

Können Lärminderungsmaßnahmen mit geringer akustischer Wirkung wahrgenommen werden?

Ein klärendes Wort zur Wahrnehmung von Pegeländerungen

Jens Ortscheid und Heidemarie Wende, Umweltbundesamt, Berlin 2004

Einleitung

Der Straßenverkehr ist seit Jahrzehnten unverändert der wichtigste Auslöser für Lärmbelästigungen. So verwundert es nicht, dass von der Bevölkerung dringend Maßnahmen zum Schutz vor Straßenverkehrslärm, wie etwa Geschwindigkeitsbeschränkungen und LKW-Fahrverbote gefordert werden. Eine Rechtsgrundlage für derartige Maßnahmen kann § 45 I 2 Nr. 3 Straßenverkehrsordnung- StVO sein. Bei den vom Bundesminister für Verkehr als intern zu beachtende Verwaltungsvorschrift erlassenen „Vorläufigen Richtlinien für straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm“ vom 6. 11. 1981¹ kommt es bei der Würdigung, ob straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen in Betracht kommen, auf alle Umstände des Einzelfalles an. Es sind Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen. In die Abwägungen sollen insbesondere der Grad der Beeinträchtigungen, die Leichtigkeit der Realisierung von Maßnahmen, die Schutzwürdigkeit des betroffenen Gebietes und eventuelle Einflüsse auf die Verkehrssicherheit, auf den Energieverbrauch der Fahrzeuge, auf Erschwernisse bei der Versorgung der Bevölkerung und die Einschränkung der Freizügigkeit des Verkehrs einbezogen werden.

Werden bei der Berechnung der akustischen Wirkungen straßenverkehrsrechtlicher Maßnahmen Pegelreduzierungen von weniger als 3 dB(A) festgestellt, so werden diese Maßnahmen von Straßenverkehrsbehörden gern abgelehnt mit dem Hinweis, dass solche Pegelunterschiede nicht hörbar oder wahrnehmbar sind. Die gleiche Argumentation wird von Klägern und Beklagten benutzt² und findet sich auch in Urteilen wieder: „...Denn nach allgemeinen Erkenntnissen der Akustik kann das menschliche Ohr Lärmveränderungen erst bei einer Pegeldifferenz von 3 dB(A) wahrnehmen...“.³ Zur Begründung dieser Aussage wird auf Entschei-

1 Lärmschutz-Richtlinien-StV. Verkehrsblatt 1981, S. 428 ff

2 Berlin VG 11 A 835.02 vom 10. April 2003; OVG NRW, A 4230/01 vom 21. Januar 2003

3 NJW 1999, 2057

dungen des Bundesverwaltungsgerichts⁴ und teilweise wiederum zurück auf die Lärmschutz-Richtlinien-StV und auf die Verkehrslärmschutzverordnung [1990] verwiesen,⁵ nach denen der Mittelungspegel durch straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen mindestens um 3 dB(A) gemindert werden soll und dass eine Änderung nach einem erheblichen baulichen Eingriff u.a. dann *wesentlich ist, wenn der Beurteilungspegel um mindestens 3 dB(A) erhöht wird.*⁶ Hierbei recht bemerkenswert ist, dass der Tenor der o.a. Entscheidungen des BVerwG in der Argumentation von Klägern, Beklagten, aber auch Urteilen eine Metamorphose von „*kaum wahrnehmbar*“ in „*nicht wahrnehmbar*“ erfahren hat.

Stand des Wissens

Nach gesicherten Erkenntnissen der Wissenschaft ist das menschliche Ohr sehr wohl in der Lage, selbst äußerst geringe Pegelunterschiede wahrnehmen zu können. Das Ohr ist unser leistungsfähigstes Sinnesorgan. Es kann Schallfrequenzen von 20 bis 20 000 Hz aufnehmen. Die größte Empfindlichkeit liegt bei 2000 bis 2300 Hz. Im Sprachbereich ist die Unterschiedsempfindlichkeit am größten, hier kann bereits ein Frequenzunterschied von 3 Hz wahrgenommen werden. Der normalhörende Mensch ist bei breitbandigen Signalen in der Lage, den Ort einer Schallquelle aus der Vorne-Richtung mit einer Ungenauigkeit von etwa 1 Grad bzw. bei seitlichem Einfall oder Schalleinfall von oben mit einer Ungenauigkeit von etwa 5 Grad aufzulösen.

