

## „Ohrendruck“ – ein unterschätztes Geräuschphänomen?

Uwe Letens<sup>1</sup>, Wolfgang Kauke<sup>1</sup>, Sebastian Roßberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Daimler AG, 71059 Sindelfingen, Deutschland, Email: [uwe.letens@daimler.com](mailto:uwe.letens@daimler.com)

<sup>2</sup> HEAD acoustics GmbH – Herzogenrath

### Einleitung

Die Thematik „tieffrequenter Lärm“ gewinnt in den letzten Jahren zunehmend an Aufmerksamkeit (z.B. im DEGA-FA-Hörakustik). Vor diesem Hintergrund rückt auch das Phänomen des „Ohrendrucks“ in den Focus: eine unangenehme Empfindung, die sich besonders bei tieffrequenter Anregung mit hohen Schalldruckpegeln einstellt.

Aufgrund der Forderung nach kraftstoffsparenden Fahrzeugantrieben wurde die Leerlaufdrehzahl bei vielen PKW-Motoren deutlich reduziert (600...700/min sind heute durchaus üblich). Zusammen mit verbrauchsoptimierten Abgasanlagen (minimierter Gegendruck) führt dies im Leerlauf und im leertaufnahen Betriebsbereich mitunter zu hohen tieffrequenten Anregungspegeln; gelegentlich wird dabei das Auftreten von Ohrendruck bemängelt.

In der Entwicklungsphase von Kraftfahrzeugen besteht die Aufgabe nun darin, die Fahrzeugkomponenten so abzustimmen, dass in keinem Betriebszustand Ohrendruck beanstandet werden kann. Die Beurteilung diesbezüglich erfolgt überwiegend subjektiv; hierbei zeigt sich oftmals eine große interindividuelle Streuung. In Einzelfällen wird das Auftreten von Ohrendruck sogar fälschlicherweise angegeben, obwohl tatsächlich (nur) eine „starke Brummigkeit“ empfunden wird.

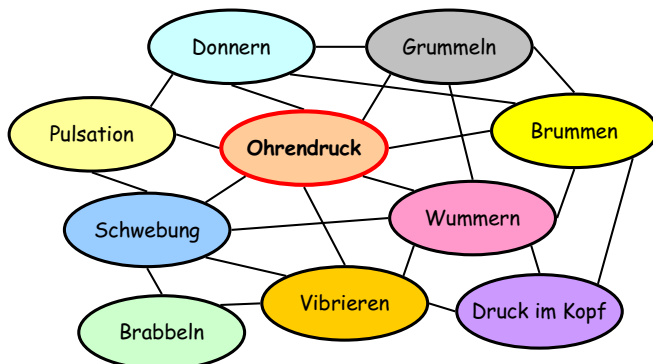


Abbildung 1: Terminologie für tieffrequente Phänomene

Die diesem Beitrag zugrundeliegende Untersuchung geht folgenden Fragestellungen nach:

- Wodurch ist das Auftreten der Empfindung „Ohrendruck“ phänomenologisch gekennzeichnet?
- Bei welcher Art von Anregung tritt „Ohrendruck“ auf?
- Gibt es versuchspersonenunabhängige Schwellwerte, oberhalb derer „Ohrendruck“ prinzipiell auftritt?

### Untersuchung von E. Zwicker

In einer experimentellen Studie hat E. Zwicker [1] bereits 1959 das Phänomen des Ohrendrucks untersucht. Ausgehend vom Ohrendruck, der bei schnellen Änderungen des statischen Luftdrucks beobachtet wird, überträgt er diese Empfindung auf die akustische Anregung des Gehörs: „Es zeigt sich ..., dass bei den meisten Beobachtern ein ganz ähnliches Ohrendruckempfinden entsteht, wenn sie Wechselschalldrucken verhältnismäßig hohen Pegels und tiefer Frequenz ausgesetzt sind.“

In einer speziellen Kabine werden Probanden über Lautsprecher mit tieffrequenten Geräuschen unterschiedlicher Signalform beschallt. Als Ohrendruckschwelle wird derjenige Schalldruckpegel definiert, bei dem nach einminütiger Beschallung die Ohrendruck-Empfindung auftritt. In Abbildung 2 sind exemplarisch die Ergebnisse für reine Sinustöne dargestellt.

