



# Messungen zu (nächtlichem) Schienenverkehr

Stand: 6. Juli 2011

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Mittelungs- und Vorbeifahrpegel eines Montags</b>	<b>3</b>
2.1	Messdaten . . . . .	3
2.2	Rekonstruktion der einzelnen Stundenpegel . . . . .	3
2.3	Rekonstruktion Vorbeifahrten in einer Nachtstunde . . . . .	4
2.4	Minimal-Anforderungen an eine Messstelle zur Messung . . . . .	5
2.5	Optimal-Anforderung an eine Messstelle . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Lärmminderung</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Beispiele</b>	<b>7</b>
4.1	Dokumentation einzelner Vorbeifahrten . . . . .	7
4.2	Dokumentation einer einzelnen Nacht . . . . .	10
4.3	Dokumentation von Änderungen der Vorbeifahrpegel . . . . .	11
<b>5</b>	<b>weiterführende Betrachtungen</b>	<b>12</b>

# 1 Vorbemerkungen

In diesem Aufsatz wird beispielhaft gezeigt, wie Messergebnisse einzelner Messstellen ausgewertet werden (können). Da sich die gesetzlichen Vorschriften (in der 16. BImSchV und in der Schall03 (1990)) jeweils auf Jahres-Nacht-Mittelungspegel beziehen, ist eine automatisierte Messung erforderlich, um zu prüfen, ob die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden - aber auch, um eventuelle Änderungen der (nächtlichen) Lärmbelastung zu dokumentieren.

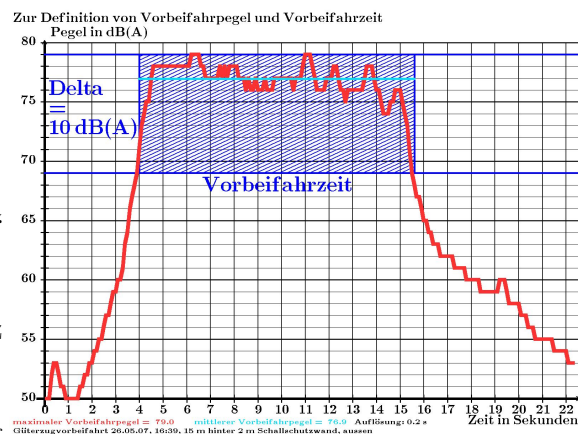
Für die nächtliche Lärmbelastung ist der Jahres-Nacht-Mittelungspegel nur eine sehr vereinfachte Kennziffer, da weitere Parameter, die möglicherweise die Nachtruhe stören; insbesondere hat beim Schienenverkehr die Verteilung der einzelnen (unterschiedlichen) Vorbeifahrpegel über jede Nacht eines Jahres einen Einfluß auf die Nachtruhe.

An verschiedenen Messstellen wird „der (nächtliche) Schienenverkehrslärm“ gemessen.

Dazu werden während einer „Vorbeifahrzeit“ (siehe *Bild 1*)

- mit einer bestimmten Taktfrequenz (F(ast) oder S(low)) und
- mit einer bestimmten Bewertung (meist „A“)

gemessen.



*Bild 1*

$$\text{Vorbeifahrzeit} = 16 - 4 = 12 \text{ s}$$

$$\text{maximaler Vorbeifahrpegel} = 79.0 \text{ dB(A)}$$

$$\text{mittlerer Vorbeifahrpegel} = 76.9 \text{ dB(A)}$$

$$\text{Auflösung: } 0.2 \text{ s}$$

Die digitale Aufzeichnung enthält dann bereits berechnete Mittelungen, um die Daten zu reduzieren <sup>1)</sup>.

Eine „typische Nacht“ kann nur dann definiert werden, wenn alle 365 Nächte eines Jahres bezüglich der Zugvorbeifahrten als „ungefähr gleich“ angenommen werden können. Eine solche Annahme ist an vielen Orten nicht berechtigt.

<sup>1)</sup> Der Lärmwirkungsforschung genügt meist sogar der Jahres-Nacht-Mittelungspegel, bei dem zusätzlich gemittelt wird über

- die unterschiedlichen Anzahlen von Zug-Vorbeifahrten an den 7 Wochentagen
- die jahreszeitlich bedingten Änderungen in den Anzahlen.

