



Monitoring von Güterzügen

Stand: 18. März 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbeifahrpegel: Messung und Berechnung	2
2	Grundlagen	3
2.1	Definition: (mittlerer) Vorbeifahrpegel	3
2.2	Jahres-Nacht-Mittelungspegel	3
2.3	Berechnungsverfahren Schall 03 (1990)	4
2.3.1	Emissionspegel 25 m von Gleismitte, 3.5 m über Grund	4
3	Monitoring	6
3.1	Bilderkennung	6
3.2	Erforderliche Messwerte	6
3.3	Erforderliche Messgeräte	7
3.4	Bezeichnungen	7
4	Exemplarische Auswertung	9
5	Ausblick	11
5.1	Lärmauffällige Güterwagen	11
5.2	Nachweis einer Lärminderung	11
5.3	Ausbreitungsrechnung	12

1 Vorbeifahrpegel: Messung und Berechnung

Zur Berechnung des Schienenverkehrslärms durch Güterzüge gibt es die Schall03 (1990) ([1]), die auch für jede Planfeststellung angewandt wird, um „die Lärmbelastung“ durch Schienenverkehr im Jahresmittel jeweils für den Tag und für die Nacht zu berechnen.

Einerseits besteht die Notwendigkeit, für neu geplante Strecken die Lärmbelastung abzuschätzen. Andererseits sind vermutlich die unterschiedlichen Anzahlen von Güterzugvorbeifahrten

- an den einzelnen Wochentagen
- in den einzelnen Tages- und Nachtstunden

sowie die starken Streuungen der Vorbeifahrpegel einzelner Güterzüge ein Grund für die Entscheidung, keine Messungen zur Ergänzung oder Bestätigung der Rechnungen vorzusehen. So erfordert an einer vorhandenen Strecke allein eine Bestandsaufnahme der jährlichen Belastung mathematisch/statistische Fachkenntnisse, um die Messungen an einem Messort während einer bestimmten Zeit zu auswerten.

Dennoch besteht die Notwendigkeit, die berechnete mit der gemessenen Lärmbelastung zu vergleichen: Nur durch eine Messung kann eine Lärminderung z.B. infolge einer Verbesserung von Güterwagen und/oder Schienenzustand erfasst werden; durch Rechnung nach der Schall03 (1990) werden einzelne Güterzüge nicht leiser (und nicht lauter).

Bei der Berechnung wird für einen „durchschnittlich guten Schienenzustand“, für „gut gepflegte Räder“ und für „feste Aufbauten“ ein „Grundwert“ in Höhe von $51 \text{ dB}(A)$ festgelegt. Dieser Grundwert ändert sich jedoch mit dem Schienen-, Räder- und Aufbautenzustand, und damit ändert sich auch der Vorbeifahrpegel.

In diesem Aufsatz wird an einer vorhandenen Strecke bei 100 Güterzugvorbeifahrten aus den notwendigen Messdaten der jeweilige Grundwert bestimmt. Wenn eine solche Messung nach einem bestimmten Zeitraum wiederholt wird, lassen sich die beiden Verteilungen der jeweils 100 Grundwerte miteinander vergleichen, um zu erkennen, ob sich der Zustand der Schienen, Räder oder Aufbauten im Laufe dieses Zeitraumes veränderten.

2 Grundlagen

2.1 Definition: (mittlerer) Vorbeifahrpegel

An verschiedenen Messstationen wird
 „der Schienenverkehrslärm“
 gemessen, indem jede einzelne Vorbeifahrt eines
 Schienenfahrzeuges dokumentiert wird:
 Dazu werden während einer „Vorbeifahrzeit“
 (oder „Einwirkzeit“)

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

gemessen.

Aus *Bild 2.1* kann daher erkannt werden:

