

## Tieffrequenter Schall - eine audiologische Herausforderung!

Wolfgang H. Döring

Universitätsklinikum Aachen – HNO-Klinik, email: wdoering@ukaachen.de

### Einleitung

Die untere Frequenzgrenze für akustischen Stimuli liegt in der aktuellen klinischen Audiometrie durchweg bei Frequenzen über 125 Hz, sowohl bei den 'subjektiven' Verfahren (Ton- und Sprachaudiometrie, überschwellige Audiometrie) als auch bei den 'objektiven' akustischen und elektrophysiologischen Verfahren (Otoakustische Emissionen (OAE), Akustisch Evozierte Potenziale (AEP), Vestibulär Evozierte Myogene Potentiale (VEMP), etc.). Dies ist einerseits durch technische und akustische Grenzen bedingt, andererseits auch durch die zugrundeliegenden physiologischen Mechanismen. Tieffrequenter Schall (1 Hz bis 100 Hz) kann daher standardmäßig nicht als Teststimulus angeboten werden.

Zunehmend mehr Personen klagen jedoch über Veränderungen des Hörens im tieffrequenten Bereich (Hörverlust, Lärmempfindlichkeit, verzerrtes Hören,...), die sich in den Ergebnissen der Standardaudiometrie (>125 Hz) nicht widerspiegeln. Die diagnostischen Möglichkeiten im tieffrequenten Bereich sind sowohl von der audiologischen als auch von der neurootologischen Seite sehr begrenzt und es ist auch noch wenig darüber bekannt, wie das Gleichgewichtssystem und das Gehör in diesem Frequenzbereich in Wechselwirkung stehen. Ebenso schwierig ist es, messtechnisch die verursachenden Schallquellen ausfindig zu machen und Messwerte hinsichtlich ihrer Relevanz zu bewerten. Die z.Z. gültige DIN 45680 [5] kann dies nur eingeschränkt leisten und befindet sich derzeit in der Überarbeitung.

### Wahrnehmung und Wirkungen tieffrequenten Schalls

Die Wahrnehmung tieffrequenten Schalls unterscheidet sich von der Wahrnehmung im Bereich über 100 Hz vor allem dadurch, dass die Tonhöhenempfindung sehr viel geringer oder gar nicht mehr vorhanden ist und auch häufig Schwebungen wahrnehmbar werden. Wahrnehmungsschwellen streuen interindividuell sehr stark, der Dynamikbereich ist stark eingeschränkt (von ca. 80 dB bei 125 Hz auf ca. 20 dB bei 4 Hz [1, 2, 7]), d.h., nur wenige dB über der Wahrnehmungsschwelle wird die Unbehaglichkeitsgrenze erreicht. Das kann zu Wahrnehmungen führen, die als stark belästigendes Druckgefühl im Kopf, Dröhnen, Unsicherheit im Gleichgewicht (Schwindel) etc. beschrieben werden.

Wirkungen tieffrequenten (auch unhörbaren) Schalls auf das Gehör werden in der Literatur zwar beschrieben [1,2,6], sie lassen sich jedoch in der Regel weder mit der Standardaudiometrie noch mit neurootologischen Verfahren nachweisen.

Neben Hör- und Gleichgewichtsbeeinträchtigten werden auch extraaurale Effekte insbesondere des Infraschalls (<20 Hz) schon bei moderaten Intensitäten beschrieben, die von Unwohlsein über Stress Symptome bis hin zum Symptomenkomplex der 'Vibroacoustic Disease (VAD)' führen können, einem multifaktoriellen Symptomenkomplex von gravierendem Krankheitswert.

Gesundheitsschädigende Wirkungen sind vor allem

- das Gehör betreffende Wirkungen (peripher/ zentral, unterschwellige vs. überschwellige Exposition);
- das Gleichgewicht betreffende Wirkungen (z.B. Tullio-Phänomen), Einfluß tieffrequenter Druckschwankungen auf Otolithenorgane;
- extraaurale Wirkungen
  - vegetative Reaktionen (Unwohlsein, Übelkeit, Kreislaufprobleme, ...);
  - Stresswirkungen (Bluthochdruck, Schlafstörungen, Angst, Konzentrationsstörungen, Tagesmüdigkeit ;
  - 'Vibroacoustic Disease' – multifaktorieller Symptomenkomplex;
  - Gewebeschädigungen bei hoher Infraschall-Intensität, besonders Schädigungen der inneren Organe.

Kontrovers wird diskutiert, ob eine tieffrequente Lärmexposition zu einer Lärmschwerhörigkeit im normalen Hörbereich führen kann. Dazu gibt es Fallbeschreibungen, die zum einen eine Hypersensibilität im tieffrequenten Bereich bei einer gleichzeitig bestehenden Hörminderung im normalen Hörbereich beschreiben, andererseits auch eine erhöhte Sensibilität im tieffrequenten Bereich nach einer längeren Lärmbelastung (z.B. [1, 2, 6]).

Dass Infraschall das Innenohr erreicht und dort Wirkungen hervorrufen kann, konnte eindeutig durch Untersuchungen der Otoakustischen Emissionen (DPOAE) nachgewiesen werden, wenn gleichzeitig ein Supressorton im Infraschallbereich gegeben wird [3]. Damit sind auch beeinträchtigende Wirkungen auf die Selbstregelungsprozesse des auditorischen Systems denkbar.

