

1. Einleitung

Die Beurteilung einer akustischen Umwelt ist eine mehrdimensionale Aufgabe. Sie hängt ab von dem A-bewerteten Schalldruckpegel und der spektralen Verteilung der Signalquellen. Sie wird beurteilt durch das menschliche Gehör, dessen Schallwahrnehmungsmechanismen mit psycho-akustischen Parametern wie Lautheit, Schärfe, Rauigkeit, Schwankungsstärke usw. beschrieben werden können. Weitere Parameter, die für eine vollständige Erfassung einer akustischen Umwelt erforderlich sind, ist die Frage nach der Anzahl der Schallquellen, deren räumliche Verteilung und eventuell deren Bewegung hinsichtlich Richtung und Geschwindigkeit /1/. Die Frage allerdings, ob ein Umweltgeräusch eine belästigende Auswirkung hat, wird alleine mit diesen Parametern nicht hinreichend beantwortet. Der Informationscharakter einerseits und die persönliche Einstellung des betroffenen Zuhörers andererseits beeinflussen in einem weiten Bereich die subjektive Empfindungsweise einer akustischen Umwelt. Diese Auflistung von unterschiedlichen Parametern verdeutlicht, dass für eine gehörrichtige Beurteilung einer akustischen Umwelt einfache Messverfahren, wie die A-bewertete Schalldruckpegelmessung basierend auf der Schallaufnahme mit einem Messmikrofon, nicht in der Lage sind, ein vollständiges Abbild der realen Situation zu gewährleisten. Die Kunstkopftechnik hat sich seit einiger Zeit bewährt, als objektives zum menschlichen Gehör vergleichbares Aufnahmesystem eine Gewichtung des Schalls in Abhängigkeit der Schalleinfallrichtung durchzuführen /2/. Darüber hinaus sind aber auch Kunstkopf-Aufnahmen dazu geeignet, mit Hilfe von Hörversuchen auch eine gehörrichtige Reproduktion von einer akustischen Umwelt zur Erzielung von vergleichbaren Hörereignissen zu realisieren. Die bekannten psychoakustischen Berechnungsverfahren für Lautheit, Schärfe, Rauigkeit und Schwankungsstärke verfolgen darüber hinaus den Zweck, neben der A-bewerteten Schalldruckpegelbetrachtung eine gehörgerechte Geräuschbeurteilung zu ermöglichen.

2. Gehörgerechte Schallanalyse

Das menschliche Gehör nimmt aufgrund der Außenohrcharakteristik Schallereignisse aus unterschiedlichen Schalleinfallrichtungen unterschiedlich laut wahr. Des Weiteren ist das Gehör in der Lage, aufgrund der binauralen Signalverarbeitung den einzelnen Hörereignissen Schalleinfallrichtungen zuzuordnen, Bewegung zu erkennen und darüber hinaus in einer komplexen Geräuschsituation Einzelschallereignisse zu selektieren. Die psychoakustischen Berechnungsverfahren /3/ führen in Abhängigkeit der zeitlichen Struktur und der spektralen Verteilung zu differenzierteren Aussagen im Vergleich zur A-bewerteten Schalldruckpegelmessung. So empfindet das menschliche Gehör eine schmalbandige Schallquelle bei unverändertem A-bewerteten Schalldruckpegel im Vergleich zu einer breitbandigen als leiser. Schallquellen mit einem verstärkten Pegel in höherfrequenten Spektralbereichen führen zu einer Schärfe, die in der Regel die Lästigkeit von Geräuschen vergrößert. Zeitliche Strukturen, insbesondere hervorgerufen durch Modulationen lassen Schwankungen oder Rauigkeiten entstehen, die wiederum ein Geräusch auffälliger und auch unangenehmer erscheinen lassen. Solche Eigenschaften bleiben zum Teil auch erhalten, wenn der Pegel der Schallquelle breitbandig reduziert wird. Das menschliche Gehör ist in erster Linie ein sogenannter Mustererkennungsprozess, der ganz bestimmte spektrale Muster und zeitliche Strukturen unabhängig vom absoluten Pegel dedektiert /4/. Das heißt, das menschliche Gehör adaptiert an einen Grundgeräuschpegel und erfasst

