Dr. Dirk Windelberg
windelberg@math.uni-hannover.de

AG QUALITÄT
Leibniz Universität Hannover
Mathematik

# Monitoring nächtlicher Schienenverkehrslärm

Auswertung für ein Jahr und 7 Nächte einer Woche

jeweils von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr des nachfolgenden Tages

Stand: 4. April 2013

gefördert durch
Bundesvereinigung gegen Schienenlärm e.V.
Projekt 20100923

## Inhaltsverzeichnis

**1 Bewertungsverfahren von Schienenverkehrslärm** **3**
1.1 Nächtliche Lärmbelastung und Mittelwerte . . . 3
1.2 nächtliche Lärmbelastung: Aufweckreaktionen . . . 5
1.3 Aufweck-Parameter . . . 6

**2 Eine Woche im Jahr 2011** **10**
2.1 Nacht von Montag zu Dienstag . . . 10
2.2 Nacht von Dienstag zu Mittwoch . . . 11
2.3 Nacht von Mittwoch zu Donnerstag . . . 12
2.4 Nacht von Donnerstag zu Freitag . . . 13
2.5 Nacht von Freitag zu Samstag . . . 14
2.6 Nacht von Samstag zu Sonntag . . . 15
2.7 Nacht von Sonntag zu Montag . . . 16
2.8 nächtliche Belastungen während einer Woche . . . 17
2.8.1 Maximalpegelhäufigkeitskriterium . . . 17
2.8.2 „Bingen-Effekt“ . . . 18

**3 zeitliche Veränderungen der Lärmsituation** **19**
3.1 Vorhaben . . . 19
3.2 Zwischen-Ergebnisse Vorbeifahrpegel . . . 19
3.3 Zwischen-Ergebnisse Grundwerte . . . 20

**4 Vorbeifahr-Parameter und Aufweckreaktionen** **21**
4.1 Vorbeifahr-Parameter nach *Schall 03* . . . 21
4.2 Messung der Vorbeifahr-Parameter: Monitoring . . . 23
4.3 Vorbeifahr-Parameter . . . 25
4.4 individuelle Aufweck-Parameter . . . 31

**5 monitor4c.tex** **33**
5.1 Mögliche Fortsetzung des Schlafes . . . 34
5.1.1 Anzahl Aufweckreaktionen während einer Nacht . . . 35

**6 Auswertung 31.12.2010** **36**
6.1 Messdaten . . . 36
6.1.1 Bemerkungen . . . 37
6.1.2 Graphische Zusammenfassung . . . 38
6.1.3 Vergleich mit ICE . . . 38

**7 zeitliche Veränderungen der Lärmsituation** **39**
7.1 Vorhaben . . . . . 39
7.2 Graphische Zusammenfassungen . . . . . 39
7.2.1 Vorbeifahrpegel . . . . . 39
7.2.2 Grundwerte . . . . . 40
7.3 Messdaten . . . . . 41
7.4 April 2011 . . . . . 43
7.5 Juni 2011 . . . . . 45

**8 monitor4e.tex** **47**
8.1 Mögliche Fortsetzung des Schlafes . . . . . 47
8.1.1 Anzahl Aufweckreaktionen während einer Nacht . . . . . 49

**9 Auswertung 31.12.2010** **50**
9.1 Messdaten . . . . . 50
9.1.1 Bemerkungen . . . . . 51
9.1.2 Graphische Zusammenfassung . . . . . 52
9.1.3 Vergleich mit ICE . . . . . 52

**10 zeitliche Veränderungen der Lärmsituation** **53**
10.1 Vorhaben . . . . . 53
10.2 Graphische Zusammenfassungen . . . . . 53
10.2.1 Vorbeifahrpegel . . . . . 53
10.2.2 Grundwerte . . . . . 54
10.3 Messdaten . . . . . 55
10.4 April 2011 . . . . . 57
10.5 Juni 2011 . . . . . 59
10.6 August 2011 . . . . . 61

# 1 Bewertungsverfahren von Schienenverkehrslärm

- Falls ein Gebäude vor dem 1.4.1974 (in den neuen Bundesländern vor dem 3.10.1990) im Bereiche eines Schienenweges gebaut wurde, so besteht für den Schienenweg „Bestandsschutz“, d.h. der Bund übernimmt keine Kosten für Lärmsanierungsmaßnahmen an diesen Gebäuden - auch dann nicht, wenn diese Lärmgrenzwerte überschreiten. - Aber es gibt eine „freiwillige Leistung“ des Bundes: nach einer einmal festgelegten Reihenfolge der Dringlichkeiten werden einzelne Gebäude lärmsaniert, obwohl auf einer solchen Aktion kein Anspruch besteht.

- Für Gebäude und auch für Schienenwege, die neu gebaut oder „wesentlich geändert“ werden, gibt es jedoch Grenzwerte.

In beiden Fällen wird zunächst die „Lärmbelastung“ eines Gebäudes ermittelt - nach der 16. *BImSchV* wird diese auf der Grundlage von Mittelwerten berechnet, während hier versucht wird, auf der Grundlage der einzelnen Vorbeifahrpegel die Lärmbelastung zu ermitteln.
Dabei wird nur die nächtliche Lärmbelastung betrachtet, da der Grenzwert für den Tag bereits um $10\,dB(A)$ höher gesetzt ist (und daher seltener überschritten wird) als der Grenzwert für die Nacht.

Für die Berechnung der Lärmbelastung wird ein „Grundwert“ eingeführt, der den Schall beschreiben soll, der infolge des rollenden Rades auf der Schiene entsteht. Dieser Grundwert wird in der *Schall 03* ([1]) als Konstante mit $51\,dB(A)$ angenommen[1]).

Mit Hilfe des hier beschriebenen Monitoring kann dieser Grundwert aus den Messwerten berechnet werden - die Ergebnisse sind im Anhang zu diesem Bericht dargestellt. Diese Ergebnisse zeigen Abweichungen von mehr als $10\,dB(A)$ von diesem Grundwert.

Als „Bingen-Effekt“ wird hier berechnet, wie hoch jeweils der Anteil der Güterzüge ist, der oberhalb der Schall 03-Festlegung von $51\,dB(A)$ liegt - und wie hoch der Anteil der „leisen“ Güterzüge ist, deren Grundwert unterhalb von $41\,dB(A)$ liegt.

## 1.1 Nächtliche Lärmbelastung und Mittelwerte

Die 16. BImSchV beschreibt Lärmbelastung durch Mittelwerte:

Nach den Fahrplänen der Bahn wird für ein bestimmtes Jahr an mehrgleisigen Strecken für jedes Gleis die Anzahl der Güterzüge mit den jeweiligen Bremssystemen, der Nahverkehrszüge, der IC/EC (oder D)-Züge, der ICE-Züge u.s.w. bestimmt. Aus diesen Werten wird für jede Fahrzeugart jeweils die mittlere Anzahl pro Nacht berechnet.

Sodann wird für zu den verschiedenen Fahrzeugarten gehörige Anhaltswerte für Geschwindigkeiten und Längen sowie deren Bremsbauten unter der Annahme eines durchschnittlich guten Schienenzustandes ein „Emissionspegel“ einer „typischen Nachtstunde“ berechnet.

Die Lärmbelastung wird dann auf der Grundlage der Emissionen während einer typischen Nachtstunde bestimmt: Je nach Abstand des Gebäudes (und insbesondere Gebäudeseite

---

[1]) Zur Berechnung des Emissionspegels $L_{m,E}$ und des Beurteilungspegels $L_r$ bei einem einzigen Güterzug während einer Stunde:

$$L_{m,E} = 51 + D_{Fz} + D_D + D_l + D_v + D_{Fb} + D_{Br} + D_{Bü} + D_{Ra}$$

Hier werden die Emissionspegel zweier Güterzüge $G_1$ und $G_2$ miteinander verglichen: Jeder der beiden Güterzüge ($D_{Fz}(G_1) = D_{Fz}(G_2) = 0$) habe die Länge $l$; die Geschwindigkeit des Güterzuges $G_1$ sei $v(G_1) = v_1$, die von $G_2$ sei $v(G_2) = v_2 = 2 \cdot v_1$.
Damit ist die Vorbeifahrzeit $z_1$ von $G_1$ doppelt so lang wie die Vorbeifahrzeit von $G_2$, also $z_1 = 2 \cdot z_2$.
Damit ist $D_v(G_1) =$ d.h. die Emissionspegel zweier Güterzüge sind gleich, wenn

mit der Öffnung des Schlafzimmerfensters) von den Gleisen ändert sich der Emissionspegel jedes einzelnen Zuges. Damit wird der Schienenverkehrslärm reduziert auf einzelne „Immissionspegel“, die während jeder Nachtstunde eines Jahres im Freifeld vor dem Schlafzimmerfenster auftreten.

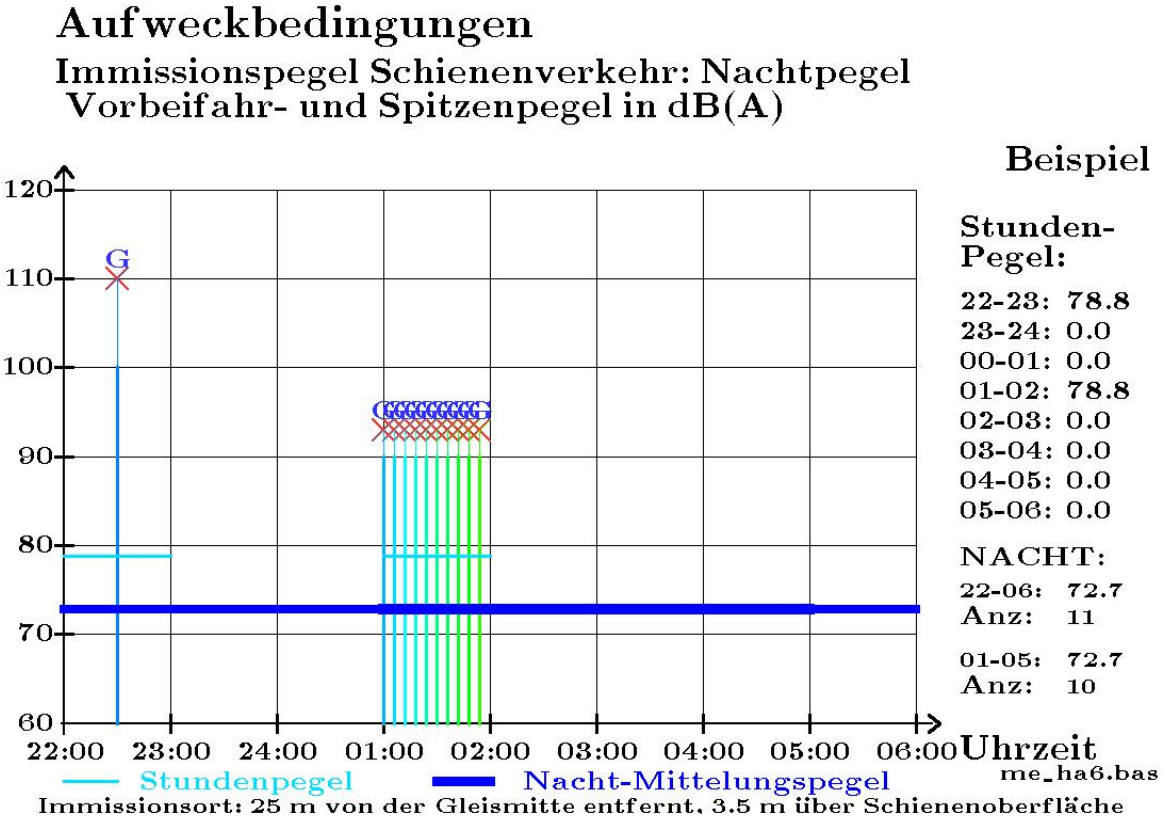


*Bild 1.1.1*: (Konstruiertes) Beispiel nächtlicher Schienenverkehrs-Vorbeifahrpegel

Diese Graphik zeigt die (Vorbeifahr-)Pegel an, die zu den verschiedenen Zeiten während einer Nacht in $25\,m$ Entfernung von der Gleismitte in $3.5\,m$ Höhe über der Schienenoberkante gemessen wurden:

- Um 22:30 Uhr fährt (mit einer Vorbeifahrzeit von $27\,s$) ein Güterzug vorbei mit einem Vorbeifahrpegel $p_v(1) = 100\,dB(A)$ und einem Maximalpegel von $p_{max}(1) = 110\,dB(A)$ $(j = 1)$.

- Zwischen 01:00 und 02:00 Uhr fahren 10 Güterzüge vorbei, jeweils mit einer Vorbeifahrzeit von $27\,s$, einem Vorbeifahrpegel $p_v(i) = 90\,dB(A)$ und einem Maximalpegel von $p_{max}(j) = 93\,dB(A)$ $(2 \leq j \leq 11)$.

Es wurden neben den Vorbeifahrpegeln (während der Vorbeifahrt von $27\,s$ Dauer) auch die Maximalpegel gemessen (diese wurden in *Bild 1.1.1* durch ein Kreuz markiert).
Aus den Vorbeifahrpegeln wurde für jede Nachtstunde der „Stundenpegel“ berechnet und in das Bild eingetragen. Dieser beträgt sowohl für die Stunde von 22:00 bis 23:00 Uhr als auch für die Stunde von 01:00 bis 02:00 Uhr jeweils $78.8\,dB(A)$. Ferner wurde zu den 8 Nachtstunden der Mittelwert dieser 8 Stundenpegel als „Nacht-Mittelungspegel“ (von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) berechnet und dargestellt.

## 1.2 nächtliche Lärmbelastung: Aufweckreaktionen

In *Bild 1.1.1* wurde das Verfahren dargestellt, nach dem in der *16. BImSchV* die Lärmbewertung vorgenommen wird.

Hier wird ein Verfahren vorgestellt, nach dem für jede einzelne nächtliche Zugvorbeifahrt die Aufweckwahrscheinlichkeit zum Zeitpunkt der Vorbeifahrt berechnet wird.

Dabei wäre es prinzipiell notwendig, zunächst die Schlafgewohnheiten jedes einzelnen Anwohners zu bestimmen, denn die Aufweckwahrscheinlichkeit *aww* hängt davon ab,

- ob der Anwohner aus einem „tiefen“, einem „mittleren“ oder einem „leichten“ Schlaf durch den Schallpegel einer Zugvorbeifahrt gestört wird
- ob - und gegebenenfalls vor welcher Zeit - der Anwohner in dieser Nacht bereits durch zuvor vorbeigefahrene Züge gestört oder sogar aufgeweckt wurde.

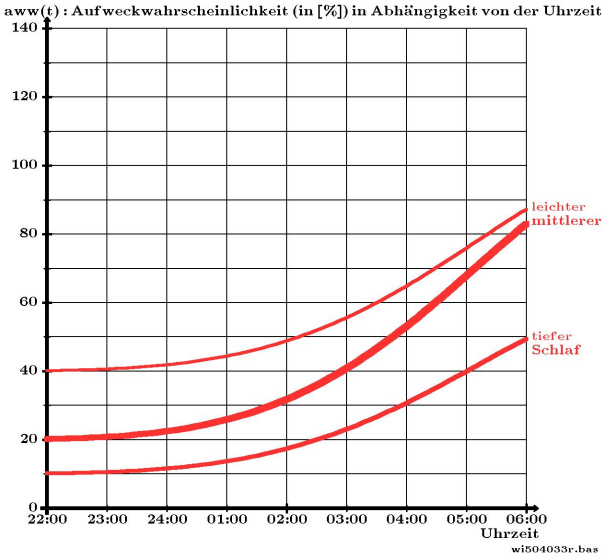


*Bild 1.2.1*: Aufweckwahrscheinlichkeit bei verschiedenen Schlafsituationen

Diese Kurven beschreiben drei mögliche Aufweckwahrscheinlichkeit jeweils bei einem nicht durch Verkehrslärm gestörten Schlaf.

Jede Störung des Schlafes führt zu einer Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit, d.h. die Kurve wird für den Rest der Nacht verändert.

In den folgenden Bildern wird dargestellt, welche (individuellen) Aufweckreaktionen bei der Vorbeifahrt

- eines Zuges um 22:30 Uhr mit $100\,dB(A)$ Vorbeifahrpegel bei $27\,s$ Vorbeifahrzeit, und
- von 10 Zügen zwischen 01:00 und 02:00 Uhr, jeweils mit $90\,dB(A)$ Vorbeifahrpegel bei $27\,s$ Vorbeifahrzeit

entstehen können - bei drei verschiedenen Schlafsituationen:

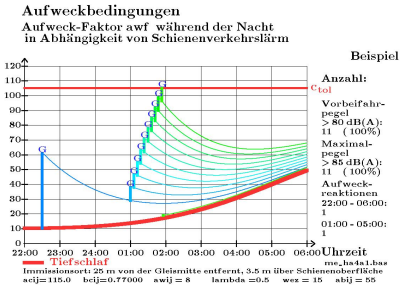


*Bild 1.2.2*
Tiefschlaf

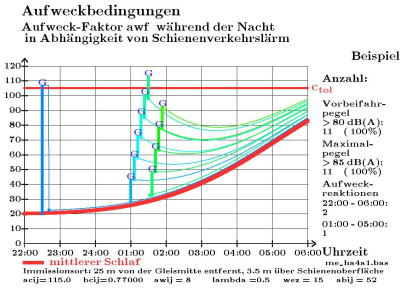


*Bild 1.2.3*
mittlerer Schlaf

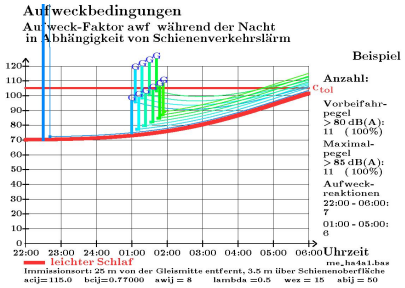


*Bild 1.2.4*
leichter Schlaf

Schlafkurve:

$$y = a - b \cdot \cos\left[\left(\frac{t+4}{12}\right)^2 \cdot \pi\right]$$

mit

| $y$<br>$x$ | Aufwachwahrscheinlichkeit<br>Pegel in $dB(A)$ | |
|---|---|---|
| Schlafgewohnheit | $a$ | $b$ |
| leichter Schlaf | 70 | 30 |
| mittelerer Schlaf | 60 | 40 |
| tiefer Schlaf | 35 | 25 |

Da der Stundenpegel für die Zeit zwischen 22:00 und 23:00 Uhr gleich dem Stundenpegel für die Zeit zwischen 01:00 und 02:00 Uhr ist, würde nach Annahme der Lärmwirkungsforschung die „**Lästigkeit**“ des ersten Ereignisses gleich der „Lästigkeit“ der 10 Vorbeifahrten zwischen 01:00 und 02:00 Uhr sein.

Für nächtlichen Güterzug-Verkehrslärm wäre daher zu untersuchen, ob auch die **Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit** durch einen Güterzug mit in der Zeit zwischen 22:00 und 23:00 Uhr gleich der Erhöhung zwischen 01:00 und 02:00 Uhr ist.

