

# Vom Hörmodell zur Richtlinie

Detlef Krahe

Bergische Universität Wuppertal, 42119 Wuppertal, Email: krahe@uni-wuppertal.de

## Einleitung

Richtlinien und andere Regelwerke zum Schutz vor übermäßiger Lärmbelastung definieren diese in der Regel auf der Basis von Pegelwerten, die in einfach zu handhabenden Mess- und / oder Berechnungsverfahren zu ermitteln sind. Unter dieser Prämisse hat sich der A-bewertete Pegel in Form des  $L_{Aeq}$  fast gänzlich als Maßgröße durchgesetzt. Dass dies nicht immer sach- und problemgerecht ist, ist Gegenstand nicht enden wollender Diskussionen. Bei tieffrequentem Lärm, nach DIN 45680 [1] energetisch vornehmlich bestimmt durch Komponenten im Frequenzbereich von 10 – 80 Hz, besteht allerdings (fast) Einmütigkeit, dass der  $L_{Aeq}$  zur Bewertung der besonderen Wirkung dieses Lärms nicht geeignet ist, weshalb letztlich auch die DIN 45680 geschaffen wurde. Vor der Anwendung dieser DIN steht allerdings eine Hürde: es muss sich um tieffrequenten Lärm handeln. Dazu muss das Kriterium  $L_{CF} - L_{AF} > 20$  dB erfüllt sein. Da in der Literatur einiges darüber zu finden ist, dass tieffrequenter Lärm in besonderer Weise wirkt, aber kaum etwas darüber, warum dies so ist, ist es nicht verwunderlich, dass das 20-dB-Kriterium manchen Situationen nicht gerecht wird. Auch ob allein das Überschreiten der normierten Ruheshwelle auf der Grundlage von Terzpegeln als dann nachgeschaltetes Kriterium in [1] zur Feststellung der tieffrequenten Lärmbelastung ausreichend ist, kann hinterfragt werden, denn für die Wahrnehmung und Wirkung scheinen Schallsignaleigenschaften eine Rolle zu spielen, die bei dieser Art der Auswertung möglicherweise unberücksichtigt bleiben. Eine dieser Eigenschaften ist [2] zu entnehmen: Danach ist ein tieffrequentes Rauschen, das im Frequenzbereich mit einer steilen Flanke begrenzt ist, eher unangenehm, als ein solches mit einer flachen Flanke. Unterstützt wird diese Aussage von Untersuchungen zu entsprechend geprägten Lärmsituationen, wovon einige auch in [3] zitiert sind.

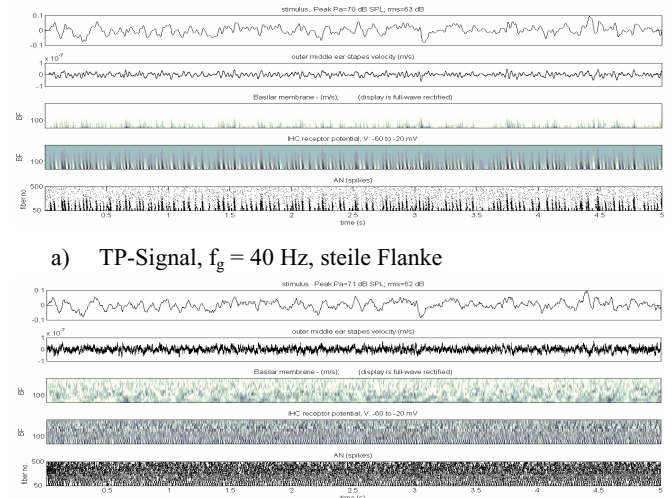
Worin kann die unangenehme Wirkung begründet sein? Die häufig angesprochene negative mentale Wirkung deutet darauf hin, dass die Ursache möglicherweise direkt neuraler Natur ist. Deshalb wurde die Reaktion eines komplexen Hörmodells auf zwei tieffrequente Stimuli (steile und flache Flanke: Siehe Abb. 2) hin untersucht. Natürlich kann ein solches komplexes Hörmodell nicht Bestandteil einer Richtlinie sein, aber die mit ihm gemachten Beobachtungen können Hinweise geben, worauf bei der Auslegung entsprechender Richtlinien geachtet werden sollte.

