

Tiefe Frequenzen sind nicht gleich tiefe Frequenzen – Tieffrequente Geräuschanteile und deren (Lärm-)Wirkungen

Klaus Genuit

HEAD acoustics GmbH, 52134 Herzogenrath, Deutschland, Email: Klaus.Genuit@head-acoustics.de

Einleitung

Die durch tiefe Frequenzen verursachten Störwirkungen erfahren aktuell eine zunehmende Aufmerksamkeit. Zur Beurteilung dieser Geräuschanteile stellt sich die Betrachtung des Schalldruckpegels bzw. des Terzspektrums als unzureichend heraus. Vor allem der häufig verwendete A-bewertete Schalldruckpegel unterschätzt die Relevanz der tiefen Frequenzen für das subjektive Empfinden. [1] Auch die Differenzbildung aus unterschiedlichen Frequenzbewertungen ist nicht ausreichend, werden damit beispielsweise keine zeitlichen Strukturen erfasst. Darüber hinaus können tieffrequente Signalanteile neben dem Höreindruck auch zu subliminalen Effekten führen, die sich in Stress, Übelkeit und Unwohlsein äußern.

Tieffrequente Geräusche in der Umwelt

Zahlreiche technische Geräuschquellen emittieren tieffrequente Geräusche und bestimmen damit maßgeblich die akustische Umwelt des Menschen. Klima- und Heizungsanlagen, Ventilatoren, Straßen- und Flugverkehrslärm, Windenergieanlagen, Aufzüge und unzählige weitere alltägliche Geräuschquellen weisen wesentliche tieffrequente Geräuschbeiträge auf. Abbildung 1 verdeutlicht das Vorkommen tieffrequenter Komponenten in einem Verkehrsgeschäft, das in größerer Entfernung zu einer Autobahn aufgezeichnet wurde. Tonale Komponenten im tieffrequenten Bereich sind deutlich sichtbar, die im Wesentlichen auf dominante Motorordnungen von vorbeifahrenden Lastkraftwagen zurückzuführen sind.

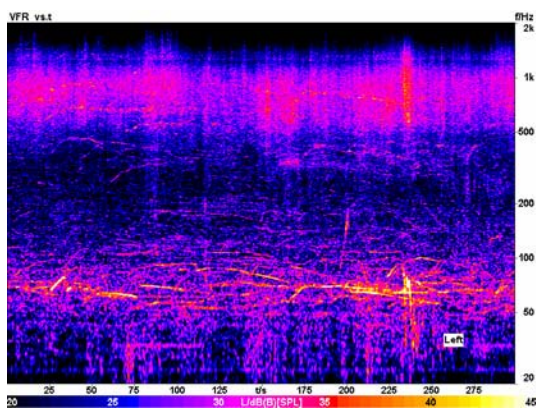


Abb. 1: Umweltgeräusch in größerer Entfernung zu einer Autobahn. VFR vs. time. (SPL in dB(B))

Diese tonalen tieffrequenten Komponenten prägen auch in weit entfernten Immissionsorten das Geräusch, wie in Abbildung 2 nachvollziehbar. Die Ausbreitung tieffrequenter Geräusche wird weniger durch Luft- und Bodenabsorption, sowie durch Abschirmungseffekte beeinflusst als die höherfrequenten Signalanteile. Damit verschiebt sich auch

das Verhältnis tieffrequenter zu hochfrequenter Schallenergie.

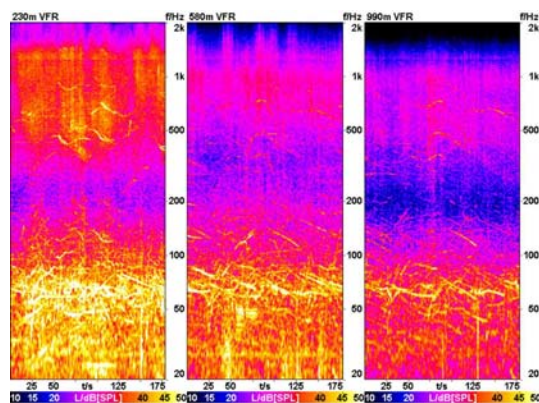


Abb. 2: Umweltgeräusch in unterschiedlichen Entfernungen (230m, 580m, 990m) zu einer Autobahn. VFR vs. time. (SPL in dB)