Dazu sind bisher noch keine Untersuchungsergebnisse bekannt.

Zusammenfassend ergibt sich folgende Tabelle:

| | Beispiel |
|---|---|
| Nacht-Mittelungspegel<br>einzelne Nacht in $dB(A)$ | 72.7 |
| **Anzahl Überschreitungen**<br>Vorbeifahrpegel $> 80\,dB(A)$<br>Maximalpegel $> 85\,dB(A)$ | <br>11<br>11 |
| **Aufweck 22 - 06 Uhr**<br>Tiefschlaf<br>mittlerer Schlaf<br>leichter Schlaf | <br>1<br>2<br>7 |
| **Aufweck 01 - 05 Uhr**<br>Tiefschlaf<br>mittlerer Schlaf<br>leichter Schlaf | <br>1<br>1<br>6 |

*Tabelle 1.2.1:* Aufweckreaktionen in Abhängigkeit von Wochentag und Schlafsituation für das (konstruierte) Beispiel nächtlicher Schienenverkehrs-Vorbeifahrpegel (*Bild 1.1.1*) und seiner individuellen Aufweckreaktionen (*Bild 1.2.2* bis *Bild 1.2.4*)

## 1.3 Aufweck-Parameter

Die Bedingungen, unter denen ein schlafender Mensch aufwacht, sind individuell sehr verschieden. Daher ist es sinnvoll, nicht die Mittelwerte solcher Bedingungen zu ermitteln, sondern die Streubreite.

Die Erhöhung $a$ der Aufweckwahrscheinlichkeit wird hier beschrieben durch den Parameter $c_i(j, p_v, z)$, der wie folgt definiert ist

Bei der Definition der drei individuellen Schlafkurven ist der Anstieg $a_{(s,m)}(p, z)$ (bzw. $a_{(s,t)}(p, z)$ und $a_{(s,l)}(p, z)$ der Aufwachwahrscheinlichkeit infolge einer nächtlichen Störung durch einen vorbeifahrenden Güterzug (mit einem Vorbeifahrpegel $p$ während einer Vorbeifahrzeit $z$) abhängig von

- dem Vorbeifahrpegel $p$ (in $dB(A)$)
- der Vorbeifahrzeit $z$ (in Sekunden)

- der Schlafgewohnheit ($s_m = 32$ für mittleren, $s_t = 35$ für tiefen und $s_l = 30$ für leichten Schlaf)

$$a_x(p,z) := f_x(p,z) \cdot f_p(p) \cdot f_z(z)$$

$$f_p(p) := \begin{cases} \frac{10}{10+\left(\frac{p-75}{5}\right)^2} & \text{falls } 42 \le p \le 75 \\ 1 & \text{falls } 75 < p \end{cases} \qquad f_z(z) := \begin{cases} \frac{1}{\left(1+\frac{z-36}{10}\right)^2} & \text{falls } 0 \le z \le 36 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2+\left(\frac{\sqrt{z}-6}{20}\right)^4} & \text{falls } 36 < z < \infty \end{cases}$$

*Formel 4.1:* Anstieg der Aufwachwahrscheinlichkeit

wobei $p$ in $dB(A)$ und $z$ in Sekunden einzusetzen sind und zu $x \in \{s_m, s_t, s_l\}$ jeweils $f_x(p,z)$ durch Normierung für die drei Schlafgewohnheiten $m$, $t$ und $l$ geeignet zu wählen ist.

Damit ergeben sich:

| $f_p \cdot f_z$ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $z$ | $42\,dB(A)$ | $55\,dB(A)$ | $60\,dB(A)$ | $65\,dB(A)$ | $70\,dB(A)$ | $\ge 75\,dB(A)$ |
| 5 | 0.01 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.09 |
| 18 | 0.04 | 0.09 | 0.12 | 0.16 | 0.21 | 0.23 |
| 20 | 0.05 | 0.10 | 0.14 | 0.20 | 0.25 | 0.28 |
| 30 | 0.13 | 0.28 | 0.38 | 0.52 | 0.66 | 0.73 |
| 40 | 0.16 | 0.38 | 0.45 | 0.61 | 0.78 | 0.86 |
| 100 | 0.18 | 0.38 | 0.52 | 0.71 | 0.90 | 0.99 |
| 1000 | 0.13 | 0.27 | 0.37 | 0.50 | 0.64 | 0.71 |

*Tabelle 4.1:* Faktor $f_p \cdot f_z$ zur Berechnung des Anstiegs $a_x(p,z)$

-3mm]

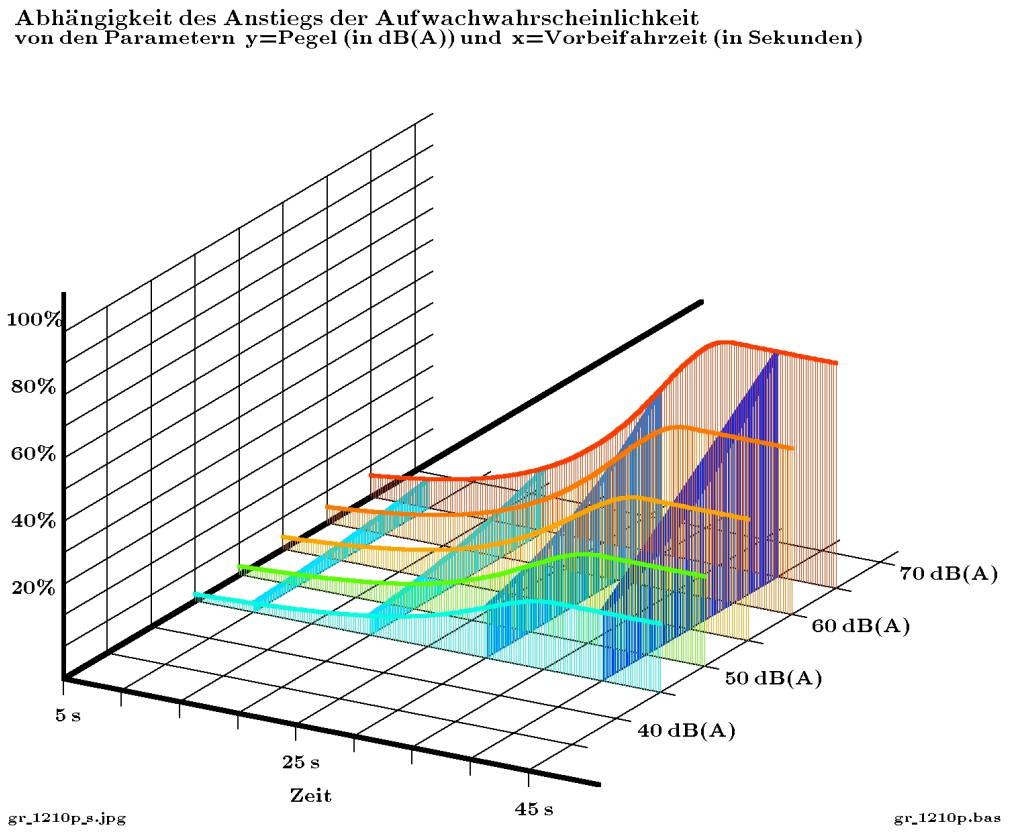


*Bild 4.1:* $f_p \cdot f_z$ zur Berechnung des Anstiegs $a_x(p,z)$

Um die individuellen Schlafbedingungen bei der Berechnung der Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit zu berücksichtigen, werden folgende Parameter festgesetzt, die in jeder Graphik jeweils angegeben sind[2]). Die hier aufgeführten Parameter haben jeweils folgende Bedeutung:

$-a_{bij}$ **Schlafgrenzpegel**
Individuell ist ein „Schlafgrenzpegel“, bei dessen Unterschreitung keine Aufweckreaktion stattfindet. Dieser Pegel wird hier mit $-a_{bij}$ bezeichnet und für
„Tiefschlaf“ mit $a_{bij} = 31\,dB(A)$, „mittleren Schlaf“ mit $a_{bij} = 32\,dB(A)$
und „leichten Schlaf“ mit $a_{bij} = 33\,dB(A)$
festgelegt. - Daher ist hier $a_{bij} = -32$ bei mittlerem Schlaf.

$p_v(j)$ **Vorbeifahrpegel (in $dB(A)$)**

$p_m(j)$ **Maximalpegel (in $dB(A)$)**
Der Maximalpegel ist definiert als der höchste Pegel, der in der Einstellung „fast“ während der Vorbeifahrt gemessen wird.

$z(j)$ **Vorbeifahrzeit (in Sekunden)**
Die Vorbeifahrzeit ist definiert als die Zeit zwischen dem Zeitpunkt, zu dem der Pegel in der Einstellung „slow“ höher ist als $p_m(j) - 10\,dB(A)$ - bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Pegel niedriger ist als $p_m(j) - 10\,dB(A)$. (Ein Problem tritt auf, denn der Zug entweder während der Vorbeifahrt leiser wird oder er hält.)

$a_{cij}$ **Erhöhungs-Faktor**
Bei jeder Vorbeifahrt $j$ mit einem Pegel $p_v(j) > a_{bij}$ und einer Vorbeifahrzeit $z(j)$ erhöht sich die (individuelle) Aufweckwahrscheinlichkeit eines Schläfers $i$. Dazu ist eine Normierung erforderlich: Es wird individuell erforscht, welcher Vorbeifahrpegel $p_v(j)$ (am Ohr des Schläfers $i$) und welche Vorbeifahrzeit $z(j)$ um 04:00 Uhr morgens eine Aufweckreaktion hervorruft (Aufweckwahrscheinlichkeit=100%), wenn zwischen 22:00 und 04:00 Uhr kein Verkehrslärm eingetreten ist und der Schläfer um 22:00 Uhr eingeschlafen ist. In der Formel (H) ist...

$a_{bij}$ **Minimalpegel**
Aus diesen Daten wird r Mit diesem genormten Faktor Dazu wirfestgelegt, für diese Erhöhung wird durch den Faktor $a_{cij}$ beschrieben: $c_i(j) := a_{cij} \cdot 10^{b_{cij} \cdot \left(p_v(j) + a_{bij} - \frac{27}{z(j)^{1.1}}\right)}$

$b_{cij}$ **Pegel-Faktor**
Die Wirkung des Pegels (nicht aber der Vorbeifahrzeit) auf die Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit wird durch den Faktor $b_{cij}$ beschrieben. - Hier wird $b_{cij} := 0.032$ gesetzt.

---

[2]) eine wesentliche (bisher nicht untersuchte, aber durch die *Schall 03* festgelegte) Eigenschaft wäre, dass der Anstieg $c_i(j, p_v, z)$ bei einem Vorbeifahrpegel $p_v$ und einer Vorbeifahrzeit $z$ gleich bleibt, wenn

- infolge einer **Verdoppelung der Geschwindigkeit** die Vorbeifahrzeit halbiert wird und der Vorbeifahrpegel um $6\,dB(A)$ steigt, oder
- infolge einer **Halbierung der Geschwindigkeit** die Vorbeifahrzeit verdoppelt wird und der Vorbeifahrpegel um $6\,dB(A)$ sinkt

also

$$c_i(j, p_v, z) = c_i(j, p_v + 6, \frac{1}{2} \cdot z) = c_i(j, p_v - 6, 2 \cdot z) \qquad B$$

$a_{wij}$ **Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit nach einem Aufwachen**
Die Kurve der Aufweckwahrscheinlichkeit kann sich nach jedem Aufwachen ändern. Diese Änderung wird durch einen Summanden $a_{wij}$ beschrieben.

*lambda* **Abklingfaktor**
Nach einer Aufweckreaktion, die nicht zum Aufwachen führte, wird die ursprüngliche Aufweckwahrscheinlichkeit erst langsam wieder erreicht. Das Abklingen der Erhöhung wird durch den Abklingfaktor *lambda* beschrieben.

*wez* **Wiedereinschlafzeit**
Nach einem Aufwachen gibt es eine Zeit *wez*, die individuell benötigt wird, bevor wieder weitergeschlafen wird.

# 2 Eine Woche im Jahr 2011

## 2.1 Nacht von Montag zu Dienstag

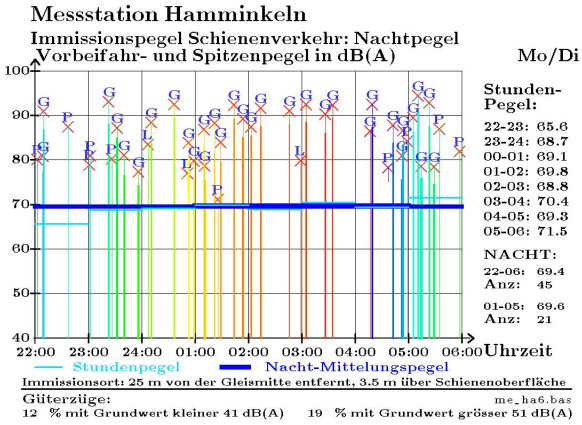


*Bild 2.1.1*: Berechnung 16. BImSchG

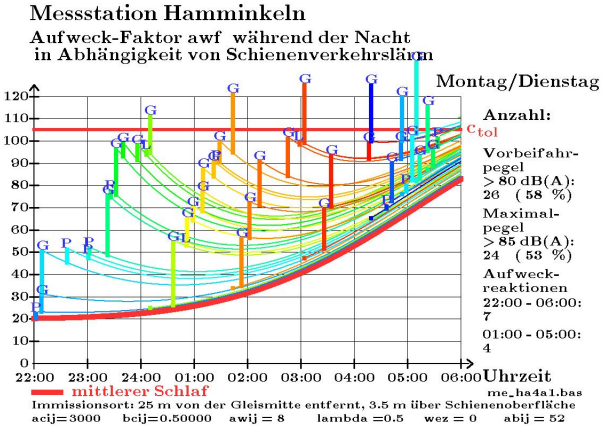


*Bild 2.1.2*: Schlafstörungen

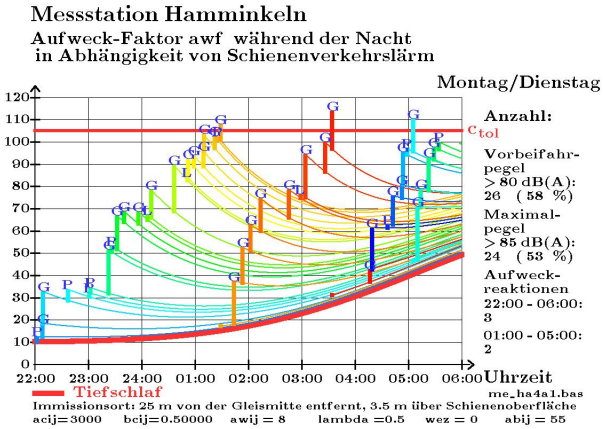


*Bild 2.1.3*: Schlafstörungen bei Tiefschlaf

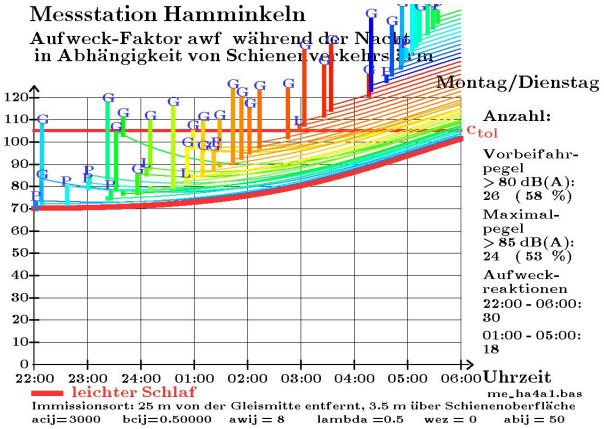


*Bild 2.1.4*: Schlafstörungen bei leichtem Schlaf

„Bingen-Effekt“: Es gibt Güterzüge, deren Grundwerte sich um $10\,dB(A)$ unterscheiden - obwohl keiner der Güterzüge nur mit „Flüsterbremse“ ausgestattete Güterwagen enthielt:

- 12% (4 von 32) Güterzügen bleiben mit ihrem Grundwert unterhalb von $41\,dB(A)$,
- 19% (6 von 32) Güterzügen fahren, obwohl ihr Grundwert oberhalb von $51\,dB(A)$ liegt.

Es war daher auch im Jahr 2011 nicht ungewöhnlich, dass sich die Grundwerte von Güterzügen um $10\,dB(A)$ und mehr unterscheiden. Nach der *Schall 03* ([1]) beträgt der Grundwert bei Güterzügen $51\,dB(A)$; hier ist bei 19% der Güterzüge dieser Grundwert überschritten.

## 2.2 Nacht von Dienstag zu Mittwoch

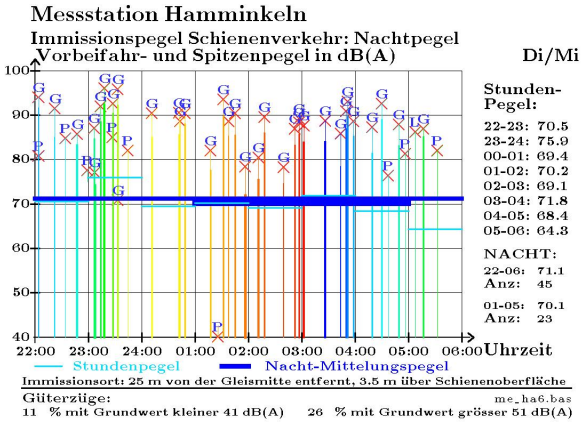


*Bild 2.2.1*: Berechnung 16. BImSchG

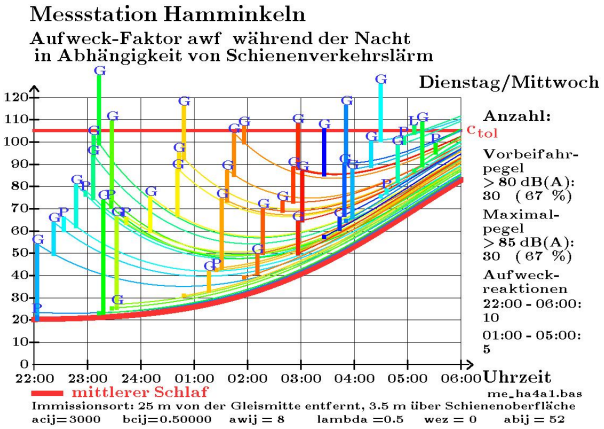


*Bild 2.2.2*: Schlafstörungen

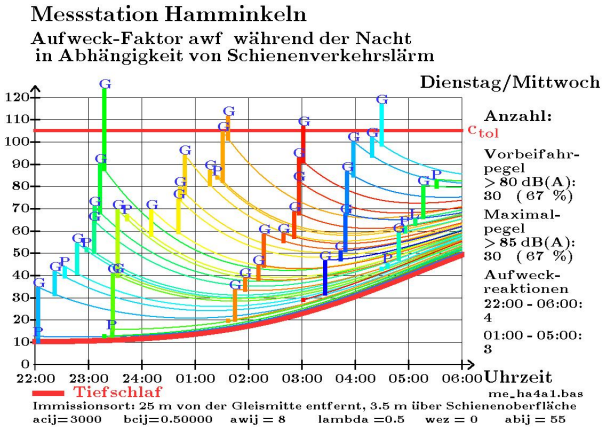


*Bild 2.2.3*: Schlafstörungen bei Tiefschlaf

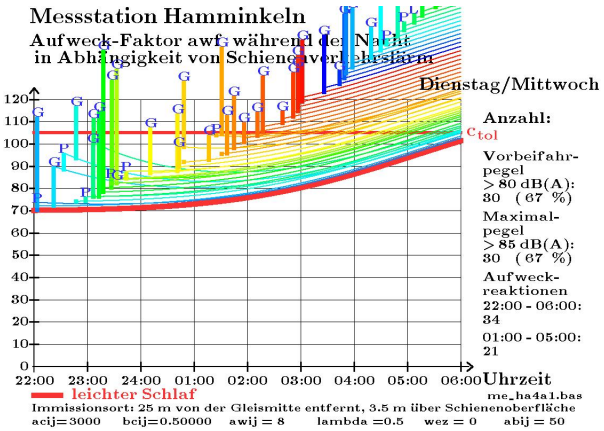


*Bild 2.2.4*: Schlafstörungen bei leichtem Schlaf

„Bingen-Effekt“: Es gibt Güterzüge, deren Grundwerte sich um $10\,dB(A)$ unterscheiden - obwohl keiner der Güterzüge nur mit „Flüsterbremse“ ausgestattete Güterwagen enthielt:

- 11% (4 von 35) Güterzügen bleiben mit ihrem Grundwert unterhalb von $41\,dB(A)$,
- 26% (9 von 35) Güterzügen fahren, obwohl ihr Grundwert oberhalb von $51\,dB(A)$ liegt.

