

# Neue Methoden für die individuelle Bestimmung der Schalldosis – Das DOSE Projekt

W. Krebber<sup>1</sup>, A. Bronkhorst<sup>2</sup>, P. Giua<sup>3</sup>, T. Fedtke<sup>4</sup>

<sup>1</sup>HEAD acoustics GmbH (D), <sup>2</sup>TNO-TM (NL), <sup>3</sup>IDAC (I), <sup>4</sup>PTB (D)

## Einleitung

Die Bemühungen um den Lärmschutz am Arbeitsplatz und in Wohngebieten haben in den letzten Jahrzehnten zugenommen, und zwar sowohl im Hinblick auf Schädigungen des Gehörs als auch in Bezug auf die Lärmbelastigung.

Die tatsächliche individuelle Schalldosis ist jedoch oft schwer zu ermitteln. Eine Möglichkeit zur genauen Bestimmung der Schalldosis besteht darin, ein Schalldosimeter zu tragen, jedoch weisen die meisten handelsüblichen Geräte einige Beschränkungen auf:

- Die Schallaufnahme erfolgt nicht an der für das Gehör relevanten Stelle, also im Ohr.
- Meist reicht der verwendete Pegelbereich nicht aus, um sowohl Impulsgeräusche mit hohen Spitzenpegeln als auch lästige Geräuschmuster mit niedrigem Pegel auszuwerten.
- Meist wird nur ein Grundparameter, die integrierte A-bewertete Schallenergie, bestimmt (s. IEC1252), dies reicht jedoch nicht aus, um z.B. Impulsgeräusche ausreichend zu bewerten.
- Die Verfälschung der Ergebnisse durch die Stimme des Probanden wird vernachlässigt.

Vor diesem Hintergrund wurde 1998 das europäische Verbundforschungsprojekt DOSE (= **D**etermination **O**f **S**ound **E**xposure) gestartet, in dem neue Methoden für Schalldosimeter implementiert und in Feldtests erprobt werden.

Es wurde ein Prototyp entwickelt, der einerseits kompatibel zu konventionellen Dosimetern nach IEC 1252 arbeiten kann, andererseits aber auch die o.g. Beschränkungen überwindet:

- Die Schallsignale werden in beiden Ohren aufgezeichnet und entzerrt, die beiden Signale werden in geeigneter Weise kombiniert.
- Es werden verschiedene Algorithmen zur Bestimmung der Schalldosis für Impulsgeräusche implementiert.
- Darüber hinaus werden laufend Zeitsignalabschnitte und weitere Parameter aufgezeichnet, die mittels einer Nachverarbeitung auf einem Notebook die Bestimmung zahlreicher für die Lärmbelastigung relevanten Parameter erlauben.
- Die Stimme des Probanden wird über einen kleinen Beschleunigungsaufnehmer aufgezeichnet. Daraus wird eine Schätzung des durch den Träger selbst verursachten Anteil an der gemessenen Schalldosis ermittelt.

## Messung im Ohr

Schalldosimeter arbeiten gewöhnlich mit Mikrofonen, die auf der Schulter (ISO 1999) oder an der Brust befestigt werden. Die Vorteile dieser Positionen liegen auf der Hand:

- Einfache Befestigung.
- Einfacher Bezug zu Messungen mit Schallpegelmessern.

Dafür werden aber vier wichtige Aspekte vernachlässigt:

- Interindividuelle Unterschiede im Übertragungsweg vom freien Schallfeld zum Ohr (d.h. in der kopfbezogenen Freifeldübertragungsfunktion).
- Richtungsabhängige Effekte, diese sind insbesondere für Impulsgeräusche von Bedeutung.
- Veränderung des Schallpegels am Ohr durch Gehörschützer, Kopfhörer, (Mobil-)Telefone und andere Gegenstände, die das Ohr abdecken.
- Schallsignale, die von Kopfhörern erzeugt werden und u.U. erheblich zur Schalldosis beitragen

