

AG Qualität
INSTITUT FÜR MATHEMATIK

Windelberg, D.
Typische
Frequenzverteilung
Analyse
einer problematischen Definition
9. Mai 1994



Dr. Dirk Windelberg
AG Qualität, Institut für Mathematik, Universität Hannover
Welfengarten 1, D-30167 Hannover, Germany

Typische Frequenzverteilung - Analyse einer problematischen Definition

D. Windelberg, Hannover

Zusammenfassung. Bei Felduntersuchungen zur Lästigkeit wird nur unterschieden, ob der Lärm vom Straßen- oder vom Schienenverkehr verursacht wird; es bleibt unberücksichtigt, wie stark Schwerlast- bzw. Güterverkehr an der Lärmerzeugung beteiligt ist. Zu jeder Art der Lärmerzeugung gehört eine meßbare Verteilung der Frequenzen. Hier wird an Hand eines Beispiels gezeigt, daß eine Mittelung über verschiedene Frequenzverteilungen insbesondere für Lästigkeitsuntersuchungen nicht zulässig ist.

Schlüsselwörter: Lästigkeitsvergleich - Verkehrslärm - Mittelungspegel - Felduntersuchungen

Characteristical distribution of frequencies - analysis of a problematical definition

Summary. For comparison annoyance of road traffic noise and annoyance of railway noise, in field studies no difference between passenger-train and goods train is documented; instead of it 'the characteristical distribution of frequencies' is introduced. Here we will give an example to show the dubiousness of this definition.

Key words: comparison of annoyance - traffic noise - equivalent sound level - field studies

La distribution de la fréquence caractéristique - une analyse d'un définition problématique

Résumé. Pour comparer l'importunité du bruit routier à l'importunité du bruit ferroviaire, en enquêtes sur le terrain on calcule 'la distribution de la fréquence caractéristique'. Ici, deux exemples relatif à distributions des frequences et enquêtes d'importunités démontrent la possibilité d'interprétation erronée.

Mots clés: comparaison de l'importunité - bruit du trafic - niveau de bruit moyen - enquêtes sur le terrain

1 Ziel

Bei Felduntersuchungen zum Vergleich von Straßen- und Schienenverkehrslärm soll durch Befragungen ermittelt werden, ob die Lästigkeit von Straßenverkehrslärm anders beurteilt wird als die von Schienenverkehrslärm, auch wenn die jeweiligen Lärmmittelungspegel gleich sind (siehe z.B. die umfangreiche Zusammenstellung von Schuemer in [6]). Dabei werden Befragungen an verschiedenen Orten mit verschiedenen Belastungen der Verkehrswege durchgeführt. Gemessen wird i.a. der Lärmmittelungspegel bei Tag und bei Nacht sowie die Anzahl der Fahrzeuge, z.T. getrennt nach Schwerlastverkehr und Personenwagen bzw. nach Güter- und Personenzügen. Bei der Auswertung werden die Lärmmittelungspegel bei Tag und bei Nacht mit den Antworten zur Lästigkeit zusammengefaßt. Derartige Zusammenfassungen von Straßenverkehrslärm werden mit denen für Schienenverkehrslärm verglichen.

Andererseits ist bekannt, daß der Lärmmittelungspegel allein nicht ausreicht, um die Lästigkeit zu beschreiben (vergleiche z.B. Heimerl in [4]). Es wird zwar z.B. in der Münchner Studie [5] unterschieden nach „hoch/niedrig“ (geräusch-)belasteten Gebieten und diese Gebiete werden unterteilt in „Stadt/Land“, aber es wird nicht unterschieden nach „Art der Fahrzeuge“. Anstelle einer solchen Berücksichtigung von Schwerlast- bzw. Güterverkehr wurde ersatzweise angenommen, daß es eine charakteristische, überall anwendbare

- *typische* Frequenzverteilung für Straßenverkehrslärm und
- *typische* Frequenzverteilung für Schienenverkehrslärm

gibt. (Hier wird *Frequenz* nicht im Sinne von *Anzahl pro Zeit* verwendet, sondern zur Kennzeichnung der Tonhöhe.) Solche Verteilungen wurden in [1] ohne Literaturhinweis angegeben. Sie wurden dennoch immer wieder zitiert (z.B. im Jahre 1979 in [3] mit Bild 3 auf Seite 45 oder im Jahre 1992 in [4] mit Bild 2 auf Seite 487) und interpretiert.