Es war daher nicht ungewöhnlich, dass sich die Grundwerte von Güterzügen um $10\,dB(A)$ und mehr unterscheiden.

## 2.3 Nacht von Mittwoch zu Donnerstag

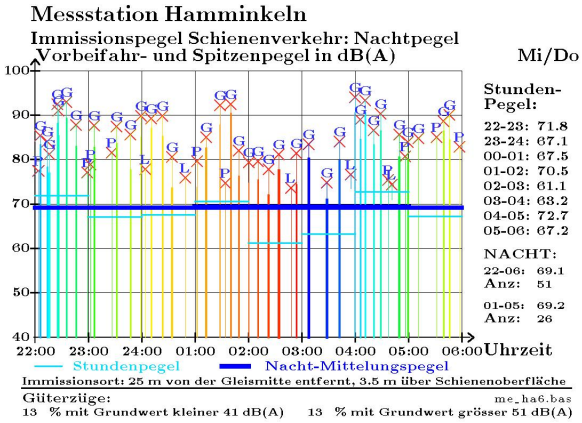


*Bild 2.3.1*: Berechnung 16. BImSchG

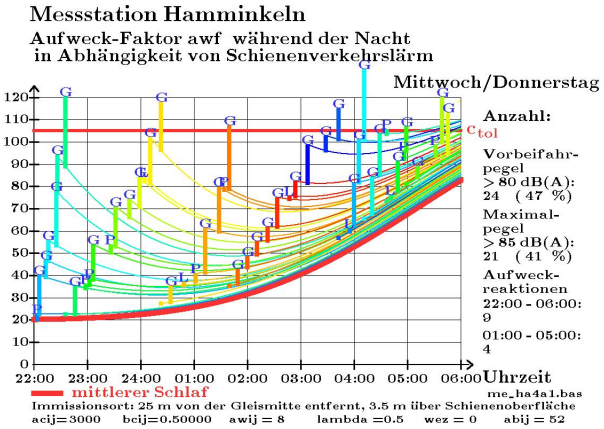


*Bild 2.3.2*: Schlafstörungen

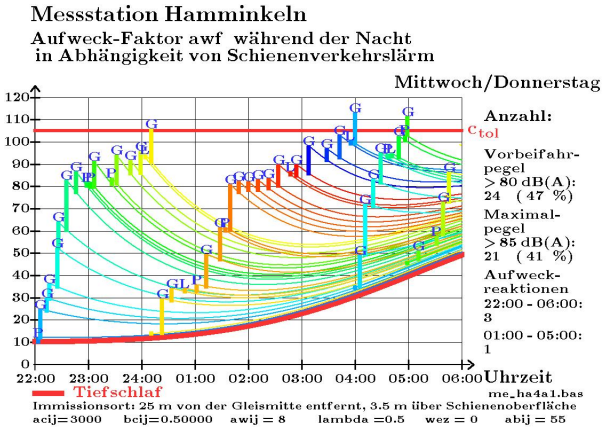


*Bild 2.3.3*: Schlafstörungen bei Tiefschlaf

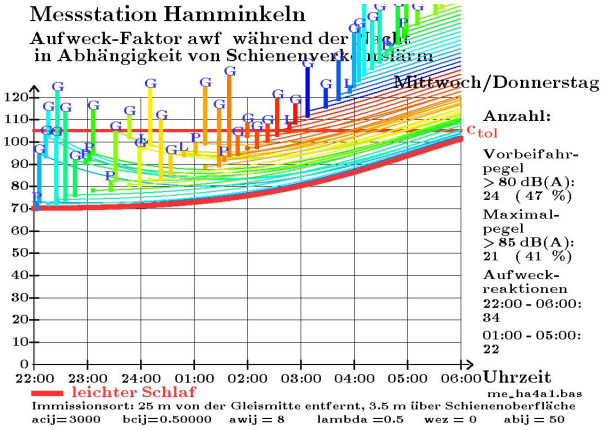


*Bild 2.3.4*: Schlafstörungen bei leichtem Schlaf

„Bingen-Effekt“: Es gibt Güterzüge, deren Grundwerte sich um $10\,dB(A)$ unterscheiden - obwohl keiner der Güterzüge nur mit „Flüsterbremse“ ausgestattete Güterwagen enthielt:

- 13% (5 von 39) Güterzügen bleiben mit ihrem Grundwert unterhalb von $41\,dB(A)$,
- 13% (5 von 39) Güterzügen fahren, obwohl ihr Grundwert oberhalb von $51\,dB(A)$ liegt.

Es war daher nicht ungewöhnlich, dass sich die Grundwerte von Güterzügen um $10\,dB(A)$ und mehr unterscheiden.

## 2.4 Nacht von Donnerstag zu Freitag

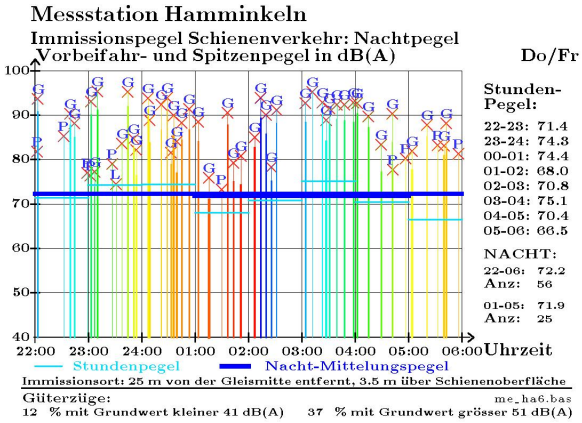


*Bild 2.4.1*: Berechnung 16. BImSchG

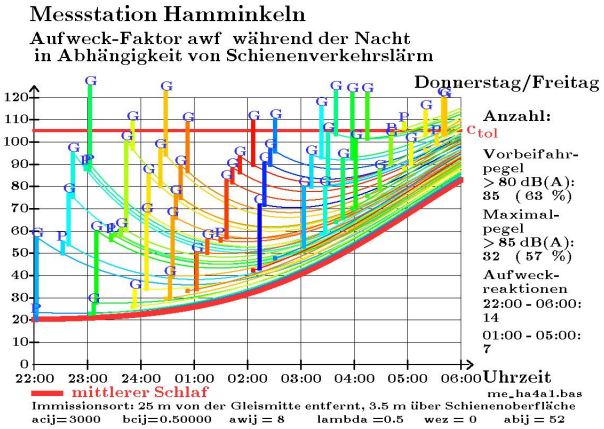


*Bild 2.4.2*: Schlafstörungen

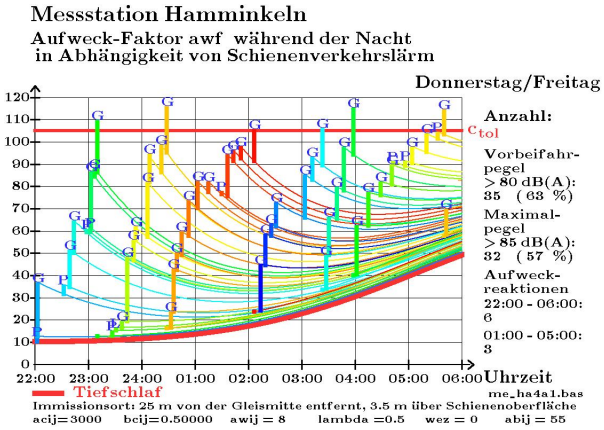


*Bild 2.4.3*: Schlafstörungen bei Tiefschlaf

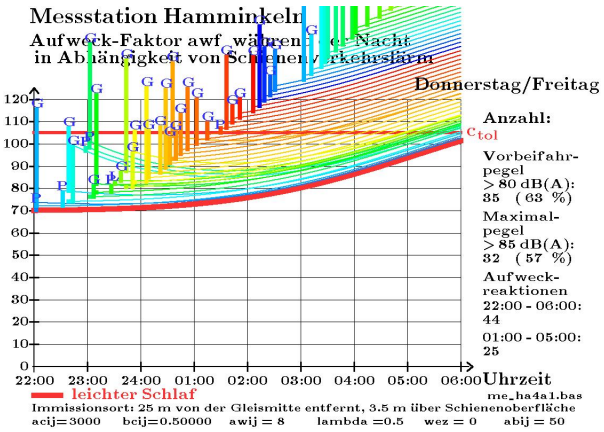


*Bild 2.4.4*: Schlafstörungen bei leichtem Schlaf

„Bingen-Effekt“: Es gibt Güterzüge, deren Grundwerte sich um $10\,dB(A)$ unterscheiden - obwohl keiner der Güterzüge Güterwagen enthielt, die mit „Flüsterbremse“ ausgestattet waren:

- 12% (5 von 43) Güterzügen bleiben mit ihrem Grundwert unterhalb von $41\,dB(A)$,
- 37% (16 von 43) Güterzügen fahren, obwohl ihr Grundwert oberhalb von $51\,dB(A)$ liegt.

Es gibt daher auch hier Grundwerte von Güterzügen, die sich um $10\,dB(A)$ und mehr unterscheiden.

## 2.5 Nacht von Freitag zu Samstag

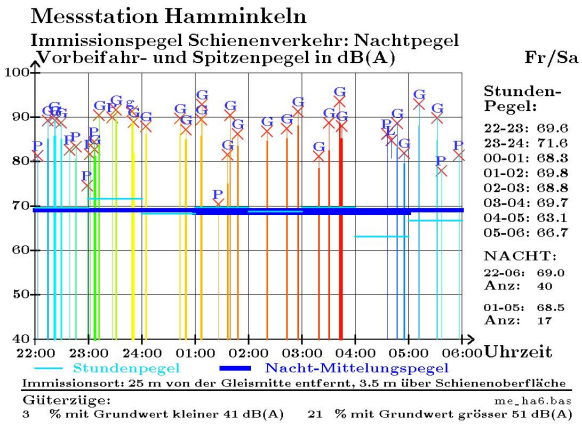


*Bild 2.5.1*: Berechnung 16. BImSchG

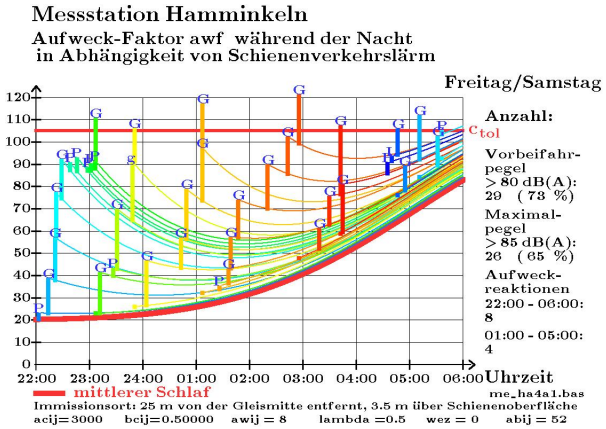


*Bild 2.5.2*: Schlafstörungen

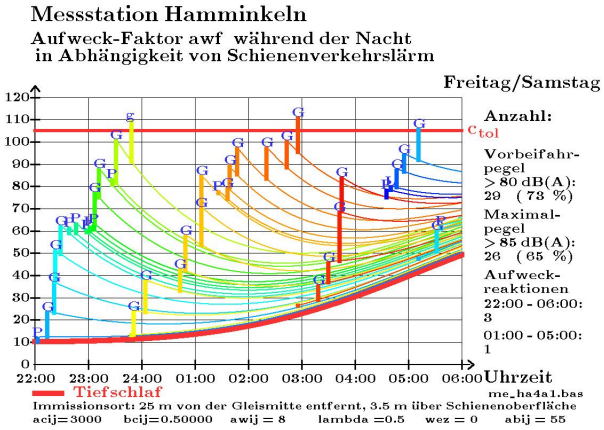


*Bild 2.5.3*: Schlafstörungen bei Tiefschlaf

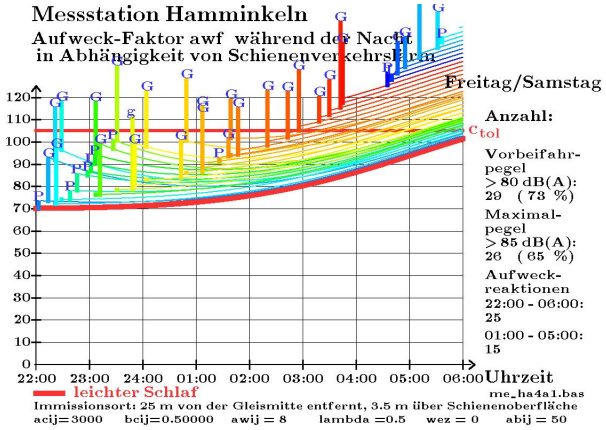


*Bild 2.5.4*: Schlafstörungen bei leichtem Schlaf

„Bingen-Effekt“: Es gibt Güterzüge, deren Grundwerte sich um $10\,dB(A)$ unterscheiden - obwohl keiner der Güterzüge Güterwagen enthielt, die mit „Flüsterbremse“ ausgestattet waren:

- 3% (1 von 29) Güterzügen bleiben mit ihrem Grundwert unterhalb von $41\,dB(A)$,
- 21% (6 von 29) Güterzügen fahren, obwohl ihr Grundwert oberhalb von $51\,dB(A)$ liegt.

Es gibt daher auch hier Grundwerte von Güterzügen, die sich um $10\,dB(A)$ und mehr unterscheiden.

