

Deutung der Hörschwelle in Richtlinien zur Bewertung tieffrequenter Geräusche

Detlef Krahe

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

Einleitung

In vielen Richtlinien - so auch in der deutschen DIN 45680 - zur Bewertung von tieffrequenten Geräuschen wird eine Hörschwelle mit der Konsequenz definiert, dass Terzkomponenten, die unter dieser Schwelle liegen, bei der Bewertung nicht weiter zu berücksichtigen sind, selbst wenn mehrere Komponenten nur knapp unter der Schwelle liegen. Es gibt Untersuchungen, die zeigen, dass solche Komponenten als Summe die Hörschwelle überschreiten können und wahrnehmbar werden [1]. Das sollte nicht wirklich überraschend sein, denn der Frequenzbereich bis 100 Hz entspricht der ersten Frequenzgruppe. Auch ohne diesen Hinweis ist nachvollziehbar, dass im Bereich sehr tiefer Frequenzen die zeitliche Zuordnung einzelner Komponenten und deren summarisches Zusammenwirken eine besondere Rolle spielen. Nicht selten ergibt sich eine Schwebung oder eine stochastische Modulation, welche die Wahrnehmbarkeit und auch die Lästigkeit erhöhen. Zusätzliche Messgrößen, die geeignet sind, die summarische Wirkung adäquat zu erfassen, sollen diese Lücke in der Geräuschbewertung schließen.

Schwachstelle

Bewertungen nach DIN 45680 (1997) werden von Betroffenen häufig dann als zu unkritisch moniert, wenn das Geräusch nach der DIN 45680 als nicht tonal (kein hervortretender Einzelton) gilt. L_{eq} -Terzpegel nebeneinander liegender Terzen unterscheiden sich in dem Fall um weniger als 5 dB. Liegen sie zudem - wenn auch nur ganz knapp - unterhalb der in der DIN 45680 festgelegten Hörschwelle, so bleiben sie in der Bewertung unberücksichtigt. Sind keine weiteren Terzen mit kritischen Pegeln vorhanden, so wird dieser Umstand nicht selten als Argument genutzt, die Beschwerde von Betroffenen als gegenstandslos abzutun.

Abgesehen davon, dass erstens die Hörschwelle individuell stark variieren kann [2] und zweitens unterhalb von ca. 30 Hz kein differenziertes Tonhöhenempfinden besteht, kann gezeigt werden, dass mit dem separat für jeden Terzpegel durchgeführten Vergleich mit der Hörschwelle schon ein prinzipieller Fehler gemacht wird, wenn auf diese Weise über die Hörbarkeit des Geräusches befunden wird. Dazu wird hier in einem Beispiel von einem Geräusch ausgegangen, das aus drei Sinuskomponenten in drei benachbarten Terzen besteht, deren Pegel knapp unterhalb der Hörschwelle liegen. Abbildung 1 zeigt das Terzspektrum des Geräusches und die Hörschwelle nach DIN 45680.

Das sich daraus ergebende Zeitsignal ist in Abbildung 2 dargestellt. Sie zeigt auf den ersten Blick ein Geräusch mit einer ausgeprägten Amplitudenmodulation von 4 Hz. Bei einem genaueren zweiten Blick erkennt man, dass sich der Verlauf erst genau nach einer Sekunde wiederholt. Dies ist

darauf zurückzuführen, dass die Zusammensetzung der drei

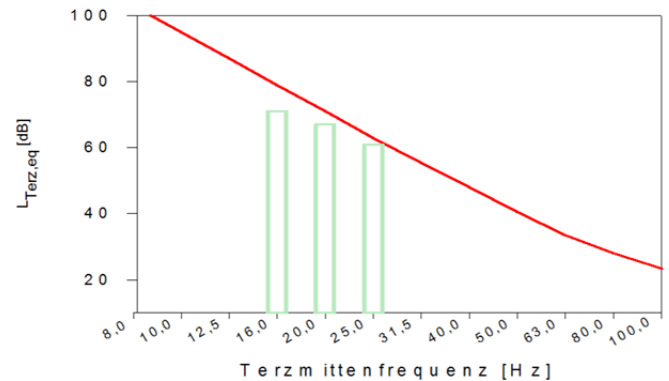


Abbildung 1: Testsignal mit drei tieffrequenten Komponenten von 16 Hz, 20 Hz und 25 Hz unterhalb der Hörschwelle nach DIN 45680. Diese Komponenten würden bei der Bewertung unberücksichtigt bleiben.