Hier soll an einem Beispiel gezeigt werden, daß es „die typische Frequenzverteilung“ weder für Straßenverkehrslärm noch für Schienenverkehrslärm gibt.

2 'Typische Frequenzverteilung'

2.1 Zur Definition

Wie oben bereits erwähnt, findet sich in [1] die „typische“ Frequenzverteilung sowohl für Straßen- als auch für Schienenverkehrslärm. Sie ist in Abbildung 1 durch die dünne und die mitteldicke Linie angegeben; zur einfacheren Lesbarkeit wurden in der Abbildung alle Linien auf gleichen Schalldruckpegel bei 1000 Hz bezogen. Die dicke Linie wurde in [2] (Bild 3a) angegeben: Sie ist das Ergebnis einer Mittelung von 10 Frequenzspektren, die bei Zugvorbeifahrten von IC-Zügen mit Dieselloks der BR 232/234 (unter Last) entstanden.

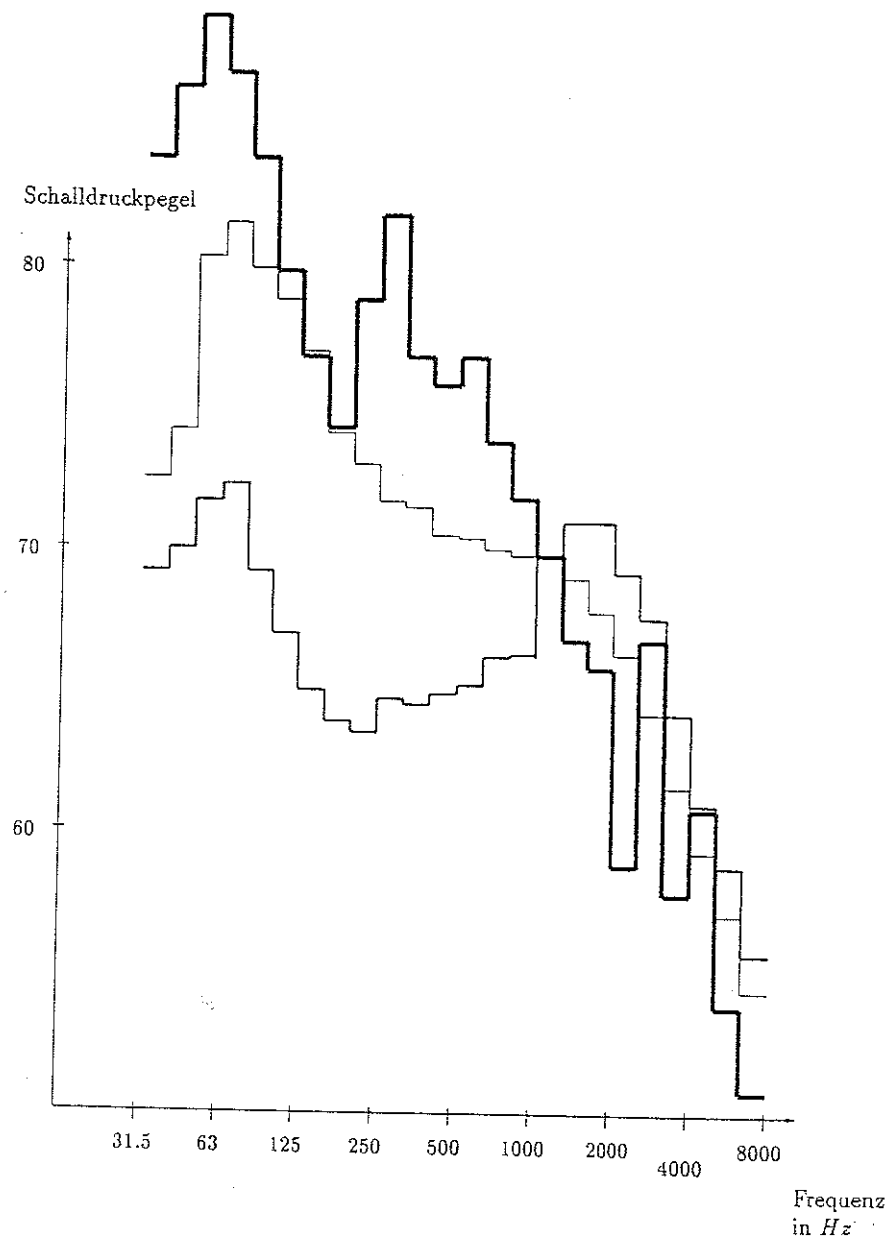


Abbildung 1:

- dünne Linie (aus [1]): typischer Straßenverkehrslärm
- mitteldicke Linie (aus [1]): typischer Schienenverkehrslärm
- dicke Linie (aus [2]): typischer IC-Zug mit Diesellok BR 232/234

Es ist nicht erkennbar, daß die dicke Linie dem Schienenverkehrslärm zuzurechnen ist. Grundsätzlich sollte „typische Verteilung“ andeuten, daß diese Verteilung unabhängig von allen vorkommenden Randbedingungen wie

- örtlichen Gegebenheiten (Brücke, Tunnel, Geländeeinschnitt, Fahrbahnoberfläche bzw. Gleisbett, Wetter)
- Fahrzeugarten (Schwerlast-, Last- und Personenverkehr bzw. Güter- ICE-, D- oder Nahverkehr)

den Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm beschreibt. Die dicke Linie in Abbildung 1 zeigt jedoch, daß z.B. der von einem von einer Diesellokomotive gezogenen IC-Zug Lärm eine andere Charakteristik aufweist als die mitteldicke Linie, die den typischen Schienenverkehrslärm charakterisieren soll.