## 2.6 Nacht von Samstag zu Sonntag

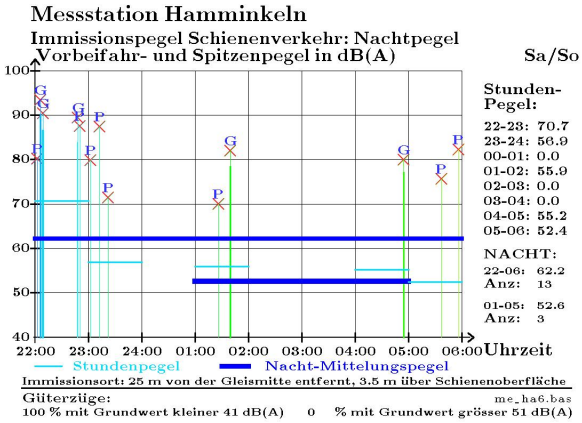


*Bild 2.6.1*: Berechnung 16. BImSchG

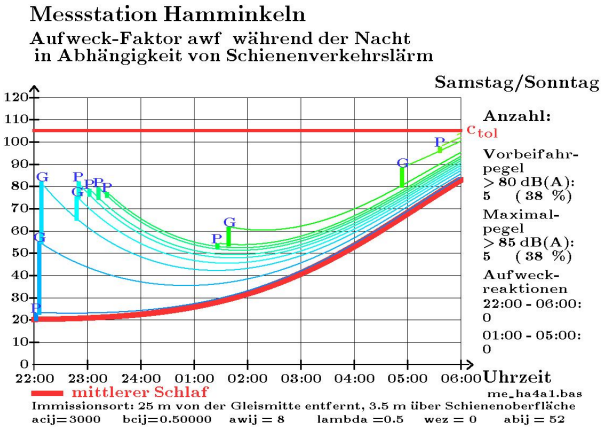


*Bild 2.6.2*: Schlafstörungen

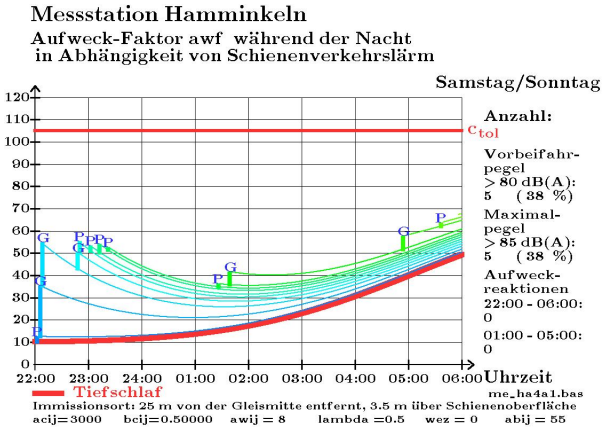


*Bild 2.6.3*: Schlafstörungen bei Tiefschlaf

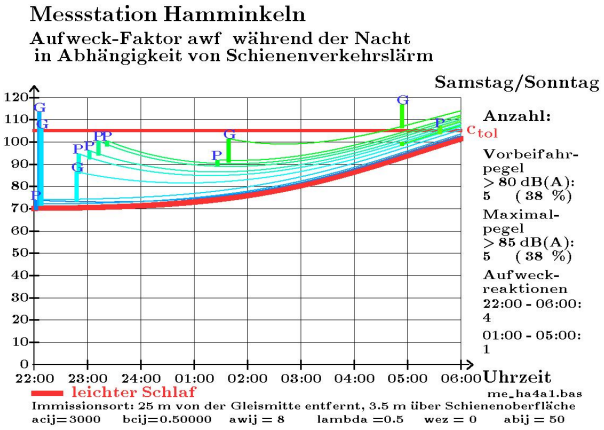


*Bild 2.6.4*: Schlafstörungen bei leichtem Schlaf

## 2.7 Nacht von Sonntag zu Montag

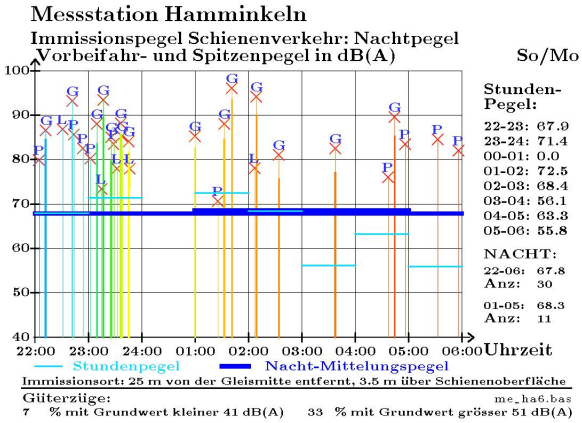


*Bild 2.7.1*: Berechnung 16. BImSchG

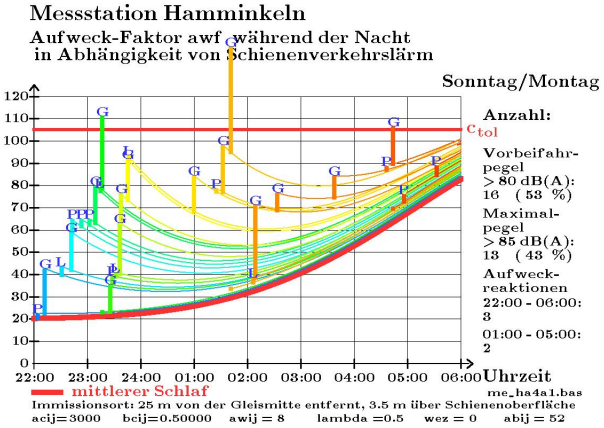


*Bild 2.7.2*: Schlafstörungen

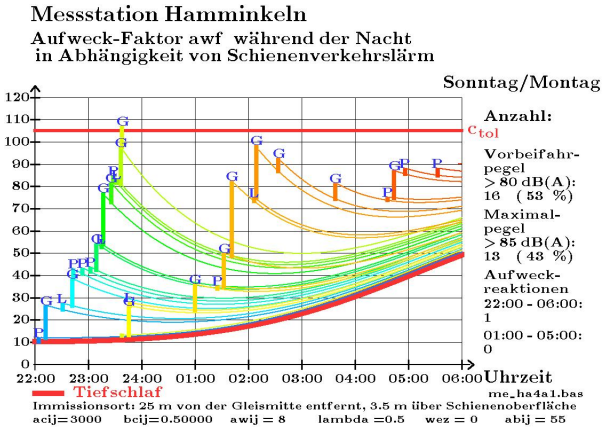


*Bild 2.7.3*: Schlafstörungen bei Tiefschlaf

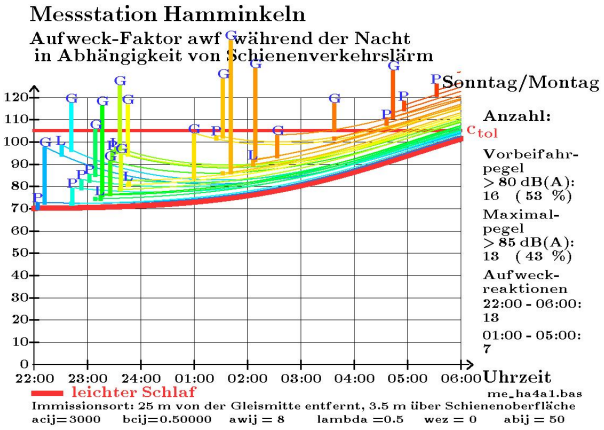


*Bild 2.7.4*: Schlafstörungen bei leichtem Schlaf

„Bingen-Effekt“: Es gibt Güterzüge, deren Grundwerte sich um $10\,dB(A)$ unterscheiden - obwohl keiner der Güterzüge Güterwagen enthielt, die mit „Flüsterbremse“ ausgestattet waren:

- 7% (1 von 15) Güterzügen bleiben mit ihrem Grundwert unterhalb von $41\,dB(A)$,
- 33% (5 von 15) Güterzügen fahren, obwohl ihr Grundwert oberhalb von $51\,dB(A)$ liegt.

Es gibt daher auch hier Grundwerte von Güterzügen, die sich um $10\,dB(A)$ und mehr unterscheiden.

## 2.8 nächtliche Belastungen während einer Woche

Eine Auswertung der in den Abschnitten 2.1 bis 2.7 genannten Daten ergibt:

| | Mo/Di | Di/Mi | Mi/Do | Do/Fr | Fr/Sa | Sa/So | So/Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 |
| **Ergebnisse des Monitoring** | | | | | | | |
| Nacht-Mittelungspegel einer Woche | | | | | | | |
| 22-06 Uhr | **69.5** $dB(A)$ | | | | | | |
| 01-05 Uhr | **69.1** $dB(A)$ | | | | | | |
| Anzahl Vorbeifahrten | | | | | | | |
| Nacht von 22 bis 06 Uhr | 45 | 45 | 51 | 56 | 40 | 13 | 30 |
| Nacht von 01 bis 05 Uhr | 21 | 23 | 26 | 25 | 17 | 3 | 11 |
| Nacht-Mittelungspegel in $dB(A)$ | | | | | | | |
| Nacht von 22 bis 06 Uhr | 69.4 | 71.1 | 69.1 | 72.2 | 69.0 | 62.2 | 67.8 |
| Nacht von 01 bis 05 Uhr | 69.6 | 70.1 | 69.2 | 71.9 | 68.5 | 52.6 | 68.3 |
| **Anzahl Überschreitungen** | | | | | | | |
| Vorbeifahrpegel $> 80\,dB(A)$ | 26 | 30 | 24 | 35 | 29 | 5 | 16 |
| Maximalpegel $> 85\,dB(A)$ | 24 | 30 | 21 | 32 | 26 | 5 | 13 |
| **Anteil Überschreitungen** | | | | | | | |
| Vorbeifahrpegel $> 80\,dB(A)$ | 58% | 67% | 47% | 63% | 73% | 38% | 53% |
| Maximalpegel $> 85\,dB(A)$ | 53% | 67% | 41% | 57% | 65% | 38% | 43% |
| **Anteile** | | | | | | | |
| **Grundwerte** $< 41\,dB(A)$ | 12% | 11% | 13% | 12% | 3% | - | 7% |
| **Grundwerte** $\geq 51\,dB(A)$ | 19% | 26% | 13% | 37% | 21% | - | 33% |
| **Aufweckreaktionen** | | | | | | | |
| **Anteil Aufweck 22 - 06 Uhr** | | | | | | | |
| Tiefschlaf | 7% | 9% | 6% | 11% | 8% | - | 3% |
| mittlerer Schlaf | 16% | 22% | 18% | 25% | 20% | - | 10% |
| leichter Schlaf | 67% | 76% | 67% | 79% | 63% | 31% | 43% |
| **Aufweck 01 - 05 Uhr** | | | | | | | |
| Tiefschlaf | 10% | 13% | 4% | 12% | 6% | - | - |
| mittlerer Schlaf | 19% | 22% | 15% | 28% | 24% | - | 18% |
| leichter Schlaf | 86% | 91% | 85% | 100% | 88% | 33% | 64% |

*Tabelle 2.8.1:*
Aufweckreaktionen in Abhängigkeit von Wochentag und Schlafsituation
Streuung der Grundwerte („Bingen-Effekt“)

### 2.8.1 Maximalpegelhäufigkeitskriterium

Hier wird angenommen, dass sich bei Überschreitungen der Vorbeifahrpegel von $80\,dB(A)$ und bei Überschreitungen der Maximalpegel von $85\,dB(A)$ die Aufweckwahrscheinlichkeit erhöht. Daher wurde vom Autor vorgeschlagen, wie beim Flugverkehr ein Maximalpegelhäufigkeitskriterium für nächtlichen Güterzugverkehrslärm einzuführen (siehe [3]), bei

dem die Anzahl der Maximalpegel pro Nacht (bzw. in der Zeit zwiscxhen 01:00 und 05:00 Uhr) beschränkt wird.

### 2.8.2 „Bingen-Effekt“

In Bingen (und auch an anderen Orten) werden Güterzüge mit Güterwagen vorgeführt, deren Bremssystem „umgerüstet“ wurde und deren Vorbeifahrpegel mindestens $10\,dB(A)$ leiser ist als der Vorbeifahrpegel „nicht umgerüsteter“ Güterwagen - bei ansonsten gleichen Randbedingungen.

Die hier in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen **Messungen** von Güterzug-Vorbeifahrpegeln zeigen jedoch, dass es zumindest im Jahr 2011 Güterzüge gab, deren Vorbeifahrpegel um (mehr als) $10\,dB(A)$ unterhalb der Vorbeifahrpegel anderer Güterzüge lag - bei ansonsten gleichen Randbedingungen.

Andererseits läßt sich aus den **Berechnungen** von Güterwagen-Vorbeifahrpegeln eine derartige Verringerung der Vorbeifahrpegel nicht bestätigen:
Nach der *Schall 03* wird der Einfluss der Bremsbauart durch einen Summanden $D_D$ berücksichtigt:

- für einen Güterwagen mit Bremsbelägen aus Grauguss ist $D_D = 7\,dB(A)$
- für einen Güterwagen mit Scheibenbremsen ist $D_D = 0\,dB(A)$

d.h. durch Umrüstung der Güterwagen von Graugussklotzbremse auf Scheibenbremse verringert sich der berechnete Vorbeifahrpegel um $7\,dB(A)$[3]).

Zusätzlich zeigen die hier beschriebenen Messungen, dass die Vorbeifahrpegel von Güterzügen - und damit auch die Grundwerte - sehr stark streuen: Unterschiede von $10\,dB(A)$ bei ansonsten gleichen Randbedingungen werden immer wieder gemessen.

Die *Tabelle 2.8.1* zeigt, dass dennoch bereits im Jahr 2011 Güterzüge fuhren, deren Grundwert unterhalb von $41\,dB(A)$ lag.

[3]) Im Jahr 2011 war das Bremssystem nur bei weniger als 1% der Güterwagen umgerüstet.

# 3 zeitliche Veränderungen der Lärmsituation

## 3.1 Vorhaben

Die Bahnstrecke in Hamminkeln wird während der meisten Tage eines Jahres durch etwa 60 Güterzüge innerhalb von 24 Stunden befahren. Zusätzlich fahren Personenzüge, ICE-Züge und einzelne Lokomotiven.

Daher wurden hier alle zwei Monate jeweils 60 Güterzüge während ihrer Vorbeifahrt an Hamminkeln genau bezüglich ihrer Schallabstrahlung (siehe Kapitel 1) vermessen. Es ist Ziel dieser Untersuchung, bis zum Jahr 2020 im Takt von 2 Monaten fortwährend die Lärmentwicklung von jeweils 60 Güterzügen zu dokumentieren und auszuwerten, um

- einerseits zu messen, ob die **Vorbeifahrpegel** von Güterzügen , und
- andererseits zu berechnen, ob die **Grundwerte** von Güterwagen

infolge technischer Verbesserungen um $10\,dB(A)$ geringer werden.

Seit Dezember 2010 wurden alle 2 Monate jeweils 60 Güterzugvorbeifahrten betrachtet.

## 3.2 Zwischen-Ergebnisse Vorbeifahrpegel

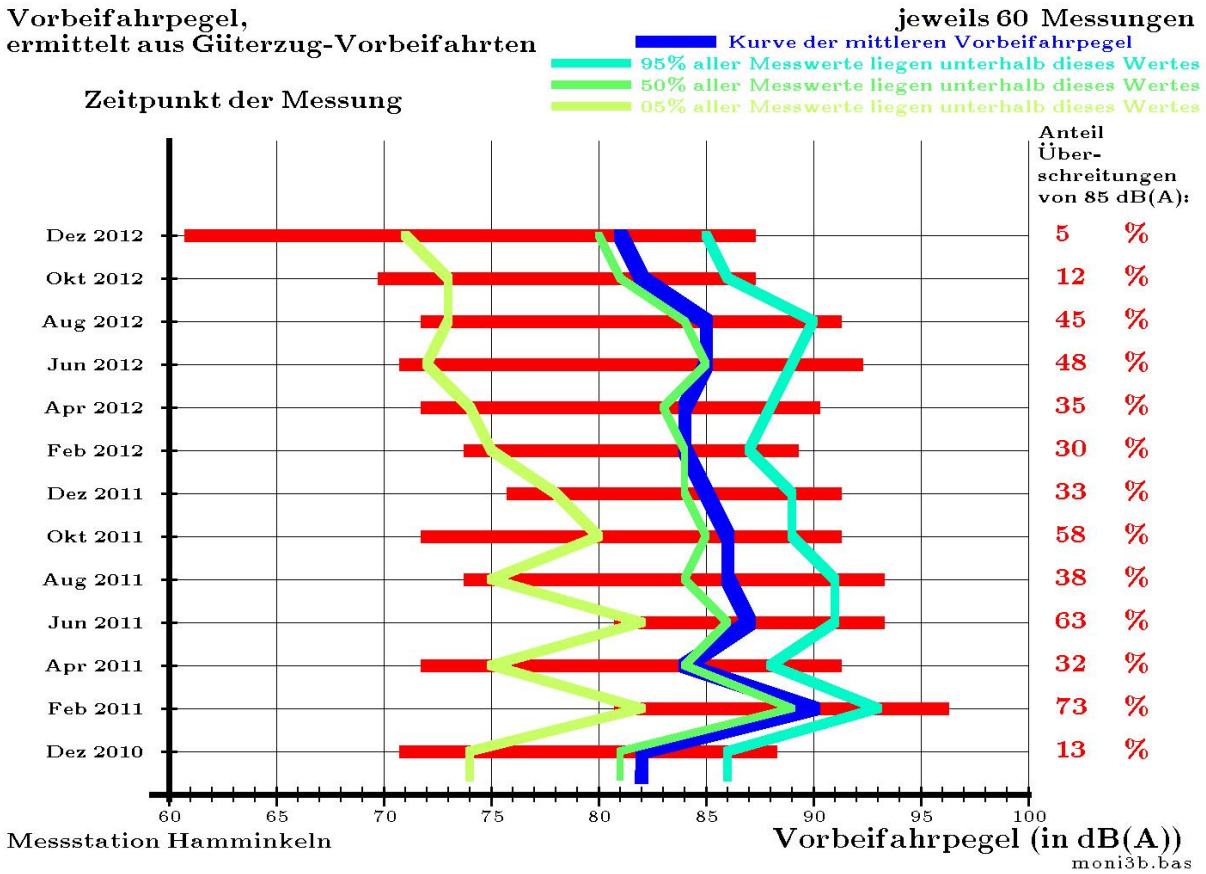


*Bild 4.2.1*: Entwicklung der Vorbeifahrpegel mit der Zeit
Vergleiche November 2010 bis November 2011
unter besonderer Berücksichtigung der Überschreitungen von $85\,dB(A)$

## 3.3 Zwischen-Ergebnisse Grundwerte

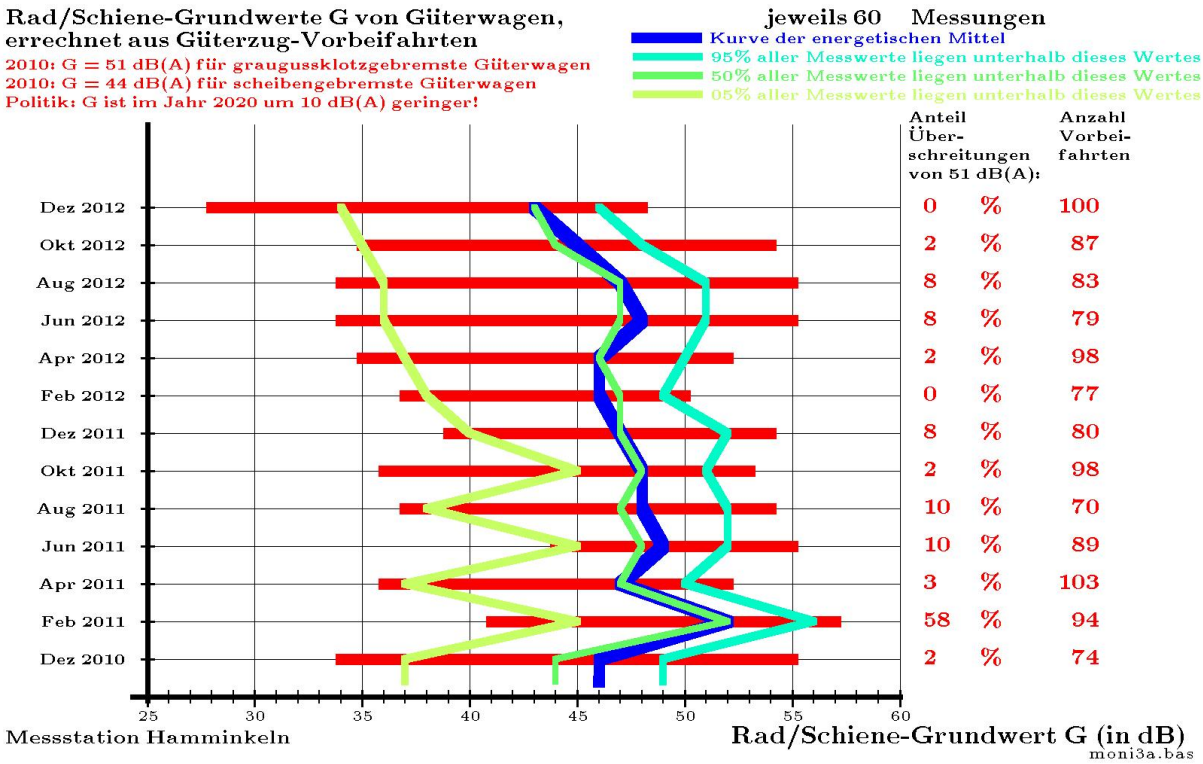


*Bild 4.2.2*: Entwicklung der Grundwerte mit der Zeit
Vergleiche Dezember 2010 bis Dezember 2011
unter besonderer Berücksichtigung der Überschreitungen von 51 $dB(A)$

# 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.

# 4 Vorbeifahr-Parameter und Aufweckreaktionen

## 4.1 Vorbeifahr-Parameter nach *Schall 03*

Um den Jahres-Nacht-Mittelungspegel für einen (Wohn-)Ort $O$ eines Anliegers zu bestimmen, wird wie folgt vorgegangen:

- Zu dem Wohnort $O$ wird ein Ort des zu untersuchenden Schienenweges bestimmt, der dem Wohnort am nächsten ist. Jeweils in der Gleismitte eines der Gleise wird ein Ort $EO$ bestimmt. Zusätzlich wird längs der Strecke zwischen $O$ und $EO$ der Punkt $O_{25}$ bestimmt, der sich $25\,m$ von der Gleismitte in 3.5 m über Grund befindet.
- Nun wird für $O_{25}$ der Emissionspegel nach den Streckenfahrplänen und dem Berechnungsverfahren Schall 03 (1990) für jeden einzelnen Zug der auf jeweils eine Stunde bezogene „Emissionspegels $L_{m,E}(O_{25})$“ berechnet.
- Weiter wird die Änderung des Emissionspegels infolge der Schallausbreitung vom Emissionsort $EO$ bis zum Ort $O$ der „(Gesamt-)Beurteilungspegel $L_{r,ges}(O)$“ vor dem Schlafzimmerfenster des Anliegers bestimmt.