## 2 Mittelungs- und Vorbeifahrpegel eines Montags

In diesem Kapitel wird gezeigt, welche (willkürlichen?) Annahmen erforderlich sind, um aus Nacht- oder Stunden-Mittelungspegeln eine nächtliche Lärmbelastung für eine Nacht zu rekonstruieren.

### 2.1 Messdaten

In der Woche vom 1.11.2010 bis 08.11.2010 traten z.B. an einer Bahnstrecke von O nach E folgende Nacht-Mittelungspegel auf:

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
68	69	69	68	67	60	67

*Tabelle 2.1:* Nacht-Mittelungspegel während einer „typischen“ Woche  
(Sind die 7 Nächte dieser Woche bezüglich der Zugvorbeifahrten „ungefähr gleich“?)

Dies sind jeweils die Mittelungspegel in  $dB(A)$  von 8 Nachtstundenpegeln.

### 2.2 Rekonstruktion der einzelnen Stundenpegel

Es wird der Mittelungspegel von  $68 dB(A)$  in der Montagsnacht betrachtet:  
Diese  $68 dB(A)$  ergeben sich aus 8 Nachtstundenpegeln. Diese können nicht eindeutig rekonstruiert werden; daher betrachten wir 4 mögliche Situationen:

Nachtstunden Mo	22-23	23-24	24-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	gesamt
Beispiel 1 :	68	69	69	68	67	60	67	70	67.9
Beispiel 2 :	72	71	60	60	60	60	62	73	68.3
Beispiel 3 :	74	67	30	30	30	30	32	73	68.0
Beispiel 4 :	30	32	33	74	73	50	32	34	67.5

*Tabelle 2.2:* 4 mögliche Rekonstruktionen der Stunden-Mittelungspegel für eine Nacht mit dem Nacht-Mittelungspegel  $68 dB(A)$

also haben wir hier 4 völlig unterschiedliche Nächte rekonstruiert:

- im Beispiel 1 ist es in jeder Nachtstunde laut.
- im Beispiel 2 ist es nur spät abends (bis 24 Uhr) laut und dann wieder morgens ab 05 Uhr.
- im Beispiel 3 ist es auch nur spät abends (bis 24 Uhr) laut und dann wieder morgens ab 05 Uhr, aber während der Nachtstunden von Mitternacht bis 05 Uhr ist es vielleicht schon zu leise!
- im Beispiel 4 ist es abends (bis 01 Uhr) extrem ruhig; dann aber wird es von 01 bis 03 Uhr extrem laut - aber von 03 bis 06 Uhr ist wieder Ruhe eingeleitet.

Nächtliche Lärmbelastung wird nicht durch diese Stunden-Mittelungspegel beschrieben, sondern durch die einzelnen Vorbeifahrpegel.

Die 4 Beispiele zeigen, dass eine Rekonstruktion nicht eindeutig ist. Die nächtliche Lärmbelastung in diesen 4 Fällen ist nicht gleich, obwohl die Nacht-Mittelungspegel gleich sind.

#### Lärmwirkungsforschung zu einer nächtlichen Lästigkeit

Wenn dennoch Anwohner im Rahmen einer Studie einer Lärmwirkungsforschung nach der Lästigkeit befragt werden, ist es nicht verwunderlich, wenn zu genau diesem Nacht-Mittelungspegel sehr unterschiedliche Lästigkeitsstufen angegeben werden.

Ungeachtet der Problematik, nächtliche Lästigkeit durch Befragung zu bestimmen

## 2.3 Rekonstruktion Vorbeifahrten in einer Nachtstunde

Es werden nur Güterzüge betrachtet<sup>2)</sup>. Sie fahren auf Betonschwellen, ihre Geschwindigkeit beträgt  $100\text{ km/h}$ , ihre Länge  $500\text{ m}$  (daher benötigen sie für die Vorbeifahrt  $18\text{ s}$ ) und sie haben Grauguß-Klotzbremsen.

Im Mittel sollte dann der Vorbeifahrpegel in  $25\text{ m}$  Entfernung  $92\text{ dB}(A)$  betragen - aber es gibt natürlich auch lautere und leisere Züge.