im wesentlichen nur die relevanten Muster in Zeit- und im Frequenzbereich. Ein Schallereignis, das aufgrund ganz bestimmter Merkmale hervorgerufen durch zeitliche und spektrale Strukturen als lästig eingestuft wird, wird diese Eigenschaft unverändert aufweisen bei einer Reduktion von z.B. 3 dB.

3. Abhängigkeit der Lästigkeit von der Entfernung

Für die Vorhersage einer akustischen Umwelt in Abhängigkeit der Entfernung werden häufig einfache Berechnungsverfahren eingesetzt, die entsprechend dem Abstandsgesetz für Schallquellen eventuell unter bestimmter Berücksichtigung von Ausbreitungseigenschaften die Entwicklung des A-bewerteten Schalldruckpegels in Abhängigkeit des Abstandes versuchen zu prognostizieren. Um die Gültigkeit solcher Berechnungsverfahren unter psychoakustischen Gesichtspunkten zu verifizieren, wurde ein folgendes Versuchskonzept realisiert. Als Schallereignis diente die Vorbeifahrt eines Pkw's. Gemessen wurden die Zeitsignale an vier verschiedenen Positionen, 7 m Abstand, 25 m, 50 m und 100 m Abstand. Die Erfassung der Zeitsignale an diesen vier Positionen erfolgte mit einem freifeldentzerrten Kunstkopf, um einerseits messtechnische Daten ableiten zu können und andererseits diese Signale in Form von Hörversuchen auch einer subjektiven Beurteilung durch Testpersonen zuzuführen.

Abb. 1 zeigt das gemittelte Terzspektrum A-bewertet für die vier Messpositionen. Der A-bewertete Schalldruckpegel verhält sich entsprechend dem Abstandsgesetz, d.h. eine Verdopplung der Entfernung führt ungefähr zu einer Halbierung des A-bewerteten Schalldruckpegels. Die Terzanalysen zeigen jedoch, dass die Spektren nicht breitbandig parallel verschoben werden, sondern dass spektrale Veränderungen zu beobachten sind.

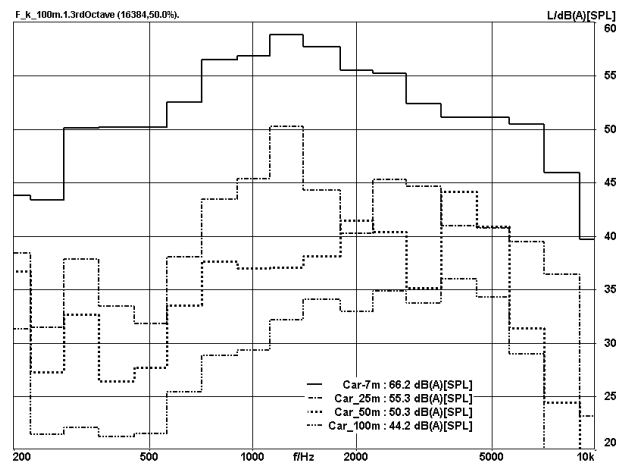


Abb. 1: Gemitteltes Terzspektrum A-bewertet für vier verschiedene Messpositionen, Pkw Vorbeifahrt, 50 km/h

Abb. 2 zeigt den Pegelverlauf in Abhängigkeit der Zeit für die Vorbeifahrtmessung gemessen an den vier Positionen, im Vergleich dazu in Abb. 3 die Lautheit. Hier trifft aufgrund der in Abb. 1 dargestellten spektralen Veränderungen die Aussage nicht mehr zu, dass eine der Abstandsveränderung entsprechende Lautheitsreduzierung eintritt. Insbesondere auffällig ist die Lautheitsänderung von der Position 25 m Entfernung zu 50 m Entfernung, die eine Reduktion von 5 dB(A) messtechnisch ergibt, jedoch nur eine Reduktion der Lautheit von 1,7 sone. Noch interessanter werden die Ergebnisse, wenn andere psychoakustische Auswerteverfahren herangezogen werden.