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

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

bestimmbar, wird aber in der Schall 03 nicht betrachtet, sondern nur der „Stundenpegel“. Für eine Messstation an einem Ort $O$ wird wie folgt gerechnet:

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

Darin sind

| Abkürzung | Erklärung | Definition |
|---|---|---|
| $L_{m,E}$ | Emissionspegel des Güterzuges, bezogen auf eine Stunde | |
| **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 $km/h$) | $D_v = 20 \cdot \lg [0,01 \cdot v]$ |
| $D_{Fb}$ | 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 $\geq 500\,m$: 0 |

*Tabelle 3.1:* Parameter eines Stunden-Pegels

**Bedeutung des Grundwertes für den Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Pegeln**

In der Schall 03 (1990) wird der Grundwert konstant gewählt durch

$$G = 51\,dB(A).$$

Wenn sich jedoch der Schienenzustand oder der Zustand der Güterwagen(räder) gegenüber einem bei der Verfassung der Schall 03 (1990) gewählten „normalen“ Zustand ändert, dann ist

$$\text{Emissionspegel} \neq L_{m,E}$$

Das heißt: Rechnung und Messung stimmen nicht überein, wenn der Schienenzustand oder der Zustand eines der Güterwagen nicht der Norm genügen!

Nach der Schall 03 (1990) ([1]) wird dieser Grundwert $G := 51\,dB(A)$ gesetzt - diesen Wert sollte der Grundwert eines Güterwagens bei „durchschnittlich gutem“ Schienenzustand besitzen.

Vorangegangene Messungen zeigen jedoch, dass dieser Grundwert sehr stark streut - wie bereits mehrfach (z.B. in [2]) dokumentiert wurde.

*Bild 1.2* 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.

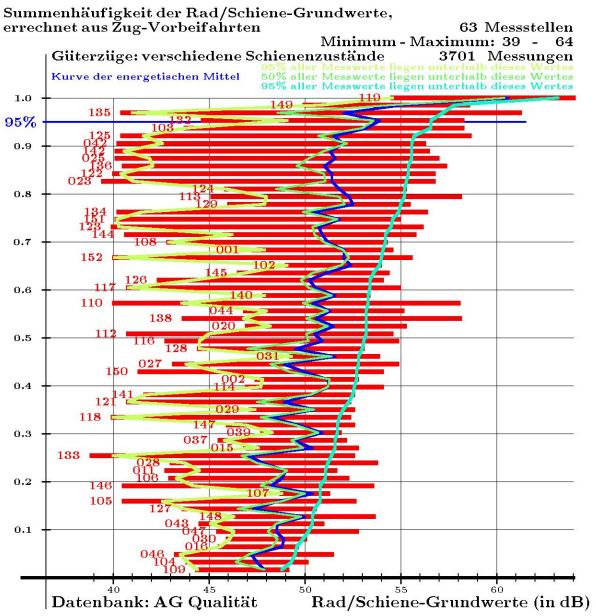


*Bild 3.1*
Verteilung der Grundwerte von Güterzügen

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

$$\begin{aligned} L_{m,E} &= \mathbf{G} + 0 + D_D + 10 \cdot \lg\left[0.01 \cdot l\right] + 20 \cdot \lg\left[0.01 \cdot v\right] + 2 + 0 + 0 + 0 \\ &= \mathbf{G} + D_D + 2 + 10 \cdot \lg\left[0.01^3 \cdot l \cdot v^2\right] \end{aligned} \tag{3}$$

Der Einfluss der Bremssysteme wird in der *Schall 03* nur durch den Anteil scheibengebremster Fahrzeuge berücksichtigt - nicht aber durch andere Brems-Sohlen. Für Güterwagen wird daher in der Schall 03

$$D_D(0\%) = 10 \cdot \lg\left[5\right] = 7$$

gesetzt, wenn das Bremssystem nicht bekannt ist.

Bemerkung:
Eine Lärmminderung durch Umrüstung des Bremssystems von Güterwagen würde daher nur dann den Wert von $\boxed{D_D(100\%) = 0\,dB(A)}$ ergeben, wenn sämtliche Güterwagen mit Scheibenbremsen ausgestattet sind.

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

$$\mathbf{G} = L_{m,E} - D_D - 2 - 10 \cdot \lg\left[0.01^3 \cdot l \cdot v^2\right] \tag{4}$$

oder, nach Gleichung (1),

$$\mathbf{G} = 10 \cdot \lg\left[\frac{t}{3600}\right] + p_v - D_D - 2 - 10 \cdot \lg\left[0.01^3 \cdot l \cdot v^2\right] \tag{5}$$

Diese Formel (5) erlaubt es, aus den Parametern $t$, $p_v$, $l$ und $v$ den Grundwert **G** jedes einzelnen Güterzuges zu bestimmen.

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 Korrekturen[4]) 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

$$\mathbf{L}_{m,E,23} = L_{m,E} + 0.3 \tag{6}$$

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

$$\mathbf{L}_{m,E,27} = L_{m,E} - 0.4 \tag{7}$$

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**

## 4.2 Messung der Vorbeifahr-Parameter: Monitoring

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

Datum: 31.12.2010 Geschwindigkeit: $97\,km/h$

*Bild 3.2.1*
$v = 79\,km/h$, $t$ =15:25:00.6
$p = 70.6\ /\ 73.2\,dB(A)$

*Bild 3.2.2*
$v = 79\,km/h$, $t$ =15:25:01.0
$p = 76.3\ /\ 77.5\,dB(A)$

[4]) nach Schall 03 (1990) ist $D_{s_\perp}(23\,m) = 1.9$, $D_{s_\perp}(25\,m) = 1.6$ und $D_{s_\perp}(27\,m) = 1.2$.

*Bild 3.2.3*
$v = 79\,km/h$, $t$ =15:25:01.2
$p = 76.3\ /\ 77.5\,dB(A)$

*Bild 3.2.4*
$v = 72\,km/h$, $t$ =15:25:01.4
$p = 76.3\ /\ 77.5\,dB(A)$

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

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | x | x | x | x | | x | x | x | x | x | x | | | | | x | x | x | x | |
| x | | | | | x | | | | | x | | | | | x | | | | | x |
| x | | | | | | | | | | x | | | | | x | | | | | x |
| x | | | | | | | | | x | | | | | | x | | | | | x |
| x | | x | x | x | | | | | x | | | | | | x | | | | x | x |
| x | x | | | | x | | | x | | | | | | | | x | x | x | | x |
| x | | | | | x | | | x | | | | | | | | | | | | x |
| x | | | | | x | | x | | | | | | | | | | | | | x |
| x | | | | | x | | x | | | | | | | | x | | | | x | |
| | x | x | x | x | | | x | | | | | | | x | | x | x | x | | |

*Bild 3.2.5:* Vorbeifahrpegel-Pixel im *.avi-Format

**Güterzug-Monitoring**
zur Beurteilung von Lärmminderungsmaßnahmen

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) |

Um für jede Zugvorbeifahrt die zuvor genannten Messwerte automatisiert zu erfassen, werden in Hamminkeln durch den TÜV-Nord folgende Messgeräte eingesetzt:

**Messgeräte in Hamminkeln**

Schall-Messgerät
zur Dokumentation von Uhrzeit, Vorbeifahrpegel und maximalem Vorbeifahrpegel, jeweils 5 Messungen pro Sekunde

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

Geschwindigkeits-Messgerät,
das mit der Video-Kamera gekoppelt die jeweilige Vorbeifahrgeschwindigkeit registriert - und durch das Vorzeichen die Fahrtrichtung angibt.

## 4.3 Vorbeifahr-Parameter

- **Ausbreitungsrechnung:**
  Der Pegel $L_{m,E}$ bezieht sich auf das oben angegebene Messgerät:
  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 $p_{max}$“ während der Vorbeifahrt eines Schienenfahrzeugs ist das Maximum der $N$ Vorbeifahrpegel $p(j)$ (mit $1 \leq j \leq N$), also
  $$p_{max} := \max_{1 \leq i \leq N} p(j).$$

- **Vorbeifahrzeit $t_v$:**
  Da es nicht immer möglich ist, durch ein optisches Verfahren die Vorbeifahrzeit durch Messung der Zeit zwischen Beginn und Ende einer Vorbeifahrt zu bestimmen, wird folgende Definition verwendet, die nur die kontinuierliche Messung der Pegel erfordert:

  **Definition „Vorbeifahrzeit“ $t_v$ aus der Messung der Pegel**
  Wenn der Pegel $p$ an der Messstation während des Anstiegs beim Herannahen eines Güterzuges größer wird als $p_{max} - 10\,dB(A)$, so beginnt die „Vorbeifahrzeit $t_v$“, die in Sekunden gemessen wird.
  Die Vorbeifahrzeit $t_v$ endet, wenn der Vorbeifahrpegel $p$ unter den Pegel $p_{max} - 10\,dB(A)$ fällt ($p < p_{max} - 10\,dB(A)$.

  Dadurch wird die Anzahl $N$ der Messdaten einer Vorbeifahrt auf eine Anzahl $N_v$ reduziert.

  **Bemerkungen:**

  - Es ist also erforderlich, in einem ersten Rechengang den maximalen Vorbeifahrpegel $p_{max}$ zu bestimmen, um damit die Vorbeifahrzeit $t_v$ bestimmen zu können.
  - Die Definition der Vorbeifahrzeit mit Hilfe des maximalen Vorbeifahrpegels $p_{max}$ entspricht einer Verkürzung des Güterzuges auf den Teil, der „laut“ ist - der Zugteil, der um $10\,dB(A)$ leiser ist, wird nicht berücksichtigt.

– Es gibt Vorbeifahrten, bei denen durch die Vorbeifahrpegel-Bedingung $p_{max} - 10 \leq p_v \leq p_{max}$ Güterzüge in zwei (oder mehr) Teile zerteilt werden, weil einige Güterwagen um mehr als $10\,dB(A)$ leiser vorbeifahren als andere Güterwagen des gleichen Güterzuges.

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

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

- **Geschwindigkeit $v$:**
  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.
  **Bemerkung:** Wenn für einen Güterzug $l$ die Länge in $m$, $t_v$ die Vorbeifahrzeit in $s$ und $v$ die Geschwindigkeit in $km/h$ ist, so lautet die Umrechung

$$l \text{ in } m \;= \frac{1000}{3600} \cdot (v \text{ in } km/h\;) \cdot (t \text{ in } s\;) \tag{8}$$

- **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.

- **Länge des Güterzuges:**
  Die Länge $l$ des Güterzuges kann berechnet werden nach der Formel (8).
  (Nach (9) ist die Bestimmung der Länge zur Berechnung des Grundwertes jedoch nicht erforderlich.)

- **Grundwert:**
  Der Grundwert $G$ wird nach (5) für die hier betrachteten Güterzüge
  (also für $D_D = 10 \cdot \lg[5 - 0.04 \cdot p] = 10 \cdot \lg[5] \approx 7$) unter Berücksichtigung von Gleichung (8) berechnet:

**Grundwert - Vorbeifahrpegel - Geschwindigkeit bei Güterzügen**

$$\begin{aligned} G &\approx 10 \cdot \lg\left[\frac{t}{3600}\right] + p_v - 7 - 2 - 10 \cdot \lg\left[0.01^3 \cdot l \cdot v_m^2\right] \\ &= p_v - 9 + 10 \cdot \lg\left[\frac{t}{0.01^3 \cdot l \cdot v_m^2 \cdot 3600}\right] \\ &= p_v - 9 + 10 \cdot \lg\left[\frac{t \cdot 3600}{0.01^3 \cdot 1000 \cdot (v_m \cdot t) \cdot v_m^2 \cdot 3600}\right] \\ &= p_v - 9 + 10 \cdot \lg\left[\frac{10^3}{v_m^3}\right] = p_v - 9 - 30 \cdot \lg\left[\frac{v_m}{10}\right] \end{aligned} \tag{9}$$

Die Formel (9) zeigt, dass zur Berechnung des Grundwertes eines Güterzuges nur die Bestimmung des Vorbeifahrpegels $p_v$ und der Geschwindigkeit $v_m$ erforderlich sind.

- **Art:**
  C=Containertransportwagen mit Container
  F=Containertransportwagen ohne Container
  G=Güter-Kastenwagen
  K=Kesselwagen
  L=Lok
  R=Rungenwagen
  S=Schotterwagen

Bei Verkehrslärm als Ursache für ein Aufwachen erfordert dessen Beschreibung die Berücksichtigung folgender Parameter:

- **Vorbeifahrpegel bei Güterzügen**
  Jeder Vorbeifahrpegel eines Güterzuge besteht aus den Vorbeifahrpegeln der Lokomotive und denen der Güterwagen, und da diese selten gleich sind, werden meist nur Mittelwerte der (verschiedenen) Vorbeifahrpegel von Güterzügen betrachtet. Es ist jedoch nicht bekannt, welcher Zusammenhang besteht zwischen

  – (mittlerem) Vorbeifahrpegel
  – zeitlicher Dauer der Vorbeifahrt
  – Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit

  Zusätzlich wird häufig ein „maximaler Vorbeifahrpegel“ angegeben, nicht aber dessen zeitlicher Dauer.

- **Stundenpegel**
  Bei $N$ Güterzugvorbeifahrten während einer Stunde wird anstelle der einzelnen Vorbeifahrpegel meist das energetische Mittel aus sämtlichen Vorbeifahrpegeln $p_v(j)$ (mit $1 \leq j \leq N$) mit Vorbeifahrzeiten $z(j)$ während der Stunde betrachtet.

- **Jahres-Nacht-Mittelungspegel**
  Die Bilder *Bild 1.1.1* und *Bild 1.2.2* bis *Bild 1.2.4* in den vorangehenden Betrachtungen zeigen, dass die Mittelwertbildung von Vorbeifahrpegeln von Güterzügen nicht dazu verwendet werden kann, um Aufweckwahrscheinlichkeiten infolge der Güterzugvorbeifahrten zu diskutieren: Jede einzelne Vorbeifahrt kann die Aufweckwahrscheinlichkeit in einem individuellen Masse erhöhen. Damit ist weder die Mittelwertbildung für die 8 Stunden einer Nacht noch die Nittelwertbildung für sämtliche 365 Nächte eines Jahres geeignet, Aufweckreaktionen und Aufweckwahrscheinlichkeiten zu bestimmen.

- **Toleranzgrenze $c_{tol}$**
  Es wird angenommen, dass bei Überschreitung einer *Toleranzgrenze* $c_{tol}$ für die Aufweckwahrscheinlichkeit jeder Schlafende in der Zeit zwischen 22 und 06 Uhr aufgeweckt wird.

- **Aufweckwahrscheinlichkeit in % während der 8 Nachtstunden (ohne Störung):**
  Es wird hier Abhängigkeit der Aufweckwahrscheinlichkeit von

  - der „mittlere Schlaftiefe“ $ss_1$
  - der „Aufwecktiefe“ $ss_2$
  - der Schlafqualität:
    Tiefschlaf ($ss_1 = 35$, $ss_2 = 25$), mittlerer Schlaf ($ss_1 = 60$, $ss_2 = 40$),
    leichter Schlaf ($ss_1 = 90$, $ss_2 = 20$))
  - der Uhrzeit $t$ (mit $t = -2$ für 22:00 Uhr und $t = -1$ für 23:00 Uhr),

  beschrieben durch die Formel

  $$c_{norm}(ss_1, ss_2, t) = \quad ss_1 - ss_2 \cdot \cos\left[\left(\tfrac{t+4}{12}\right)^2 \cdot \pi\right] \quad -2 \leq t \leq 6 \tag{10}$$

  Die Aufweckfunktion $c_{norm}(s_1, s_2, t)$ aus (12) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, aus einer Schlafsituation zu der Zeit $t$ aufzuwachen - wenn keine Geräusche die Ruhe stören.

- **Aufweckwahrscheinlichkeit [in %] während 8 Nacht-Stunden (mit Verkehrslärm-Störung):**
  Wenn jedoch Verkehrsgeräusche stören, so wird hier die durch (12) beschriebene Aufweckwahrscheinlichkeit $c_{norm}(ss_1, ss_2, t)$ durch eine Funktion

  $$c_{ges}(ss_1, ss_2, a_{bij}, t)$$

  beschrieben, die hier für jede Vorbeifahrt $j$ mit einem Vorbeifahrpegel $p_v(j)$ während einer Vorbeifahrzeit $z(j)$ durch folgende weitere Parameter bestimmt wird:

  - **Zeitpunkt der $j$-ten Vorbeifahrt:**
    Der Zeitpunkt der $j$-ten Vorbeifahrt wird hiermit $t(j)$ bezeichnet.
  - **Initialisierungsfaktor $c_{ini}(j)$ und Schlafpegelgrenze $ss_3$:**
    Wird die (nächtliche) Ruhe (zwischen 22 und 06 Uhr unter Berücksichtigung der Sommer-/Winterzeit)

– **Schlafpegelgrenze** $a_{bij}$ **in** $dB(A)$
Wenn es einen Pegel gibt, unterhalb dem keine Aufweckreaktionen aktiviert werden, so wird dieser Pegel wird hier „Schlafpegelgrenze“ genannt und durch $a_{bij}$ bezeichnet (dieser Pegel $a_{bij}$ ist abhängig von der Schlafsituation).

– **Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit** $c_{ini}(j)$

$$c_{ini}(j) := a_{cij} \cdot \frac{z(j)}{3600} \cdot 10^{b_{cij} \cdot 0.1 \cdot \left(p_v(j) - a_{bij}\right)} \tag{11}$$

– **Abklingfaktor** $\lambda$
Hier wird der Abklingfaktor $lambda = 0.5$ gesetzt; nach einer Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit klingt diese mit der Zeit wieder ab.

Abklingen der Erhöhung $e^{-\lambda \cdot \delta}$,

wobei $\delta$ der (zeitliche) Abstand ab dem Zeitpunkt der Vorbeifahrt ist.

- **Wiedereinschlafzeit** ***wez*** und **Änderung der Schlafqualität** $a_{wij}$
Nach jeder Aufweckreaktion gibt es eine „Wiedereinschlafzeit $t_{wieder}$“ in Sekunden, bevor ein Eingeschlafen möglich ist (falls der Schläfer nicht durch eine weitere Zugvorbeifahrt am Einschlafen gehindert wurde).
Anschliessend ist die Schlafqualität jedoch gestört. Dazu wird (12) um einen Summanden $a_{wij}$ erhöht.

## 4.4 individuelle Aufweck-Parameter

Die Bedingungen, unter denen ein schlafender Mensch aufwacht, sind individuell sehr verschieden. Daher ist es sinnvoll, nicht die Mittelwerte solcher Bedingungen zu ermitteln, sondern die Streubreite.

Bei Verkehrslärm als Ursache für ein Aufwachen erfordert dessen Beschreibung die Berücksichtigung folgender Parameter:

- **Vorbeifahrpegel bei Güterzügen**
  Jeder Vorbeifahrpegel eines Güterzuge besteht aus den Vorbeifahrpegeln der Lokomotive und denen der Güterwagen, und da diese selten gleich sind, werden meist nur Mittelwerte der (verschiedenen) Vorbeifahrpegel von Güterzügen betrachtet. Es ist jedoch nicht bekannt, welcher Zusammenhang besteht zwischen
  - (mittlerem) Vorbeifahrpegel
  - zeitlicher Dauer der Vorbeifahrt
  - Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit

  Zusätzlich wird häufig ein „maximaler Vorbeifahrpegel“ angegeben, nicht aber dessen zeitlicher Dauer.