### Annahme 1

Jeder der vorbeifahrenden Güterzüge hat die gleiche Vorbeifahrzeit von  $18\text{ s}$  und verursacht während dieser Zeit einen konstanten Vorbeifahrpegel von  $92\text{ dB}(A)$  in  $25\text{ m}$  Entfernung von der Gleismitte und  $3.5$  über der Schieneneoberkante.

Diese Annahme ist im Allgemeinen nicht erfüllt: Bei Geschwindigkeiten von etwa  $100\text{ km/h}$  streuen die Vorbeifahrpegel um  $\pm 6.5\text{ dB}(A)$ ; im Mittel ist jeder 20. Güterwagen um  $6\text{ dB}(A)$  lauter als der Mittelungspegel.

Unter dieser Annahme kann jeweils der Stunden-Mittelungspegel bestimmt werden:

- 1 Güterzug liefert einen Stundenpegel von  $69.0\text{ dB}(A)$
- 2 Güterzüge liefern einen Stundenpegel von  $72.0\text{ dB}(A)$
- 3 Güterzüge liefert einen Stundenpegel von  $73.8\text{ dB}(A)$

---

<sup>2)</sup> Personenzüge mit Geschwindigkeiten bis  $120\text{ km/h}$  sind wesentlich leiser.

## 2.4 Minimal-Anforderungen an eine Messstelle zur Messung der Lärmbelastung durch nächtlichen Güterzugverkehr

Eine Messstelle sollte daher folgende Informationen liefern:

M.1 Standort der Messstelle:

Der Standort der Messstelle bezüglich der betrachteten Gleise und bezüglich der betrachteten Wohnungen muss bekannt sein.

M.2 Mittelungspegel für jede der 8 Nachtstunden:

Für jede einzelne Nachtstunde (jeder Nacht) ist der Stundenpegel anzugeben. Der Mittelungspegel für die gesamte Nacht kann zusätzlich angegeben werden<sup>3)</sup>.

M.3 die 6 lautesten Vorbeifahrpegel während der 8 Nachtstunden:

Uhrzeiten und Pegelhöhen, zu denen diese 6 lautesten Pegel jeweils auftraten.

Aus M.2 und M.3 ergäbe sich nach dem oben genannten Beispiel 2 z.B. folgende Tabelle:

	Nacht-Pegel (in $dB(A)$ )								gesamt
	22-23	23-24	24-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	
Messtag	Montag, 01.11.2010								
Stundenpegel	72	71	60	60	60	60	62	73	68.3
6 lauteste	94+93	96+92	-	-	-	-	88	93	
Messtag	Dienstag, 02.11.2010								

*Tabelle 2.3:* Die 6 lautesten Vorbeifahrpegel während der 8 Nachtstunden an einem Montag während einer „typischen“ Woche

## 2.5 Optimal-Anforderung an eine Messstelle der Lärmbelastung durch nächtlichen Güterzugverkehr

An der „optimalen“ Messstation wird zu jeder der 8 Nachtstunden gemessen:

### Notwendige Messdaten von Güterzugvorbeifahrten

- (5.1) die Anzahl  $n(j)$  Güterzüge für die  $j$ -te Nachtstunde ( $1 \leq j \leq 8$ )  
(die Erkennung von Güterzügen kann in Form kurzer Video-Sequenzen erfolgen, die erkennen lassen, ob die Lärmquelle ein Güterzug - oder etwas Anderes - ist).
- (5.2) In jeder Nachtstunde  $j$  von jeder Güterzugvorbeifahrt  $i$  mit  $1 \leq i \leq n(j)$
- (5.21) der Vorbeifahrpegel  $p(i, j)$  in  $dB(A)$
- (5.22) die Vorbeifahrzeit  $t(i, j)$  in Sekunden

<sup>3)</sup> der Nacht-Mittelungspegel kann auch aus den einzelnen Stundenpegeln berechnet werden.

Damit kann der Stundenpegel  $p_h(i, j)$  dieses Zuges berechnet werden:

$$p_h(i, j) = p(i, j) + 10 \cdot \log \left[ \frac{t(i, j)}{3600} \right] \quad (1)$$

Es wird angenommen, dass alle Güterzüge mit der maximal zulässigen Streckengeschwindigkeit  $v(max)$  (in  $km/h$ ) fahren.

