

1. Einleitung

Umweltgeräusche nimmt das menschliche Gehör weitestgehend unbewußt wahr. Sie beeinflussen unser Wohlbefinden. Für hohe Pegel ist natürlich zunächst die A-bewertete Schalldruckpegelmessung ausreichend, um zu erkennen, inwieweit eine Gefährdung oder auch teilweise eine Belästigung des Menschen durch Umweltlärm vorliegt.

Aber unabhängig vom Pegel oder auch von Lautheit erzeugen Klangereignisse völlig unterschiedliche Hörereignisse in Abhängigkeit der spektralen Verteilung, zeitlichen Struktur, räumlichen Anordnung und des Informationsgehaltes. Ein Sinfonieorchester bei gleichem Pegel vergleichbar zu einem Preßlufthammer wird sicher als angenehmer empfunden. Zwei räumlich verteilte Schallquellen mit gleichem Pegel wirken sich auf das menschliche Gehör intensiver aus als eine Schallquelle mit 3 dB höheren Pegel. Eine bewegte Schallquelle erzeugt eine stärkere physiologische Reaktion als eine stationäre /1/. Zur Vorhersage der subjektiv empfundenen Geräuschqualität von Umweltgeräuschen ist daher der Einsatz der binauralen gehörrichtigen Wiedergabe empfehlenswert. Inzwischen ist es nicht nur möglich, mit Hilfe der Kunstkopf-Meßtechnik eine hervorragende originalgetreue Reproduktion von Schallereignissen durchzuführen, sondern darüber hinaus besteht die Möglichkeit, mit Hilfe der digitalen Signalverarbeitung auch eine virtuelle binaurale Auralisation zu schaffen oder mit bestehenden Kunstkopfaufnahmen zu verbinden, um neue Schallquellen in eine akustische Umgebung stationär oder auch bewegt zu plazieren. Die subjektive Beurteilung einer Geräuschsituation, deren Beeinflussung durch Hinzufügen oder auch Entfernen von Schallquellen, erfolgt so wirklichkeitsgetreu im Labor, um Auswirkungen auf das subjektive Empfinden vorherzusagen.

2. Binaurales Hören

Besteht das Schallereignis nicht nur aus einer einzelnen, sondern aus mehreren Schallquellen, die darüber hinaus auch noch räumlich verteilt sind, so ist für die korrekte Beurteilung die binaurale Signalverarbeitung erforderlich /2/. Binaurale Technologie beinhaltet Schallaufnahmen mit einem Kunstkopf-Meßsystem und die Einbeziehung eines Auswertalgorithmus vergleichbar zum menschlichen Gehör. Das menschliche Gehör hat zwei Eingangskanäle, die das räumliche Hören in Verbindung mit der Selektivität ermöglichen und somit beim Vorhandensein von mehreren räumlich verteilten Schallquellen zu anderen Ergebnissen führt als konventionelle Meßverfahren.

Die Ursachen für die unterschiedlichen Auswirkungen liegen zum einen begründet in der Filtercharakteristik des menschlichen Außenohres und zum anderen in der binauralen Signalverarbeitung des menschlichen Gehörs. Aufgrund der Beugung und Reflexion an Oberkörper, Schulter, Kopf und Ohrmuschel weist das menschliche Außenohr eine richtungsabhängige Filterwirkung auf, die den Schalldruck in Abhängigkeit der Frequenz und der Schalleinfallrichtung in einer Größenordnung von + 15 bis - 30 dB wichtet. Zudem entstehen durch die räumliche Lage der beiden Ohrkanäleingänge zueinander in Abhängigkeit von der Schalleinfallrichtung signifikante interaurale Pegel- und Phasenunterschiede, die das Gehör für die binaurale Signalverarbeitung verwendet.

3. Physiologische Reaktion

Eine veränderte räumliche Verteilung von Schallquellen führt auch zu einer unterschiedlichen Reaktion in der Fingerpulsamplitude (FPA) /1/. Ein multidirektionales Geräusch ruft bei den Probanden zwar nur eine geringfügig stärkere Initialreaktion hervor, im weiteren Verlauf stellen sich aber große Unterschiede in der Rückregulation dar (Abb. 1). Während beim unidirektionalen Geräusch die Fingerpulsamplituden nach eineinhalb Minuten nahezu wieder den Ausgangswert erreicht haben, ist beim multidirektionalen Geräusch die Rückregulation stark behindert. Dies läßt sich auch an der großen Differenz der FPA-Mittelwerte während der Beschallung ablesen. Beim unidirektionalen Geräusch liegt sie im Mittel bei 83,3 % ($\pm 32,0$) des Ausgangswertes, beim multidirektionalen bei 68,3 % ($\pm 25,5$).