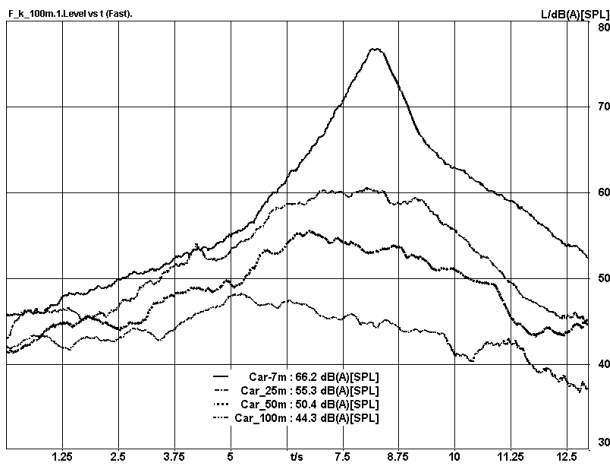


Abb. 2: A-bewerteter Pegel

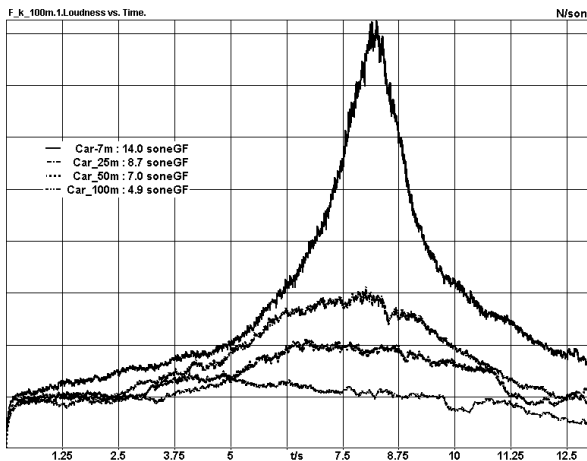


Abb. 3: Lautheitsverlauf

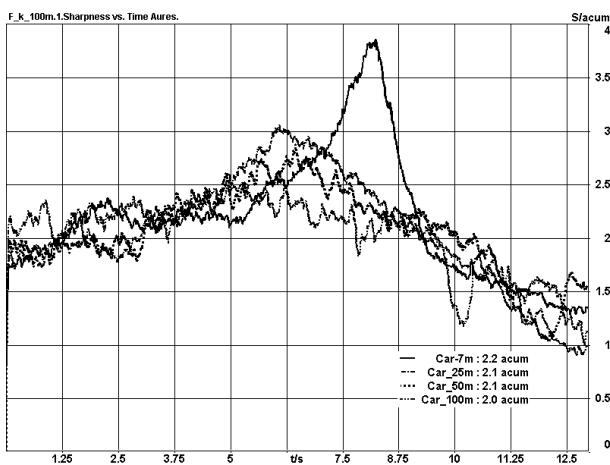


Abb. 4: Verlauf der Schärfe

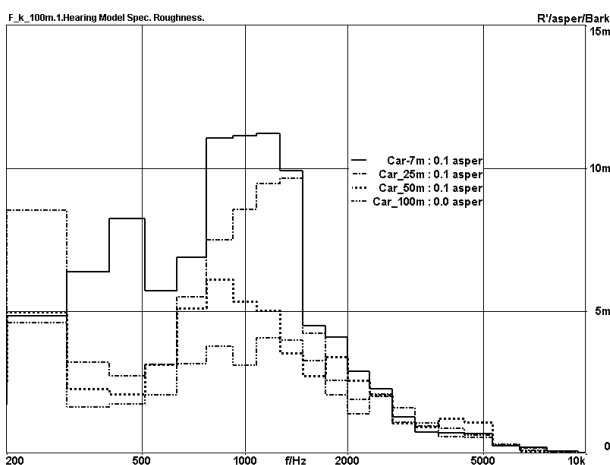


Abb. 5: Spezifische Rauigkeit

In Abb. 4 ist der Verlauf der Schärfe (Aures /5/) während der Vorbeifahrt für die vier unterschiedlichen Messpositionen gezeigt. Für die Position 25 m, 50 m und 100 m sind nahezu keine Unterschiede im Verlauf der Schärfe zu beobachten. Auch der Mittelwert über das betrachtete Zeitfenster ist nahezu konstant. Ein ähnliches Ergebnis ergibt sich bei der Betrachtung der spezifischen Rauigkeit in Abb. 5. Abb. 6 gibt das Ergebnis einer Modulationsspektralanalyse wieder, die auch die geringe Abhängigkeit von der Entfernung verdeutlicht.

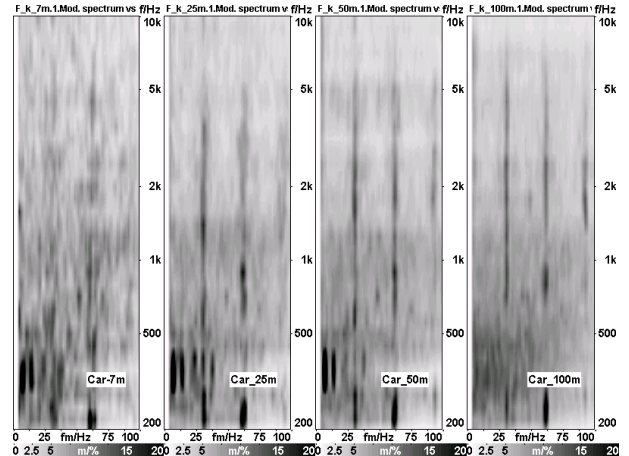


Abb. 6: Modulationsspektren vs. Frequenz

4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus dieser einfachen Vorbeifahrtanalyse zeigen, dass unter psychoakustischen Gesichtspunkten eine Voraussage der Lärmbelästigung durch Hinzufügen von Einzelschallquellen in einer akustischen Umwelt nicht sinnvoll gehörlich möglich ist. Die Transformation von psychoakustischen Kenngrößen einer Schallquelle gemessen im Nahfeld