Das neue Dosimeter ist daher mit Mikrofonen ausgestattet, die im Ohr plaziert werden können. Die Idee, die Schalldosis im Ohr statt auf der Schulter zu ermitteln, ist übrigens nicht neu. Sie wurde bereits 20 Jahre zuvor diskutiert (Brammer & Piercy, 1977; Kuhn, 1979). Die Durchführbarkeit solcher Messungen wurde ebenfalls belegt (Brammer & Piercy, 1977; Hart, 1991; Shotland, 1996). Allerdings wurde diese Idee bislang nicht in ein im Handel erhältliches Produkt umgesetzt.

Was nun die genaue Position des Mikrofonen im Ohr betrifft, so muß ein Optimum gefunden werden, das von mehrerem Faktoren bestimmt wird. Die theoretisch beste Stelle, direkt vor dem Trommelfell, scheidet aus, da dies für den allgemeinen Einsatz zu gefährlich ist. Je weiter sich die Mikrofonposition vom Trommelfell entfernt, um so mehr geht von der individuellen Bestimmung der tatsächlichen Schalldosis verloren. Vier Faktoren bzgl. der Transferfunktion Mikrofon - Trommelfell sollten möglichst klein gehalten werden:

- Richtungsabhängigkeit.
- Interindividuelle Unterschiede.
- Empfindlichkeit bzgl. Positionsverschiebungen.
- Abhängigkeit davon, ob das Ohr abgedeckt ist oder nicht.

Im übrigen muß natürlich ein annehmbarer Tragekomfort gewährleistet werden, ansonsten ist das Gerät untauglich für den praktischen Einsatz. Eine Position am Ohrkanaleingang erscheint daher am ehesten geeignet.

## Schädigung durch stationären Lärm

Seit langer Zeit wird der Zusammenhang zwischen Schalldosis und Schädigung des Gehörs untersucht. Daher existieren neben einer umfangreichen Literatur zu diesem Thema auch einige Standards, die die Basis von Lärmschutzmaßnahmen in vielen Ländern bilden.

Der wichtigste Standard ist ISO 1999 (1990). Da für die Festlegung von Schalldosis-Grenzwerten auch ethische, sozialpolitische und ökonomische Faktoren eine Rolle spielen, legt der Standard diese nicht fest. Stattdessen werden statistische Beziehungen zwischen Gehörschädigung einerseits und Schalldosis und Alter andererseits angegeben. Daher sind die Grenzwerte – insbesondere die maximal zulässige tägliche Schalldosis – in den einzelnen Ländern unterschiedlich.

In den USA wird statt des ISO 1999 Standards der nationale OSHA Standard (1972; 1981) angewendet. Der Hauptunterschied liegt in der Integration der Schalldosis. Die „exchange rate“ gibt dabei an, welche Pegelerhöhung erforderlich ist, um die gleiche Schalldosis zu erhalten, wenn die Zeitdauer, in der die Versuchsperson dem Schall ausgesetzt ist, halbiert wird. Bei Anwendung der ISO 1999 (Integration der Energie) ergibt sich ein Wert von 3 dB, im OSHA Standard sind 5dB festgelegt. Die meisten Länder verwenden eine der beiden Raten.

Eine Übersicht der Grenzwerte in verschiedenen Ländern zeigt, daß Unterschiede bis zu 10 dB bestehen sowohl hinsichtlich der max. Schalldosis (80-90 dB(A) über 8 h) als auch der zulässigen Spitzenpegel (130-140 dB SPL).