Damit ist auch eine „theoretische Zuglänge“  $l_{theo}(i, j)$  berechenbar:

$$l_{theo}(i, j) = v(max) \cdot t(i, j)$$

$t(i, j)$	theoretische Zuglänge $l_{theo}(i, j)$ in $m$		
	$v(max) = 80 km/h$	$v(max) = 100 km/h$	$v(max) = 120 km/h$
5 s	111	139	167
10 s	222	278	333
12 s	267	333	400
14 s	311	389	467
16 s	356	444	533
18 s	400	500	600
20 s	444	556	667
25 s	556	694	833
30 s	667	833	1000

Tabelle 2.4: Berechnung der Zuglänge aus Vorbeifahrzeit und Geschwindigkeit

### 3 Lärminderung

Um die Wirksamkeit von Lärminderungsvorhaben zu verfolgen, wird nach der Schall 03 (1990) der Emissionspegel eines einzelnen Güterwagens wie folgt gerechnet:

$$\begin{aligned} p_h(i, j) &= \text{Grundwert} + D_{Fz} + D_D + D_l + D_v + D_{Fb} + D_{Br} + D_{Bü} + D_{Ra} \\ &= \text{Grundwert} + 0 + 7 + 10 \cdot \log [0.01 \cdot l_{theo}(i, j)] + 20 \cdot \log [0.01 \cdot v(max)] + 2 + 0 + 0 + 0 \end{aligned}$$

also

$$p_h(i, j) = (\text{Grundwert} + 7 + 2) + 10 \cdot \log [0.01 \cdot v(max) \cdot t(i, j)] + 20 \cdot \log [0.01 \cdot v(max)] \quad (2)$$

Mit den Gleichungen (1) und (2) zeigt sich, dass für diese Berechnung die Erfassung der unter (5.1), (5.21) und (5.22) genannten Daten ausreichend ist.

#### Merkmale für eine Lärminderung

Eine Lärminderung ist daran erkennbar, dass die nach Gleichung (2) zu jeder einzelnen Güterzugvorbeifahrt berechneten Stundenpegel  $p_h(i, j)$  sinken; jede dieser Rechnungen verwendet die nach (5.1) und (5.2) gemessenen Vorbeifahrpegel  $p(i, j)$  und Vorbeifahrzeiten  $t(i, j)$ , die von amtlichen Messstellen an festen Orten erfasst werden.

Aus der Gleichung (2) ist erkennbar, dass diese Lärminderung nur

- durch eine Reduktion des Grundwertes (d.h. Verbesserung des Schienenzustandes),
- durch eine Reduktion des Summanden  $D_D$  (d.h. einer Verbesserung der Bremsbauart) und
- durch eine Reduktion des Summanden  $D_{Fb}$  (d.h. einer Verbesserung der Fahrbahnart)

erreicht werden kann.

## 4 Beispiele

### 4.1 Dokumentation einzelner Vorbeifahrten

Am Ort *H* werden „Sekunden-Pegel“ ermittelt: Während der nach *Bild 1* definierten Vorbeifahrzeit wird für jede Sekunde

- der A-bewertete gemittelte Vorbeifahrpegel
- der A-bewertete Maximalpegel
- die Vorbeifahrtgeschwindigkeit
- ein Foto des (durch eine Lampe beleuchteten) vorbeifahrenden Zuges

dokumentiert.

Aus dem Foto ist ersichtlich, ob die dokumentierten Pegel von einem Personenzug oder einem Güterzug stammen - und auf welchem der beiden Gleise der Zug vorbeifuhr. (Es ist auch erkennbar, ob der Pegel von irgend einem anderen Ereignis stammt.)

Es wurde eine Messeinrichtung an einem 2-gleisigen Schienenweg im Abstand von 25 *m* von der Gleismitte des 1. Gleises installiert, auf der Güterzüge nach rechts an der Messstelle vorbeifuhren; entsprechend weit dahinter lag das 2. Gleis, auf dem die Güterzüge nach links vorbeifuhren.