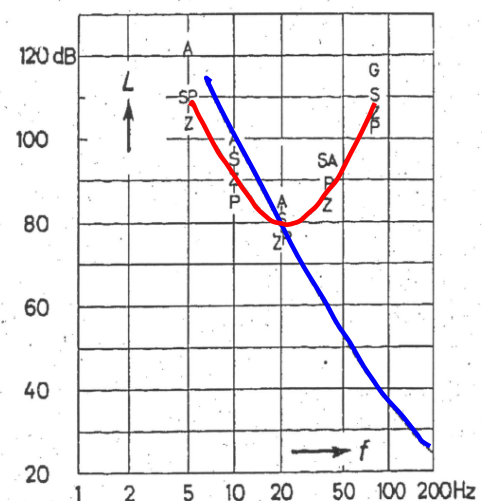


Abbildung 2: Hörschwelle (blau) und Ohrendruckschwelle (rot) für tieffrequente Sinustöne nach [1]

Hiernach weist die Ohrendruckschwelle ein Minimum bei 20 Hz auf, wo gleichzeitig ein Schnittpunkt mit der Hörschwelle liegt. Hierzu schreibt Zwicker: „Die scheinbare Diskrepanz, dass bei sehr niedrigen Frequenzen die Ohrendruckschwelle unter der Hörschwelle liegt, wurde von den Beobachtern so erklärt, dass sie zwar nach einer gewissen Zeit ... feststellen würden, dass etwas ihr Ohr anregen würde, jedoch sei nichts zu hören, ein Ohrendruck stelle sich aber deutlich ein.“

Aufgrund der eingeschränkten experimentellen Möglichkeiten wird im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit nur der Frequenzbereich oberhalb von 16 Hz betrachtet.

## „Lautstärke-Expansion“

Nach [2] und [3] rücken die Kurven gleicher Lautstärke im tieffrequenten Bereich unterhalb 63 Hz eng zusammen, d.h. eine bestimmte Zunahme des Schallpegels bewirkt im tieffrequenten Bereich eine viel stärkere Erhöhung der wahrgenommenen Lautstärke als im normalen Hörschall-Frequenzbereich. Ist der Schwellenpegel erst einmal überschritten, genügt mitunter eine relativ geringe Schallpegelerhöhung, damit das Geräusch als lästig empfunden wird (und möglicherweise die Empfindung „Ohrendruck“ auslöst).

In [4] ist zu erkennen, dass die  $n*10$ -Phon-Isophonen bei 1000 Hz einen Abstand von jeweils 10 dB Schalldruck haben (definitionsgemäß), während dieser Abstand auf etwa jeweils 5 dB Schalldruck bei 20 Hz komprimiert wird.

## Eigene Untersuchungen

Aufgrund der in der jüngeren Vergangenheit nur spärlich verfügbaren Literatur zum „Ohrendruck“ werden einige Sondierungsversuche durchgeführt, die die Besonderheiten der Fahrzeugakustik berücksichtigen.

Hierzu werden Hör- und Ohrendruckschwellenmessungen mit 27 normalhörenden Probanden bei unterschiedlichen Signalarten durchgeführt: Sinustöne, amplitudenmodulierte Sinustöne, Schmalbandrauschen, Tiefpassrauschen (mit unterschiedlichen Flankensteilheiten) und ausgewählte reale Fahrzeug-Innengeräusche.

Die Hörschwellen für reine Sinustöne sind in Abbildung 3 dargestellt. Sie weisen einen insgesamt homogenen Verlauf mit einer nahezu frequenzunabhängigen Streubreite von ca.  $\pm 10$  dB auf. Die Kurven liegen im Bereich der Hörschwelle nach DIN ISO 226.