Vorbeifahrzeit = 16 - 4 = 12 s

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

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

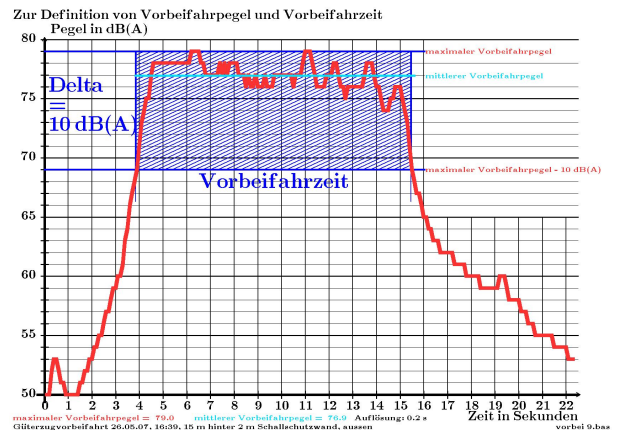


Bild 2.1

Definition (mittlerer) Vorbeifahrpegel
 Auflösung: 0.2 s

2.2 Jahres-Nacht-Mittelungspegel

In mehreren Schritten werden die einzelnen Vorbeifahrpegel jeweils gemittelt, um daraus einen „Jahres-Nacht-Mittelungspegel“ zu definieren:

- **Stunden-Mittelungspegel**

Für jede der 8 Nachtstunden einer Nacht wird das energetische Mittel aller Vorbeifahrpegel der einzelnen Zugvorbeifahrten gebildet.

- **Nacht-Mittelungspegel**

Für jede der 365 Nächten eines Jahres wird das energetische Mittel aller 8 einzelner Stunden-Mittelungspegel gebildet¹⁾.

- **Jahres-Nacht-Mittelungspegel**

Für ein Jahr wird das energetische Mittel aller 365 einzelner Stunden-Mittelungspegel gebildet²⁾.

Wenn in der Lärmwirkungsforschung nach einer „Dosis-Wirkungs-Beziehung“ gesucht wird, so wird die „Dosis“ Schienenverkehrslärm beschrieben

- entweder durch den in einem Planfeststellungsverfahren festgelegten Jahres-Nacht-Mittelungspegel, der sich auf Daten aus einem zurückliegenden Jahr bezieht,
- oder durch den Nacht-Mittelungspegel einer frei definierten „typischen Nacht“

¹⁾ Es ist zwar nicht sinnvoll, einen Vorbeifahrpegel von z.B. 60 dBA) für 25 s um 22:30 Uhr bezüglich seiner nächtliche Störwirkung ebenso zu bewerten wie einen gleichen Vorbeifahrpegel um 02:20 Uhr, aber die Schall03(1990) sowie der L_{DN} und der L_{DEN} erfordern keine feinere Aufteilung der nächtlichen Pegel.

²⁾ Dieser Jahres-Nacht-Mittelungspegel sollte jedoch noch nicht als „Mittelungspegel einer „typischen Nacht“ definiert werden.

2.3 Berechnungsverfahren Schall 03 (1990)

2.3.1 Emissionspegel 25 m von Gleismitte, 3.5 m über Grund

Nach der *Schall 03 (1990)* wird der auf eine Stunde bezogene „Emissionspegel $L_{m,E}$ “ eines einzelnen Güterzuges (ohne die Lok)³⁾ für eine Messstation, die sich in einem seitlichen Abstand von 25 m von der Gleismitte und in einer Höhe von 3.5 m über der Schienenoberfläche in ebenem Gelände befindet, wie folgt gerechnet:

$$L_{m,E} = \mathbf{G} + D_{Fz} + D_D + D_l + D_v + D_{Fb} + D_{Br} + D_{Bü} + D_{Ra} \quad (2)$$

Darin sind

Abkürzung	Erklärung	Definition
$L_{m,E}$	Emissionspegel des Güterzuges, bezogen auf eine Stunde	
\mathbf{G}	„Grundwert“ zur Beschreibung eines Grundzustandes aller Schienen („durchschnittlich guter Schienenzustand“) und aller Wagen mit allen ihren Rädern	
D_{Fz}	Einfluss der Fahrzeugart	Güterzüge: $D_{Fz} = 0$
D_D	Einfluss der Bremsbauart (=Anteil p der scheibengebremsten Güterwagen)	$D_D = 10 \cdot \lg [5 - 0,04 \cdot p]$
D_l	Einfluss der Länge l des Zuges (in m)	$D_l = 10 \cdot \lg [0,01 \cdot l]$
D_v	Einfluss der Geschwindigkeit v (in m/s)	$D_v = 20 \cdot \lg [0,01 \cdot v]$
D_{Fb}	Einfluss der Fahrbahnart	Betonschwelle: $D_{Fb} = 2$
D_{Br}	Einfluss der Brücken	keine Brücke: $D_{Br} = 0$
$D_{Bü}$	Einfluss der Bahnübergänge	kein Bahnübergang: $D_{Bü} = 0$
D_{Ra}	Einfluss der Kurven	Kurvenradius ≥ 500 m: 0

Tabelle 1.3.1: Parameter der Stunden-Pegel

Bedeutung des Grundwertes für den Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Pegeln

In der Schall 03 (1990) wird der Grundwert konstant durch $G = 51 \text{ dB}(A)$ angesetzt. Wenn sich jedoch der Schienenzustand oder der Zustand der Güterwagen gegenüber einem bei der Verfassung der Schall 03 (1990) gewählten „normalen“ Zustand ändert, dann stimmen Emissionspegel und $L_{m,E}$ nicht mehr überein.

