



Vorschlag für eine vereinfachte

VDI 3722-2 (Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Teil 2)

April 2011

Vorwort

Der 2. Entwurf für die VDI-Richtlinie 3722-2 zur Wirkung von Verkehrsgeräuschen ([1]) ist ein umfangreiches Werk von fast 60 Seiten, das sehr viele Feinheiten enthält. Diese sind aus mathematischer Sicht nicht unbedingt notwendig, da die bei Verkehrsgeräuschen üblichen Streuungen sehr groß sind. Die Beschreibung der Verkehrsgeräusche ist daher problematisch, denn meist wird die Wirkung nicht durch einen mathematisch berechneten Jahres-Mittelungspegel bestimmt, sondern durch einen einzelnen Vorbeifahrpegel, der von dem Jahres-Mittelungspegel weit entfernt ist.

Hier soll daher durch Reduktion auf wenige wesentliche Parameter ein Berechnungsverfahren angegeben werden, mit dem ein Vergleich unterschiedlichster Verkehrslärmbelastungen an verschiedenen Orten möglich ist.

1 Voraussetzungen

Es werden 2 Untersuchungsgebiete $G1$ und $G2$ gleicher Größe in einem Stadtbezirk ausgewählt. Für diese soll entschieden werden, ob zuerst $G1$ oder zuerst $G2$ lärmsaniert werden soll, da zunächst die vorhandenen Mittel nur für die Lärmsanierung der Häuser eines der beiden Untersuchungsgebiete ausreicht.

Dazu soll die Verkehrslärm-Belastung beider Untersuchungsgebiete miteinander verglichen werden: Wenn mehr Bewohner des Untersuchungsgebietes $G1$ durch Verkehrslärm belastet sind als Bewohner von Untersuchungsgebiet $G2$, dann sollen die Gebäude auf dem Untersuchungsgebiet zuerst lärmsaniert werden.

Verkehrslärm wird betrachtet von Straßen-, Schienen- und Flugverkehr. Ferner wird die Lärmbelastung am Tage (von 06 bis 22) anders betrachtet als die Lärmbelastung bei Nacht: Da auch die gesetzlichen Grenzwerte am Tage eine um 10 dB(A) höhere Belastung zulassen, kommt meist dem Vergleich der nächtlichen Lärmbelastung durch Verkehrslärm eine größere Rolle zu.

Bemerkung: Vereinfachend wird hier das Wort „Vorbeifahrpegel“ auch für den „Vorbeiflugpegel“ verwendet.

1.1 Lärmbelastung am Tag

Die Lärmbelastung durch Verkehrslärm wird durch einen Jahres-Tages-Lärm-Mittelungspegel beschrieben, der sämtliche (kurzzeitigen) Vorbeifahrpegel zunächst jeweils zu Stundenpegeln mittelt, diese wiederum für jeden Tag zu 16-Stunden-Tages-Lärm-Mittelungspegeln mittelt und schliesslich von allen 365 Tage eines Jahres die 16-Stunden-Tages-Lärm-Mittelungspegel zu einem „Jahres-Tages-Lärm-Mittelungspegel“ $JTLM$ mittelt.

Für jeden Bewohner i (mit $1 \leq i \leq n1$) des Untersuchungsgebietes $G1$ ist bekannt, wie hoch der $JTLM(i)$ in seinem Wohnzimmer ist (innen).

Der „mittlere Jahres-Tages-Lärm-Mittelungspegel“ sämtlicher Bewohner des Untersuchungsgebietes $G1$ ist dann definiert durch

$$S1 := \frac{1}{n1} \cdot \sum_1^{n1} JTLM(i)$$

Entsprechend wird $S2$ für das Untersuchungsgebiet $G2$ bestimmt.

1.2 Lärmbelastung bei Nacht

Während der Nacht kann Verkehrslärm zu Schlafstörungen führen. Verkehrslärm tritt nicht in konstanter Stärke auf, sondern durch einzelne Vorbeifahr-Pegel. Daher wird die Belastung der Bewohner eines Untersuchungsgebiets i durch nächtlichen Verkehrslärm durch die

„mittlere Anzahl Aufweckreaktionen $n_{AWR}(i)$ “

beschrieben.