Es wurde jeweils eine Zugvorbeifahrt gemessen.

Die angegebenen Zeiten sind Sekunden (Sek.)! Wenn die Sekunden sie in schwarz geschrieben sind, ist der Güterzug zwar schon zu hören, aber es ist noch keine „Vorbeifahrzeit“ gemäß *Bild 1*.

Während der Vorbeifahrzeit sind die Sekunden in **rot** geschrieben.

H:234705: 2. Gleis (hinten, nach links)				H:232751: 1. Gleis (vorn, nach rechts)			
Sek.	$L_{A,F,eq,1s}$	$L_{A,F,max,1s}$	Geschw.	Sek.	$L_{A,F,eq,1s}$	$L_{A,F,max,1s}$	Geschw.
05	48.3	49.6	–	50	59.8	60.2	–
07	55.6	56.6	88	52	61.8	61.2	–
08	57.7	58.6	86	53	63.2	64.2	–
09	60.2	62.1	79	54	66.3	68.2	–
10	66.0	68.3	88	55	74.4	77.1	91
11	72.8	75.4	82	56	82.3	83.3	88
12	79.3	81.0	82	57	83.0	83.5	92
13	82.2	83.2	77	58	83.0	83.5	91
14	84.4	85.8	76	59	85.1	86.4	87
15	85.2	86.1	79	60	87.7	89.2	92
16	85.4	86.0	83	01	90.0	90.9	86
17	85.1	86.1	80	02	91.0	91.6	86
18	82.8	84.0	81	03	91.3	91.8	91
19	84.5	85.2	78	04	90.5	91.1	87
20	84.7	85.2	82	05	91.4	92.3	87
21	84.3	84.8	76	06	91.2	91.7	91
22	84.3	84.8	76	07	90.8	91.5	88
23	85.2	85.9	82	08	91.3	92.0	92
24	84.6	85.6	83	09	90.6	91.4	88
25	82.7	83.9	83	10	89.0	90.2	83
26	83.3	84.0	76	11	89.0	90.2	83
27	85.1	86.4	79	12	88.3	88.9	85
28	86.9	87.3	80	13	89.7	91.1	89
29	86.7	87.5	78	14	89.7	91.1	89
30	85.5	86.0	80	15	90.8	91.4	89
31	84.2	85.9	83	16	90.1	90.6	87
32	83.1	83.8	67	17	90.1	90.6	97
33	83.2	84.0	82	18	89.4	90.6	97
34	84.0	84.5	80	19	85.8	88.2	98
35	83.8	84.6	65	20	81.1	84.2	97
36	84.7	85.3	59	21	77.8	79.3	97
37	85.1	85.6	59	22	76.1	77.2	97
38	84.1	85.4	59	23	73.6	74.9	97
39	75.0	77.9	59				
40	75.0	77.9	–				
41	71.5	73.1	–				
42	69.0	70.9	–				
<b>mittel</b>	84.2	85.0	77.7	<b>mittel</b>	89.4	90.2	89.0
<b>maximum</b>	86.9	87.5		<b>maximum</b>	91.4	92.3	

Tabelle 4.1: Dokumentation und Auswertung zweier Güterzugvorbeifahrten

Diese Aufzeichnung zeigt:

- die Geschwindigkeit wird sehr schlecht erfasst; damit ist die Länge des Zuges nicht genau bestimmbar (das ist vielleicht auch nicht notwendig):  
Für den Zug H:234705 ist die mittlere Geschwindigkeit  $77.7 \text{ km/h}$ , und er benötigt für die Vorbeifahrt 28 Sekunden, also ist seine Länge etwa  $600 \text{ m}$ .  
Für den Zug H:232751 ist die mittlere Geschwindigkeit  $89 \text{ km/h}$ , und er benötigt für die Vorbeifahrt 24 Sekunden, also ist seine Länge auch etwa  $600 \text{ m}$ .

- Die Spitzenpegel während einer Vorbeifahrt lagen in den beiden hier betrachteten Fällen um bis zu  $2.5 \text{ dB}(A)$  höher als der (mittlere) Vorbeifahrpegel.

Für die Bestimmung der Aufweckwahrscheinlichkeit ist - mit Hilfe der Ausbreitungsrechnung - jeder Pegel bis an das Ohr eines Schläfers zu verfolgen.