Hier wird daher die Formel (2) verwendet, um gemessene Vorbeifahrpegel mit den gerechneten Pegel zu vergleichen.

Also ist hier

$$\begin{aligned} L_{m,E} &= \mathbf{G} + 0 + D_D + 10 \cdot \lg [0,01 \cdot l] + 20 \cdot \lg [0,01 \cdot v] + 2 + 0 + 0 + 0 \\ &= \mathbf{G} + D_D + 2 + 10 \cdot \lg [0,01^3 \cdot l \cdot v^2] \end{aligned} \quad (3)$$

Der Einfluss der Bremssysteme wird nur durch den Anteil scheibengebremster Fahrzeuge berücksichtigt - nicht aber durch andere Brems-Sohlen. Für Güterwagen wird in der *Schall 03 (1990)* daher $D_D = 10 \cdot \lg [5] = 7$ gesetzt.⁴⁾

³⁾ der Zusammenhang zwischen einem während einer Vorbeifahrzeit t (in Sekunden) erzeugten Vorbeifahrpegel p_v (in $\text{dB}(A)$) und dem (auf eine Stunde bezogenen) Emissionspegel $L_{m,E}$ ist gegeben durch

$$L_{m,E} = 10 \cdot \lg \left[\frac{t}{3600} \right] + p_v \quad (1)$$

⁴⁾ Eine Lärminderung durch Umrüstung des Bremssystems von Güterwagen würde daher nur dann den Höchstwert von $7 \text{ dB}(A)$ ergeben, wenn sämtliche Güterwagen mit Scheibenbremsen ausgestattet sind.

Diese Gleichung (3) kann nach dem Grundwert G aufgelöst werden:

$$G = L_{m,E} - D_D - 2 - 10 \cdot \lg [0.01^3 \cdot l \cdot v^2] \quad (4)$$

oder - mit Hilfe der Gleichung (1) und wegen $l = \frac{v}{3.6} \cdot t$:

$$\begin{aligned} G &= 10 \cdot \lg \left[\frac{t}{3600} \right] + p_v - D_D - 2 - 10 \cdot \lg [0.01^3 \cdot l \cdot v^2] \\ &= p_v - D_D - 2 - 30 \cdot \lg \left[\frac{v}{10} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Bei zweigleisigen Strecken beträgt der Abstand zwischen den Gleismitten meist 4 m. Wenn dann - wie in dem folgenden Beispiel - die Messstation an einer langen, geraden Strecke in einem Abstand von 25 m zu der Mitte zwischen den beiden Gleisen installiert wird, so sind nur geringe Korrekturen⁵⁾ notwendig, um den Emissionspegel $L_{m,E}$ für jedes der beiden Gleise zu bestimmen:

- Für das Gleis, dessen Gleismitte von der Messstation einen Abstand von 23 m beträgt, ist der Emissionspegel

$$L_{m,E,23} = L_{m,E} + 0.3 \quad (6)$$

- Für das Gleis, dessen Gleismitte von der Messstation einen Abstand von 27 m beträgt, ist der Emissionspegel

$$L_{m,E,27} = L_{m,E} - 0.4 \quad (7)$$

Wenn angenommen wird, dass sich innerhalb zu vernachlässigbarer Schranken der Schienenzustand der Gleise (und die Lage der Gleise) an einer Messstation nicht ändert, dann ist es möglich, für jeden Güterwagen den nach (5) aus Messungen bestimmten Grundwert als

Qualitätsmaß für die Güte des Güterwagens

zu verwenden:

je niedriger der Grundwert, desto leiser ist der Güterwagen

Nach der Schall03(1990) wird dieser Grundwert $G := 51 \text{ dB}(A)$ gesetzt - diesen Wert sollte der Grundwert eines Güterwagens bei „durchschnittlich gutem“ Schienenzustand besitzen.