- (1) Für jeden Bewohner des Untersuchungsgebietes $G1$ wird zu jeder Vorbeifahrt einer „typische Nacht“ eines Jahres beurteilt, wie hoch der Vorbeifahr-Pegel p (mit $p \geq 40 \text{ dB}(A)$) und wie lang die Vorbeifahrzeit t „am Ohr des Schläfers“ ist. Für einen Bewohner $B(1,1)$ des Untersuchungsgebiets $G1$ wird z.B. folgende Tabelle angelegt:

Untersuchungsgebiet $G1$										
Vorbeifahrpegel am Ohr des Schläfers $B(1,1)$ in typischer Nacht										
Zeit	Pegel	Dauer		Zeit	Pegel	Dauer		Zeit	Pegel	Dauer
22:40	66	16 s		23:20	50	8 s		23:24	58	18 s
02:45	54	14 s		03:30	46	8 s		03:58	62	10 s

Der Mittelungspegel ist zwar für die Bestimmung der Anzahl Aufweckreaktionen nicht richtig, wird aber oft angegeben. Hier ist $L_{Nacht} = 35.2$.

Entsprechend wird mit dem Untersuchungsgebiet $G2$ verfahren:

Untersuchungsgebiet $G2$										
Vorbeifahrpegel am Ohr des Schläfers $B(1,1)$ in typischer Nacht										
Zeit	Pegel	Dauer		Zeit	Pegel	Dauer		Zeit	Pegel	Dauer
22:45	76	13 s		23:25	60	5 s		23:29	68	15 s
02:50	64	11 s		03:35	56	5 s		04:03	72	7 s

(Hier ist $L_{Nacht} = 44.2$.)

- (2) Mit Hilfe einer mathematisch ausgewählten Formel (wie in [2]), die auch die Vorbeifahrzeit t sowie einen individuellen „Schlafpegel“ S berücksichtigt, wird zu jedem am Ohr des Schläfers bestimmten Pegel p (mit $40 \text{ dB} \leq p \leq 100 \text{ dB}$)
- die Anzahl $n(p)$ der durch diesen Pegel p auf dem Untersuchungsgebiet $G1$ Betroffenen und
 - die „Aufweckwahrscheinlichkeit $A_{WW}(S, p, t)$ “

bestimmt. (Da die Schlafpegel S hier nicht bekannt sind, wird $S = 20$ gesetzt). Damit kann die Summe $n1$ der Bewohner des Untersuchungsgebiets $G1$ berechnet werden, die durch Vorbeifahrpegel von mehr als 40 dB am Ohr des Schläfers betroffen sind - und die Summe $n2$ der Bewohner von $G2$.

	Untersuchungsgebiet $G1$						Untersuchungsgebiet $G2$					
Pegel p in dB	46	50	54	58	62	66	56	60	64	68	72	76
Anzahl $n(p)$ Betroffener	30	40	50	60	20	10	30	30	50	60	20	10
$A_{WW}(S, p, t)$ in %	0.3	0.9	2.9	7.8	16	48	2.2	5.6	26	70	80	96

Die Anzahl n_1 der Bewohner des Untersuchungsgebiets G_1 , die durch Vorbeifahrpegel von mehr als 40 dB am Ohr des Schläfers betroffen sind, beträgt

$$n_1 := \sum_{p=40 \text{ dB}}^{100 \text{ dB}} n(p) = 30 + 40 + 50 + 60 + 20 + 10 = 210$$

Die Anzahl n_2 der Bewohner des Untersuchungsgebiets G_2 , die durch Vorbeifahrpegel von mehr als 40 dB am Ohr des Schläfers betroffen sind, beträgt

$$n_2 := \sum_{p=40 \text{ dB}}^{100 \text{ dB}} n(p) = 30 + 30 + 50 + 60 + 20 + 10 = 200$$

- (3) Der Pegel p hat das Ohr von $n(p)$ Schlafenden erreicht, und davon wurden $A_{WW}(S, p, t)$ Prozent aufgeweckt. Mit diesen Informationen wird die „erwartete Anzahl Aufweckreaktionen n_{AWR} “ ermittelt:

$$n_{AWR} := \sum_{p=40 \text{ dB}}^{100 \text{ dB}} n(p) \cdot A_{WW}(S, p, t)$$

hier also für Untersuchungsgebiet G_1 :

$$n_{AWR}(1) := 30 \cdot 0.003 + 40 \cdot 0.009 + 50 \cdot 0.029 + 60 \cdot 0.078 + 20 \cdot 0.16 + 10 \cdot 0.48 \approx 15$$

und für Untersuchungsgebiet G_2 :

$$n_{AWR}(2) := 30 \cdot 0.022 + 30 \cdot 0.056 + 50 \cdot 0.26 + 60 \cdot 0.70 + 20 \cdot 0.80 + 10 \cdot 0.96 \approx 83$$

1.3 HotSpot

Um zu ermitteln, welches der beiden Untersuchungsgebiete zuerst lärmsaniert werden soll, ist zunächst zu entscheiden, ob die Tages- oder die Nacht-Belastungen zur Entscheidung gewählt werden sollen.