- **Stundenpegel bei Güterzügen**
  Um die Bedeutung der einzelnen Vorbeifahrpegel zu erkennen, werden hier folgende Szenarien miteinander verglichen:
  - zwischen 01 und 02 Uhr verursacht ein einzelner Güterzug während einer Vorbeifahrzeit von $t$ Sekunden einen mittleren Vorbeifahrpegel $p$
  - zwischen 01 und 02 Uhr verursachen zehn Güterzüge während ihrer Vorbeifahrzeit von jeweils $t$ Sekunden jeweils einen mittleren Vorbeifahrpegel von $p - 10\,dB(A)$

  Dann sind die Stundenpegel dieser beiden Szenarien gleich.
  Aber ist die Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit in diesen beiden Szenarien gleich?
  Dazu sind bisher noch keine Untersuchungsergebnisse bekannt.

- **Jahres-Nacht-Mittelungspegel**
  Die vorangehenden Betrachtungen zeigen, dass die Mittelwertbildung von Vorbeifahrpegeln von Güterzügen nicht dazu verwendet werden kann, um Aufweckwahrscheinlichkeiten infolge der Güterzugvorbeifahrten zu diskutieren: Jede einzelne Vorbeifahrt kann die Aufweckwahrscheinlichkeit in einem individuellen Masse erhöhen.

Folglich ist es sinnvoll, für jeden einzelnen Vorbeifahrpegel zu prüfen, ob eine individuelle Aufweckwahrscheinlichkeit infolge einer Aufweckreaktion auf diesen Pegel erhöht wird.

- **Toleranzgrenze $c_{tol}$**
  Es wird angenommen, dass bei Überschreitung einer *Toleranzgrenze* $c_{tol}$ für die Aufweckwahrscheinlichkeit jeder Schlafende in der Zeit zwischen 22 und 06 Uhr aufgeweckt wird.

- **Aufweckwahrscheinlichkeit in % während der 8 Nachtstunden (ohne Störung):**
  Es wird hier Abhängigkeit der Aufweckwahrscheinlichkeit von
  - der Schlafqualität (Tiefschlaf, mittlerer Schlaf, leichter Schlaf)
  - der Uhrzeit $t$ (mit $t = -2$ für 22:00 Uhr und $t = -1$ für 23:00 Uhr),
  - der „mittlere Schlaftiefe“ $ss_1$
  - der „Aufwecktiefe“ $ss_2$

  beschrieben durch die Formel

$$c_{norm}(ss_1, ss_2, t) = \; ss_1 - ss_2 \cdot \cos\left[\left(\tfrac{t+4}{12}\right)^2 \cdot \pi\right] \quad -2 \leq t \leq 6 \tag{12}$$

  Die Aufweckfunktion $c_{norm}(s_1, s_2, t)$ aus (12) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, aus einer Schlafsituation zu der Zeit $t$ aufzuwachen - wenn keine Geräusche die Ruhe stören.

  In den hier dargestellten Abbildungen werden folgende Parameter verwendet:

| Schlafsituation | $ss_1$ | $ss_2$ | $a_{bij}$ | $t_{wieder}$ |
|---|---|---|---|---|
| Tiefschlaf | 35 | 25 | $50\,dB(A)$ | $60\,s$ |
| mittlerer Schlaf | 60 | 40 | $52\,dB(A)$ | $120\,s$ |
| leichter Schlaf | 90 | 20 | $55\,dB(A)$ | $180\,s$ |

*Tabelle 3.4.1:* Parameter der Aufweckfunktion

- **Aufweckwahrscheinlichkeit [in %] während 8 Nacht-Stunden (mit Verkehrslärm-Störung):**
  Wenn jedoch Verkehrsgeräusche stören, so wird hier die durch (12) beschriebene Aufweckwahrscheinlichkeit $c_{norm}(ss_1, ss_2, t)$ durch eine Funktion

$$c_{ges}(ss_1, ss_2, a_{bij}, t)$$

  beschrieben, die hier für jede Vorbeifahrt $j$ mit einem Vorbeifahrpegel $p_v(j)$ während einer Vorbeifahrzeit $z(j)$ durch folgende weitere Parameter bestimmt wird:
  - **Zeitpunkt der $j$-ten Vorbeifahrt:**
    Der Zeitpunkt der $j$-ten Vorbeifahrt wird hiermit $t(j)$ bezeichnet.
  - **Initialisierungsfaktor $c_{ini}(j)$ und Schlafgrenze $ss_3$:**
    Wird die (nächtliche) Ruhe (zwischen 22 und 06 Uhr unter Berücksichtigung der Sommer-/Winterzeit)
  - **Schlafgrenze $a_{bij}$ in $dB(A)$**
    Wenn es einen Pegel gibt, unterhalb dem keine Aufweckreaktionen aktiviert werden, so wird dieser Pegel wird hier „Schlafgrenze“ genannt und durch $a_{bij}$ bezeichnet (dieser Pegel $a_{bij}$ ist abhängig von der Schlafsituation).
  - **Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit $c_{ini}(j)$**

$$c_{ini}(j) := a_{cij} \cdot \frac{z(j)}{3600} \cdot 10^{b_{cij} \cdot 0.1 \cdot \left(p_v(j) - a_{bij}\right)} \tag{13}$$

– **Abklingfaktor** $\lambda$
Hier wird der Abklingfaktor $lambda = 0.5$ gesetzt; nach einer Erhöhung der Aufweckwahrscheinlichkeit klingt diese mit der Zeit wieder ab.
Abklingen der Erhöhung $e^{-\lambda \cdot \delta}$,
wobei $\delta$ der (zeitliche) Abstand ab dem Zeitpunkt der Vorbeifahrt ist.

- **Wiedereinschlafzeit** ***wez*** und **Änderung der Schlafqualität** $a_{wij}$
Nach jeder Aufweckreaktion gibt es eine „Wiedereinschlafzeit $t_{wieder}$“ in Sekunden, bevor ein Eingeschlafen möglich ist (falls der Schläfer nicht durch eine weitere Zugvorbeifahrt am Einschlafen gehindert wurde).
Anschliessend ist die Schlafqualität jedoch gestört. Dazu wird (12) um einen Summanden $a_{wij}$ erhöht.

# 5 monitor4c.tex

Bei mehreren Störungen zu verschiedenen Nacht-Zeiten wird jeweils ein entsprechende Initialisierungsfaktor hinzugefügt.

- **„Schlafgrenze“** $s_3$ Als „Schlafgrenze“ wird der Pegel (in $dB(A)$) definiert, bis zu dem keine Aufweckreaktionen auftreten. Er wird hier mit $s_3$ bezeichnet.

**Beispiel:**
Bei mittlerem Schlaf ist die Aufweckwahrscheinlichkeit um 1:00 Uhr nach (12), falls bis zu diesem Zeitpunkt kein (weckendes) Geräusch gehört wurde:

$$\begin{aligned} c_{norm}(s_1, s_2, t) &= c_{norm}(60, 40, 1:00) = s_1 - s_2 \cdot \cos\left[\left(\frac{t+4}{12}\right)^2 \cdot \pi\right] \\ &= 60 - 40 \cdot \cos\left[\left(\frac{5}{12}\right)^2 \cdot \pi\right] \approx 20.0\% \end{aligned}$$

Wenn nun zu diesem Zeitpunkt während $z(1) = 20\,Sekunden$ der erste ($j = 1$) Güterzug mit einem Vorbeifahrpegel von $p(1) = 75\,dB(A)$ vorbeifährt, so erhöht sich mit $s_3 = -52\,dB(A)$ die Aufweckwahrscheinlichkeit um

$$c_{ini}(1) = (p(1) - s_3)^{1.2} - \left(\frac{27}{z(j)^{1.1}}\right) = (75 - 52)^{1.2} - \left(\frac{27}{20^{1.1}}\right) \approx 43 - 1 = 42\,\%$$

auf $\boxed{62\,\%}$.

- **Wiedereinschlafzeit** $t_{wieder}$**:**
Nach jeder Aufweckreaktion gibt es nach der die Aufweckreaktion verursachenden Vorbeifahrzeit $z(j)$ eine „Wiedereinschlafzeit $t_{wieder}$“ in Sekunden, bevor ein Eingeschlafen möglich ist.
In diesem Bericht werden gesetzt:

| Schlafsituation | $s_3$ | $t_{wieder}$ |
|---|---|---|
| Tiefschlaf | -50 | $60\,s$ |
| mittlerer Schlaf | -52 | $120\,s$ |
| leichter Schlaf | -55 | $180\,s$ |

*Tabelle x.x:*

## 5.1 Mögliche Fortsetzung des Schlafes

- **Rekreationsfunktion $R(j,\lambda)$ mit einem Rekreationsfaktor $\lambda$:**
  Bei jeder Vorbeifahrt $j$ (also zur Zeit $t(j)+z(j)$) wird die Aufweckwahrscheinlichkeit durch den Initialisierungsfaktor $c_{ini}(j)$ erhöht - und überscheitet möglicherweise $c_{tol}$, d.h. weckt den Anlieger auf. Wenn dieser jedoch nicht aufgeweckt, so wird nach der Vorbeifahrt die Aufweckwahrscheinlichkeit wieder gedämpft.

$$\begin{aligned} c_{ges}(s_1,s_2,s_3,t) &= c_{ges}(s_1,s_2,t(j)) + ..... \quad \text{für} \quad t(j) \le t \le t(j)+z(j) \\ &\quad \text{falls } c_{ges}(s_1,s_2,t(j)) \le c_{tol} \end{aligned} \tag{14}$$

Falls eine Aufweckreaktion stattfindet, verlängert sich die Wachphase um die Wiedereinschlafzeit $t_{wieder}$, so dass gilt

$$\begin{aligned} c_{ges}(s_1,s_2,t) &:= c_{ges}(s_1,s_2,t(j)) \quad \text{für} \quad t(j) \le t \le t(j)+z(j)+t_{wieder} \\ &\quad \text{falls } c_{ges}(s_1,s_2,t(j)) > c_{tol} \end{aligned} \tag{15}$$

Dazu wird definiert:

$$t_{end}(j) := t(j)+z(j)+t_{wach} \quad \text{falls } c_{ges}(t(j) > c_{tol}$$
$$t_{end}(j) := t(j)+z(j) \quad \text{falls } c_{ges}(t(j) \le c_{tol}$$

Ferner sei für die Zeit $t$ nach einer Vorbeifahrt definiert:

$$R(j,\lambda) := c_{end}(j) \cdot 10^{-\lambda\cdot(t-t_{end}(j))} \quad \text{für} \quad t \ge t_{end}(j) \tag{16}$$

wobei in diesem Bericht $\lambda = 0.5$ gesetzt wird.

$$c_{ges}(s_1,s_2,t) = \begin{cases} c_{norm}(t) & \text{falls } 0 \le t \le t(1) \\ c_{norm}(t)+c_{ini}(1) & \text{falls } c_{norm}(t(1))+c_{ini}(1) \le c_{tol} \\ & \text{und } c_{norm}(t(1))+c_{ini}(1) \ge c_{norm}(t) \\ & \text{für } t(1) \le t \le t_{end}(1) \\ c_{norm}(t) & \text{falls } c_{norm}(t(1))+c_{ini}(1) < c_{norm}(t) \\ & \text{und } t(1) \le t \le t_{end}(1) \\ \text{damit ist } c_{end}(1) := c_{ges}(t_{end}(1)) \text{ definiert} & \\ c_{norm}(t)+R(1,\lambda) & \text{falls } c_{norm}(t(1))+c(1) \le c_{tol} \\ & \text{und } t_{end}(1) \le t \le 06\,\text{Uhr} \\ c_{norm}(t) & \text{falls } c_{norm}(t(1))+c(1) \le c_{norm}(t) \\ & \text{und } t(1) \le t \le 06\,\text{Uhr} \\ c_{norm}(t)+c(1) & \text{falls } t(1) \le t \le t_{end}(1) \\ & \text{und } c_{norm}(t(1))+c(1) > c_{tol} \\ c_{norm}(t)+\frac{1}{10}\cdot R(1,\lambda) & \text{falls } t_{end}(1) < t \le 06\,\text{Uhr} \\ & \text{und } c_{norm}(t(1))+c(1) > c_{tol} \end{cases} \tag{17}$$

1 Als „Dosis“ des $j-$ten Güterzuges ($1 \le j \le N$):

D ein gemessener (oder definierter) Verkehrslärmpegel $p(f,j)$ mit einer definierten Frequenzverteilung (in 8 Oktaven $f$), der während einer gemessenen (oder definierten) Vorbeifahrzeit $t(j)$ jeweils auf ein Ohr eines jeden Schläfers $B(i)$ ($1 \le i \le n$) zu verschiedenen Nachtstunden (wie z.B. im Forschungsverbund „Leiser Verkehr“ ([**?**])) wirkt,

2 Als „Wirkung“ auf den Schläfer $B(i)$:

W.1 die $\boxed{\text{Wahrscheinlichkeit einer Aufweckreaktion}}$ des Schläfers $B(i)$ infolge des Verkehrslärmpegels $p(f,j)$ mit der Vorbeifahrzeit $t(j)$,

W.2 der $\boxed{\text{Initialisierungsfaktor } c(j)}$ der Aufwachwahrscheinlichkeit bei einer „allgemeine Pegelreduktion beim Schlaf“ $a_{bij}$

$$c(j) = p(f,j) + a_{bij} - \left(S + \frac{27}{t(j)^{1.1}}\right) \qquad C.2$$

wobei im Folgenden $a_{bij} = -32$ und $S = 20$ gesetzt sind,

W.3 ein $\boxed{\text{„Rekreationsfaktor“ } \lambda}$ zur Berechnung der $\boxed{\text{„Rekreationsfunktion“}}$

$$R(t) := c(j) \cdot 10^{-\lambda\cdot(t-t(j))} \qquad C.3$$

für die Zeit $t$ in $s$ nach der Vorbeifahrt, also $t \geq t(j))$, wobei im Folgenden $\lambda = 0.5$ gesetzt ist.
(Zur Zeit $t = t(j)$ erhöht sich die Aufwachwahrscheinlichkeit additiv um $c(j)$.)

### 5.1.1 Anzahl Aufweckreaktionen während einer Nacht

Es sei $N$ die Anzahl der während einer Nacht vorbeifahrenden Güter-Züge.
Für jeden dieser $N$ Güterzüge $j$ (mit $1 \leq j \leq N$) wurde gemessen bzw. berechnet:

- die Uhrzeit $t(j)$, zu der der Vorbeifahrpegel erzeugt wurde, und
- der Initialisierungsfaktor $c(j)$

Aus diesen Daten wird die Gesamt-Aufweckreaktion $c_{ges}(t)$ zu der (Uhr-)Zeit $t$ (wobei $t > t(j)$ ist) berechnet nach der Formel

$$c_{ges}(t) := \begin{cases} c_{norm}(t) & \text{falls} t < t(1) \\ c_{norm}(t(1)) + c(1) & \text{falls} t(1) \leq t \leq t(1) + z(1) + t_{wach} \\ & \text{und} c_{norm}(t(1)) + c(1) \leq_{tol} \\ c_{norm}(t) + c(1) - \frac{n_{aufw}-1}{n_{aufw}} \cdot (c_{tol} - (c_{norm}(t(1)) + c(1)) & \text{falls} t(1) \leq t \leq t(1) + z(1) + t_{wach} \\ & \text{und} c_{norm}(t(1)) + c(1) > c_{tol} \\ c_{norm}(t) + c(1) \cdot e^{-\lambda\cdot(t-t(1))} & \text{if } t(1) \leq t < t(2) \\ c_{norm}(t) + c(1) \cdot e^{-\lambda\cdot(t-t(1))} + c(2) \cdot e^{-\lambda\cdot(t-t(2))} & \text{if } t(2) \leq t < t(3) \\ \ldots & \ldots\ldots \\ c_{norm}(t) + \sum_{j=1}^{j=n} c(j) \cdot e^{-\lambda\cdot(t-t(j))} & \text{if } t(j) \leq t \end{cases} \qquad C.4$$

Damit kann für die Nacht-Uhrzeit $t(j)$ für die erste nächtliche Vorbeifahrt ($j = 1$) nach der Formel (12) der Aufweckfaktor $aww(t)$ für die zugehörige Schlafsituation angewandt werden.(13) und (20)

# 6 Auswertung 31.12.2010

In dieser und den folgenden Tabellen werden die Vorbeifahrten von jeweils 60 aufeinanderfolgenden Güterzügen an der oben genannten Messstelle dokumentiert und ausgewertet.

## 6.1 Messdaten

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 31.12.2010 (Freitag) bis zum 02.01.2011 (Sonntag). Es lag eine etwa 10 cm dicke Schneedecke auf dem Boden.