Vorangegangene Messungen zeigen jedoch, dass dieser Grundwert sehr stark streut - wie in dem Aufsatz [2] dokumentiert wurde. Diesem Aufsatz wurde nebenstehendes *Bild 2.2* entnommen, das zeigt, dass die Grundwerte von 95% der gemessenen Güterzugvorbeifahrten an verschiedenen Orten

- **unterhalb von 57 dB(A)**
(und nicht überall bei 51 dB(A))
- **im energetischen Mittel bei 53.1 dB(A)**

liegen.

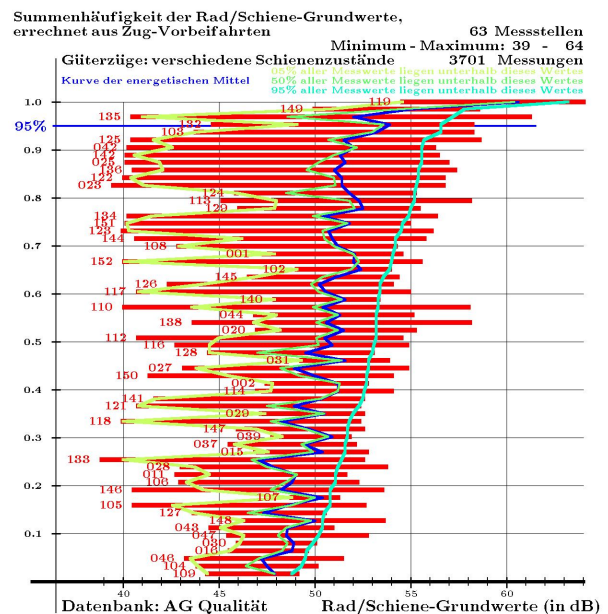


Bild 2.2

Verteilung der Grundwerte von Güterzügen

⁵⁾ nach Schall03(1990) ist $D_{s_{\perp}}(23 \text{ m}) = 1.9$, $D_{s_{\perp}}(25 \text{ m}) = 1.6$ und $D_{s_{\perp}}(27 \text{ m}) = 1.2$.

3 Monitoring

Das Monitoring einer Zugvorbeifahrt wird im Folgenden an einem Beispiel aufgezeigt:

Datum: 31.12.2010 Beginn der Messung: 01:25:27 Uhr Geschwindigkeit: 97 km/h



Bild 3.1 $v = 79 \text{ km/h}$, $t = 15:25:00.6$, $p = 70.6 / 73.2 \text{ dB(A)}$
Bild 3.2 $v = 79 \text{ km/h}$, $t = 15:25:01.0$, $p = 76.3 / 77.5 \text{ dB(A)}$
Bild 3.3 $v = 79 \text{ km/h}$, $t = 15:25:01.2$, $p = 76.3 / 77.5 \text{ dB(A)}$
Bild 3.4 $v = 72 \text{ km/h}$, $t = 15:25:01.4$, $p = 76.3 / 77.5 \text{ dB(A)}$

Bilder 3.1 bis 3.4: Bilder und Bildunterschriften
Auswertung (Bildanalyse): Güterzug, Fahrtrichtung nach links (hinteres Gleis)

3.1 Bilderkennung

Aus jedem dieser Bilder wird mit Hilfe eines eigenen Programmes unter anderem die Höhe des Vorbeifahrpegels dieser Fünftel-Sekunde herausgelesen:

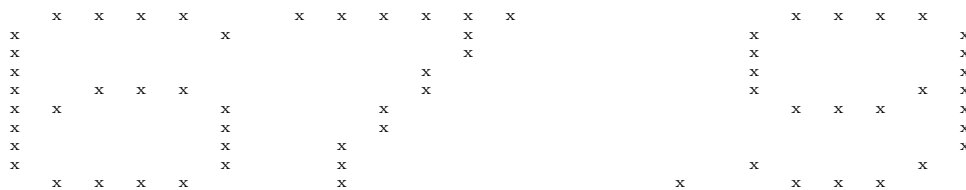


Bild 3.5: Pixel zum Vorbeifahrpegel, herausgelesen aus Bild 3.3

3.2 Erforderliche Messwerte

Für jede Zugvorbeifahrt werden folgende Parameter verwendet, um den Grundwert nach Gleichung (5) zu berechnen:

Güterzug-Monitoring zur Beurteilung von Lärminderungsmaßnahmen	
pro Vorbeifahrt:	
A.1	Fahrzeugart (Güterzug / andere Geräuschquelle)
A.2	Uhrzeit in $hh : min$ der Güterzug-Vorbeifahrt
A.3	Fahrtrichtung (zur Berücksichtigung des Abstandes s_k (in m) zum Gleis)
A.4	Geschwindigkeit in km/h während der Vorbeifahrt
während (mindestens) jeder Sekunde der Vorbeifahrt:	
A.5	Vorbeifahrpegel p in $dB(A)$ während jeder Sekunde
A.6	maximaler Vorbeifahrpegel p_{max} in $dB(A)$ während jeder Sekunde
A.7	Vorbeifahrzeit in s (zur Berechnung der Gesamtlänge des Güterzuges)

Tabelle 3.1: Notwendige Daten zur Bestimmung des Grundwertes

3.3 Erforderliche Messgeräte

Um die oben angegebenen Parameter zu messen, wird in Hamminkeln durch den TÜV-Nord eine automatisierte Messung mit Hilfe

- eines Schall-Messgerätes zur Dokumentation von Uhrzeit, Vorbeifahrpegel und maximalem Vorbeifahrpegel, jeweils 5 Messungen pro Sekunde,
- einer Video-Kamera, die sich bei jedem Pegel oberhalb eines bestimmten Grenzpegels einschaltet (und nach Unterschreitung dieses Pegels wieder abschaltet), deren Film im *.avi-Format sich in jeweils 5 Bilder pro Sekunde auflösen läßt,
- einem mit der Video-Kamera gekoppelten Messgerät, das die jeweilige Vorbeifahrtgeschwindigkeit registriert

durchgeführt.

Eine Bildauswertung erlaubt dann, Fremdgeräusche (wie z.B. Personenzüge in den Bildern 3.1 bis 3.4) auszuschliessen und die Fahrtrichtung (und damit den Abstand s_k zwischen Messstation und Gleis) zu erkennen.

3.4 Bezeichnungen

Es werden pro Sekunde der Vorbeifahrt eines Güterzuges jeweils 5 Messungen

$$\text{des Vorbeifahrpegels } p_v(i) := L_{A,F,eq,0.2s}(i)$$

und

$$\text{des maximalen Vorbeifahrpegels } p_m(i) := L_{A,F,max,0.2s}(i)$$

und

$$\text{der Geschwindigkeit } v(i)$$

vorgenommen.

Dadurch entstehen N Messdaten ($1 \leq i \leq N$).

- **Ausbreitungsrechnung:**

Der Pegel $L_{m,E}$ bezieht sich auf einen Messpunkt, der 25 m von der jeweiligen Gleismitte entfernt ist:

Bei Fahrt auf dem vorderen Gleis gilt $L_{m,E,23} = L_{m,E} + 0.3$ nach (6), während bei Fahrt auf dem hinteren Gleis $L_{m,E,27} = L_{m,E} - 0.4$ nach (7) gilt.

- **maximaler Vorbeifahrpegel:**

Der „maximale Vorbeifahrpegel p_{max} “ ist das Maximum der N maximalen Vorbeifahrpegel $p_m(i)$, also

$$p_{max} := \max_{1 \leq i \leq N} p_m(i).$$

- **Vorbeifahrzeit:**

Wenn der Pegel $p_v(i)$ an der Messstation während des Anstiegs beim Herannahen eines Güterzuges größer wird als $p_{max} - 10 \text{ dB}(A)$, so beginnt die „Vorbeifahrzeit t_v “.

Die Vorbeifahrzeit t_v endet, wenn der Pegel $p_v(i)$ unter den Pegel $p_{max} - 10 \text{ dB}(A)$ fällt. Dadurch entstehen sich N_v Messdaten mit $N_v \leq N$.

- **Vorbeifahrpegel p_v :**

Der Vorbeifahrpegel p_v wird als energetisches Mittel der N_v während der Vorbeifahrzeit t_v gemessenen Pegel $p_v(j)$ (mit $1 \leq j \leq N_v$) berechnet:

$$p_v = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{N_v} \cdot \sum_{j=1}^{N_v} 10^{0.1 \cdot p_v(j)} \right]$$

- **Geschwindigkeit:**

Bei Fahrt auf dem vorderen Gleis werden die Geschwindigkeiten durch ein Minuszeichen, Geschwindigkeiten bei Fahrten auf dem hinteren Gleis werden positiv gekennzeichnet. Sie werden in km/h angegeben.