In der neueren Literatur werden immer wieder die Zusammenhänge zwischen Schalldosis und Schädigung des Gehörs untersucht, insbesondere bzgl. der Trennung zwischen altersbedingter und lärmbedingter Gehörschädigung und die Wahl der „exchange rate“. Trotzdem ist die Auswahl der Algorithmen für ein Schalldosimeter in diesem Anwendungsfall (Schädigung durch stationären Lärm) relativ einfach: Die in den meisten handelsüblichen Dosimetern implementierte Methode scheint ausreichend zu sein: Integration der Schall-„Energie“ mit Werten für die „exchange rate“ zwischen 3 und 6 dB,

## Schädigung durch impulshaltigen Lärm

Ein komplexeres Bild ergibt sich bei den Vorschlägen zur Bestimmung der Schalldosis von Impulsgeräuschen. Trotz des Trends in manchen Ländern, auch hier den A-bewerteten Dauerschalldruckpegel  $L_{Aeq}$  zu verwenden, werden in der Regel Berechnungsmethoden eingesetzt, die auf Spitzenpegel und Dauer der einzelnen Impulse einerseits und der Häufigkeit derselben andererseits beruhen. Zum Teil werden zusätzliche Korrekturwerte verwendet abhängig von der Orientierung des Hörers zur Schallquelle.

Zur Definition der Impulsdauer sind 4 Ansätze verbreitet:

- A-Dauer: Zeit vom Beginn des Impulses bis zum ersten Nulldurchgang (CHABA, 1968; nur für einfache Zeitverläufe geeignet).
- B-Dauer: Die Zeitsumme, in der die Hüllkurve des Zeitsignals nicht mehr als 20 dB unter dem Spitzenwert liegt. (CHABA, 1968; für komplexere Zeitverläufe).
- C-Dauer: Die Zeitsumme in der die Amplitude (nicht die Hüllkurve) des Zeitsignals nicht mehr als 10 dB unter dem Spitzenwert liegt. (Pfander, 1975).
- D-Dauer: Die Zeitsumme in der die Hüllkurve des Zeitsignals nicht mehr als 10 dB unter dem Spitzenwert liegt. (Smooenburg, 1982).

Im DOSE-Projekt werden alle Methoden parallel verwendet, um direkte Vergleiche zu ermöglichen. Für zukünftige Implementierungen sind komplexere Ansätze (z.B. Gehörmodell von Price und Kalb 1991; 1996) von Interesse.

## Lärmbelästigung

Die größte Vielfalt an Methoden, Vorschlägen und Grenzwerten findet sich für die Anwendung des Schalldosimeters im Hinblick auf die Lärmbelästigung, z.B. durch Straßen-, Schienen- und Luftverkehr, Industrie und viele andere alltäglich anzutreffende Lärmquellen. Je nach Art der Schallquelle werden verschiedene Meßgrößen sowie Zu- oder Abschläge verwendet. Darüber hinaus gibt es Unterschiede entsprechend des Charakters der Schallquelle (z.B. impulshaltig, tonal, etc.). Bzgl. all dieser Parameter bestehen recht große Unterschiede in den einzelnen Ländern.

Außer dem als Grundgröße fast überall verwendeten  $L_{AeqT}$  wurden daher folgende Grundgrößen implementiert:

- Maximal- und Perzentilwerte von (bewerteten) Pegeln bei stationärem Lärm.
- Ausschnitte von Zeitsignalen für weitere Bearbeitung, z.B. zur Detektion tonaler Komponenten oder der Gewinnung spektraler Daten.
- Automatische Detektion von Impulsen.
- $L_{peak}$  (Spitzenpegel von Impulsereignissen).
- Zeitverlauf und Dauer von Impulsereignissen.
- A- bzw. C bewerteter „Sound Exposure Level“ (SEL) von (manuell getriggerten) Ereignissen.

Aus diesen Daten lassen sich in einem Nachverarbeitungsschritt diverse länderspezifische Größen berechnen. Zudem lassen sich daraus auch neue Erkenntnisse für die Entwicklung einheitlicherer Standards ableiten.

## Berücksichtigung der eigenen Stimme

Die Ergebnisse dosimetrischer Messungen werden durch die Stimme des Probanden signifikant beeinflusst, da u.U. erhebliche Schalldruckpegel im Ohr erzeugt werden.