Komponenten 16/20/25 Hz und nicht 16/20/24 Hz ist. Die zweite Kombination wäre exakt ein 20-Hz-Sinussignal, das sinusförmig mit 4 Hz moduliert ist. Dies entspricht dem Höreindruck, der aufgrund des in diesem Frequenzbereich undefinierten Tonhöhenempfindens allgemein als Wummern beschrieben wird.

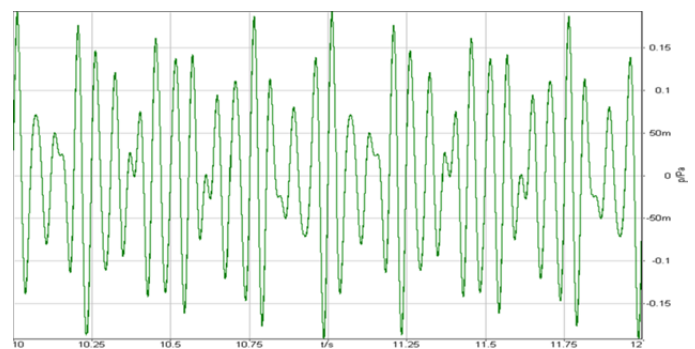


Abbildung 2: Zeitverlauf des Testsignals über 2 Sekunden. Erkennbar ist eine Modulation mit einer Grundschwingung von 1 Hz und einer ausgeprägten Oberschwingung von 4 Hz.

Wird der Pegelverlauf dieses Geräusches bzw. Signales mit der Frequenzbewertung „Z“ und der Zeitbewertung „fast“ analysiert, so ergibt sich der Verlauf, der in Abbildung 3 dargestellt ist. Wiederum ist die Modulation als zeitliche Schwankung zu erkennen, als weitere, sehr aufschlussreiche Details des Verlaufes aber zudem:

- ein Spitzenwert von ca. 74 dB
- ein Mittelwert oberhalb von 72,5 dB.

Für einen 20-Hz-Ton liegen nach der DIN 45680 (97) beide Werte oberhalb der Hörschwelle, die bei dieser Frequenz mit 71 dB festgesetzt ist. Allein bei einer rein formalen Auslegung der Hörschwelle – ohne Berücksichtigung

subjektiver Variation - müsste also von einer Hörbarkeit des Geräusches ausgegangen werden.

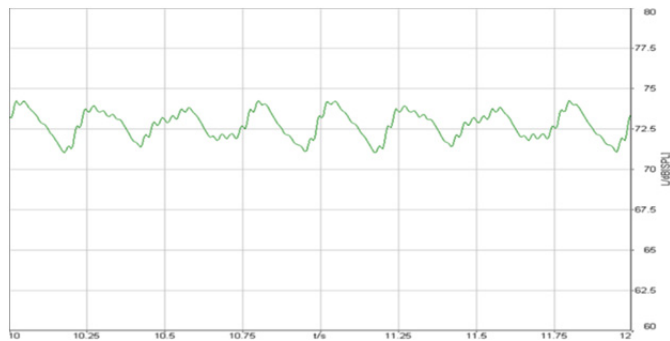


Abbildung 3: Pegelverlauf $L_{Z, Fast}$ des Testsignals. Er entspricht weitgehend dem eines modulierten 20 Hz-Signals, das in der Spitze, aber auch im Mittel den Wert der Hörschwelle von 71 dB (bei 20 Hz) überschreitet.

Angesichts dieses Umstandes, der eine Erklärung dafür sein dürfte, dass in der Vergangenheit abgewiesene Beschwerden nicht selten doch begründet waren, stellt sich die Frage, wie das Geräusch sachgerechter zu erfassen und zu bewerten ist. Sicher wird es dabei auch auf zeitlich definierte Merkmale ankommen.

Merkmale bei Pegelschwankungen

Bei den Überlegungen, welche Merkmale der Pegelschwankung eine Rolle spielen können, sind folgende Merkmale in Betracht zu ziehen:

Zuerst ist sicher die Stärke der Schwankung zu nennen, also die Differenz zwischen einem Maximal- und einem Minimalwert. Mir ihr nimmt auch die Lästigkeit des Geräusches zu. Alternativ ist mit gleicher Zielrichtung eine Kombination aus dem energetischen Mittelwert und dem Maximalwert heranzuziehen.

Wesentlich ist auch die zeitliche Abfolge, die Periode der Pegelschwankung. Es ist bekannt, dass die zeitliche Verarbeitung von Hörreizen zu einer besonderen Empfindlichkeit bei einer Amplitudenmodulation von 4 Hz führt. Bei schnelleren und langsameren Schwankungen nimmt die Empfindlichkeit ab.