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhrzeit | Art | Vorbeifahrzeit $t$ in $s$ | Geschwindigkeit $v$ $v$ 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+G | 24.8 | 76.1 | 83.8 | 620 | 62.6 | 48.4 | 87.6 |
| 00:54:25 | F+G | 27.2 | -67.7 | 83.3 | 582 | 61.8 | 49.4 | 87.2 |
| 01:22:37 | G | 15.2 | 73.7 | 88.3 | 380 | 65.0 | 53.3 | 90.9 |
| 01:44:24 | G | 20.0 | 74.7 | 79.6 | 472 | 57.5 | 44.5 | 84.4 |
| 01:54:54 | G | 21.4 | 92.0 | 88.3 | 547 | 66.5 | 50.4 | 91.4 |
| 02:13:55 | G | 20.0 | 88.0 | 83.7 | 489 | 61.5 | 46.3 | 88.6 |
| 02:21:52 | G | 23.0 | -85.0 | 82.4 | 544 | 60.2 | 45.5 | 87.7 |
| 02:33:57 | G | 22.0 | 86.0 | 87.7 | 526 | 65.9 | 50.6 | 90.6 |
| 02:37:47 | G | 23.2 | -82.0 | 85.6 | 528 | 63.4 | 49.2 | 89.2 |
| 02:44:19 | G | 29.4 | 80.0 | 83.2 | 653 | 62.7 | 47.1 | 87.7 |
| 03:11:39 | G | 24.2 | 63.3 | 81.4 | 511 | 60.1 | 48.4 | 87.3 |
| 03:24:05 | G | 07.6 | -83.1 | 84.5 | 186 | 57.5 | 47.9 | 87.7 |
| 03:26:40 | G | 07.8 | 54.1 | 83.3 | 160 | 57.1 | 52.3 | 85.4 |
| 04:03:51 | G | 27.0 | -61.7 | 80.0 | 463 | 58.4 | 47.3 | 82.9 |
| 04:30:43 | G | 16.2 | 71.6 | 86.2 | 401 | 63.1 | 51.5 | 88.3 |
| 05:05:41 | G | 29.0 | -68.5 | 85.2 | 620 | 64.0 | 51.2 | 89.3 |
| 05:13:06 | G | 22.2 | 70.9 | 81.2 | 543 | 59.5 | 46.6 | 86.2 |
| 05:34:03 | G | 23.0 | 72.8 | 81.4 | 556 | 59.8 | 46.5 | 86.5 |
| 06:33:52 | G | 23.2 | 75.1 | 85.8 | 593 | 64.3 | 50.5 | 90.5 |
| 06:42:50 | G | 25.2 | -70.7 | 84.3 | 581 | 62.4 | 49.8 | 86.2 |
| 06:51:24 | G | 20.4 | -72.0 | 85.9 | 414 | 63.2 | 51.2 | 88.6 |
| 07:13:45 | G | 25.0 | 66.8 | 85.8 | 556 | 64.6 | 52.1 | 91.3 |
| 07:46:46 | G | 22.4 | 75.6 | 86.9 | 548 | 65.2 | 51.5 | 89.2 |
| 08:08:59 | G | 27.0 | 58.5 | 81.1 | 517 | 60.2 | 49.0 | 84.3 |
| 08:14:55 | G | 35.2 | -65.2 | 83.7 | 939 | 63.3 | 50.3 | 87 |
| 08:27:36 | G | 28.8 | -61.2 | 81.4 | 496 | 60.1 | 48.8 | 84.3 |
| 08:39:55 | G | 25.2 | 66.6 | 85.9 | 574 | 64.7 | 52.2 | 89.3 |
| 08:45:43 | G | 25.4 | 66.4 | 86.3 | 557 | 65.2 | 52.7 | 88.9 |
| 09:03:40 | G | 03.4 | -85.3 | 82.2 | 82 | 51.6 | 45.2 | 86.3 |
| 09:24:22 | G | 27.2 | -66.6 | 84.7 | 574 | 63.1 | 50.9 | 89.2 |
| 10:04:03 | G | 18.0 | -62.6 | 85.1 | 355 | 61.8 | 52.2 | 89.6 |
| 10:26:30 | G | 21.6 | 78.9 | 86.6 | 534 | 64.8 | 50.7 | 88.8 |
| 10:33:34 | G | 21.2 | 71.2 | 84.9 | 524 | 63.0 | 50.3 | 90.4 |
| 10:41:08 | G | 27.2 | 68.5 | 84.2 | 627 | 63.4 | 50.1 | 88.9 |
| 11:24:37 | G | 24.6 | 70.7 | 83.3 | 574 | 62.1 | 48.9 | 86.2 |
| 12:04:20 | G | 28.2 | -63.6 | 84.0 | 572 | 62.7 | 50.9 | 89.7 |
| 12:09:13 | G | 29.2 | 64.0 | 77.8 | 649 | 57.3 | 44.7 | 80.7 |
| 12:25:43 | G | 29.2 | 67.8 | 83.7 | 665 | 63.2 | 49.8 | 86.4 |
| 12:27:58 | G | 24.0 | -71.6 | 85.1 | 533 | 63.0 | 50.4 | 87.4 |
| 13:47:37 | G | 24.2 | 73.4 | 80.2 | 565 | 58.9 | 45.3 | 84.6 |
| 14:24:51 | G | 13.2 | 61.9 | 78.8 | 290 | 54.9 | 46.1 | 82.1 |

*Tabelle 2.1.1:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 31.12.10 bei Schnee

Fortsetzung 31.12.2010 bis 02.01.2011:

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 17:27:32 | G | 21.0 | 70.6 | 85.7 | 508 | 63.7 | 51.2 | 89.8 |
| 18:49:24 | G | 20.4 | 72.6 | 82.4 | 493 | 60.3 | 47.5 | 87 |
| 08:29:04 | G | 22.4 | -80.6 | 88.8 | 541 | 66.5 | 52.6 | 92.2 |
| 09:32:59 | G | 02.8 | -116.6 | 83.7 | 95 | 52.3 | 42.7 | 87.3 |
| 08:09:42 | G | 20.0 | 66.6 | 84.7 | 506 | 62.5 | 51.0 | 87.5 |
| 08:36:22 | G | 27.2 | -63.4 | 80.9 | 521 | 59.4 | 47.9 | 84.2 |
| 10:04:19 | G | 23.2 | -63.2 | 83.1 | 464 | 60.9 | 50.1 | 88.5 |
| 11:16:57 | G | 12.2 | 74.7 | 87.7 | 322 | 63.4 | 52.5 | 90.2 |
| 11:32:54 | G | 14.4 | -81.3 | 89.0 | 336 | 64.7 | 52.7 | 91 |
| 12:02:55 | G | 25.2 | -77.2 | 87.8 | 595 | 66.0 | 52.2 | 92.1 |
| 12:56:52 | G | 23.8 | 69.8 | 79.9 | 549 | 58.5 | 45.5 | 82.2 |
| 13:24:23 | G | 23.2 | 72.6 | 85.7 | 490 | 64.2 | 50.9 | 88 |
| 14:16:00 | G | 10.2 | -86.0 | 87.0 | 244 | 61.2 | 49.9 | 89.7 |
| 15:11:06 | G | 22.4 | -87.0 | 90.0 | 541 | 67.6 | 52.8 | 92.2 |
| 15:11:43 | G | 07.0 | 74 | 81.1 | 144 | 54.4 | 46.0 | 83.6 |
| 16:19:32 | G | 23.2 | -76 | 85.1 | 490 | 62.8 | 49.6 | 88 |
| 17:25:52 | G | 25.2 | 83 | 79.8 | 581 | 58.7 | 43.2 | 83 |
| 17:48:44 | G | 20 | 76 | 82.2 | 422 | 60.0 | 46.8 | 85.5 |
| 18:15:37 | G | 23.2 | 87 | 86.6 | 561 | 65.1 | 49.4 | 88.6 |
| 18:36:56 | G | 23 | 89 | 86.3 | 569 | 64.7 | 48.8 | 88.4 |
| | | | | | | | | $\Delta$ |
| MINIMUM | | 2.8 | | 75 | | 48 | 43 | 20 |
| 5%-Grenze | | 4.8 | | 77 | | 52 | 45 | 20 |
| 50%-Grenze | | 23 | | 84 | | 62 | 50 | 22 |
| Mittelwert | | | | 85 | | 62 | 50 | 23 |
| 95%-Grenze | | 29 | | 88 | | 66 | 53 | 27 |
| MAXIMUM | | 35 | | 89 | | 67 | 53 | 31 |
| Anteil Überschreitungen des Grundwertes von 51 $dB(A)$ | | | | | | | 27% | |

*Tabelle 2.1.2:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 31.12.10 bei Schnee
$\Delta$: Differenz zwischen dem mittleren Vorbeifahrpegel
und dem Stundenpegel.

### 6.1.1 Bemerkungen

- um 12:09 Uhr fuhr der Versuchszug mit verschiedenen Bremssystemen vorbei: Sein Grundwert betrug 44.7 $dB(A)$!
- der mittlere Grundwert zwischen dem 31.12.2010 und dem 02.01.2011 lag bei 50 $dB(A)$; dieser Grundwert ist um 1 $dB(A)$ geringer als nach der Berechnung in der Schall 03.

### 6.1.2 Graphische Zusammenfassung

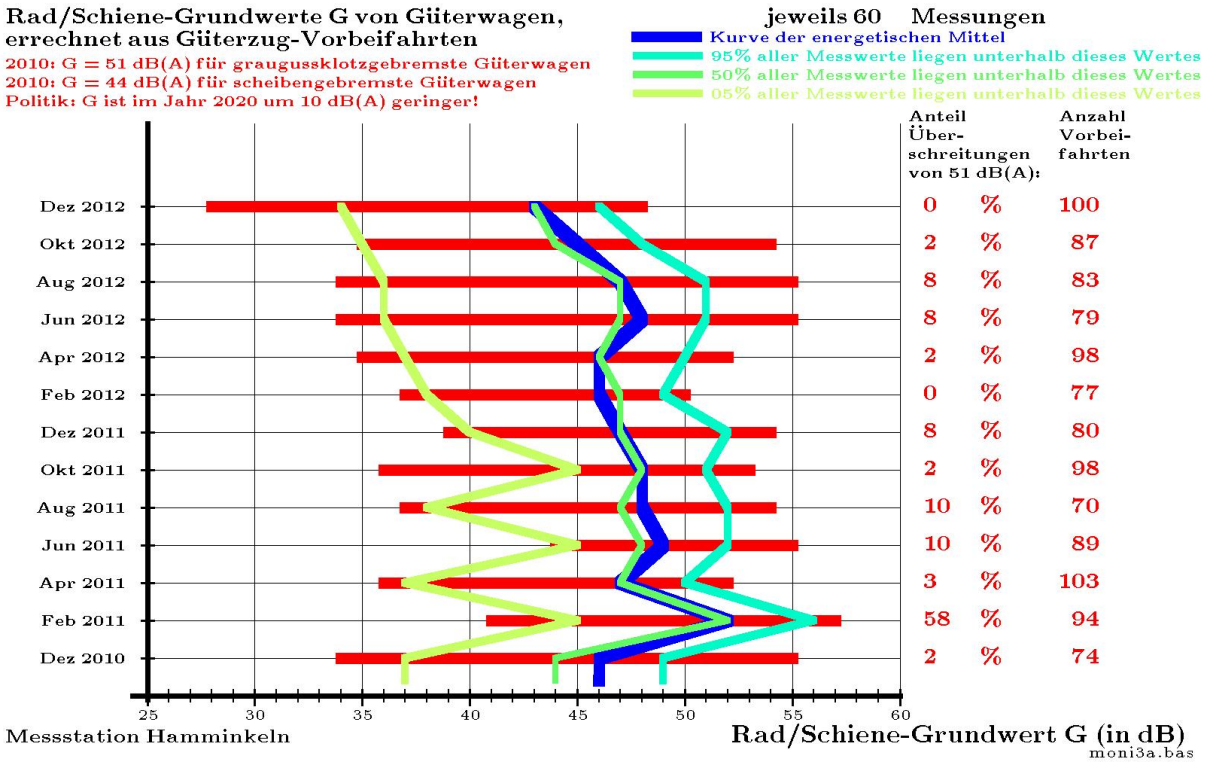


*Bild 2.2.1*: Entwicklung der Grundwerte mit der Zeit

### 6.1.3 Vergleich mit ICE

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 07:26:09 | ICE | 06.0 | 114.6 | 78.7 | 210 | 51.3 | 44.9 | 81.1 |
| 08:08:33 | ICE | 06.0 | -126.5 | 86.4 | 227 | 58.3 | 51.4 | 88.7 |

*Tabelle 2.3.1:* ICE-Vorbeifahrten ($D_D = 0$) bei Schnee am 31.12.2010

# 7 zeitliche Veränderungen der Lärmsituation

## 7.1 Vorhaben

Die Bahnstrecke in Hamminkeln wird während der meisten Tage eines Jahres durch etwa 60 Güterzüge innerhalb von 24 Stunden befahren. Zusätzlich fahren Personenzüge, ICE-Züge und einzelne Lokomotiven.

Daher wurden hier alle zwei Monate jeweils 60 Güterzüge während ihrer Vorbeifahrt an Hamminkeln genau bezüglich ihrer Schallabstrahlung (siehe Kapitel 1) vermessen. Es ist Ziel dieser Untersuchung, bis zum Jahr 2020 im Takt von 2 Monaten fortwährend die Lärmentwicklung von jeweils 60 Güterzügen zu dokumentieren und auszuwerten, um

- einerseits zu messen, ob die **Vorbeifahrpegel** von Güterzügen , und
- andererseits zu berechnen, ob die **Grundwerte** von Güterwagen

infolge technischer Verbesserungen um $10\,dB(A)$ geringer werden

## 7.2 Graphische Zusammenfassungen

Bisher wurden jeweils 60 Güterzugvorbeifahrten aus den folgende Zeiträumen betrachtet:
Dezember 2010 ./. Februar 2011 ./. April 2011 ./. Juni 2011

### 7.2.1 Vorbeifahrpegel

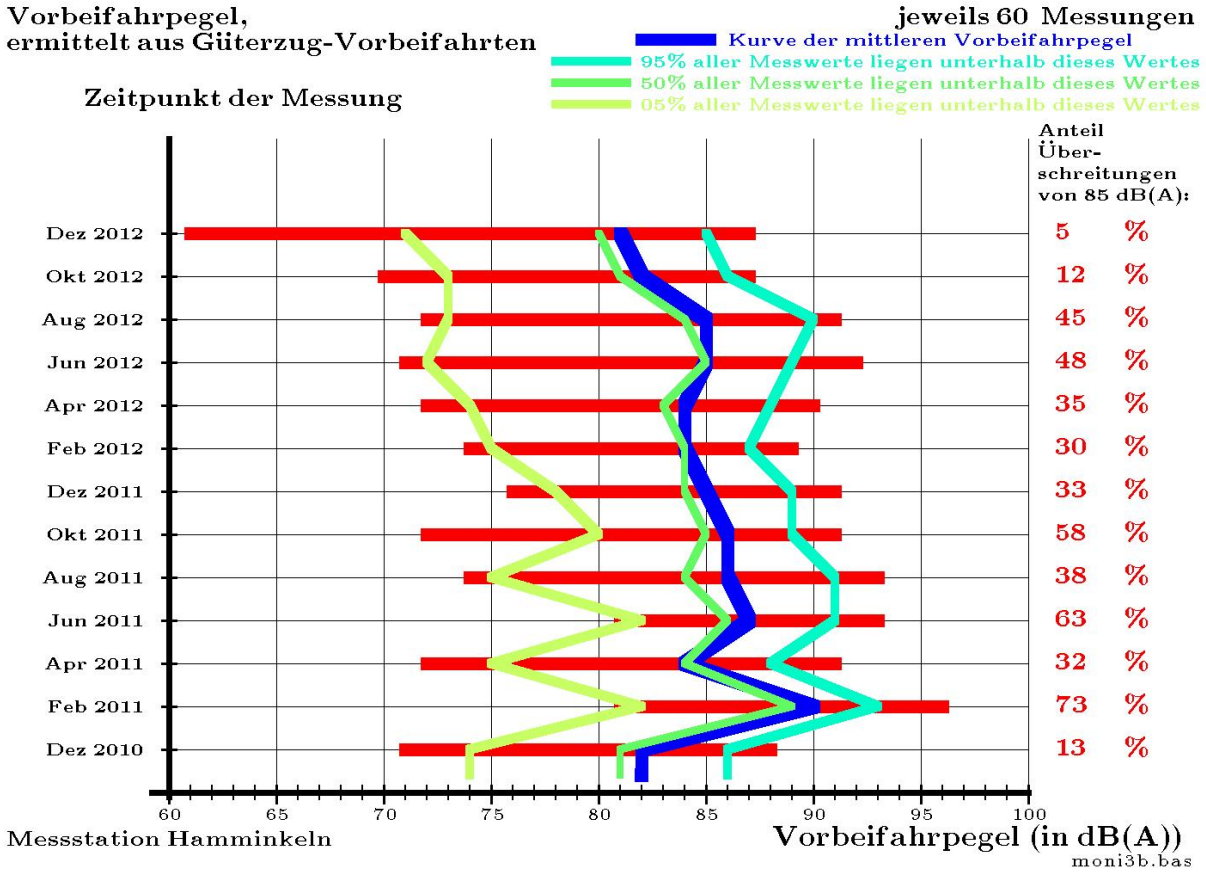


*Bild 3.1.1*: Entwicklung der Vorbeifahrpegel mit der Zeit
Vergleiche Dezember 2010 bis Juni 2011
unter besonderer Berücksichtigung der Überschreitungen von $85\,dB(A)$

### 7.2.2 Grundwerte

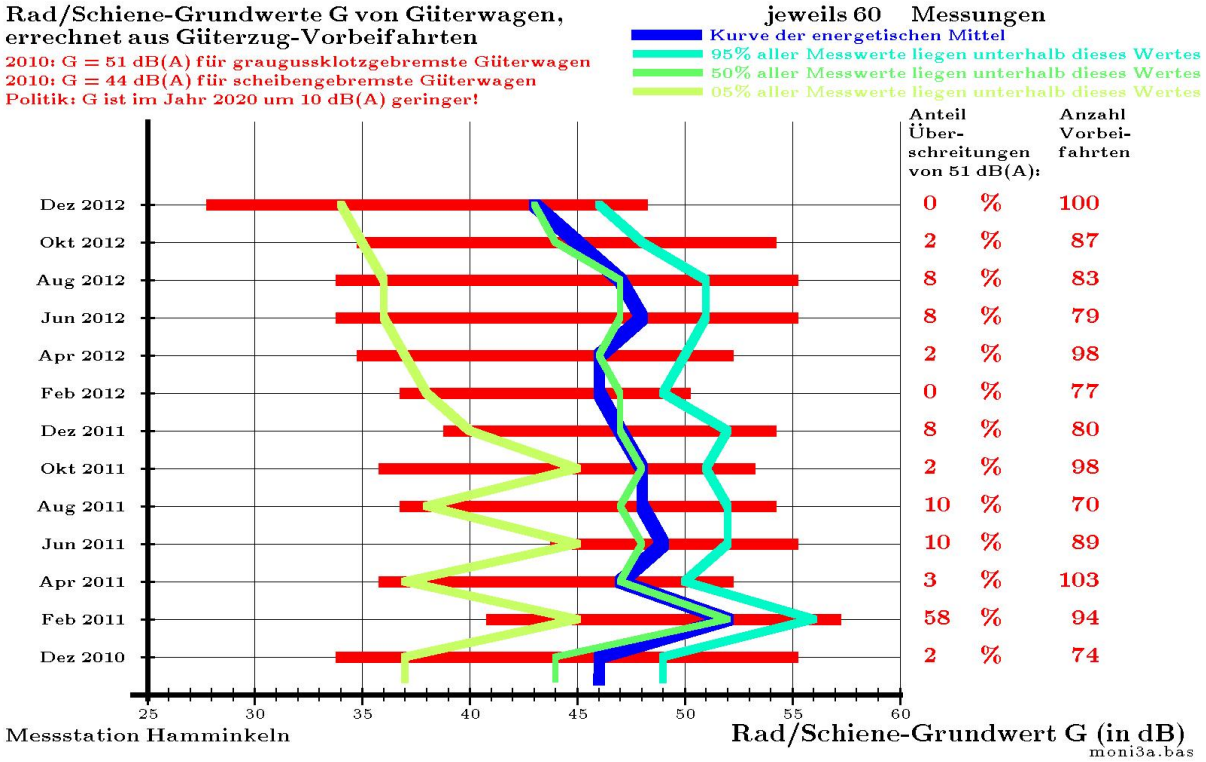


*Bild 3.1.2*: Entwicklung der Grundwerte mit der Zeit
Vergleiche Dezember 2010 bis Dezember 2011
unter besonderer Berücksichtigung der Überschreitungen von 51 $dB(A)$

## 7.3 Messdaten

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 28.02.2011 (Montag) und dem 01.03.2011 (Dienstag) bei Frühlingswetter.