Die Unzulänglichkeit des A-bewerteten Schalldruckpegels und der Terzpegel

Nahezu alle Richtlinien und Verordnungen im Umweltgeräuschbereich definieren zulässige bzw. unzulässige Geräuschimmissionswerte auf Grundlage des A-bewerteten Schalldruckpegels. Der A-bewertete Schalldruckpegel spiegelt jedoch nur eine gehörgerechte Korrektur des Schalldruckpegels im niedrigen Pegelbereich wider. Im Fall höherer Schalldruckpegel nimmt der Fehler bezogen auf die gehörrichtige Korrektur des SPLs mit steigendem Pegel zu. Die Kurven gleicher Lautheit verdeutlichen, dass die frequenzabhängige Sensitivität des menschlichen Gehörs mit steigendem Pegel nachlässt. Die Verwendung der C-Bewertung, die näherungsweise die Sensitivität des Gehörs bei höheren Pegeln unter besonderer Berücksichtigung tiefer Frequenzen abbildet, verringert den „Fehler“ der A-Bewertung. Jedoch greifen einfache Differenzbildungen zwischen A- und C-bewerteten SPL zur Determination signifikanter tieffrequenter Signalanteile zu kurz. Die Differenzbildung ist unabhängig vom Pegelbereich, in dem das zu bewertende Geräusch auftritt. D.h., dass der Differenzwert für eine tieffrequente Komponente identisch ist, unabhängig davon ob diese einen SPL von 40dB, 80dB oder 100dB besitzt. Allerdings können nach Überschreitung der Hörschwelle bereits geringe Pegelzunahmen im tieffrequenten Bereich zu erheblichen Empfindungsänderungen führen, wie die Kurven gleicher Lautheit, die im tieffrequenten Bereich sehr eng beieinander liegen, verdeutlichen.

In der DIN 45680 zur Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen werden unbewertete Terzpegel im Bereich von 10Hz–80Hz bzw. 8Hz–100Hz berücksichtigt. Nach Anwendung dieser Norm wird eine (erhebliche) Belästigung

bereits nach geringer Überschreitung eines Terzpegels, auf mittlere Hörschwellen bezogen, angenommen. Allerdings sind hier zusätzliche Untersuchungen zu den Auswirkungen von zeitlichen Strukturen, Modulationen und spektralen Besonderheiten im tieffrequenten Bereich auf die Lästigkeitsbeurteilung notwendig. Verschiedene Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Störwirkung wesentlich von den Eigenschaften des jeweiligen (tieffrequenten) Geräusches abhängt. Tonale oder stochastische, modulierte oder unmodulierte Geräusche rufen verschiedene Reaktionen beim Hörer hervor. Beispielsweise ist bei Modulationen die Modulationsfrequenz bezogen auf die Störwirkung des Geräusches wesentlich. Abbildung 3 zeigt ein typisches städtisches Umgebungsgeräusch, dass im tieffrequenten Bereich deutlich erkennbare prominente tonale Komponenten aufweist. Tonale im Vergleich zu breitbandigen Anregungen lösen stark unterschiedliche Empfindungen aus. In diesem Bereich müssen weitere systematische Untersuchungen, um ein detailliertes Verständnis von Lärmwirkungen zu erlangen, vorgenommen werden. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zur Bedeutung der spektralen Verteilung auf die Störwirkung von Geräuschen durchgeführt. Dabei wurde in Laborexperimenten festgestellt, dass in Abhängigkeit des spektralen Abfalls zu höheren Frequenzen die Lästigkeit des Geräusches variiert. [3] Überwiegend zeigte sich, dass mit steilerem Abfall sich die Lästigkeit des Geräusches erhöhte.

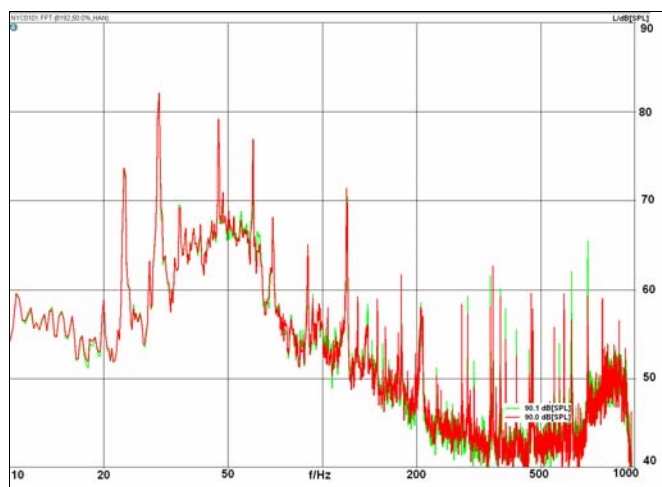


Abb. 3: Urbanes Umgebungsgeräusch. FFT vs. Time. (SPL in dB)