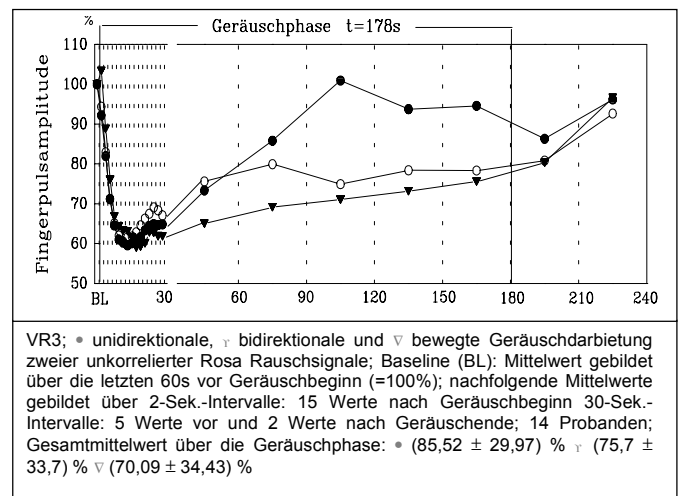


Abb. 1: Fingerpulsamplitude bei der Wiedergabe des uni-, des multidirektionalen und des bewegten Geräusches /1/

Werden die Geräuschquellen bewegt, so zeigt die Abb. 1 eine stärkere physiologische Reaktion insbesondere mit einer noch ungünstigeren Rückregulierung im Vergleich zur stationären Situation. Die Rückregulation zum Ausgangswert bleibt bei dem bidirektionalen und bei dem bewegten Geräusch jedoch aus. Zusätzlich zeigt sich bei dem bewegten Geräusch, daß die FPA-Veränderungen den gleichen Rhythmus wie die Bewegung der Testsignale aufweisen.

4. Mehr Schall – weniger Lästigkeit?

Normalerweise wird angenommen, daß mit der Reduzierung des Schalldruckpegels oder auch der Lautheit eine Verbesserung der Geräuschqualität einhergeht. Diese Aussage ist nur begrenzt gültig, da grundsätzlich die Geräuschqualität und damit auch die Lästigkeit von Schallereignissen stärker von zeitlichen und spektralen Strukturen abhängig ist. Das menschliche Gehör ist in der Lage, sich adaptiv an eine Geräuschsituation anzupassen /3/. Unabhängig von dem absoluten A-bewerteten Schalldruckpegel oder der Lautheit führen nur die für das Schallereignis relevanten Klangmuster zu dem subjektiv empfundenen Hörereignis. In einem A/B-Vergleichs-Hörtest beurteilen Versuchspersonen zwei bis auf den Pegel identische Kunstkopfaufnahmen hinsichtlich der Lästigkeit und der Klangqualität als identisch, wenn zwischen den

beiden Darbietungen eine kleine Pause (z.B. 1 Minute) eingelegt wird. Dieses Verhalten wird an einem einfachen Beispiel demonstriert. Mit Hilfe des Gehörmodells /4/ läßt sich sehr gut die psychoakustische Empfindungsgröße „Impulsivness“ beschreiben. Vergleicht man nun die Impulsivness eines Dieselmotors mit dem Impulsivness des selben Dieselmotors aber mit einem zusätzlichen Rauschsignal überlagert, entsteht – wie Abbildung 2 zeigt – eine deutliche Reduktion auf ca. 25% bezüglich der Impulsivness.

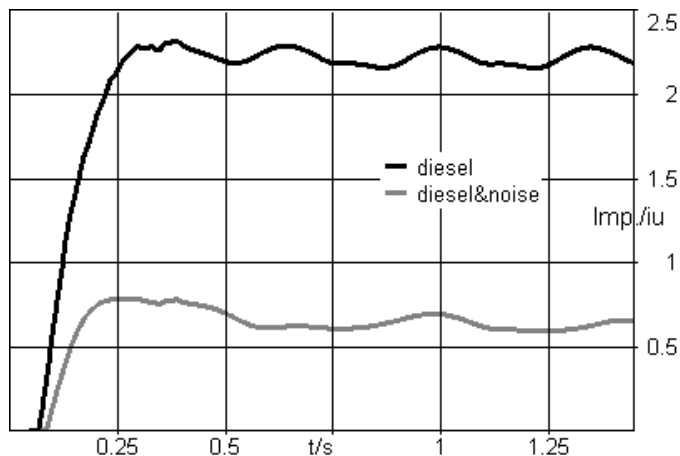


Fig. 2: Impulshaltigkeit basierend auf dem Gehörmodell /4/ mit zwei verschiedenen Geräuschereignissen

Ähnliches gilt für die sogenannte Analyse entsprechend dem „Relative Approach“ /3/. Das heißt, hier wird ausgehend von der Adaptivität des menschlichen Gehörs nur die für die Klangbeurteilung relevanten Zeit- und Frequenzmuster erkannt. Für die gleiche Signalkombination ist in Abbildung 3 das Ergebnis der Analyse nach dem „Relative Approach“ dargestellt.