- Wenn die Tages-Belastungen entscheiden sollen, dann ist das Untersuchungsgebiet mit dem höheren mittleren Jahres-Tages-Lärm-Mittelungspegel zuerst zu sanieren.
- Wenn die Nacht-Belastungen entscheiden sollen, dann ist das Untersuchungsgebiet mit der höheren Summe n_{AWR} der Aufweckreaktionen zuerst zu sanieren.

HotSpot bezüglich nächtlicher Verkehrsbelastung von G_1 und G_2

In dem oben angegebenen Beispiel sollten daher die Gebäude auf dem Untersuchungsgebiet G_2 zuerst saniert werden, da auf diesem Untersuchungsgebiet in einer typischen Nacht 83 Aufweckreaktionen auftreten, auf dem Untersuchungsgebiet G_1 aber (nur) 15.

Für die Bewohner von Untersuchungsgebiet G_2 bedeuten diese 83 Aufweckreaktionen, dass

- entweder 83 Untersuchungsgebiets-Bewohner einmal,
- oder 12 Untersuchungsgebiets-Bewohner siebenmal,
- oder 3 Untersuchungsgebiets-Bewohner einmal, 4 Untersuchungsgebiets-Bewohner zehnmal und 8 Untersuchungsgebiets-Bewohner fünfmal

aufwachen.

2 Aufweck-Bedingung

2.1 Lärmbelastung bei Nacht

In dem 2. Entwurf der VDI 3722-2 wird mangels mathematischer Phantasie eine lineare Funktion für die Beschreibung der Abhängigkeit der Aufweckwahrscheinlichkeit von einem Vorbeifahrpegel verwendet:

$$A_{WW}(p) = \begin{cases} 0.75 \cdot p - 31.5 \\ \text{für } p := L_{p,A,F,max} \end{cases} \quad (1)$$

obwohl diese Abhängigkeit nicht linear ist.

Bei 42 dB würde noch niemand aufgeweckt werden, und bei einem Vorbeifahrpegel $p = 175 \text{ dB}$ am Ohr des Schlafers würde nach dieser Gleichung jeder aufgeweckt. Ein solcher Vorbeifahrpegel würde allerdings schwere gesundheitliche Schäden verursachen.

Daher ist diese Formel (1) zur Beschreibung der Aufweckwahrscheinlichkeit nicht geeignet - auch nicht zur Vereinfachung.

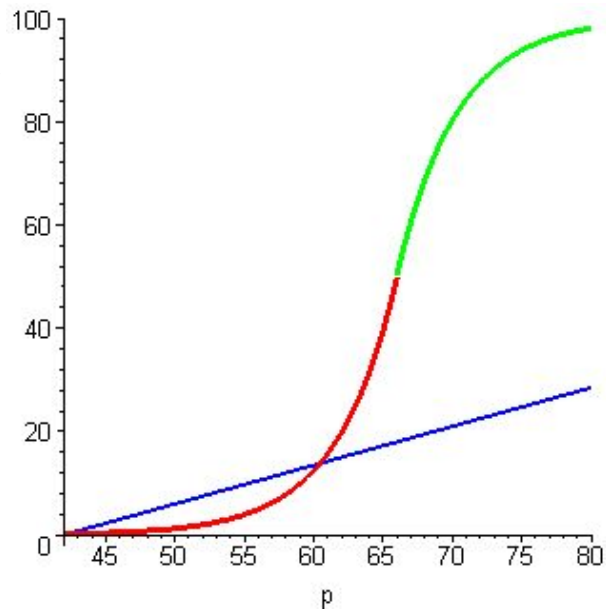


Bild 2.1: Aufweckwahrscheinlichkeit mit $z = 18$ und $S = 20$ nach (2) und Gerade nach (1)