Die wahrgenommene Lautheit eines Schallsignals hängt von seinem Schalldruckpegel, aber auch von seiner Frequenz und Dauer ab. Zur Wiederherstellung seiner vollen Empfindlichkeit braucht das Ohr etwa 10 – 100 Millisekunden. Diese Zeit ist von der Frequenz und Dauer des „lauten“ Signals abhängig. Die Empfindlichkeit des Ohres kann durch Anpassungs- oder Ermüdungsvorgänge verändert werden. Diese Anpassungsvorgänge erfolgen oft innerhalb weniger Millisekunden. Neben der spektralen Integration spielt die zeitliche Verarbeitung von akustischen Signalen im auditorischen System eine wichtige Rolle: Die Mithörschwelle für einen Ton nimmt mit zunehmender Dauer des Tons ab und erreicht für Werte von etwa 200 Millisekunden einen stabilen Wert, der durch weitere Verlängerungen des Tons nicht mehr verändert wird.

E. Blumschein [2001] stellt fest „...*Unser Gehör beweist erstaunliche Anpassungsfähigkeit. Es unterdrückt unwichtige Echos, erlaubt gezieltes Hin- oder auch Weghören und kann Ein-*

4 NVwZ 1997, 394; NJW 1992, 2844; NVwZ 1989, 566; NJW 1987, 2886

5 NJW 1999, 2057

6 § 1 II Nr. 2 der 16. BImSchV

gangsleistungspegel wahrnehmen, die sich um den Faktor 1,000,000,000,000 voneinander unterscheiden, wobei sich an der Hörschwelle die Steigbügelplatte rechnerisch nur um Piko-meter bewegt“. Unser Gehör ist in der Lage, sehr geringe Differenzen unterschiedlichster Art wahrzunehmen.⁷ Dies trifft auch auf Pegeldifferenzen zu.

Wahrnehmbare Pegelunterschiede

Der Wissenschaftler E. Zwicker [1967] hat sich intensiv mit dem auditorischen System beschäftigt. Bezüglich der Wahrnehmung von Pegeldifferenzen stellt er fest, dass unter günstigen Bedingungen ein Pegelunterschied von 1 dB wahrnehmbar ist. Die Untersuchung [Mehrgardt, 1978] von Wahrnehmbarkeitsschwellen bei Amplitudenveränderung von Teiltönen eines sprachähnlichen Signals zeigt, dass im Bereich bis zu etwa 2 kHz Pegeländerungen unter 2 dB sicher erkannt werden können. H. Lazarus [1981] stellt fest: *“...Je nach Frequenz und Schallpegel des Testtones liegen die gerade wahrnehmbaren Differenzen für den Frequenzunterschied bei 1 bis 100 Hz und für den Pegelunterschied bei 0,2 bis 2 dB...“*. Den Stand des Wissens fasst Herbert Müller [1986 S. 23] zusammen: *“...1 dB gerade noch hörbarer Unterschied im Lautheitsempfinden zweier Geräusche.“*

An diesem Sachverhalt hat sich im Laufe der Zeit nichts geändert: *“...Eine Verringerung der abgestrahlten Schalleistung auf die Hälfte des Ausgangswertes entspricht einer gerade eben deutlich wahrnehmbaren Verringerung der Lautstärke. Pegelminderungen um 1 dB(A) oder weniger sind kaum wahrnehmbar...“*. [Schreiber, 1993] In einem Lehrbuch [http://medi.uni-oldenburg.de/html/teaching_download.html; Kapitel 5] findet sich folgender Hinweis zur Wahrnehmung von Schallpegelunterschieden: *“...Neben der bisher behandelten absoluten Wahrnehmung der Schallintensität interessiert auch die differentielle Wahrnehmung, d. h. die kleinste wahrnehmbare Änderung einer Schallintensität. Sie wird auch als JND („just noticeable difference“) bezeichnet [...] Für die meisten Schalle beträgt die JND etwa 1 dB...“*. Auf der 20. Tonmeistertagung [Thiede, 1999] in Karlsruhe wurde differenziert auf die Wahrnehmbarkeit von Pegelunterschieden eingegangen: *“...Die Wahrnehmungsschwelle für Änderungen des Signalpegels (engl. „just-noticeable-level-difference“, JNLD) ist abhängig vom Pegel des Eingangssignals. Für leise Signale werden größere Schwellen (z.B. Schalldruckpegel: 20 dB SPL, JNLD: 0,75 dB), für laute Signale niedrigere Schwellen (Schalldruckpegel: 80 dB SPL, JNLD: 0,2 dB) gemessen...“*. Die Universität Wuppertal bietet seit geraumer Zeit

⁷ In einem Laborversuch [Lazarus, 1981] konnte beispielsweise gezeigt werden, dass das auditorische System uns in die Lage versetzt, lediglich auf das Langzeitgedächtnis gestützt, Signale außerordentlich exakt (Schalldruckpegel und Frequenz) wiederherstellen zu können.

einen außerordentlich informativen interaktiven Kurs in Akustik [http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/] an, in dem ebenfalls deutlich wird, dass die Wahrnehmbarkeit von Pegelunterschieden u.a. in Abhängigkeit vom absoluten Signalpegel zu sehen ist und für Signale oberhalb 40 dB Schallpegeldifferenzen von weniger als einem dB wahrgenommen werden können.⁸