Erst wenn der Pegel am Ohr des Schläfers bekannt ist, kann über Aufweckreaktionen diskutiert werden.

## 4.2 Dokumentation einer einzelnen Nacht

Hier wurde vereinfachend angenommen, dass alle Güterzüge mit der maximal zulässigen Streckengeschwindigkeit fahren (damit war es nicht notwendig, die wirkliche Geschwindigkeit zu messen.)

Statt dessen wurde die Vorbeifahrzeit (hier durch *V-zeit* abgekürzt) in Sekunden gemessen.

2. Gleis (hinten, nach links)					1. Gleis (vorn, nach rechts)				
Nr.	Zeit	$L_{A,F,eq,1s}$	$L_{A,F,max,1s}$	V-zeit	Nr.	Zeit	$L_{A,F,eq,1s}$	$L_{A,F,max,1s}$	V-zeit
1	22:05	82.9	84.3	21	28	22:04	81.2	82.7	23
2	22:06	90.5	93.1	30	29	22:28	76.1	78.5	19
3	22:14	91.6	94.2	26	30	22:52	86.3	87.4	20
4	22:44	93.2	94.3	23	31	00:05	87.0	89.8	19
5	22:51	83.2	86.1	25	32	00:21	87.7	89.4	19
6	22:57	85.9	87.4	17	33	00:43	86.0	86.9	30
7	23:36	92.2	95.1	17	34	00:56	76.3	78.9	29
8	00:13	92.3	93.7	27	35	01:12	87.4	89.4	23
9	00:36	86.4	88.7	28	36	01:14	87.9	90.6	27
10	00:40	91.8	92.7	16	37	01:17	84.9	87.1	24
11	00:55	87.4	87.7	23	38	01:38	84.7	85.3	23
12	01:11	85.3	88.0	28	39	01:49	76.2	76.2	19
13	01:16	90.9	92.6	27	40	02:17	82.5	83.3	25
14	01:37	89.6	92.2	18	41	02:19	77.8	80.3	24
15	01:38	91.9	94.4	29	42	02:25	87.4	89.7	25
16	01:45	81.5	83.9	24	43	02:29	87.5	90.4	30
17	02:28	90.2	93.0	27	44	02:57	84.1	86.0	17
18	03:11	88.7	88.9	18	45	03:14	86.6	87.5	22
19	03:22	92.2	94.7	21	46	03:28	75.2	78.1	30
20	03:31	91.1	91.8	24	47	03:29	85.2	87.2	27
21	03:36	90.3	91.1	23	48	03:35	81.5	83.5	25
22	03:56	90.3	90.4	23	49	03:42	87.5	90.2	19
23	04:27	86.0	88.7	18	50	04:21	84.3	84.8	27
24	04:33	89.7	92.7	20	51	04:24	78.0	79.5	22
25	05:12	87.3	88.1	19	52	04:31	85.1	86.2	17
26	05:12	81.7	83.3	30	53	04:53	81.9	84.0	29
27	05:35	83.8	84.8	25	54	05:58	75.2	77.4	23
<b>mittel</b>		89.4	91.5	23	<b>mittel</b>		85.0	86.6	24
<b>maximum</b>		93.2	95.1	30	<b>maximum</b>		87.9	90.6	30

Table 4.2: Dokumentation der Vorbeifahrten während einer Nacht

Um zu prüfen, ob die in einem Planfeststellungsverfahren angegebenen berechneten Nacht-Stunden-Vorbeifahr-Mittelungspegel für einen bestimmten Ort gültig sind, müßten für jede Nacht eines Jahres Dokumentationen in oben dargestellter Form (Table 4.2) vorliegen. Dann wäre das Problem der Beschreibung einer „typischen Nacht“ innerhalb eines Jahres offenkundig:

- 4.1 Es gibt Tage, an denen „sehr wenige“ Güterzüge fahren - und die Nacht mit der niedrigsten Belastung könnte die „typische“ Nacht sein.
- 4.2 Es gibt Tage, an denen „sehr viele“ Güterzüge fahren - und die Nacht mit der höchsten Belastung könnte die „typische“ Nacht sein.