- **mittlere Geschwindigkeit v_m :**

Die „mittlere Geschwindigkeit v_m “ wird als arithmetisches Mittel der N_v während der Vorbeifahrzeit t_v gemessenen Geschwindigkeiten $v(j)$ (mit $1 \leq j \leq N_v$) in km/h berechnet und angegeben.

- **Grundwert:**

Der Grundwert G wird nach (5) für die hier betrachteten Güterzüge (also für $D_D = 10 \cdot \lg [5 - 0.04 \cdot p] = 10 \cdot \lg [5] \approx 7$) berechnet:

$$G \approx p_v - D_D - 2 - 30 \cdot \lg \left[\frac{v_m}{10} \right] \approx p_v - 9 - 30 \cdot \lg \left[\frac{v_m}{10} \right] \quad (\text{mit } v_m \text{ in } km/h) \quad (8)$$

- **Länge des Güterzuges**

Die Länge l des Güterzuges kann berechnet werden nach der Formel $l = \frac{v_m}{3.6} \cdot t_v$ (da v_m in km/h und t_v in s angegeben ist).

(Nach (8) ist die Bestimmung der Länge zur Berechnung des Grundwertes jedoch nicht erforderlich.)

- **Art:**

C=Containertransportwagen mit Container
 F=Containertransportwagen ohne Container
 K=Kesselwagen
 R=Rungenwagen
 S=Schotterwagen

4 Exemplarische Auswertung

Am 31.12.2010 bei Schnee ergaben sich folgende Grundwerte und Maximalpegel:

Uhrzeit	Messwerte				Berechnete Werte			Messwert
	Art	Vorbeifahrzeit t in s	Geschwindigkeit v in km/h	Vorbeifahrpegel in $dB(A)$	Länge in m	Stundenpegel in $dB(A)$	Grundwert in $dB(A)$	maximaler Pegel in $dB(A)$
00:50:35	F+C	24.8	80	83.8	551		47.7	87.6
00:54:25	F+C	27.2	68	83.3	514	65.1	49.3	87.2
01:00:41	C	24.4	68	74.7	461		40.7	81.2
01:22:37	K	15.2	80	88.3	338		52.2	90.9
01:44:24	C	20.0	75	79.6	417		44.3	84.4
01:54:54	F+C	21.4	82	88.3	487	68.8	51.9	91.4
02:13:55	S	20.0	78	83.7	433		47.9	88.6
02:21:52	C	23.0	75	82.4	479		47.1	87.7
02:33:57	F+C	22.0	76	87.7	464		52.3	90.6
02:37:47	K+C	23.2	72	85.6	476		50.9	89.2
02:44:19	F+C+K	29.4	70	83.2	572		48.8	87.7
02:49:57	S	22.4	82	78.5	510	70.2	42.1	83.4
03:04:20	S	25.8	61	84.3	437		51.7	89.7
03:09:13	C+F	29.0	70	77.8	564		43.4	80.7
03:25:43	C+K+R	27.8	73	83.9	564		49.0	86.4
03:27:58	S	22.2	66	85.3	407		51.7	87.4
03:47:37	S	24.0	74	80.2	493	68.5	45.1	84.6
04:03:09	K	17.0	48	78.9	227		49.5	82.0
04:24:51	S	13.0	69	78.8	249		44.6	82.1
04:27:32	C+F+G	19.8	76	85.8	418	64.4	50.4	89.8
Gesamt		452		75-88		68	41-52	81-91

Tabelle 4.1: Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 31.12.10 bei Schnee

Die Vorbeifahrpegel mit ihrem jeweiligen Maximalpegel beschreiben die Lärmbelastung:

- das energetische Mittel dieser 20 Vorbeifahrpegel beträgt $84.1 dB(A)$.
- 95% dieser 20 Vorbeifahrpegel sind geringer als $88.3 dB(A)$.
- 50% dieser 20 Vorbeifahrpegel sind geringer als $83.3 dB(A)$.
- bei 13 (oder 65%) der Güterzug-Vorbeifahrten überschritt der Vorbeifahrpegel den Pegel von $80 dB(A)$ (und der maximale Pegel den Pegel von $85 dB(A)$).
- Bei 5 (oder 25%) der Güterzug-Vorbeifahrten überschritt der Vorbeifahrpegel den Pegel von $85 dB(A)$ (und bei 3 (oder 15%) war der maximale Pegel höher als $90 dB(A)$).