## Hörmodell

Das für die Untersuchung genutzte Hörmodell bzw. das dazugehörige Simulationsprogramm MAP stammt von Ray Meddis et al. [4]. Es umfasst die Verarbeitungskette vom akustischen Reiz bis zu ersten Signalrepräsentationen im

Nervensystem und wird seit Ende 2007 im Internet zur freien Verfügung bereitgestellt. Sehr vorteilhaft ist zudem, dass es sich leicht in MATLAB<sup>®</sup> einfügen lässt. Sicherlich werden ausgewiesene Spezialisten noch über das eine oder andere Detail des verwendeten Hörmodells ihre Meinung haben. Der hier zu zeigende Effekt ergibt sich aber aus so elementaren Eigenschaften des Gehör, dass auch andere Hörmodelle auf ähnliche Ergebnisse hinauslaufen.

Die nächsten beiden Abbildungen 1 a) und b) zeigen die Reaktion des Hörmodells auf die genannten Stimuli:



b) TP-Signal,  $f_g = 40$  Hz, flache Flanke

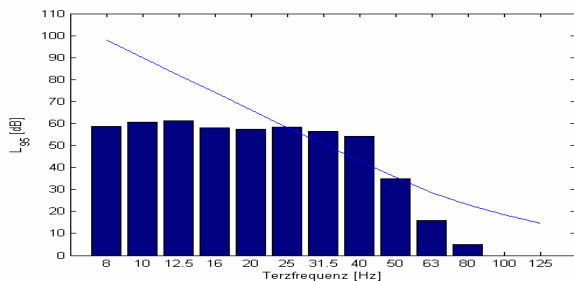
**Abbildung 1:** Reaktion des Hörmodells auf Stimuli über einen Zeitraum von 5 Sekunden:

- Akustischer Stimulus
- Steigbügelgeschwindigkeit
- Geschwindigkeit der Basilarm  
im Bereich der Bestfrequenzen von 50 bis 500 Hz
- Innere Haarzellen, Rezeptorpotenzial  
im Bereich der Bestfrequenzen von 50 bis 500 Hz
- Spike-Aktivitäten auf den abgehenden Nervenfasern  
im Bereich der Bestfrequenzen von 50 bis 500 Hz

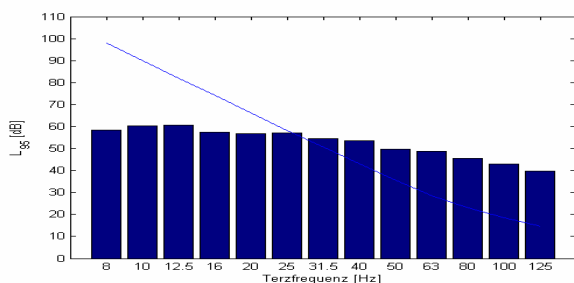
Abb. 1 a) und b) weisen zwar nahezu identische Stimuli aus – der Unterschied liegt in Strichstärke, nach dem Durchlaufen des Außen- und Mittelohrs zeigen sich am Steigbügel aber schon deutliche Unterschiede. Von besonderem Interesse sind aber die Unterschiede in den nachfolgenden Plots. Während in der Abb. 1 b) keine zeitliche Strukturierung zu erkennen ist, weist Abb. 1 a) insbesondere in den beiden unteren Plots eine markante zeitliche Strukturierung aus, die bei den Spikes auf eine ausgeprägte Synchronität der Aktivitäten schließen lässt. Die synchrone Anregung von Nervenaktivitäten kann eine besondere Belastung darstellen, wie in [3] näher dargelegt wird. So ist z.B. die Anregung durch flackerndes Licht in ähnlicher Weise belastend, wie durch das tieffrequente Signal nach Abb. 1 a).

## Richtlinie

Zu welchem Ergebnis führt nun die Analyse gemäß der DIN 45680? Bei beiden Signalen ist ein  $L_{CF} - L_{AF}$  von deutlich mehr als 20 dB festzustellen, beide sind also nach dieser DIN zu bewerten. Die Terzanalyse der beiden Stimuli, die - wie nachfolgend noch erläutert wird - gegenüber der DIN 45680 beispielhaft noch kritischer ausgelegt wurde, kommt zu folgendem Ergebnis:



a) TP-Signal,  $f_g = 40$  Hz, steile Flanke



b) TP-Signal,  $f_g = 40$  Hz, flache Flanke

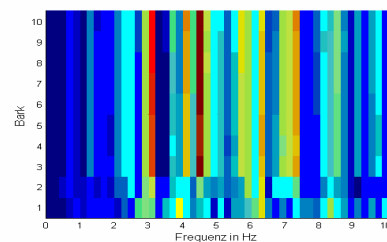
**Abbildung 2:** Terzspektren mit Ruheshörschwelle (gegenüber der DIN 45680 modifiziert)