Im Abschnitt 1.2 (2) dieses Vorschlags wurde die Beschreibung der Aufweckwahrscheinlichkeit aus den Beschreibungen der Aufweck-Pegel und Lärmpausen nach [2] gewählt:

$$A_{WW}(S, p, t) = \begin{cases} \frac{1}{10} \cdot 2^{\frac{1}{3}} \cdot (p - S - 18 - \frac{27}{t^{1.1}}) & \text{für } p \leq pz \\ \frac{1}{10} \cdot 2^{\frac{1}{3}} \cdot (2 \cdot pz - p - S - 18 - \frac{27}{t^{1.1}}) & \text{für } p > pz \\ \text{wobei } pz \text{ definiert wird durch } 50 = \frac{1}{10} \cdot 2^{\frac{1}{3}} \cdot (pz - S - 18 - \frac{27}{t^{1.1}}) \end{cases} \quad (2)$$

2.1.1 Aufweckwahrscheinlichkeit

Die Kurven, die sich nach der Formel (2) für die 10%- und 20%-Aufweckwahrscheinlichkeit ergeben, werden in der nebenstehenden Kurve dargestellt.

Ihre Formeln lauten:

$$p = S + 18 + \frac{27}{t^{1.1}} \quad \text{für 10\%} \quad (3)$$

$$p = S + 21 + \frac{27}{t^{1.1}} \quad \text{für 20\%} \quad (4)$$

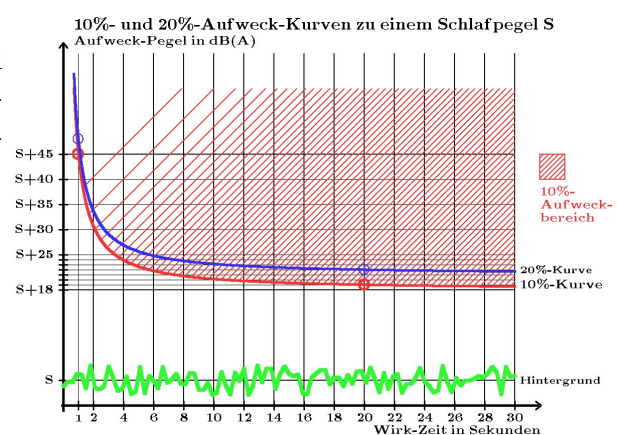


Bild 2.2: 10%- und 20% Aufweckwahrscheinlichkeit

Es gibt weitere Verfahren, bei denen neben dem Vorbeifahrpegel zusätzlich die Pausenstruktur berücksichtigt wird (siehe [3]):

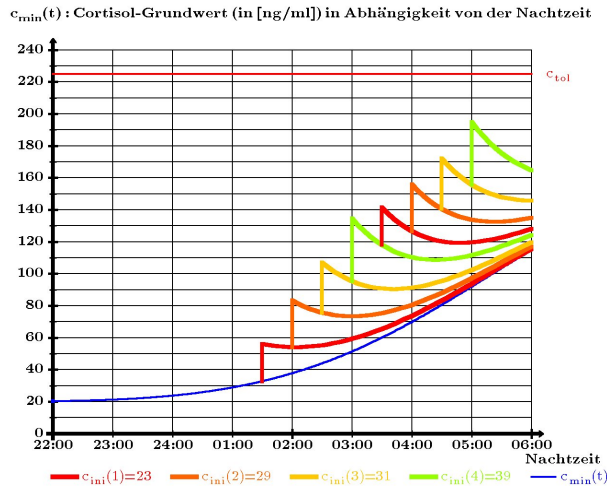


Bild 2.3: Cortisol-Konzentration führt nicht zu Aufweckreaktionen

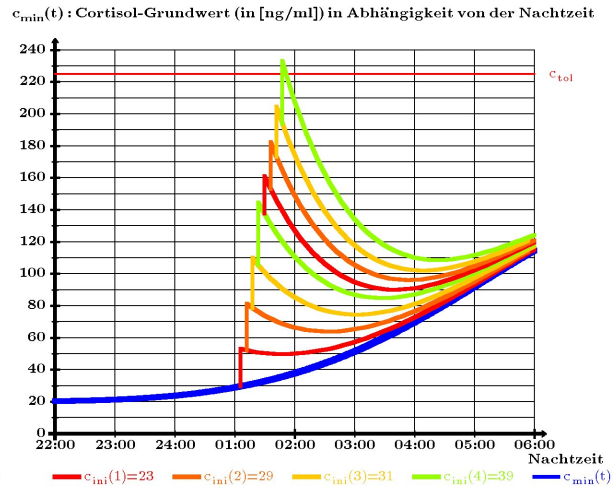


Bild 2.4: Cortisol-Konzentration führt nicht zu Aufweckreaktionen

2.1.2 Anzahl Aufweckreaktionen

Der Pegel p hat das Ohr von $n(p)$ Schlafenden erreicht, und davon wurden $A_{WW}(p, t)$ Prozent aufgeweckt - nach der linearisierten Gleichung (1). Mit diesen Informationen ergeben sich hier hier also