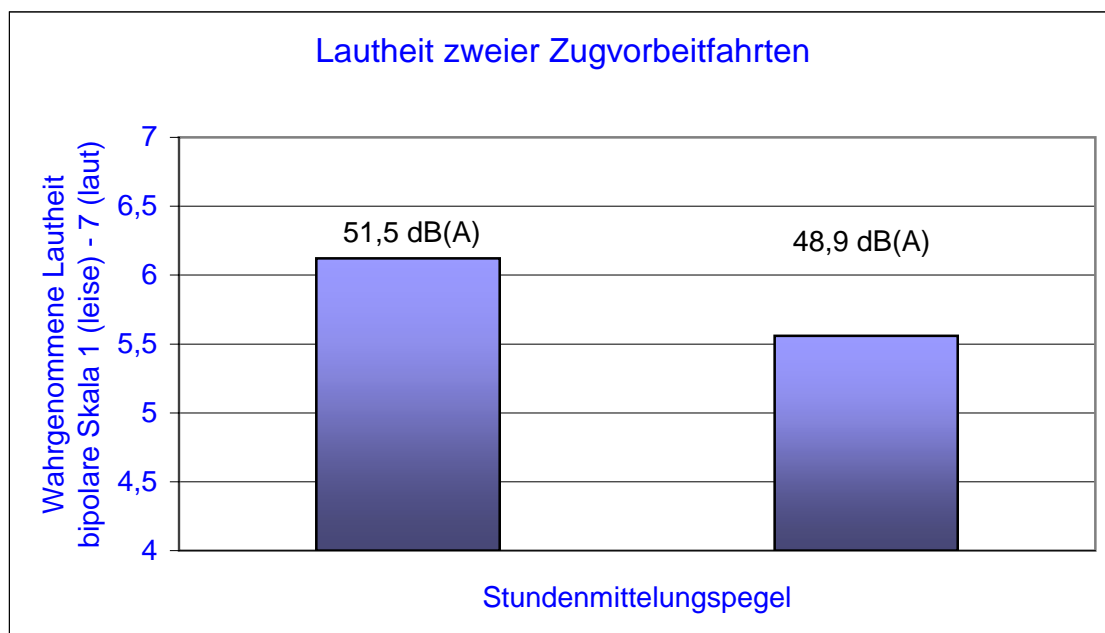
Wahrnehmbare Unterschiede bei Mittelungspegeln

Geräusche weisen häufig zeitlich schwankende Schalldruckpegel auf. Die Berechnungsverfahren, z.B. in der 16.BImSchV, basieren auf umfangreichen Messungen. In Messgeräten können die Eigenschaften des Ohres nur grob nachgebildet werden. Generell ist zu klären, ob die Dezibel-Angabe eine akustische Beschreibung eines Einzelereignisses darstellt – etwa dem Überflug eines Flugzeuges – oder ob es sich um die Beschreibung einer Immissions-situation für einen längeren Zeitraum (Stunden, Tage, Monate) handelt. Pauschal lässt sich nicht sagen, welche Unterschiede beim Mittelungs- oder Beurteilungspegel wahrnehmbar sind. Der Mittelungspegel bzw. Beurteilungspegel, die insbesondere im Bereich des Verkehrslärms Verwendung finden, sind „künstliche Größen“ mit dem Ziel, auch fluktuierende Geräusche mit lediglich einem Wert zu kennzeichnen. Als solche sind sie im Grunde nicht hörbar; es können sogar identische Mittelungspegel zu unterschiedlichen Wahrnehmungen führen. „...*Die Bedeutung des äquivalenten Dauerschallpegels ist in der Hypothese zu sehen, dass ein schwankendes Geräusch in seiner Störwirkung „äquivalent“ ist einem gleichbleibendem Geräusch, dessen Pegel gleich dem Mittelungspegel des zeitlich schwankenden Geräusches [...]* Die obige Hypothese kann nicht für alle Fälle gelten. Sie gilt z. B. nicht, wenn durch sehr schnelle Pegeländerungen beim Menschen Schreckreaktionen ausgelöst werden, wie beispielsweise bei Überschallknallen oder bei Schießlärm...“ [Müller, 1986 S. 29]. Labor- und Felduntersuchungen zeigen aber deutlich, dass auch in Geräuschsituationen, die mit Mittelungspegeln beschrieben werden, sehr geringe Pegelunterschiede wahrgenommen werden können.

⁸ Auch eine Reihe von Hörbeispielen zeigen, dass Pegelunterschiede unter 3 dB problemlos wahrnehmbar sind: *Gehörschutz – Das Gehör schützen*, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, 1992; *Hörbeispiele Parabel*, Lärmkontor, 1993; *Audio Demo 3*, Suva, 1997, No 99051; *Info-Sy Lärm*, Lärmkontor, 2000 u.a.m.