Wie aber können örtliche Gegebenheiten so ausgewählt werden, daß der Mittelwert „typisch“ genannt werden kann? Dazu werden hier drei mögliche Auswahlkriterien zur Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten vorgestellt werden, die jeweils zu verschiedenen „typischen Frequenzverteilungen“ eines Verkehrsweges führen:

N sei die Anzahl der vorgesehenen Messungen.

1. Wenn G die Gesamtkilometerzahl des Verkehrsweges ist, werde jeweils alle G/N Kilometer ein Meßpunkt eingerichtet und hier die über die Zeit gemittelte Frequenzverteilung bestimmt. (Wenn z.B. $N = 4$ Messungen vorgesehen sind und $G = 100 \text{ km}$ Verkehrsweg zu untersuchen ist, so wäre genau alle 25 km ein Meßpunkt einzurichten.)
2. Wenn A die Gesamtzahl der Anlieger des Verkehrsweges ist, werde für jeweils jeden A/N -ten Anlieger die ihn persönlich betreffende, über die Zeit seiner Anwesenheit gemittelte Frequenzverteilung bestimmt. (Wenn z.B. $N = 4$ Messungen vorgesehen sind und $A = 1000$ Anlieger zu berücksichtigen sind, so wäre genau bei jedem 250-ten Anlieger ein Meßpunkt einzurichten.) - Dabei wird hier auf eine Definition für „Anlieger an einem Verkehrsweg“ bewußt verzichtet: Nicht nur der Parameter

- Entfernung vom Verkehrsweg,

sondern auch die Parameter

- Alter (in [5] wurde ein Mindestalter von 18 Jahren angegeben),
- Informationsstand (in [8] wird die Abhängigkeit des Informationsstandes eines Anliegers von seinem Urteil zur Lästigkeit untersucht),
- materielle Verhältnisse (in [8] wird die Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft eines Anliegers zur Verringerung des Lärms von seinem Urteil zur Lästigkeit untersucht) und
- Zugehörigkeit z.B. zu „Deutsche Bahnen“

sind bei einer Definition und Auswahl von „Anliegern“ zu einer Befragung nach Lästigkeit zu berücksichtigen.