lassen sich nicht mit einfachen Berechnungsverfahren auf das Fernfeld umrechnen. Im einfachsten Fall sind zumindest Kenntnisse über die spektrale Veränderungen eines Geräusches in Abhängigkeit der Entfernung erforderlich. In einer komplexen Beschallungssituation mit mehreren räumlich verteilten Schallquellen wird die Vorhersage der Geräuschqualität innerhalb einer akustischen Umwelt noch schwieriger, da sich die Signalanteile von verschiedenen Schallquellen überlagern, das menschliche Gehör aufgrund der Selektivität in der Lage ist, Einzelschallquellen herauszufiltern und hinsichtlich der Lästigkeit zu beurteilen.

5. Literatur

- /1/ K. Genuit, et.al., **Entwicklung einer Meßtechnik zur physiologischen Bewertung von Lärmeinwirkungen unter Berücksichtigung der psychoakustischen Eigenschaften des Menschlichen Gehörs**, Schriftenreihe der BAU, 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, Okt. 1986
- /3/ E. Zwicker, H. Fastl; **„Psychoacoustics, Facts and Models“**, Springer Verlag, 1990, Berlin, Heidelberg NY
- /4/ K. Genuit; **Objective Evaluation of Acoustic Quality Based on a Relative Approach**, Inter-Noise'96, 30.07.-02.08.1996, Liverpool, England
- /5/ W. Aures, **Berechnungsverfahren für den Wohlklang beliebiger Schallsignale**, Dissertation, TU-München, 1984