Ergebnisse empirischer Untersuchungen

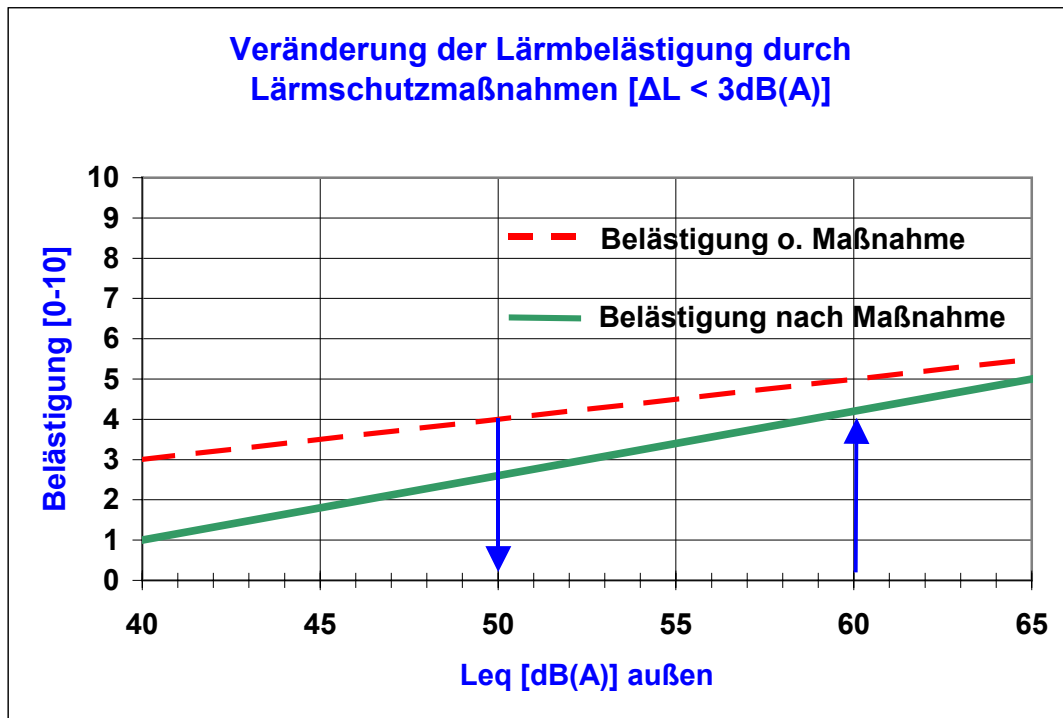
- Die japanischen Wissenschaftler Namba und Kuwano [1991] untersuchten die Lautstärkewahrnehmung von Überflügen. Im Ergebnis zeigt sich, dass Anstiege der Überflugpegel um 1 dB erkannt wurden und zu einer signifikant höheren Lautstärkeeinschätzung führten.
- Jäger et. al. [1997] beobachteten Wahrnehmungsasymmetrien bei Pegelerhöhungen und Pegelreduzierungen. Bei Hörversuchen im Labor mit 15 Versuchspersonen unter unterschiedlichen Wahrnehmungsbedingungen zeigte sich u.a., dass Pegelveränderungen von Güterzugvorbeifahrten nicht gleichsinnig wahrgenommen wurden: Pegelreduzierungen von 3 dB(A) wurden etwas geringer bewertet als entsprechende Erhöhungen.
- Im Rahmen einer Laboruntersuchung zum „Schienenbonus“ beim Transrapid [Neugebauer, 1997] wurden Hörversuche mit diversen Zugvorbeifahrten durchgeführt. Hierbei wurden auch eine Bandaufnahme eines Kurzzuges mit der Geschwindigkeit von 120 km/h im Abstand von 25 m mit einem Stundenmittelungspegel von 51,5 dB(A) und eine Aufnahme des gleichen Zuges im Abstand von 50 m mit einem Stundenmittelungspegel von 48,9 dB(A) dargeboten. Es gelang den über den Untersuchungszweck nicht informierten Versuchspersonen, den Entfernungunterschied an Hand dieser Bandaufnahmen wahrzunehmen. Trotz des geringen Pegelunterschiedes der Stundenmittelungspegel von 2,6 dB(A), war es den Versuchspersonen ebenfalls möglich, Lautheitsunterschiede zwischen den Vorbeifahrten zu erkennen. Die etwas leisere, weil in größerem Abstand aufgenommene Vorbeifahrt wurde auf der Lautheitsskala signifikant leiser eingestuft, wie die folgende Abbildung zeigt.