3. Wenn F die Gesamtzahl der auf dem Verkehrsweg fahrenden Fahrzeuge ist, werde für jeweils jedes F/N -te Fahrzeug die Frequenzverteilung des Fahrgeräusches bestimmt. (Wenn z.B. $N = 4$ Messungen vorgesehen sind und $F = 400$ Fahrzeuge zu berücksichtigen sind, so wäre genau für jedes 100-te Fahrzeug ein Meßprotokoll zu erstellen.)

Wenn daher „die typische Frequenzverteilung“ für einen Verkehrsweg definiert werden soll, so ist das verwendete Auswahlkriterium als wesentlicher Bestandteil der Definition anzugeben.

2.2 Zur Mittelwertbildung

Aus der Abbildung 1 wird bereits deutlich, daß nicht erkennbar ist, ob die dicke Linie (der IC-Züge mit Diesellok) etwa eine „zulässige“ Abweichungen von der mitteldicken Linie (des Schienenverkehrslärms) ist oder vielleicht eher der dünnen Linie (des Straßenverkehrslärms) zuzurechnen ist. Vielleicht wurden von Dieselloks gezogene IC-Züge bei dem Auswahlverfahren für Schienenverkehrslärm auch nicht berücksichtigt. Auch bei der in Abbildung 2 durch eine dicke Linie dargestellten Frequenzverteilung, die von Ullrich

in [7] für Straßenverkehrslärm bei freier Schallausbreitung angegeben wird, ist aus der Abbildung nicht erkennbar, ob diese Frequenzverteilung eher Straßen- oder eher Schienenverkehrslärm darstellt.