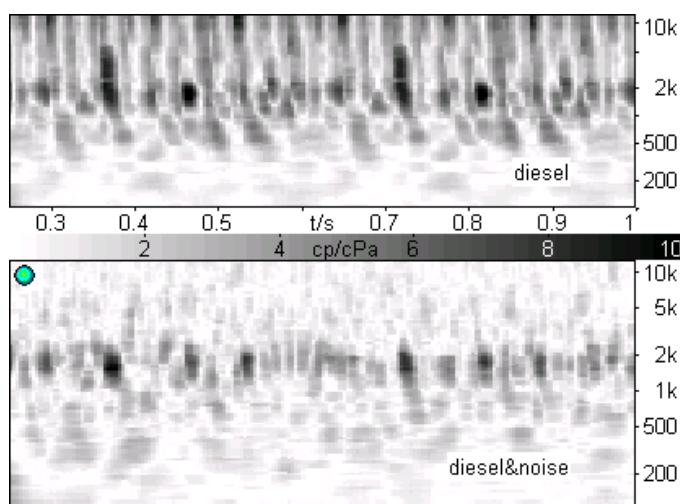


Fig. 3: „Relative Approach“ Analyse /3/

Auch hier ergeben sich signifikante Unterschiede. Das Dieselgeräusch mit zusätzlichem Rauschen gemischt wird entsprechend dem „Relative Approach“ als deutlich unauffälliger trotz höherer Lautheit und trotz höherem A-bewerteten Schalldruckpegel erfaßt als das reine Dieselgeräusch. Daraus folgt für die Praxis, daß es für die Schaffung einer angenehmen Geräuschlandschaft (SoundScape) in der Umwelt oder auch an Arbeitsplätzen nicht unbedingt erforderlich ist, eine weitere

Reduktion des A-bewerteten Schalldruckpegels durchzuführen, insbesondere dann, wenn der A-bewertete Schalldruckpegel in einer Größenordnung liegt, wo eine physikalische Gefährdung des Gehörs auszuschließen ist. Vielmehr muß durch geeignete Gestaltung des SoundScapes erreicht werden, daß die Lästigkeit reduziert wird durch Vermeidung von auffälligen zeitlichen und spektralen Strukturen. Eine solche Vorhersage ist besonders gut möglich basierend auf einer binauralen Simulation einer Geräuschlandschaft, die durch gehörrichtigen räumliches Hinzumischen von virtuellen Schallquellen zunächst im Labor untersucht, wie eine bestehende Geräuschlandschaft hinsichtlich der subjektiv empfundenen Lästigkeit verbessert werden kann.

5. Zusammenfassung

Die binaurale Kunstkopf-Technologie ermöglicht eine gehörrichtige Erfassung von jeglichen Geräuschsituationen in der Umwelt und am Arbeitsplatz. Die binaurale Simulation in Verbindung mit den original Kunstkopf-Aufnahmen führt dann zu einer virtuellen akustischen Umwelt, die schon im Vorfeld eine Aussage bezüglich der subjektiv empfundenen Geräuschqualität ermöglicht. Unter Berücksichtigung der Adaptivität des menschlichen Gehörs können so akustische Szenarien vorhergesagt werden, die möglichst auch eventabhängig störende Geräuschkomponenten aus der Umwelt hinsichtlich ihrer zeitlichen Struktur in der spektralen Verteilung so beeinflussen, daß für die Betroffenen ein angenehmes Klangbild entsteht.

Hinweis: Eine großer Teil dieser Ergebnisse basieren auf eine vom BMFT beauftragten Untersuchung „Entwicklung einer Meßtechnik zur physiologischen Bewertung von Lärmeinwirkung unter Berücksichtigung der psychoakustischen Eigenschaften des menschlichen Gehörs“ /1/.

6. Literatur

- /1/ K. Genuit, J. Blauert, M. Bodden, G. Jansen, S. Schwarze, V. Mellert, H. Remmers:
Entwicklung einer Meßtechnik zur physiologischen Bewertung von Lärmeinwirkungen unter Berücksichtigung der psychoakustischen Eigenschaften des Menschlichen Gehörs
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 774, Dortmund/Berlin 1997
- /2/ K. Genuit
Einsatz der Kunstkopf-Meßtechnik für die subjektive und objektive Geräuschdiagnose
14. AICB Kongreß Lärmbekämpfung Basel (Schweiz)
Tagungsband S. 19.1-19.16., Oktober 1986
- /3/ K. Genuit
Objective Evaluation of Acoustic-Quality Based on a Relative Approach
Inter-Noise'96, 30.07.-02.08.1996, Liverpool, England
- /4/ R. Sottek
Modelle zur Signalverarbeitung im menschlichen Gehör
Dissertation RWTH-Aachen 1992, Verlag M. Wehle