Da bereits in diesem kurzen Ausschnitt aus einer umfangreichen Datensammlung jede 4. Güterzugvorbeifahrt Maximalpegeln von mehr als $90 dB(A)$ aufweist, während der Nacht-Mittelungspegel nur $68 dB(A)$ beträgt, wäre es sinnvoll, wie im Flugverkehr ein Maximalpegel-Häufigkeitskriterium für nächtlichen Güterzugverkehrslärm (z.B. wie in [3]) einzuführen.

Die Grundwerte zeigen die Lärmerzeugung von Güterwagen an einem festen Ort innerhalb einer Nacht, wobei der Schienenzustand als konstant anzusehen ist:

- das energetische Mittel dieser 20 Grundwerte beträgt $49.1 \text{ dB}(A)$
- 95% dieser 20 Grundwerte sind geringer als $52.2 \text{ dB}(A)$
- 50% dieser 20 Grundwerte sind geringer als $48.8 \text{ dB}(A)$
- 5% dieser 20 Grundwerte sind geringer als $40.7 \text{ dB}(A)$

Nach der *Schall 03* sollte der Grundwert $51 \text{ dB}(A)$ betragen - hier dämpft der Schnee den einzelnen Pegel, aber der Unterschied von $12 \text{ dB}(A)$ von 90% der vorbeifahrenden Güterzügen ist bemerkenswert.

- Um 01:22 Uhr fuhr ein Kesselwagen mit Grundwert $52.2 \text{ dB}(A)$.
- Zuvor (um 01.00 Uhr) fuhr ein Containerzug in die gleiche Richtung, aber sein Grundwert betrug $40.7 \text{ dB}(A)$; er war als um $11.5 \text{ dB}(A)$ leiser. (Sein Vorbeifahrpegel von $74.7 \text{ dB}(A)$ war sogar um $13.6 \text{ dB}(A)$ leiser als $88.3 \text{ dB}(A)$.)
- Um 03:27 fuhr ein Schotterwagenzug in die andere Richtung - mit einem Grundwert von $51.7 \text{ dB}(A)$.

In beiden Richtungen fahren also Züge mit hohen Grundwerten, d.h. der Schienenzustand ist in beiden Richtungen etwa gleich.

Die Unterschiede stammen daher vermutlich von den Rädern und den Aufbauten.

Zur Beschreibung der Verteilung der Grundwerte der in *Tabelle 4.1* aufgeführten Güterzugvorbeifahrten wird in dem folgenden Kapitel folgende Darstellung verwendet:

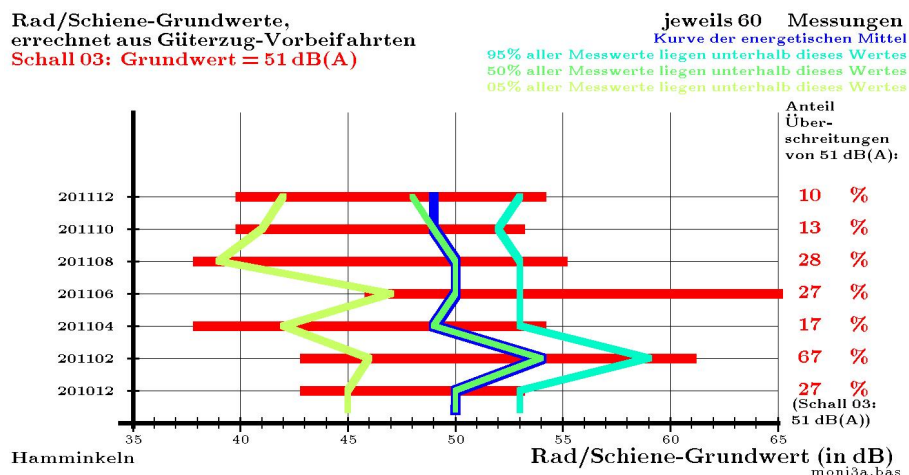


Bild 4.1

Graphische Darstellung der Verteilung der Grundwerte aus *Tabelle 4.1*

5 Ausblick

5.1 Lärmauffällige Güterwagen

Die Differenz zwischen dem (mittleren) Vorbeifahrpegel und dem Maximalpegel eines Güterzuges zeigt an, ob es einzelne Wagen dieses Zuges gibt, die „auffällig“ lauter sind als das energetische Mittel aller Güterwagen dieses Zuges.

