

# Ein modifiziertes Messverfahren zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche

Ulrich Donner<sup>1</sup>, Joachim Feldmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>acouplan GmbH, Bundesallee 156, D-10715 Berlin, Email: berlin@acouplan.de; <sup>2</sup>Technische Universität Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, D-10587 Berlin, Email: joachim.feldmann@tu-berlin.de

## Problemstellung

In diesem Beitrag geht es um Fragen einer geeigneten messtechnischen Erfassung tieffrequenter Geräusche, als Grundlage für ein darauf aufbauendes Bewertungsverfahren. Anlass ist die DIN 45680 "Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft", die zur Zeit überarbeitet wird. Das darin verwendete Messverfahren besteht in der Erfassung von Terzspektren des äquivalenten Dauerschallpegels und des "Fast"-bewerteten Maximalpegels zwischen 8 Hz und 100 Hz. Nach Meinung der Autoren wird durch diese Größen ein wichtiger Aspekt bezüglich der Störwirkung nicht ausreichend berücksichtigt, nämlich tieffrequente Amplituden und Tonhöenschwankungen. Die ursprüngliche Idee der Autoren, die Messungen nur im Zeitbereich, in Anlehnung an DIN 4150-2 "Erschütterungen im Bauwesen", durchzuführen, wurde nach Vorversuchen aus drei Gründen wieder fallen gelassen: im Bereich der Schwingungen werden die Feldgrößen direkt ermittelt und beurteilt, nicht ihre Pegel; es wäre eine Filterkurve in Analogie zur A-Bewertung notwendig, die beispielsweise dem Verlauf der tieffrequenten Wahrnehmungsschwelle folgt; das Bewertungsverfahren in der DIN 45680 soll auch zukünftig weiterhin auf Frequenzinhalten basieren.

## Alternative Messgrößen

Es ist aus der Lärmwirkungsforschung bekannt, dass gerade die Schwankungen tiefer Frequenzanteile, d. h. ihre Zeitstruktur, zu erhöhter Aufmerksamkeit und Belästigung, möglicherweise sogar zur Auslösung der Wahrnehmung, insbesondere bei schwellwertigen Ereignissen führen [1]. Solche Schwankungen treten bei tieffrequenten Immissionen in der Praxis vielfach durch technische Anlagen und Aggregate auf, die entweder nicht konstant laufen oder miteinander interferieren. Nach [2] sind Amplituden- und Tonhöenschwankungen je nach Modulationsgrad bei Modulationsfrequenzen bis etwa 15 Hz wahrnehmbar, das Empfindlichkeitsmaxima liegt etwa zwischen 2 Hz und 5 Hz. Das bedeutet, physikalische Größen müssten unter wirkungsrelevanten Aspekten folgende Aussagen ermöglichen: Schallstärke, Schwankungsstärke und ggf. Impulshaltigkeit.

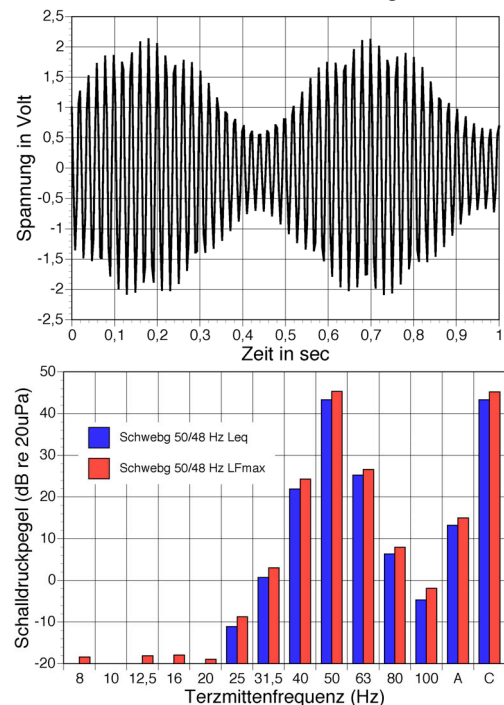
## Schallstärke

Grundbelastungen durch schwankende Schallereignisse mit einer mittleren energetischen Größe zu beschreiben, hat sich durchaus bewährt, so dass im vorliegenden Zusammenhang weiterhin mit dem "Fast"-bewerteten Mittelungspegel bzw. dem äquivalenten Dauerschallpegel gearbeitet werden kann. Es wäre allerdings zu überlegen, ob bei Impulshaltigkeit auch der überenergetische "Impuls"-bewertete Mittelungspegel oder alternativ ein

entsprechender Impulszuschlag Anwendung finden könnte.