Als letztes Merkmal, dessen Einfluss am schwierigsten abzuschätzen ist, der aber dennoch vorhanden ist, kommt die Schnelligkeit in Betracht, mit der der Schallpegel an- und abschwilt. Beispielhaft möge hier bei gleicher Periode der sinusförmige Verlauf einer Schwankung dem impulshaften Verlauf einer Schwankung gegenüberstehen.

Größen und Prozeduren der Bewertung

In Bezugnahme auf die zuvor genannten Merkmale kann im nächsten Schritt überlegt werden, auf welche üblichen Messgrößen von Pegelmessern zurückgegriffen werden kann oder ob losgelöst davon neue Prozeduren zu entwickeln sind.

Die Stärke einer Schwankung kann zwar einem minimalen und maximalen Pegelwert entnommen werden, aber nur, wenn der Pegelverlauf stationär ist. Ansonsten kann sich zwischen dem erfassten Minimum und dem erfassten Maximum der Charakter des Geräusches geändert haben, sodass die Differenz beider Größen wenig Aussagekraft besitzt. Die beiden anderen Merkmale können nur analysiert

werden, wenn auf den Verlauf (i.d.R. fast-bewertet) der relevanten Pegel zugegriffen werden kann. Relevant sind die Pegel, für die die tieffrequenten Geräuschinhalte maßgeblich sind, also der C- und der Z-bewertete. Die Terzpegel mögen für weiteren Analysen hilfreich sein, bei ihnen geht aber der Zeitbezug (Phase) der einzelnen Komponenten zueinander verloren.

Den größten Freiraum bietet naturgemäß der Zeitverlauf des Schalldrucksignals, aus dem sich mit spezifischen Prozeduren alle aufgeführten Merkmale gewinnen ließen. Es gibt aber auch eine Prozedur, mit der alle Merkmale gleichzeitig ausgewertet werden könnten: die Spektralanalyse der Einhüllenden.

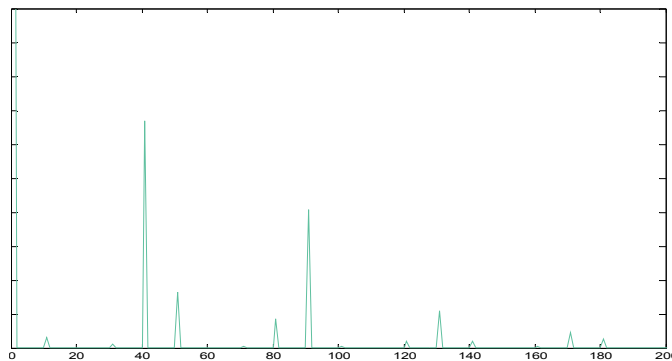


Abbildung 4: Spektrum der Einhüllenden (via Hilbert-Transformation) des Testsignals : x-Achse = 10 * Frequenz

Die Grafik in Abb. 4 zeigt als Beispiel das Spektrum der Einhüllenden des Testsignals mit der stärksten Komponente bei 4 Hz, der Grundfrequenz der Modulation. Die Amplitude dieser Komponente gibt Auskunft über die Stärke der Schwankung. Das Verhältnis zu den Amplituden der „Obertöne“ gibt einen Anhalt zur Steilheit der Übergänge zwischen den Minima und Maxima.

Ein ähnliches Spektrum erhielte man bei der Analyse des Pegelverlaufes in Abb. 3, allerdings mit stärkeren Abweichungen bei höheren Frequenzen. Ob dieser Unterschied für eine Bewertung relevant ist, ist unklar. Weitere Untersuchungen erstrecken sich auf alternative Größen und Prozeduren, wie z.B. auf die von Zwicker eingeführte Schwankungsstärke, die seit Langem bekannt bisher aber wenig Anwendung fand. Letztlich wird der Aufwand mitentscheidend sein, was in der Praxis zur Anwendung kommen kann. Die wesentliche Herausforderung wird darin bestehen, aus den Merkmalen quantitativ die Information zu gewinnen, die in einen aussagestarken Einzahlwert zur Bewertung der Lästigkeit des Geräusches transformiert werden kann.

Fazit

Die bisherige Bewertung tieffrequenter Geräusche allein auf der Basis ihrer spektralen Inhalte ist lückenhaft und kann verbessert werden, wenn auch im Zeitbereich definierte Merkmale des Geräusches berücksichtigt werden.

Literatur

- [1] Watanabe, T., Yamada, S.: Study on Perception of Complex Low Frequency Tones; Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Noise Control (JLFNV) Vol. 21 No. 3 2002, Pages 123 –130

- [2] Kurakata, K., Mizunami, T.: The Statistical Distribution of Normal Hearing Thresholds for Low-Frequency Tones; JLFNV, Vol. 27 No. 2 2008, Pages 97 – 104