Als „auffällig“ wird hier $p_{max} - p > 3 \text{ dB}(A)$ empfohlen.

Für den Umgang mit Güterwagen, die das Mittel p um mehr als $3 \text{ dB}(A)$ überschreiten, gibt es bisher noch keine Empfehlung.

In dem obigen Beispiel gibt es keinen lärmauffälligen Güterzug.

Durch ein Messprotokoll mit z.B. 100 aufeinanderfolgenden Güterzugvorbeifahrten lassen sich

- die Verteilung der Grundwerte
- die Verteilung der Differenzen $p_{max} - p$

bestimmen.

5.2 Nachweis einer Lärminderung

Wird etwa nach einem bestimmten Zeitabschnitt (z.B. nach 2 Monaten oder einem Jahr) ein dem *Bild 4.1* entsprechendes Messprotokoll angelegt und werden die entsprechenden Verteilungen miteinander verglichen, kann entschieden werden

- ob sich bestimmte Kenngrößen der Verteilung der Grundwerte im Laufe der vergangenen Zeit signifikant verbessert haben (oder nicht)
- ob sich die Anzahl der Überschreitungen bestimmter Grenzpegel, die während der Nacht zu Aufweckreaktionen führen können, verringert haben (oder nicht).

Eine graphische Darstellung der Ergebnisse wie in *Bild 5.1* würde die Entwicklung leicht erkennen lassen.

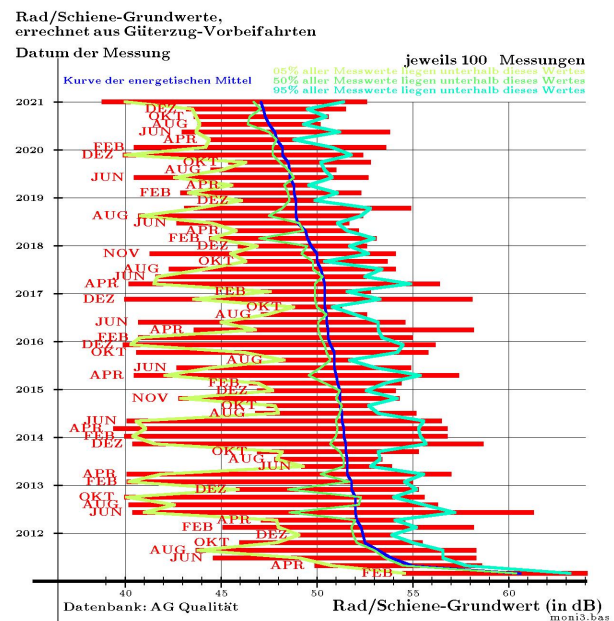


Bild 5.1

Willkürlich modellierte Daten einer Lärminderung

Bild 5.1 zeigt willkürlich modellierte Daten einer Lärminderung, dargestellt durch die Grundwerte der energetischen Mittel von $53 \text{ dB}(A)$ (im Dez. 2011) auf $47 \text{ dB}(A)$ (im Dez. 2021), gemessen an einer festen Messstation und ausgewertet aus jeweils 100 Güterzugvorbeifahrpegeln.

5.3 Ausbreitungsrechnung

Wenn sich die Messstation nicht in diesem Abstand und/oder dieser Höhe bezüglich des betrachteten Gleises befindet, so ist der Immissionspegel $L_{r,MS}$ an der Messstation mit Hilfe der Ausbreitungsrechnung aus der Schall 03 (1990) zu berechnen und die Differenz

$$\Delta_{MS} := L_{m,E} - L_{r,MS} \quad (9)$$

zu bestimmen. (Befindet sich die Messstation in 25 m Abstand von der Gleismitte und 3.5 m oberhalb der Schienenoberkante an einer langen, geraden Strecke, so wird $L_{r,MS} = 0$ gesetzt.)

Literatur

- [1] SCHALL 03 (1990):
Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen. Information Akustik 03. Deutsche Bundesbahn, Zentrale. 1990.
- [2] WINDELBERG, DIRK:
Güterzug-Schallemissionen: Messung und gesetzliche Bewertung. Immissionsschutz, **13** (2008), 193-196.
- [3] WINDELBERG, DIRK:
Das Maximalpegelhäufigkeitskriterium für nächtlichen Güterzugverkehrslärm. Immissionsschutz, **17** (2012), 27-30.