## Amplitudenschwankungen

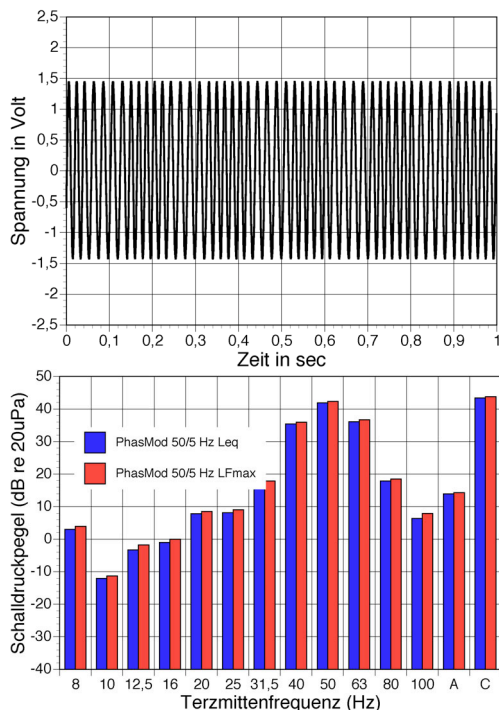
Das bestehende Prozedere der DIN 45680 sieht in diesem Fall zusätzlich zum  $L_{eq}$ , den Gebrauch des "Fast"-bewerteten Maximalpegels vor. Neben den Unsicherheiten hinsichtlich der Messung aufgrund seltener Einzelereignisse, steht der Maximalpegel für die Schwankungen gegenüber dem Mittelwert. Besser wäre an dieser Stelle die Auswertung in Form einer Pegelstatistik des fortlaufenden "Fast"-bewerteten Schalldruckpegels. Als sicheres Maß für die Schwankungsstärke eignet sich die Differenz der Perzentile  $L_{10} - L_{90}$ . Sie entspricht bei einer Gauß'schen Pegelverteilung dem 2,5-fachen der Standardabweichung und ist Teil des sog. Noise Pollution Levels (siehe [3], [4]). Die Zeitkonstante der "Fast"-Bewertung würde aufgrund ihrer glättenden Wirkung auf den gleitenden Effektivwert sicher stellen, dass nur Pegelschwankungen im dominanten Empfindlichkeitsbereich unter etwa 8 Hz eine Rolle spielen. Höherfrequente Schwankungen, wie sie in der Psychoakustik in Form der Rauigkeit bekannt sind, werden nicht erfasst. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel einer Schwebung von 2 Hz zusammen mit den in der Diskussion stehenden Messgrößen.



**Abbildung 1.** Zeitverlauf einer tieffrequenten Schwebung zwischen zwei Tönen von 50 Hz und 48 Hz und dazu gehörendes Terzspektrum. Terz 50 Hz:  $L_{eq(F)} = 43,6$  dB,  $L_{Fmax} = 45,2$  dB,  $L_{10} - L_{90} = 4,2$  dB.

### Tonhöenschwankungen

Ursache dieser Art von Schwankungen sind Frequenz- oder Phasenmodulationen, die sich in Form von Klangfarbenänderungen, in der Psychoakustik auch als Schärfe definiert, bemerkbar machen. Die Erfassung erfordert die spektrale Zerlegung, so dass das derzeitige Konzept der Auswertung in Terzspektren dem entgegen kommt. Bei dieser Art der Modulation ist der Pegel der resultierenden Zeitfunktion konstant, wie Abbildung 2 anhand eines Beispiels zeigt. Je nach Frequenzhub werden aber die der Trägerfrequenz benachbarten überlappenden Terzen angesprochen, die wiederum mit Pegel-schwankungen im Takt der Modulationsfrequenz reagieren und somit das Konzept der Perzentil- Differenz auch in diesem Fall greift. Die Konsequenz daraus ist, dass der vorliegende Ansatz eine Pegelstatistik für jede auszuwertende Terz erfordert und nicht, wie allgemein üblich für den Gesamtpegelverlauf. Damit müsste aber auch die jetzt bestehende Beurteilung der Belastung anhand nur einer herausragenden Einzelterz aufgegeben werden und generell alle Terzfrequenzanteile, die über einer vorzugebenden, frequenzabhängigen Schwelle liegen, in das Bewertungsverfahren einfließen. Die "Fast"-Bewertung mit ihrer "Trägheit" von 125 msec stellt übrigens auch hier sicher, dass Schwankungsfrequenzen die wesentlich über 8 Hz liegen nicht mehr in die Perzentile eingehen, die Auswertung auf den empfindlichen Wahrnehmungsbereich beschränkt bleibt. Da Wahrnehmungsschwellen bis hinab zu 4 Hz bekannt sind, wäre zu überlegen, ob der zu analysierende Terzfrequenzbereich nach unten entsprechend erweitert werden sollte.



