkanäle aufgrund des Eigengeräusches ungenau sind und Großraum-Windkanäle der Autohersteller für Helmtests zu teuer sind.

Insofern ist die Straßenmessung ein guter Kompromiss. Die Messung ist von überschaubarer Komplexität. Der wesentliche Aufwand ist die Durchführung langer Versuchsreihen für die Statistik.

## Literatur

- [1] Rothhämel, J.: Motorradhelmakustik Mess- und Bewertungsmethoden (Diss. TU Braunschweig), Shaker Verlag, Aachen, 2008
- [2] Bienert, J.: Elimination von Störgeräuschen bei Innengeräuschmessungen von PKW, Proceedings of DAGA, Nürnberg, 2015
- [3] Bienert, J.: Enable Vehicle Interior Noise Measurements on Public Roads by Statistic Analysis, Proceedings of Internoise, Hamburg, 2016
- [4] Bienert, J.: Krehl, K.: Eine neue Metrik für PKW-Windgeräusche aus Messungen auf öffentlichen Straßen auf Basis statistischer Korrelationen, Proceedings of DAGA, Aachen, 2016