$$n_{AWR}(1) := 30 \cdot 0.03 + 40 \cdot 0.06 + 50 \cdot 0.09 + 60 \cdot 0.12 + 20 \cdot 0.15 + 10 \cdot 0.18 \approx 20$$

und

$$n_{AWR}(2) := 30 \cdot 0.105 + 30 \cdot 0.135 + 50 \cdot 0.165 + 60 \cdot 0.195 + 20 \cdot 0.225 + 10 \cdot 0.225 \approx 34$$

2.2 HotSpot

Um zu ermitteln, welches der beiden Untersuchungsgebiete zuerst lärmsaniert werden soll, ist zunächst zu entscheiden, ob die Tages- oder die Nacht-Belastungen zur Entscheidung gewählt werden sollen.

- Wenn die Tages-Belastungen entscheiden sollen, dann ist das Untersuchungsgebiet mit dem höheren mittleren Jahres-Tages-Lärm-Mittelungspegel zuerst zu sanieren.
- Wenn die Nacht-Belastungen entscheiden sollen, dann ist das Untersuchungsgebiet mit der höheren Summe n_{AWR} der Aufweckreaktionen zuerst zu sanieren.

HotSpot bezüglich nächtlicher Verkehrsbelastung von G1 und G2
 In dem oben angegebenen Beispiel sollten bei Verwendung der linearisierten Gleichung (1) die Gebäude auf dem Untersuchungsgebiet G2 zuerst saniert werden, da auf diesem Untersuchungsgebiet in einer typischen Nacht 34 Aufweckreaktionen auftreten, auf dem Untersuchungsgebiet G1 aber (nur) 20.

Für die Bewohner von Untersuchungsgebiet G2 bedeuten diese 83 Aufweckreaktionen, dass

- 34 Untersuchungsgebiets-Bewohner einmal, oder
- 1 Untersuchungsgebiets-Bewohner 34 mal, oder
- 17 Untersuchungsgebiets-Bewohner zweimal, oder
- 3 Untersuchungsgebiets-Bewohner einmal, 8 Untersuchungsgebiets-Bewohner zweimal und 5 Untersuchungsgebiets-Bewohner dreimal

aufwachen.

3 Zusammenfassung

Für den Fall, dass die Lärmbelastung durch Verkehrslärm während der Nacht höher ist als die während des Tages, wurden hier zwei Verfahren zur Bestimmung eines HotSpots angegeben.

Bei dem ersten Verfahren wird für die Aufweckwahrscheinlichkeit eine Kurve verwendet, die neben dem Vorbeifahrpegel auch die Vorbeifahrzeit berücksichtigt (*Bild 2.2*) und bei dem nur höchstens 100% der Bewohner betroffen sind (siehe auch den Aufsatz „Aufweckreaktionen und Verkehrslärm“ ([4])).

Bei dem zweiten Verfahren wird die Anzahl Aufweckpegel durch eine lineare Funktion bestimmt, nach der bei 175 *dB* alle Bewohner (und bei 200 *dB* sogar 118%) aufgeweckt werden. Durch das erste Verfahren wird der Unterschied bezüglich der Lärmbelastung der beiden Untersuchungsgebiete deutlicher dargestellt.

Literatur

- [1] VDI 3722-2: Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Teil 2, 2. Entwurf, Februar 2009
- [2] WINDELBERG, DIRK: Aufweck-Pegel und Lärmpausen bei Schienen- und Fluglärm. Immissionsschutz **9** (2004),114-124
- [3] Windelberg, D., Vogelsang, B.: *Mathematische Aspekte der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch transiente Geräuschereignisse auf der Grundlage von zeitlich veränderlichen Cortisol-Konzentrationen*. Tagungsbericht DAGA '06, 16.03.2006 Braunschweig.
- [4] WINDELBERG, DIRK: Aufweckreaktionen und Verkehrslärm. www.iazd.uni-hannover.de/~windelberg/search/laerm/wi3722_2b.pdf