- Schlipkötter und Kastka [1979] untersuchten in einer Längsschnittstudie 1977 bis 1979 die Wirksamkeit von verkehrsberuhigenden Maßnahmen. Hierbei erhoben sie Verkehrsdaten sowie Mittelungs- und Spitzenpegel. Zur Beurteilung der Vorher- und Nachher- Situation wurden jeweils rund 1700 Straßenanlieger befragt. Im Ergebnis zeigt sich, dass sich trotz geringer Pegelsenkungen von durchschnittlich 1 – 2 dB(A) eine erhebliche Abnahme der Belästigung, die einer Schallpegelreduktion von 6 – 14 dB(A) entspricht, eingestellt hat. Das Ausmaß der subjektiven Belästigung zeigte sich zudem abhängig von der vorherigen Lärmsituation: In Gebieten mit hohen Lärmbelastungen wirkten die Maßnahmen stärker als in vorher schon gering belasteten Gebieten.
- Bei Erhebungen [Penn-Bressel, 1988] zum Einfluss der Reduzierung der Verkehrsmenge auf einer Strasse zeigte sich, dass eine Verringerung des Mittelungspegels um 1 dB(A) zu einer Reduzierung des Anteils stark gestörter Straßenanrainer um 2,3 Prozentpunkte führte.
- Die Auswirkungen von Fahrverboten für „laute“ LKW in der Nacht wurden an der Technischen Universität München [Widmann, 1992] untersucht. Das Verkehrsgeschehen in der untersuchten Straße wurde sowohl vor Einführung der Sperrung für laute LKW als auch danach untersucht. Für die Beurteilung der verkehrslenkenden Maßnahme wurden knapp 100 Straßenanlieger angesprochen. Im Ergebnis zeigt sich, dass durch die Einführung eines Fahrverbotes für „laute“ LKW die Lärmbelastung der betroffenen Bürger reduziert wurde. Für weiter von der Straße entfernt wohnende Personen ergibt sich folgender Effekt: Bei einer Reduktion der physikalischen Lautheit durch das Fahrverbot von im Mittel rund 35%, fällt die subjektiv erlebte Lautheitsreduktion mit rund 50% leicht überproportional hoch aus.

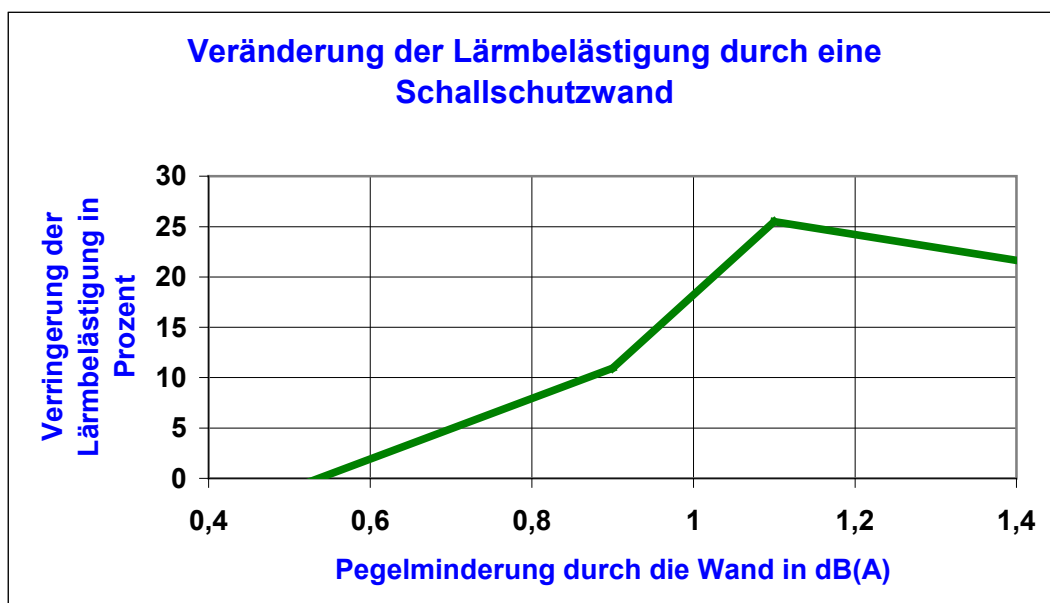
Die Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen in Hinblick auf die Lärmbelästigung wurde in der Schweiz [BUWAL, 2000] untersucht. Hier zeigt sich, dass auch bei Personen, bei denen die Lärmschutzmaßnahmen Pegelreduzierungen von weniger als 3 dB(A) ergaben, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, bei der keine Maßnahmen durchgeführt wurden, eine beachtliche, überproportionale Verringerung⁹ der Lärmbelästigung vorhanden ist, wie in der Abbildung 3 dargestellt ist.