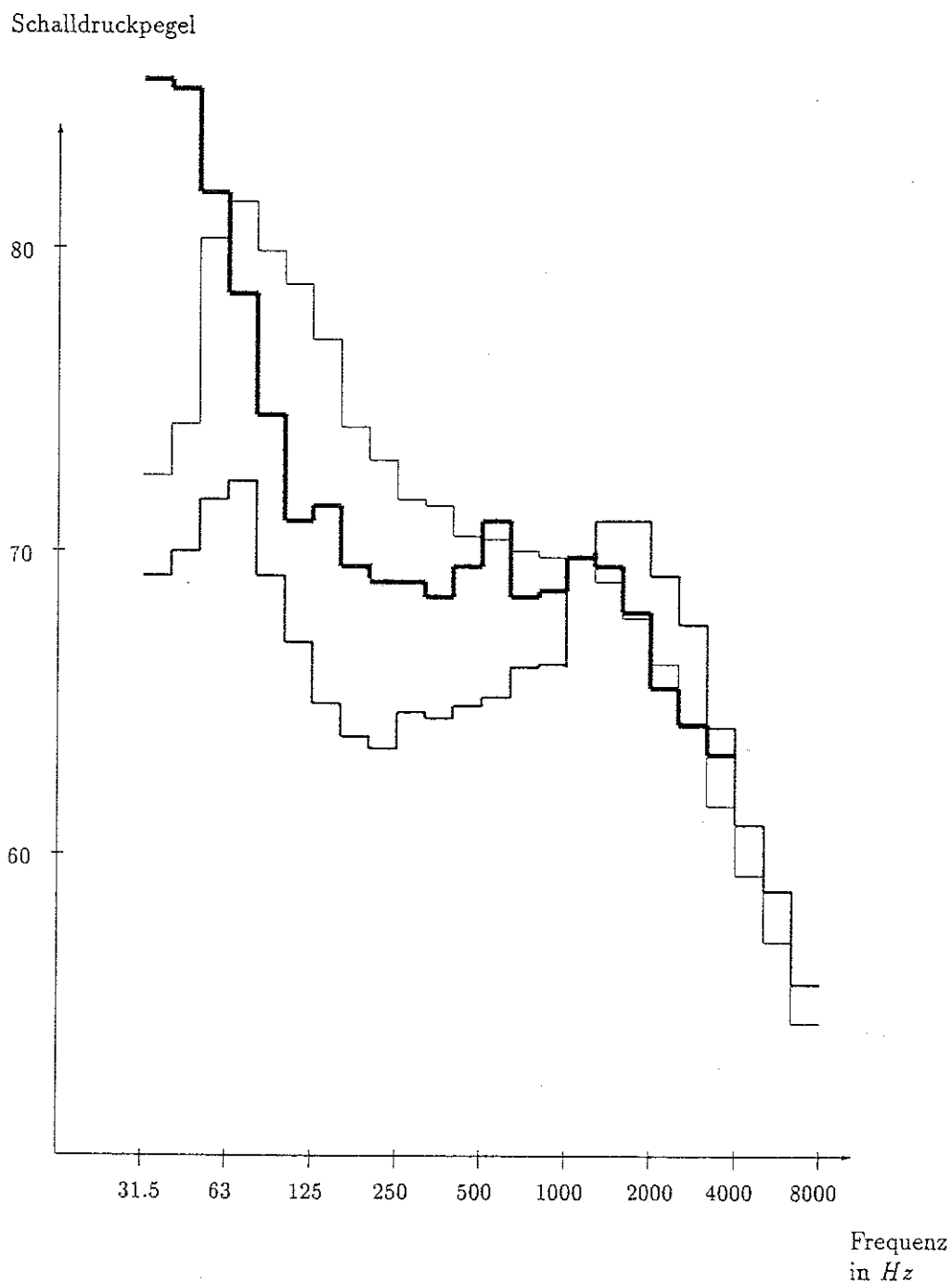


Abbildung 2:

- dünne Linie (aus [1]): typischer Straßenverkehrslärm
- mitteldicke Linie (aus [1]): typischer Schienenverkehrslärm
- dicke Linie (aus [7]): freie Schallausbreitung Straßenverkehrslärm

Aus diesen beiden Abbildungen ist ersichtlich, daß die in der Literatur ([1] und [4]) angegebenen „typischen Frequenzverteilungen“ in dieser Form unzureichend sind: die Linie der „typischen Frequenzverteilung Straßenverkehrslärm“ repräsentiert im allgemeinen nicht

die Verhältnisse an den einzelnen Meßpunkten.

Um eine vollständige Beschreibung des Straßenverkehrslärms unter Angabe eines Auswahlkriteriums anzugeben wäre es notwendig, die *Streuung* in Form eines Streifens um die Linie der Frequenzverteilung anzugeben. Bei starker Streuung (oder bei einem breiten Streifen um diese Linie) ist die Mittelwertbildung für verschiedene Frequenzverteilungen jedoch nur wenig aussagekräftig. Dies soll in dem nachfolgenden Beispiel gezeigt werden.

2.3 Beispiel

Zur Verdeutlichung der problematischen Mittelung bei der Definition „typische Frequenzverteilung Straßenverkehrslärm“ genügt es, für zwei (extreme) Verteilungen (a) und (b) eine Mittelung durchzuführen:

Es werden vier Schallquellen gemessen (wobei es unwesentlich ist, ob für diesen Vergleich der Schalldruckpegel *absolut* oder in der *A*-Bewertung gemessen wird):