Lärmwirkungen durch tieffrequente Geräusche

Betroffene berichten häufig von allgemeinem Unwohlsein und Indisposition, wenn sie tieffrequenten Geräuschen ausgesetzt sind. Es ist bekannt, dass die Organe und Gliedmaßen des Menschen spezifische Resonanzen aufweisen, die im Wesentlichen in einem Frequenzbereich von 3 bis 100 Hz liegen. In Folge anhaltender Exposition von tieffrequenten Geräuschen, die zu biomechanischen Schwingungen führen, sind gesundheitliche Wirkungen wie permanentes Druckgefühl, Übelkeit, Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten, Schlafstörungen, Kopfschmerz, Beeinträchtigung der Atmung (bei sehr hohen Pegeln), statische und dynamische Muskelkontraktionen in verschiedenen Studien dokumen-

tiert. [4] Folglich unterschätzt die alleinige Betrachtung der auralen Belastung ohne die Berücksichtigung weiterer ausgelöster (physiologischer) Reaktionen bei den Betroffenen die Bedeutung tieffrequenter Geräusche. Insofern erscheint die Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche auch unterhalb der Hörschwelle obligatorisch. Allerdings basieren viele Laboruntersuchungen zu den Wirkungen von tieffrequenten Geräuschen auf die Darbietung zeitlich kurzer Stimuli. Jedoch sind Betroffene in der Realität häufig über großen Zeiträumen tieffrequenten Belastungen, z. B. in Wohnräumen, ausgesetzt. Abbildung 4 zeigt deutlich, dass auffällige tieffrequente Geräuschanteile innerhalb von Wohnräumen vorhanden sein können. Dieser Aspekt bedarf der besonderen Berücksichtigung.

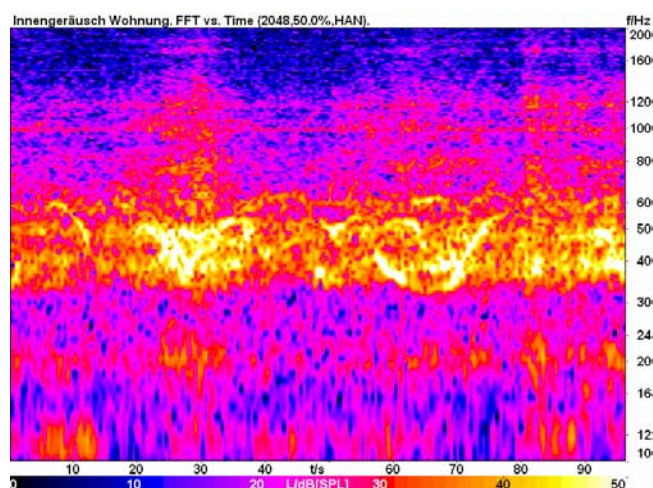


Abb. 4: Wohnungsinengeräusch. FFT vs. Time.

Zusammenfassung

Lärmwirkungen durch tieffrequente Geräusche sind bislang nur unzureichend untersucht worden. Der im legislativen Bereich vorwiegend verwendete A-bewertete Schalldruckpegel ist im Hinblick auf die Berücksichtigung der Folgen auf Grund der Exposition von tieffrequenten Geräuschen unzureichend. Differenzbildungen unterschiedlicher Pegelbewertungen und die Betrachtung der Terzpegel unterhalb von 100 Hz nach der DIN 45680 ermöglichen eine profundere Beurteilung der tieffrequenten Geräuschanteile, erscheinen jedoch nicht ausreichend. Einerseits bleiben damit Pegelfluktuationen und zeitliche Muster im tieffrequenten Bereich bezogen auf die Störwirkung von Geräuschen weitestgehend unberücksichtigt. Andererseits können Störwirkungen auf Grund tieffrequenter Geräusche auch unterhalb der Hörschwelle nicht ausgeschlossen werden und bedürfen der weiteren detaillierten Untersuchung.

Literatur:

- [1] K. Genuit, Beyond the A-weighted level, Inter-Noise 2006, Honolulu, Hawaii, USA
- [2] E. Zwicker, H. Fastl, Psychoacoustics, facts and models, Third edition, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2006
- [3] K. P. Waye, Health aspects of low frequency noise, Inter-Noise 2006, Honolulu, Hawaii, USA
- [4] B. Berglund, P. Hassmén, S. Job, Sources and effects of low frequency noise, J. Acoust. Soc. Am., 99, 2985-3002, 1996