⁹ Im Belastungsbereich $L_{eq} < 60$ dB(A) reduziert sich die Belästigung so, als ob die Maßnahme eine Pegelverringerung von rund 10 dB(A) auf 50 dB(A) bewirkt hätte.

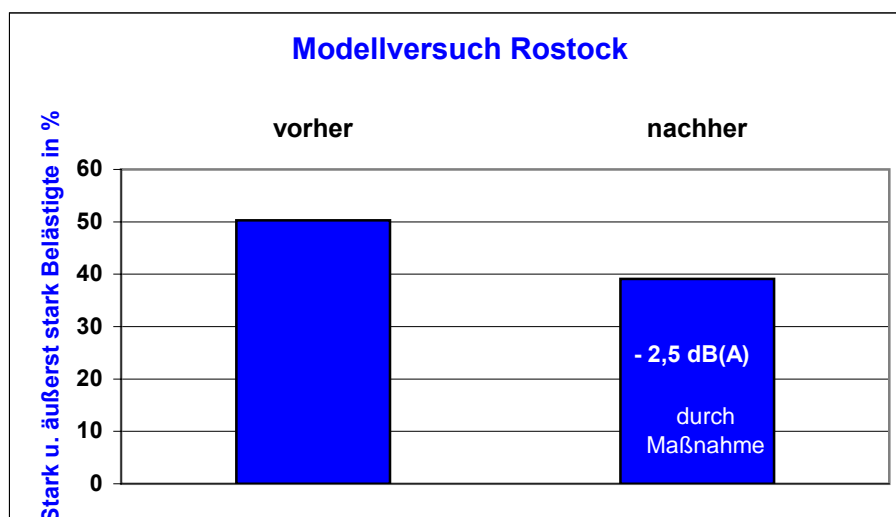


Resultierende Lärmbelastigung nach Realisierung von Lärmschutzmaßnahmen, die eine Pegelreduzierung $< 3\text{dB(A)}$ bewirkt haben, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Maßnahme.

- Auch in einer kürzlich in Magdeburg [konsalt, 2002] durchgeführten Vorher-Nachher-Studie zur Überprüfung der Wirksamkeit einer neu errichteten Lärmschutzwand an einer Straße zeigt sich, dass Pegelminderungen oberhalb etwa $0,5\text{dB(A)}$ in eine spürbare Verringerung der erlebten Lärmbelastigung der Anlieger resultieren, wie Bild 4 zu entnehmen ist. Eine Pegelminderung von knapp einem dB(A) führt dieser Studie zufolge bereits zu einer Reduzierung der Lärmbelastigung um 10 Prozent.



- In Berlin [VEPRO, 2000] wurden verschiedene Modellversuche zur Verkehrslärmreduzierung durchgeführt und verschiedene Strecken im Berliner Stadtgebiet ausgewählt. Neben den Erhebungen der Veränderungen der Verkehrsdaten erfolgten auch Befragungen der Anwohner zur Belästigung. Beim Modellversuchstyp I (6 Strecken) erfolgte eine abschnittsweise Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h in der Zeit von 22 – 6 Uhr. Im Mittel über alle 6 Versuchsstrecken und betrachteten Immissionsorte betrug die Pegelreduzierung 1,4 dB(A). Der Anteil der stark und äußerst stark Belästigten¹⁰ verringerte sich durch die Maßnahme um 26 Prozentpunkte. Beim Versuchstyp III (2 Strecken) verringerte sich der Anteil noch deutlicher. Im Mittel wurde durch die Anordnung eines abschnittswisen Durchfahrverbotes für Fahrzeuge über 2,8 t mit Ausnahme von Anliegerverkehr und geräuscharm eingestuften Lkw in der Zeit von 22 – 6 Uhr eine Pegelminderung von 1,0 dB(A) erreicht, der Anteil der stark und äußerst stark Belästigten¹¹ verringerte sich um 44 Prozentpunkte im Vergleich zur Vorher-Situation.
- In der Hansestadt Rostock [Nozon, 2003] wurden ebenfalls verkehrsberuhigende Maßnahmen und Befragungen der Anwohner durchgeführt. Die zunächst nur vorübergehend im Modellversuch angeordnete Tempo-30-Regelung wurde aufgrund der positiven Resonanz inzwischen dauerhaft angeordnet. Bild 5 zeigt, dass der Anteil der stark und äußerst stark Belästigten¹¹ um 11 Prozentpunkte abnahm [Hansestadt Rostock, 2002]. Die berechnete Pegelminderung beträgt 2,5 dB(A).