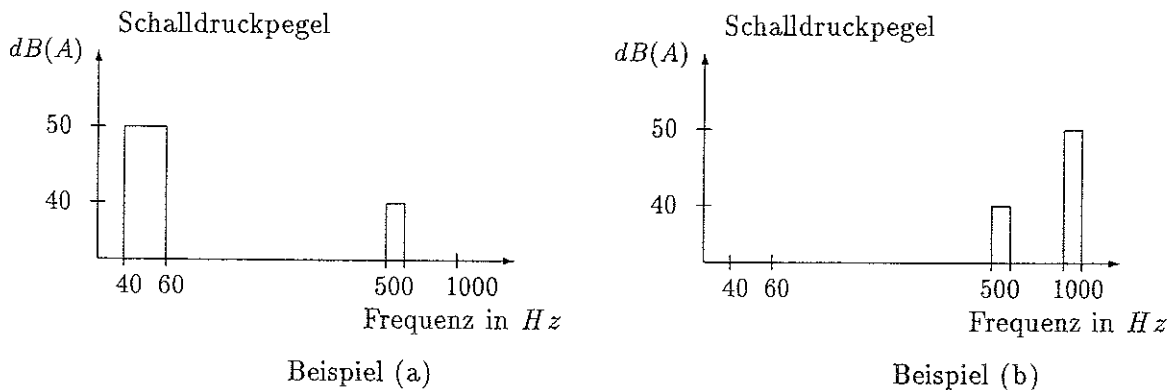


Abbildung 3

Bei- spiel	Schall- quelle	Frequenz- bereich in Hz	Schalldruck- pegel in dB(A)
(a)	1	40-60	50
(a)	2	500-600	40
(b)	3	500-600	40
(b)	4	1000-1100	50

Rein rechnerisch - d.h. ohne Berücksichtigung statistischer Randbedingungen - kann der Mittelwert aus diesen beiden Beispielen bestimmt werden. Dazu ist für jeden Frequenzbereich gesondert der Mittelwert zu bilden:

Bei- spiel	Schall- quelle	Frequenz- bereich in Hz	Schalldruck- pegel in dB(A)
(c)	1	40-60	47
(c)	2+3	500-600	43
(c)	4	1000-1100	47

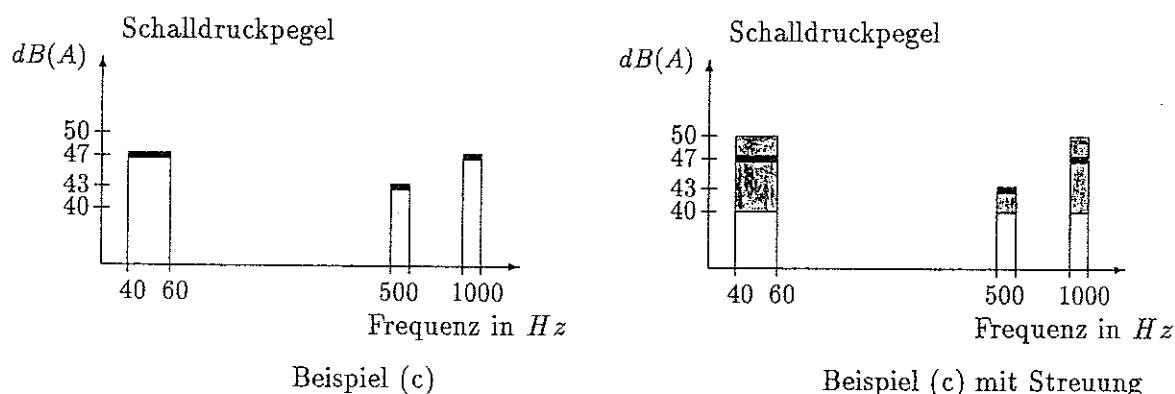


Abbildung 4

Dann stellt das Beispiel (c) aus der linken Hälfte von Abbildung 4 die für die Beispiele (a) und (b) gemeinsame mittlere Frequenzverteilung dar. Ein Versuch, die Frequenzverteilungen dieser drei Beispiele zu charakterisieren, würde dann etwa lauten:

- (a) Für Beispiel (a) ist typisch der hohe Anteil niedriger Frequenzen um 50 Hz.
- (b) Für Beispiel (b) ist typisch der hohe Anteil an Frequenzen um 1000 Hz.
- (c) Für Beispiel (c) ist typisch der etwa gleich hohe Anteil an Frequenzen zwischen 50 Hz und 1000 Hz.