Interessenhalber sind in Abb. 2 auch die Terzen mit den Mittenfrequenzen 8, 100 und 125 Hz aufgeführt, was aber hier nicht weiter von Belang ist. Wesentlich sind die Modifikationen, die auf einen Vorschlag von Maschke und Borgmann [5] zurückgehen, nach dem erstens die Ruheshörschwelle um 5 dB gesenkt wurde und zweitens nicht der  $L_{eq}$ -Wert der Terzen, sondern der  $L_{95}$  herangezogen wurde. Zur Klarstellung: das ist der 95-Perzentilwert, also der Wert, der von 95% der Pegelwerte in den jeweiligen Terzen unterschritten wird.

Tendenziell ist erkennbar, dass der Stimulus mit der steilen Flanke, also der, der besonders unangenehm wirkt, auch bei dieser kritischen Herangehensweise die Ruheshörschwelle nur gerade übersteigt, während dies bei dem anderen Stimulus wesentlich deutlicher ausfällt. Denkbar sind demnach auch Fälle, in denen die Ruheshörschwelle gar nicht überschritten wird und die trotzdem mit einer sehr unangenehmen Belastung verbunden sind. Denn je steiler das Geräusch begrenzt ist, desto unangenehmer scheint es zu wirken und desto ausgeprägter ist die Synchronität einerseits. Andererseits können gerade dann die gemessenen Pegel eher unterhalb der Ruheshörschwelle bleiben, ohne aber deshalb zwangsläufig unhörbar zu sein. Das ist damit zu erklären, dass der Schwelle Messungen mit (stationären) Sinussignalen zugrunde liegen, während der hier diskutierte

steilflankige Stimulus mit einer starken Fluktuation einhergeht.

Abbildung 3 zeigt die Spektralanalyse der Einhüllenden in den verschiedenen Bark-skalierten Bandpasskanälen für diesen Stimulus. Erkennbar ist nicht nur die Synchronität über die Kanäle hinweg, sondern auch die besonders starke Ausprägung bei 3 - 4 Hz. Es ist bekannt, dass bei diesen Frequenzen die Wahrnehmung höchst empfindlich ist, was auf fortlaufende Adaptionsvorgänge zurückzuführen ist. Man kann also von synchronen Adaptionsvorgängen ausgehen, die hier zu einer Belastung führen, die weitaus unangenehmer ist, als es das Maß der Überschreitung der Ruheshörschwelle vermuten lässt. Eine Möglichkeit, diesen Effekt zu berücksichtigen, könnte in Anlehnung an ausländische Richtlinien nach [5] darin bestehen, die Differenzen zwischen dem  $L_{95}$  und  $L_5$  heranzuziehen.



**Abbildung 3:** Spektralanalyse der Einhüllenden in den Bark-skalierten Bandpasskanälen für den steilflankigen Stimulus

## Fazit

Einiges weist darauf hin, dass tieffrequenter Lärm, der so steilflankig begrenzt ist, dass ausgedehnte Bereiche auf der Basilmembran synchron angeregt werden, eine besonders unangenehme Wirkung hat. Sollte sich dies in weiteren Untersuchungen erhärten, so ist zu überlegen, wie dies in Richtlinien zu tieffrequenter Lärm berücksichtigt werden kann. Verschiedene Ansätze sind denkbar, für die Praxis akzeptabel sind allerdings nur solche Lösungen, die sich auf die schon bisher verwendeten Pegelmaße abstützen und sich in die bestehenden Messroutinen einfach integrieren lassen.

## Literatur

- [1] DIN 45680: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft. Berlin: Beuth-Verlag 1997
- [2] Leventhall, G.: A review of published research on low-frequency noise and its effects. Department of Environment, Food and Rural Affairs. London 2003
- [3] Krahe, D.: Warum kann tieffrequenter Lärm außergewöhnlich unangenehm sein? Lärmbekämpfung, Heft 2, 2008, Springer-VDI-Verlag
- [4] Meddis, R. et al.: Computer Modelle: Downloads und Beschreibungen. University of Essex. URL: <http://www.essex.ac.uk/psychology/psy/PEOPLE/meddis/models.html>
- [5] Maschke, C., Borgmann, R.: Überarbeitung der DIN 45680 – aktueller Stand. DAGA 2007, Stuttgart