- 4.3 Es gibt Tage, an denen die lautesten Güterzüge in der Zeit zwischen 24 und 05 Uhr fahren - und die Nacht mit der höchsten Belastung während dieser Zeit könnte die „typische“ Nacht sein, obwohl der Nacht-Stunden-Vorbeifahr-Mittelungspegel dieser Nacht die Belastung während der Zeit zwischen 24 und 05 Uhr nicht gesondert berücksichtigt.
- 4.4 Es gibt Tage, an denen die lautesten Güterzüge in der Zeit zwischen 22 und 24 Uhr und zwischen 05 und 06 Uhr fahren - und die Nacht mit der höchsten Belastung während dieser Zeit könnte die „typische“ Nacht sein, obwohl der Nacht-Stunden-Vorbeifahr-Mittelungspegel dieser Nacht die Belastung während der Zeit zwischen 22 und 24 Uhr sowie zwischen 05 und 06 Uhr nicht gesondert berücksichtigt.

Theoretisch gibt es keine „beste“ Lösung zu Bestimmung der „typischen Nacht“. Aber es wird deutlich, dass für Anwohner an Gleisen mit nächtlichem Güterzugverkehr die unter 4.1 angegebene Definition nicht akzeptabel ist.

### 4.3 Dokumentation von Änderungen der Vorbeifahrpegel

Wenn untersucht werden soll, ob sich während eines bestimmten Zeitraumes die Vorbeifahrpegel von Güterzügen (z.B. infolge Umrüstung des Bremssystems) änderten, dann sind folgende Messdaten erforderlich:

#### A Messort und -punkt

- A.1 Festlegung eines Messortes mit einem zweigleisigen Güterzug-Schienenweg.  
(Ein zweigleisiger Schienenweg enthält vier Schienen mit meist unterschiedlichem Schienenzustand; dadurch ist eine einfache Mittelung des Schienenzustandes gegeben.)
- A.2 An dem Messort sollten an einem Messtag (24 Stunden) mindestens 100 Güterzüge vorbeifahren.  
(Dadurch soll verhindert werden, die gleichen Güterzüge mehrfach gezählt werden und/oder unterschiedliche Wetterverhältnisse die Messungsergebnisse beeinflussen.)
- A.3 Festlegung eines Messpunktes, der in einem Abstand zwischen 7.5 m und 25 m von der Mitte zwischen den beiden Gleisen entfernt ist und der sowohl zu Beginn als auch zum Ende der Dokumentation zugänglich ist.

#### B Messungen zu Beginn / als Zwischenergebnis / zum Ende der Untersuchung

Erfassung von mindestens 100 aufeinanderfolgenden Güterzugvorbeifahrten (auf jedem Gleis mindestens 50) entsprechend der hier dargestellten „Dokumentation einer einzelnen Nacht“.

#### C Auswertung

Die Mittel- und Maximal-Pegel der 100 aufeinanderfolgenden Güterzugvorbeifahrten der beiden Gleise vom Ende der Untersuchung sind zu vergleichen mit den entsprechenden Pegeln vom Anfang der Untersuchung

## 5 weiterführende Betrachtungen

1. In *Aufweck-Pegel und Lärmpausen bei Schienen- und Fluglärm*, publiziert in Immissionsschutz 9 (2004), 114-124, vom Autor dieses Aufsatzes, wurde eine Formel eingeführt, die auch die Dauer der Lärmeinwirkung berücksichtigt ist.
2. In *Mathematische Aspekte der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch transiente Geräuscheignisse auf der Grundlage von zeitlich veränderlichen Cortisol-Konzentrationen*, publiziert im Tagungsbericht DAGA '06, 16.03.2006 Braunschweig, wurde in Zusammenarbeit zwischen B. Vogelsang und dem Autor dieses Aufsatzes eine Formel eingeführt, in der die Pausenstruktur berücksichtigt wird.
3. In *Versuch einer Beschreibung der Aufweckreaktionen*,  
zur Zeit nur publiziert unter [www.iazd.uni-hannover.de/~windelberg](http://www.iazd.uni-hannover.de/~windelberg)  
findet sich eine Zusammenfassung der beiden oben genannten Publikationen.