Eine wichtige Beobachtung in diesem Zusammenhang beschreibt, dass tieffrequenter Schall dann stärker beeinträchtigend wirkt, wenn das Spektrum steil zum Hörbereich hin abfällt und weniger, wenn zusätzlich noch mehr Schallenergie im mittleren Hörschallbereich vorhanden ist. Eine gehörmobillbasierte Hypothese von Krahé [4] geht davon aus, dass es beim binauralen Hören durch die hochkorrelierten Ohrsignale bei tiefen Frequenzen zu einer Hypersynchronisation von Spikemustern im Hörsystem auch im höherfrequenten Bereich kommt.

## Forschungsdefizite

1. Die Wirkungsmechanismen tieffrequenten Schalls sind noch weitgehend unverstanden, insbesondere besteht ein  
Einfluß auf die Funktion von Mittelohr und Innenohr?  
Einfluß auf die zentrale Verarbeitung?  
Einfluß auf Selbstregelungsprozesse des auditorischen Systems?  
Einfluß auf das Sprachverstehen?  
Einfluß auf das Kommunikationsverhalten?  
Welche Signalpfade sind von Bedeutung (Luftleitung, Knochenleitung, Körperschall)?  
Welche Interaktionen bestehen zwischen Sinnesmodalitäten?
2. Erfassung von Wirkungen tieffrequenten Schalls:  
Welche Kenngrößen des Gehörs sind aussagekräftig?  
Wahrnehmungsschwellen <20 Hz  
Unbehaglichkeitsgrenzen/ Dynamikbereich?  
Frequenzauflösungsvermögen?  
Modulationsschwellen?  
Otoakustische Emissionen?  
Elektrophysiologische Kenngrößen?  
Vestibulo/ cochleäre Reflexe?  
Vestibulo-vegetative Reaktionen?
3. Welche Testverfahren wären sinnvoll?  
Welche Art der Schallpräsentation ist sinnvoll/machbar?  
Sind bekannte Testverfahren sinnvoll modifizierbar?  
Müssen neue Verfahren entwickelt werden?
4. Messung und Bewertung tieffrequenten Schalls?  
Welche Normen/ Messvorschriften sind adäquat (DIN45680)?  
Welche Grenzwerte bestehen für Belästigung/Lästigkeit?  
Welche Grenzwerte bestehen für Schädigungen?

## Anforderungen an erweiterte diagnostische Verfahren

Eine auf den tieffrequenten Bereich erweiterte Audiometrie müsste routinemäßig anwendbare Verfahren bereitstellen, die ohne sehr große Investitionen in Geräte und Raumbau auskommen, und die in akzeptabler Messzeit spezifische Informationen über die Gehörfunktion in diesem Frequenzbereich liefern können. Dazu gehören neben der Hypo- und Hypersensibilität auch Aussagen über die Qualität der Hörwahrnehmung und über extraaurale Wirkungen, die mit der Schallexposition verbunden sind, um bestehende Beschwerden objektivieren und einen ursächlichen Zusammenhang zu einer Lärmexposition nachweisen zu können. Die Festlegung von Grenzwerten für eine Gesundheitsschädigung durch tieffrequenten Lärm erscheint angesichts der noch sehr dünnen Datenlage bisher relativ willkürlich.

## Fazit

Diese Problematik gewinnt zunehmend an Bedeutung, da technische Einrichtungen, die tieffrequenten Schall erzeugen, in unserer alltäglichen Umgebung ständig zunehmen (Wärmepumpen, Windräder, Blockheizkraftwerke, Waschmaschinen etc.) und damit auch die Klagen von tieffrequentem Lärm betroffener Personen, deren Leiden derzeit kaum objektiviert werden können (Begutachtungsproblem). Eine entsprechende Erweiterung der Standardaudiometrie erscheint daher in absehbarer Zeit dringend erforderlich. Gleichzeitig ist es ebenso wichtig, die Mess- und Bewertungsverfahren für tieffrequenten Schall so zu gestalten, dass beeinträchtigende Lärmquellen sicher erfasst und bereits bei der Konstruktion von Anlagen weitgehend vermieden werden können.

Zusammenfassend:

Tieffrequenter Schall wirkt im Alltag in vielfältiger Weise auf den Menschen ein.

Beeinträchtigungen, Schädigungen und Erkrankungen durch tieffrequenten Schall werden immer häufiger.

Der Nachweis eines kausalen Zusammenhangs ist z.Z. schwierig.

Audiologische Verfahren stehen z.Z. nicht zur Verfügung.

Messung und Bewertung tieffrequenten Schalls werden z.Z. den offensichtlichen Wirkungen nicht gerecht.

Daraus folgt, dass in zunehmenden Maße die Notwendigkeit zur Erweiterung der Audiometrie auf den tieffrequenten Bereich besteht und dass es dringend einer verstärkten multidisziplinären Forschung zur Aufarbeitung der bestehenden Defizite bedarf.

## Literatur

- [1] H. Möller, C.S. Pedersen: Hearing at Low and Infra-sonic Frequencies. *Noise & Health* 2004, 6(23): 37-57
- [2] M. Schust: Effects of low frequency noise up to 100 Hz. *Noise & Health* 2004, 6(23): 73-85
- [3] J. Hensel et al. / *Hearing Research* 233 (2007) 67-76
- [4] D. Krahé: Tieffrequenter Lärm - nicht nur physikalisch ein besonderes Problem. 3. DEGA-Symposium, 27. November 2009, Berlin / „Lärm heute“
- [5] DIN 45680: Messungen und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft.
- [6] H.G. Leventhal: Low frequency noise and annoyance. *Noise & Health* 2004, 6(23):59-72
- [7] Infraschall und tieffrequenter Schall – ein Thema für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz in Deutschland? Mitteilung der Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ als Empfehlung des Robert Koch-Instituts. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 2007 · 50:1582-1589