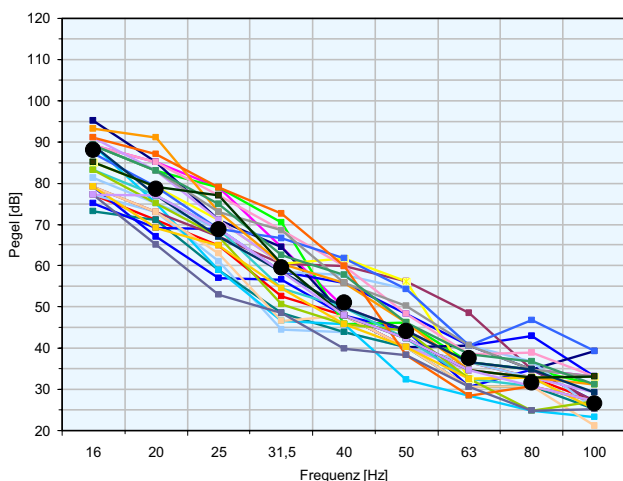


Abbildung 3: Hörschwelle für Sinustöne von 27 normalhörenden Probanden (Punkte: Hörschwelle nach ISO 226)

Die in Abbildung 4 dargestellten Differenzen zwischen den Ohrendruck- und den Hörschwellen weisen doch auffallend größere Unterschiede auf. Unterhalb von 20 Hz streuen die Kurven noch ähnlich weit wie bei den Hörschwellen; mit

steigender Frequenz nimmt die Streuung jedoch zu, bei einigen Probanden wird der Verlauf zudem recht irregulär.

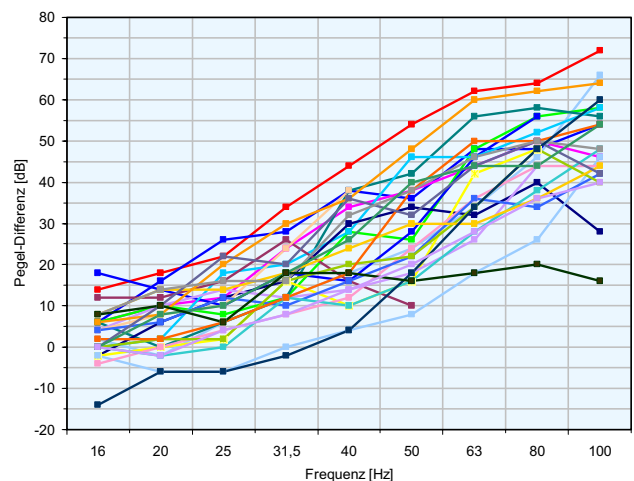


Abbildung 4: Differenz Ohrendruck- zu Hörschwelle für Sinustöne von 27 normalhörenden Probanden

Bislang ist es noch nicht abschließend geklärt, ob die großen Unterschiede auf tatsächlich unterschiedliche Empfindlichkeiten bzgl. des Ohrendrucks oder (zumindest partiell) auch auf ein unterschiedliches Verständnis bzgl. des Phänomens „Ohrendruck“ zurückzuführen sind.

## Zusammenfassung / Weiteres Vorgehen

Die Empfindung eines akustisch ausgelösten „Ohrendrucks“ soll untersucht werden. Erste Sondierungsversuche ergeben eine große Streuung zwischen den Probanden. Die Untersuchung wird mit verschiedenen Signalarten (s.o.) fortgeführt, um weitere Zusammenhänge aufzudecken.

Das Ziel besteht in der Ausarbeitung einer Richtlinie, die eine Abschätzung zum möglichen Auftreten von Ohrendruckempfindungen in Abhängigkeit vom anregenden akustischen Signal ermöglicht. Es deutet sich bereits jetzt an, dass es keine „scharfe“ Grenzkurve über der Frequenz geben wird, oberhalb derer mit hoher Wahrscheinlichkeit mit dem Auftreten von Ohrendruck zu rechnen ist.

## Literatur

- [1] Zwicker, E.: Über die Schwelle des Ohrendruckes für verschiedene Schallereignisse. Frequenz 13 (1959), Nr. 8, S. 238-242
- [2] Möller, H. und Andresen, J.: Loudness of Pure Tones at Low and infrasonic Frequencies. Journal of Low Frequency, Noise and Vibr. 3 (1984), Nr. 2, S.78-87
- [3] Kubicek, R.: Vorkommen, Messung, Wirkung und Bewertung von extrem tieffrequentem Schall einschließlich Infraschall in der kommunalen Wohnumwelt. Dissertation, Technische Hochschule Zwickau, 1989
- [4] DIN ISO 226: Akustik – Normalkurven gleicher Lautstärkepegel (2006)