Zusätzlich wurde in dem rechten Bild ein *Streubereich* als maximaler bzw. minimaler Pegelwert für die vorkommenden Frequenzbereiche eingezeichnet. Dieser Streubereich wurde gewählt, weil hier nur zwei Messungen (Beispiele (a) und (b)) vorlagen. Als *Grundpegel* wurde dazu 40 dB(A) angenommen.

2.4 Auswertung

Der durch die Streuung anzugebende Streifen um die Linie der Frequenzverteilung des Schienenverkehrslärms in Abbildung 1 wäre so breit, daß er mit dem entsprechenden Streifen um die Linie der Frequenzverteilung des Straßenverkehrslärms (Abbildung 2) in weiten Frequenzbereichen Überschneidungen aufweist. Damit sind allgemeine Aussagen zu den Frequenzen beim Straßenverkehrslärm in diesen Bereichen ebenfalls gültig für den Schienenverkehrslärm. Eine allgemeine Unterscheidung (wie z.B. beim *Schienenbonus*) ist daher nicht mehr sinnvoll. Vielmehr ist jeweils im Einzelfall die Frequenzverteilung anzugeben.

Auch beim Vergleich von nur zwei Frequenzverteilungen ist die Mittelwertbildung nicht immer richtig: Die als Beispiel (c) dargestellte mittlere Frequenzverteilung ist weder für das Beispiel (a) noch für das Beispiel (b) typisch: Beispiel (a) enthält nur Frequenzen zwischen 50 und 600 Hz, Beispiel (b) nur solche zwischen 500 und 1100 Hz, während Beispiel (c) den Frequenzbereich von 50 bis 1100 Hz mit gleich starken Schalldruckpegeln bei 50 und bei 1000 Hz abdeckt.

Wie die Abbildungen 1 bis 4 zeigen, kann es „die typische Frequenzverteilung“ weder für Straßenverkehrslärm noch für Schienenverkehrslärm geben.

3 Lästigkeit

3.1 Problem

In dem vorangehenden Abschnitt wurde dargestellt, daß es Parameter gibt, die nicht als allgemein und typisch zu bestimmen sind. Daher sollten bei einer Befragung zur *Lästigkeit* von Verkehrslärm an jedem Meßpunkt mindestens die folgenden Parameter ermittelt werden:

- der „Lärmmittelungspegel Tag“ und der „Lärmmittelungspegel Nacht“
- die „Frequenzverteilung Tag“ und die „Frequenzverteilung Nacht“
- die „Häufigkeit Tag“ und die „Häufigkeit Nacht“
- die „Einwirkzeit Tag“ und die „Einwirkzeit Nacht“

In diesem Abschnitt soll untersucht werden, wie stark Ergebnisse in ihrem Aussagewert beeinflußt werden können, wenn die über verschiedene Orte gemittelte „typische Frequenzverteilung“ benutzt wird.

3.2 Befragung

An zwei Orten A und B , die - ebenso wie die „Ergebnisse“ der Befragung - rein theoretisch sind und nur der Illustration der hier angestellten Überlegungen dienen, sei jeweils eine Befragung der Anlieger bezüglich ihres Urteils über Lästigkeit von Verkehrslärm durchgeführt worden, um die Abhängigkeit von dem Parameter „Frequenzverteilung Nacht“ zu bestimmen. Es seien gleichzeitig die in Abbildung 3 angegebenen, während der Nacht auftretenden Frequenzverteilungen (a) bzw. (b) gemessen worden; die Befragung ergebe:

1. Bei Frequenzverteilung (a) fühlen sich 80 % der Anlieger unbelästigt und 20 % belästigt.
2. Bei Frequenzverteilung (b) fühlen sich 20 % der Anlieger unbelästigt und 80 % belästigt.