¹⁰ Entspricht den beiden oberen Kategorien der verwendeten 5er-Skala

Die Ergebnisse bestätigen den Erkenntnisstand, dass Pegeländerungen bei Umweltgeräuschen < 3 dB(A) von den Anwohnern wahrgenommen werden.¹¹

Fazit

Bei den „3 dB(A) – Regelungen“ in den Lärmschutz-Richtlinien-StV und der 16.BImSchV handelt es sich offensichtlich um reine Setzungen und um Konventionen.¹² Da derartige Konventionen aus oft nur pragmatischen oder aber aus reinen lobbyistischen Erwägungen resultieren, kann aus ihnen nicht auf die Wahrnehmbarkeit bzw. Nichtwahrnehmbarkeit von Pegelunterschieden geschlossen werden.¹³

Pegeländerungen von Verkehrsgeräuschen, die kleiner als 3 dB(A) ausfallen, werden von Anwohnern gut wahrgenommen. Bei der Entscheidung für oder gegen Lärminderungsmaßnahmen wird deshalb zu kurz gegriffen, wenn lediglich akustische Kriterien zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. Bekanntlich wird nur ein vergleichsweise geringer Teil der Lärmbelastungsvarianz durch physikalisch orientierte Geräuschbewertungsverfahren aufgeklärt. Der überwiegende Varianzanteil wird durch nichtakustische, psychologische Faktoren und Moderatoren bestimmt. Ziel von Maßnahmen zur Reduzierung der Lärmbelastung ist es - auch wenn es scheinbar trivial klingt - den Lärm, dem der Einzelne ausgesetzt ist, zu reduzieren und somit zu geringerer erlebter Belästigung oder Störung zu verhelfen. Dieses Ziel wird generell durch die Reduzierung der Geräusche an der Quelle selbst oder auf dem Ausbreitungsweg verfolgt, was zur Folge hat, dass Lärminderungsmaßnahmen meist nur bezüglich ihrer akustischen Wirksamkeit beurteilt werden. Es gibt jedoch eine Reihe von Belegen dafür, dass die lärmmentlastende Wirkung hierdurch nicht wirkungsadäquat abgebildet wird [Felscher-Suhr, 2002]. Dies kann einerseits dazu führen, dass Maßnahmen, die beim Betroffenen zu beachtenswerten Lärmmentlastungen führen könnten, wegen ihrer geringen akustischen Wirksamkeit nicht in Betracht gezogen werden bzw. in der Praxis nicht umgesetzt

11 Selbst in den Lärmschutz-Richtlinien – StV findet man unter Punkt 3.2 Hinweise, dass eine Pegelminderung von etwa 2 dB(A) durchaus spürbar oder wahrnehmbar ist.

12 Vergleichbare Setzungen finden sich in der TA Lärm aus dem Jahr 1998, nach der bei Überwachungsmessungen ein Messabschlag von 3 dB(A) zu berücksichtigen ist. Die Berücksichtigung einer Messunsicherheit von 3 dB(A) findet man bereits in der TA Lärm aus dem Jahre 1968 unter Pkt. 2.422.5.

13 Bei einem Verweis auf das „3 dB(A)- Kriterium“ einer wesentlichen Änderung in der Verkehrslärmschutzverordnung als Nachweis des Nichtwahrnehmens einer Pegeländerung < 3 dB(A) wird außerdem die Rundungsregel in beiden Anlagen im Falle von § 1 Abs. 2 Nr. 2 außer Acht gelassen. Die Differenz der Beurteilungspegel ist aufzurunden. Danach wird bereits bei einer Pegelerhöhung von 2,1 dB(A) das Kriterium, bei dem nach der Begründung (BR-Drs. 661/89) immer eine spürbare Verschlechterung gegeben ist, erfüllt.

werden; andererseits kann die Wirksamkeit einer Lärminderungsmaßnahme, bei ausschließlicher Orientierung an der erzielbaren Schallpegelreduktion, überschätzt werden.

Da in der Praxis bei akustisch gesehen gering wirksamen Lärminderungsmaßnahmen oft überproportional große belästigungsreduzierende Effekte beobachtet werden können, ist der pauschale Verzicht auf die Umsetzung dieser Maßnahmen mit Hinweis auf das genannte „3 dB-Kriterium“ angesichts des häufig hohen Leidensdrucks der Betroffenen nicht zu vertreten.

Literatur

Blumschein, E. (2001): Was leistet unser Gehör wirklich? Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Fachbeiträge der 27. Gemeinschaftstagung der Deutschen Jahrestagung für Akustik. Hamburg 2001, o. Seitenangabe.

BUWAL (2000): Akzeptanz von baulichen Lärmschutzmaßnahmen. Analysen und Empfehlungen für den Bau von Lärmschutzmassnahmen aus Sicht der Anwohner von Strassenverkehrs- und Eisenbahnanlagen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 318, Lärm. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2000, S. 66. http://www.umweltschweiz.ch/buwal/shop/shop.php?action=show_publ&lang=D&id_thema=24&series=SRU&n_r_publ=318

Felscher-Suhr, U., Höger, R. und Schreckenberger, D. (2002): Wirkungsbezogenes Lärmbeurteilungsverfahren. UBA - Forschungsbericht 298 532 65, 2002.