Um diesen Einfluß weitestgehend zu eliminieren, wird die Stimme des Probanden über einen kleinen Beschleunigungsaufnehmer aufgezeichnet. Damit erhält man den Knochenschallanteil der Stimme, aus der eine Schätzung des durch den Träger selbst verursachten Anteil an der gemessenen Schalldosis ermittelt werden kann. Dabei wird in einer Trainingsphase vor Beginn der eigentlichen Meßperiode der Zusammenhang zwischen Knochen- und Luftschall erfaßt. Da dieser Zusammenhang stark von der Bewegung des Vokaltrakts und damit vom gesprochenen Laut abhängt, erfolgt

die Schätzung des Luftschalls in einem Cluster-basierten Algorithmus.

## Anwendungen

Als weiteres Merkmal besitzt das neue Dosimeter eine Schnittstelle zu standardisierten Kunststoffmeßsystemen. Dies ist vor allem für Langzeitmessungen oder für Messungen mit Gehörschutzstöpseln und/oder unter hohen Schallpegeln von Bedeutung.

Das in DOSE entwickelte Dosimeter ist ein 200g leichtes, programmierbares Gerät. Somit kann es Veränderungen in den Standards oder zu Forschungszwecken leicht an die Anforderungen angepaßt werden. Das DOSE Projekt selbst wird zu zukünftigen Standards wertvolle Beiträge liefern.

Die in diesem Beitrag dargestellte Arbeit wird unterstützt durch die europäische Kommission., Projekt DOSE, SMT4-CT98-2251.

## Literatur

Brammer, A.J. & Piercy, J.E. (1977). Monitoring sound pressures within the ear: application to noise exposure. J. Acoust. Soc. Am. 61, 731-738.

CHABA (1968). Proposed damage-risk criterion for impulse noise (gunfire). Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics, National Academy of Sciences. National Research Council.

Hart, M.D. (1991). Measurement of sound using a microphone in the ear. Proc. Inter-Noise 91, 1065-1068.

ISO 1999 (1990). Acoustics. Determination of occupational noise exposure and estimate of noise-induced hearing impairment. International Organization for Standardization, Geneva.

Kuhn, G.F. (1979). The pressure transformation from a diffuse sound field to the external ear and to the body and head surface. J. Acoust. Soc. Am. 65, 991-999.

OSHA (1972). Occupational noise exposure. 29 CFR, Part 1910.95. Occupational Safety and Health Administration.

OSHA (1981). Occupational noise exposure: Hearing conservation amendment. 46 Fed. Reg. Occupational Safety and Health Administration. Pp. 4078-4179.

Pfander, F. (1975). Das Knalltrauma. Springer-Verlag, Berlin.

Price, G.R., & Kalb, J.T. (1991). Insights into hazard from intense impulses from a mathematical model of the ear. J. Acoust. Soc. Am. 90, 219-227.

Price, G.R., & Kalb, J.T. (1996). Presentation of the ARL ear model. Meeting of RSG 29, Panel 8, AC/243 on July 9-11, 1996.

Shotland, L.I. (1996). Dosimetry measurements using a probe tube microphone in the ear canal. J. Ac. Soc. Am. 99, 979-984.

Smooenburg, G.F. (1982). Damage risk criteria for impulse noise. In: New Perspectives on Noise-Induced Hearing Loss. Hamernik, R.P., Henderson, D. & Salvi, R. (Eds.) Raven Press, New York. Pp. 471-490.

Suter, A.H. (1996). Current standards for occupational exposure to noise. In: Scientific Basis of Noise-Induced Hearing Loss. Axelsson, A., Borchgrevink, H., Hamernik, R.P., Hellstrom, P.-A., Henderson, D. & Salvi, R.J. (Eds.). Thieme, New York. Pp. 430-436.