3.3 Auswertung

3.3.1 Einzelauswertung

Bei der Frequenzverteilung (a) sind niedrige Frequenzen stärker beteiligt als bei der Frequenzverteilung (b):

Daher würde eine Interpretation des Ergebnisses lauten können:

die Anlieger an einem Verkehrsweg mit überwiegend niedrigen Frequenzen fühlen sich weniger belästigt als die Anlieger aus B, an deren Verkehrsweg höhere Frequenzen als am Ort A auftreten.

3.3.2 Mittelwertbildungen

Wenn die Frequenzverteilungen (a) und (b) gemittelt werden, so ergibt sich nach den vorangegangenen Betrachtungen die mittlere Frequenzverteilung (c), in der sowohl hohe als auch niedrige Frequenzen vertreten sind (Abbildung 4).

Wenn die Antworten gemittelt werden, so ergibt sich der „Mittelwert“ aus den Antworten zu den Beispielen (a) und (b) als

genau 50 % der Anlieger fühlen sich bei der Frequenzverteilung gemäß Abbildung 4 belästigt.

4 Ergebnis

Die Mittelbildung der Frequenzverteilungen kann - zusammen mit der Mittelbildung der Antworten - nicht zu einer charakteristischen Beschreibung der Lästigkeit führen: Die Frequenzverteilung wird weder am Ort A noch am Ort B von der „typischen Frequenzverteilung“ charakterisiert.

Wenn Ergebnisse aus Befragungen zur Lästigkeit von Anliegern an Verkehrswegen miteinander verglichen werden sollen, so ist es notwendig, die Lärmsituation nicht nur durch den Lärmmittelungspegel zu beschreiben, sondern weitere den Lärm beschreibende Parameter (wie Frequenzverteilung oder Streuung) hinzuzunehmen. Insbesondere unterscheiden sich die Verkehrswege Straße und Schiene i.a. auch dann noch, wenn die jeweiligen Lärmmittelungspegel übereinstimmen.

Lästigkeitsunterschiede für zwei verschiedene Verkehrswege (z.B. Straße und Schiene) können daher nicht allgemeingültig bestimmt werden.

Literatur

- [1] Akustik 05.2: Schienenverkehrslärm. information der Deutschen Bundesbahn. Bundesbahn-Zentralamt München, Dezernat 103. 1. Ausgabe 1984.
- [2] Giesler, H.-J., Nolle, A. und Wende, H.: Geräuschemission von Diesellokomotiven der Deutschen Reichsbahn. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 40 (1993), 61 - 64.
- [3] Heimerl, G. und Holzmann, E.: Beurteilung von Verkehrslärm - Untersuchungen zur Belästigungswirkung an Straße und Schiene. AET 34 (1979), 43-52.
- [4] Heimerl, G.: Beurteilung des Schienenverkehrslärms unter Berücksichtigung seiner Besonderheiten. ETR 41 (1992), 485-492.
- [5] Planungsbüro Obermeyer: Interdisziplinäre Feldstudie II (IF-Studie II). Über die Besonderheiten des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm (erweiterte Untersuchung). Bericht über ein Forschungsvorhaben zum Verkehrslärmschutzgesetz im Auftrage des Bundesministers für Verkehr (Forschungsnr. 70081/80). - Band I, Hauptbericht - München 1983.
- [6] Schuemer, R. und Schuemer-Kohrs, A.: Lästigkeit von Schienenverkehrslärm im Vergleich zu anderen Lärmquellen - Überblick über Forschungsergebnisse I. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 38 (1991), 1 - 9.
- [7] Ullrich, S.: Minderung von Verkehrslärm durch teilabgedeckte Troglagen - Beispiele Königswinter und Stuttgart. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 40 (1993), 43 - 47.
- [8] Weinberger, M.: Gesamtwirtschaftliche Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 39 (1992), 91 - 99.

Dr. Dirk Windelberg
AG Qualität im Institut für Mathematik
Universität Hannover
Welfengarten 1
D-30167 Hannover