Guski, R. (1991): Lärmwirkungen aus ökologischer Perspektive. Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Kurzreferate der 17. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik. Bochum 1991, S. 53 – 74.

Hansestadt Rostock (2002): Bürgerbefragung zur Lärmsituation in der Detharding- und Karl-Marx-Straße. Veröffentlichung zur Stadtforschung. Hansestadt Rostock, 2002.

Jäger, K., Fastl, H., Schöpf, F, Gottschling, G., Möhler, U. (1997): Wahrnehmung von Pegeldifferenzen bei Vorbeifahrten von Güterzügen. Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Fachbeiträge der 23. Gemeinschaftstagung der Deutschen Jahrestagung für Akustik. Kiel 1997, S. 228 – 229.

konsalt GmbH und Lärmkontor GmbH (2002): Lärminderung durch eine Schallschutzwand im Urteil der Betroffenen. Schlussbericht. Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt, Magdeburg, 2002. http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau/de/rubrik03/rubrik03_13/laermbek/gutsswmd.htm

Lazarus, H. (1981): Wiedererkennen von Schallpegeln und Frequenzen nach längeren Zeitabständen. Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Kurzreferate der 8. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik. Berlin 1981, S. 741 – 744.

Mehrgardt, S. und Schroeder, M.R. (1978): Die Wahrnehmbarkeitsschwelle von Unterschieden beim Paarvergleich komplexer Signale. Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Kurzreferate der 6. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik. Berlin 1978, S. 515 – 518.

Müller, H., M. (1986): Technische Akustik im Immissionsschutz – Grundlagen und Begriffe In Lärmschutz in der Praxis. Herausgegeben von Bohny, H. – M. et al. S. 23. München, Wien, 1986)

Namba, S. und Kuwano, S. (1991): Continous judgements of noise events. Contributions to psychological Acoustics. Results of the 5th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. 61 – 74; Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, 1991 S. 217 – 226

Neugebauer, D., Ortscheid, J. (1997): Geräuschbewertung des Transrapid: Ist der Transrapid wie die Bahn zu beurteilen? Reihe UBA-Texte 25/97, Umweltbundesamt Berlin, 1997.

Nozon, S.; Mazur, H. (2003): Lärmreduzierung auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen – Auswertung eines Modellversuches im Rahmen der Rostocker Lärminderungsplanung, Straßenverkehrstechnik 7, S. 357-363.

Penn-Bressel, G. (1988): Subjektive Wirksamkeit von Lärmschutzmaßnahmen. Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Kurzreferate der 14. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik. Braunschweig 1988, S. 213 –216

Schlipkötter, H.-W., Kastka, J. (1979): Zum Zusammenhang zwischen Schallmessungen und Lärmbelästigungsreaktion im Rahmen des Großversuchs Verkehrsberuhigung in Wohngebieten von NRW. Unveröffentlichter Bericht. Institut für Hygiene der Universität Düsseldorf. Februar 1979. Zitiert nach Rohrman, B. und Bonacker, M.: Wirksamkeit von Lärmschutzmaßnahmen in Wohngebieten. Analyse der Probleme bei Längsschnittstudien. UBA-Forschungsbericht 81-10501210, Berlin 1981.

Schreiber, L. (1993): Grundlagen der Lärmbewertung. ParaBel – Lärm für Juristen – von Juristen und Lärmexperten. Tagungsband 30. 9. und 1.10. 1993, S. 5. Lärmkontor, Hamburg

Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV vom 12. 6. 1990 (BGBL. I. S. 1036) <http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/anlagen/download.html>.

Straßenverkehrsordnung v. 16. Nov. 1970; Bundesgesetzblatt I, 1690, 11.12. 2000. <http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/anlagen/download.html>

Thiede, T. et al. (1999): PEAQ - der künftige ITU-Standard zur objektiven Messung der wahrgenommenen Audioqualität. 20. Tonmeistertagung 20. – 23. 11. 1998 Karlsruhe, Hrsg.: Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister, Verlag K.G. Saur, München 1999 S. 6

VEPRO, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin: Modellversuch Verkehrslärmschutz, Schlussbericht August 2000

Können Lärminderungsmaßnahmen mit geringer akustischer Wirkung wahrgenommen werden?

Widmann, U. (1992): Messtechnische Beurteilung und Umfrageergebnisse bei Straßenverkehrslärm. Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Kurzreferate der 18. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik. Berlin 1992, S. 369 – 372

Zwicker, E. und Feldtkeller, R. (1967): Das Ohr als Nachrichtenempfänger. S. 102. Hirzel-Verlag Stuttgart 2. Auflage 1967.