**Abbildung 2.** Zeitverlauf eines mit einer Frequenz von 5 Hz phasenmodulierten Tones von 50 Hz und dazu gehörendes Terzspektrum. Terz 50 Hz:  $L_{eq(F)} = 42,6$  dB,  $L_{Fmax} = 43,2$  dB,  $L_{10} - L_{90} = 0,9$  dB; Terz 40 Hz:  $L_{eq(F)} = 36,4$  dB,  $L_{Fmax} = 37,4$  dB,  $L_{10} - L_{90} = 1,6$  dB.

### Messdauer

Die bisher genannten Größen Mittelungspegel und Pegelstatistik erfordern streng genommen eine messtechnische Erfassung über die gesamte Einwirkdauer, maximal über die im Immissionsschutz gängigen Beurteilungszeiträume Tag bzw. Nacht [3]. In der Regel ist die Messdauer aus praktischen Gründen wesentlich kürzer, was bedeutet, dass, insbesondere bezüglich der Pegelstatistik, darauf geachtet werden muss, dass die Messergebnisse repräsentativ für eine vorliegende Belastung sind.

### Resümee

Das hier vorgeschlagene Verfahren berücksichtigt tieffrequente Amplituden- und Tonhöenschwankungen in Form der Differenz der Perzentile  $L_{10} - L_{90}$ , um einer erhöhten Störwirkung messtechnisch besser gerecht zu werden, dabei stellt die "Fast"-Bewertung sicher, dass Schwankungen über etwa 8 Hz nicht mehr in die Auswertung eingehen. Da Amplituden- und Tonhöenschwankungen erfasst werden sollen, ist die spektrale Zerlegung und damit eine Pegelstatistik in jedem interessierenden Terzband Voraussetzung. Das formale Procedere könnte dann in Anlehnung an DIN 45680 folgendes Aussehen haben:

$$L_{LF, Terz,r} = L_{Terz,eq} + (L_{10} - L_{90})_{Terz} + 10 \log \frac{T_e}{T_r} \quad \text{dB}$$

mit

$L_{LF, Terz,r}$  Tieffrequenter Terzbeurteilungspegel (Index  $LF$  steht für "Low Frequency"),  $L_{Terz,eq}$  "Fast"-bewerteter Terzmittelungspegel,  $(L_{10} - L_{90})_{Terz}$  Perzentilpegeldifferenz pro Terz,  $T_e$  Einwirkdauer,  $T_r$  Beurteilungszeitraum (s. TA- Lärm). Gegebenenfalls ist ein Impulszuschlag bekannter Art vorzusehen.

### Literatur

- [1] Leventhall, G. 2003: A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects. Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, Contract EPG 1/ 2/ 50
- [2] Zwicker, E. 1982: Psychoakustik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York. ISBN 3-540-11401-7
- [3] Schultz, T.J. 1972: Community Noise Ratings. Applied Science Publishers Ltd., London. ISBN 0 85334 555 1
- [4] Schaefer, P. 1978: Vergleichende Analyse von Lärmbewertungs- Verfahren. Forschungsbericht Umweltbundesamt, Berlin
- DIN 45641 Norm 1990-06: Mittelung von Schallpegeln. Beuth- Verlag, Berlin
- DIN 45645-1 Norm 1996-07: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Teil 1: Geräuschmissionen in der Nachbarschaft. Beuth-Verlag, Berlin
- DIN 45667 Norm 1969-10: Klassierverfahren für das Erfassen regelloser Schwingungen. Beuth- Verlag, Berlin
- VDI 3723 Blatt 1 Technische Regel 1993-05: Anwendung statistischer Methoden bei der Kennzeichnung schwankender Geräuschmissionen. Beuth- Verlag, Berlin
- DIN EN 61672-1 Norm 2003-10: Elektroakustik - Schallpegelmessung - 3 Teile. Beuth- Verlag, Berlin.