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 00:05:13 | G | 20 | -76 | 83.2 | 425 | 60.4 | 47.8 | 86.5 |
| 00:42:42 | G | 25 | -94 | 93.1 | 658 | 71.3 | 54.9 | 97.4 |
| 01:27:25 | G | 24 | -89 | 96.2 | 591 | 74.1 | 58.7 | 98.6 |
| 01:33:30 | G | 24 | -91 | 97.0 | 607 | 74.9 | 59.2 | 99.6 |
| 05:43:18 | G | 27 | -83 | 91.5 | 631 | 70.0 | 54.8 | 95.4 |
| 06:47:29 | G | 24 | -80 | 89.8 | 540 | 67.7 | 53.6 | 92.1 |
| 08:09:10 | G | 35 | 68 | 84.1 | 655 | 64.4 | 50.2 | 87.3 |
| 08:15:22 | G | 24 | 84 | 93.4 | 560 | 72.0 | 56.7 | 96.6 |
| 08:27:08 | G | 24 | -86 | 91.7 | 579 | 69.7 | 54.6 | 94.7 |
| 09:13:18 | G | 22 | 85 | 87.8 | 519 | 66.1 | 50.9 | 92.7 |
| 09:32:40 | G | 8.2 | -91 | 95.7 | 207 | 69.0 | 57.9 | 98.8 |
| 09:45:53 | G | 10 | 69 | 87.7 | 195 | 62.7 | 53.6 | 90.9 |
| 09:53:16 | G | 21 | 81 | 90.1 | 477 | 68.2 | 53.8 | 92.2 |
| 09:58:00 | G | 24 | 76 | 90.8 | 513 | 69.5 | 55.3 | 93.9 |
| 10:01:57 | G | 24 | -78 | 89.4 | 523 | 67.3 | 53.6 | 93.1 |
| 10:31:45 | G | 26 | -76 | 89.7 | 554 | 68.0 | 54.3 | 92.3 |
| 11:31:27 | G | 13 | -82 | 84.9 | 302 | 60.2 | 48.4 | 89.1 |
| 12:07:22 | G | 30 | -71 | 84.9 | 601 | 63.8 | 50.3 | 87.5 |
| 12:09:33 | G | 27 | 77 | 82.1 | 569 | 61.2 | 46.5 | 86.2 |
| 12:22:05 | G | 24 | -90 | 98.5 | 598 | 76.4 | 60.8 | 99.9 |
| 12:28:07 | G | 36 | -59 | 86.1 | 582 | 65.8 | 54.1 | 88.8 |
| 13:15:46 | G | 25 | 77 | 86.8 | 540 | 65.6 | 51.2 | 92.9 |
| 13:28:37 | G | 29 | -77 | 90.1 | 625 | 68.9 | 54.5 | 93.2 |
| 13:30:33 | G | 31 | 80 | 81.9 | 693 | 61.7 | 45.8 | 84.3 |
| 13:43:10 | G | 28 | -83 | 93.1 | 636 | 71.7 | 56.5 | 97.3 |
| 14:11:13 | G | 23 | 87 | 93.1 | 556 | 71.6 | 55.9 | 94.8 |
| 14:26:35 | G | 26 | 77 | 81.6 | 548 | 60.6 | 46.0 | 84.4 |
| 15:11:06 | G | 16 | -78 | 93.1 | 352 | 69.3 | 57.3 | 95.5 |
| 15:26:25 | G | 22 | 88 | 86.7 | 538 | 64.9 | 49.3 | 92.6 |
| 15:34:18 | G | 25 | 82 | 88.7 | 574 | 67.6 | 52.3 | 96.6 |
| 15:38:22 | G | 30 | -71 | 85.3 | 596 | 64.3 | 50.8 | 88.4 |
| 16:13:21 | G | 9.0 | 87 | 88.0 | 218 | 62.4 | 50.8 | 90.6 |
| 16:46:45 | G | 24 | 87 | 89.3 | 585 | 68.0 | 52.2 | 93.2 |
| 17:40:57 | G | 22 | 89 | 92.9 | 544 | 71.1 | 55.4 | 96.5 |
| 18:13:28 | G | 23 | -91 | 87.7 | 586 | 65.5 | 49.9 | 93.9 |
| 19:08:02 | G | 16 | 67 | 79.7 | 307 | 56.7 | 45.8 | 81.8 |
| 19:30:00 | G | 15 | 79 | 86.0 | 334 | 62.7 | 50.1 | 89.1 |
| 20:07:13 | G | 28 | -75 | 90.3 | 580 | 68.9 | 55.1 | 92.6 |
| 20:27:31 | G | 7.0 | 82 | 91.2 | 159 | 64.5 | 54.8 | 94.4 |
| 20:33:25 | G | 25 | 80 | 91.5 | 551 | 70.3 | 55.4 | 94.4 |

*Tabelle 3.1.1:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am Montag, den 28.02.2011, bei Frühlingswetter

Fortsetzung Montag, 28.02.2011 bis Dienstag, 01.03.2011: 60 Güterzüge

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 21:13:25 | G | 24 | -87 | 95.9 | 585 | 73.8 | 58.7 | 99.2 |
| 21:30:15 | G | 23 | 91 | 91.5 | 592 | 70.1 | 53.8 | 94.3 |
| 22:06:54 | G | 24 | 84 | 85.8 | 560 | 64.4 | 49.1 | 91.3 |
| 22:10:23 | G | 27 | -81 | 90.7 | 609 | 69.2 | 54.5 | 93.0 |
| 22:33:36 | G | 29 | 74 | 81.5 | 596 | 61.0 | 46.4 | 88.0 |
| 22:34:54 | G | 22 | -82 | 90.4 | 506 | 68.0 | 54.0 | 93.2 |
| 22:40:20 | G | 22 | 67 | 89.0 | 413 | 67.3 | 55.2 | 90.9 |
| 22:54:09 | G | 37 | 52 | 85.5 | 532 | 66.0 | 55.1 | 87.8 |
| 23:02:00 | G | 34 | 58 | 86.0 | 548 | 66.2 | 54.1 | 89.2 |
| 23:29:36 | G | 19 | 81 | 90.6 | 432 | 68.3 | 54.3 | 93.8 |
| 23:36:01 | G | 34 | -63 | 87.7 | 599 | 67.2 | 54.7 | 91.1 |
| 23:45:03 | G | 27 | -73 | 89.5 | 547 | 68.0 | 54.6 | 94.2 |
| 23:54:39 | G | 19 | -84 | 93.0 | 449 | 70.0 | 56.3 | 97.8 |
| 00:05:13 | G | 20 | -76 | 83.2 | 425 | 60.4 | 47.8 | 86.5 |
| 00:17:20 | G | 33 | -64 | 88.5 | 587 | 67.9 | 55.4 | 91.2 |
| 00:55:01 | G | 31 | -80 | 92.4 | 693 | 71.4 | 56.3 | 96.6 |
| 01:08:24 | G | 35 | -54 | 80.9 | 525 | 60.5 | 49.9 | 87.8 |
| 01:19:14 | G | 37 | -57 | 79.3 | 597 | 59.2 | 47.5 | 83.1 |
| 01:24:51 | G | 29 | 64 | 86.7 | 519 | 66.2 | 53.5 | 89.4 |
| 01:46:29 | G | 24 | -82 | 92.5 | 544 | 70.4 | 56.0 | 96.5 |
| | | | | | | | | $\Delta$ |
| MINIMUM | | 7 | | 78 | | 57 | 43 | 20 |
| 5%-Grenze | | 9 | | 80 | | 59 | 46 | 20 |
| 50%-Grenze | | 24 | | 89 | | 67 | 54 | 22 |
| Mittelwert | | 29 | | 91 | | 69 | 54 | 22 |
| 95%-Grenze | | 35 | | 96 | | 74 | 59 | 25 |
| MAXIMUM | | 37 | | 99 | | 76 | 61 | 27 |
| Anteil Überschreitungen eines Grundwertes von 51 $dB(A)$ | | | | | | | 67% | |

*Tabelle 3.1.2:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 28.02. und 01.03.2011 bei Frühlingswetter (ohne Schnee).

## 7.4 April 2011

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 30.04.2011 (Samstag) und dem 01.05.2011 (Sonntag) bei kaltem Wetter.

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 00:20:46 | G | 27 | -78 | 84.5 | 593 | 63.0 | 48.6 | 86.7 |
| 00:43:13 | G | 21 | 75 | 85.1 | 435 | 63.2 | 49.9 | 87.4 |
| 00:55:44 | G | 20 | -90 | 88.0 | 500 | 65.2 | 50.4 | 91.2 |
| 01:42:31 | G | 26 | -81 | 88.5 | 596 | 66.8 | 52.2 | 93.5 |
| 01:45:10 | G | 28 | 85 | 85.0 | 666 | 64.3 | 48.1 | 88.0 |
| 02:47:21 | G | 16 | -86 | 83.8 | 381 | 60.0 | 46.8 | 88.6 |
| 03:11:52 | G | 18 | -83 | 88.0 | 418 | 64.8 | 51.5 | 92.9 |
| 03:32:08 | G | 19 | 82 | 84.7 | 433 | 62.3 | 48.2 | 89.8 |
| 04:30:39 | G | 07.4 | 75 | 87.2 | 154 | 60.8 | 52.0 | 90.9 |
| 04:43:03 | G | 22 | 90 | 87.0 | 555 | 65.3 | 49.3 | 89.0 |
| 05:39:20 | G | 22 | 90 | 88.2 | 555 | 66.5 | 50.5 | 93.6 |
| 06:13:56 | G | 24 | 83 | 87.2 | 558 | 65.9 | 50.7 | 90.5 |
| 06:17:02 | G | 21 | -83 | 86.2 | 494 | 63.7 | 49.6 | 90.3 |
| 06:24:59 | G | 21 | -82 | 85.3 | 485 | 62.7 | 48.8 | 88.1 |
| 06:30:25 | G | 22 | -91 | 91.0 | 558 | 68.6 | 53.2 | 95.1 |
| 06:38:24 | G | 25 | 83 | 86.2 | 581 | 65.1 | 49.7 | 89.8 |
| 06:43:39 | G | 26 | 81 | 88.6 | 585 | 67.6 | 52.4 | 91.4 |
| 07:05:26 | G | 28 | -75 | 84.4 | 586 | 63.0 | 49.1 | 87.1 |
| 07:28:07 | G | 19 | 90 | 84.8 | 480 | 62.5 | 47.2 | 88.9 |
| 07:33:30 | G | 21 | 92 | 87.5 | 542 | 65.6 | 49.6 | 89.5 |
| 07:40:52 | G | 29 | 70 | 84.0 | 564 | 63.5 | 49.7 | 87.1 |
| 08:19:07 | G | 13 | -94 | 87.5 | 339 | 62.8 | 49.3 | 90.2 |
| 08:25:57 | G | 19 | -86 | 88.1 | 454 | 65.0 | 51.1 | 92.2 |
| 08:33:07 | G | 23 | -95 | 91.5 | 612 | 69.2 | 53.1 | 94.8 |
| 08:47:53 | G | 20 | 85 | 87.2 | 477 | 65.1 | 50.3 | 92.4 |
| 09:27:45 | G | 07.6 | 92 | 86.4 | 194 | 60.1 | 48.5 | 90.5 |
| 09:28:29 | G | 22 | -82 | 87.4 | 499 | 64.9 | 50.9 | 91.0 |
| 10:39:14 | G | 13 | 80 | 90.1 | 298 | 66.2 | 54.0 | 91.9 |
| 11:08:52 | G | 22 | -87 | 85.0 | 532 | 62.6 | 47.8 | 89.2 |
| 11:26:20 | G | 13 | -88 | 87.8 | 314 | 63.0 | 50.4 | 90.5 |
| 11:48:42 | G | 20 | 89 | 84.9 | 494 | 62.7 | 47.4 | 90.9 |
| 12:12:26 | G | 23 | 89 | 88.0 | 579 | 66.5 | 50.5 | 92.1 |
| 12:14:54 | G | 14 | -86 | 84.2 | 339 | 59.8 | 47.1 | 88.3 |
| 12:33:04 | G | 23 | 85 | 87.9 | 548 | 66.4 | 51.0 | 90.9 |
| 12:43:24 | G | 15 | -80 | 85.1 | 332 | 61.0 | 49.1 | 88.4 |
| 14:06:48 | G | 24 | 86 | 91.9 | 583 | 70.6 | 54.9 | 96.3 |
| 14:16:01 | G | 21 | -83 | 85.8 | 482 | 63.2 | 49.3 | 88.9 |
| 14:28:57 | G | 21 | -91 | 89.3 | 521 | 66.6 | 51.5 | 94.2 |
| 15:07:05 | G | 20 | -81 | 84.8 | 452 | 62.0 | 48.6 | 88 |
| 15:12:47 | G | 17 | 74 | 79.2 | 358 | 56.4 | 44.1 | 83.2 |

*Tabelle 2.3.1:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am Montag, den 30.04.2011, bei kaltem Wetter.

Fortsetzung Samstag, 30.04.2011 bis Sonntag, 01.05.2011: 60 Güterzüge

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 15:24:39 | G | 21 | 85 | 83.6 | 501 | 61.7 | 46.7 | 88.4 |
| 15:30:23 | G | 19 | 80 | 85.2 | 431 | 62.9 | 49.1 | 87.6 |
| 16:32:03 | G | 20 | 83 | 88.5 | 470 | 66.4 | 51.9 | 91.4 |
| 16:44:07 | G | 20 | -82 | 85.7 | 449 | 62.8 | 49.3 | 90.6 |
| 18:31:45 | G | 19 | -91 | 86.5 | 490 | 63.5 | 48.8 | 91.9 |
| 19:10:05 | G | 25 | 76 | 84.2 | 528 | 63.0 | 48.7 | 88.3 |
| 19:24:49 | G | 19 | 83 | 86.1 | 443 | 63.8 | 49.6 | 89.4 |
| 19:48:37 | G | 25 | -85 | 89.5 | 596 | 67.6 | 52.6 | 93.1 |
| 20:06:17 | G | 23 | -80 | 90.1 | 509 | 67.8 | 54.0 | 93.4 |
| 20:08:51 | G | 30 | 73 | 86.4 | 612 | 66.1 | 51.5 | 90.4 |
| 20:48:30 | G | 13 | 89 | 84.5 | 321 | 60.5 | 47.0 | 89.4 |
| 23:39:39 | G | 20 | -92 | 78.4 | 514 | 55.5 | 40.5 | 81.9 |
| 06:00:58 | G | 22 | 91 | 89.0 | 561 | 67.3 | 51.2 | 92.5 |
| 07:10:42 | G | 27 | 67 | 85.1 | 513 | 64.4 | 51.3 | 87.9 |
| 07:27:06 | G | 23 | 89 | 92.0 | 569 | 70.5 | 54.5 | 95.1 |
| 07:34:29 | G | 17 | 88 | 87.5 | 425 | 64.7 | 50.2 | 91.0 |
| 07:54:14 | G | 26 | -81 | 81.7 | 585 | 60.0 | 45.5 | 84.9 |
| 09:22:31 | G | 20 | 91 | 92.5 | 511 | 70.3 | 54.7 | 94.6 |
| 09:28:39 | G | 25 | -82 | 85.9 | 572 | 64.1 | 49.5 | 88.4 |
| 09:43:18 | G | 21 | 93 | 87.0 | 543 | 65.1 | 49.0 | 89.4 |
| | | | | | | | | $\Delta$ |
| MINIMUM | | 7.4 | | 77 | | 56 | 41 | 20 |
| 5%-Grenze | | 13 | | 78 | | 56 | 46 | 21 |
| 50%-Grenze | | 21 | | 86 | | 64 | 50 | 22 |
| Mittelwert | | 23 | | 87 | | 65 | 51 | 23 |
| 95%-Grenze | | 28 | | 91 | | 69 | 54 | 25 |
| MAXIMUM | | 30 | | 92 | | 71 | 55 | 26 |
| Anteil Überschreitungen eines Grundwertes von 51 $dB(A)$ | | | | | | | 30% | |

*Tabelle 2.3.2:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot)
am Samstag, den 30.04.2011, und Sonntag. 01.05.2011, bei kaltem Wetter.

## 7.5 Juni 2011

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 15.06.011 (Mittwoch) und dem 16.06.2011 (Donnerstag).

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 12:12:28 | G | 15 | 86 | 91.0 | 358 | 67.6 | 53.9 | 93.6 |
| 12:41:00 | G | 25 | -91 | 85.0 | 632 | 63.1 | 47.2 | 88.7 |
| 12:44:27 | G | 23 | 88 | 87.6 | 562 | 66.1 | 50.3 | 92.7 |
| 13:08:23 | G | 13 | 83 | 83.1 | 304 | 59.1 | 46.5 | 87.3 |
| 13:48:33 | G | 15 | -82 | 87.2 | 341 | 63.1 | 50.8 | 88.9 |
| 14:18:50 | G | 15 | -84 | 85.6 | 359 | 61.6 | 48.9 | 90.7 |
| 14:49:42 | G | 12 | 90 | 87.0 | 300 | 62.6 | 49.4 | 90.3 |
| 16:22:35 | G | 23 | -82 | 85.2 | 527 | 63.0 | 48.8 | 88.8 |
| 16:29:28 | G | 30 | -78 | 88.6 | 654 | 67.5 | 52.8 | 91.4 |
| 16:48:17 | G | 22 | 92 | 84.6 | 562 | 62.8 | 46.7 | 87.9 |
| 17:03:11 | G | 24 | -79 | 85.5 | 525 | 63.4 | 49.6 | 88 |
| 17:10:34 | G | 27 | -84 | 83.3 | 635 | 61.8 | 46.6 | 89.2 |
| 17:43:30 | G | 16 | 91 | 90.3 | 410 | 67.3 | 52.6 | 92.8 |
| 17:43:30 | G | 16 | 91 | 90.3 | 410 | 67.3 | 52.6 | 92.8 |
| 18:24:40 | G | 24 | -92 | 89.4 | 608 | 67.3 | 51.5 | 92.7 |
| 18:43:35 | G | 18 | -81 | 84.4 | 397 | 61.0 | 48.2 | 89.1 |
| 19:09:45 | G | 39 | 60 | 81.0 | 657 | 61.8 | 48.6 | 84.9 |
| 19:15:46 | G | 33 | 64 | 82.0 | 583 | 62.0 | 48.8 | 84.4 |
| 19:30:43 | G | 23 | -83 | 86.2 | 537 | 64.0 | 49.6 | 88.4 |
| 20:24:11 | G | 21 | -92 | 87.0 | 537 | 64.3 | 49.1 | 91.8 |
| 20:28:52 | G | 22 | 91 | 89.4 | 561 | 67.7 | 51.6 | 92.5 |
| 20:45:13 | G | 26 | 81 | 85.3 | 590 | 64.3 | 49.1 | 88.6 |
| 22:08:42 | G | 28 | -70 | 85.0 | 545 | 63.7 | 50.7 | 88.3 |
| 22:15:28 | G | 24 | -93 | 90.6 | 620 | 68.5 | 52.5 | 93.7 |
| 22:22:07 | G | 22 | -91 | 89.8 | 568 | 67.4 | 51.9 | 92.5 |
| 22:39:23 | G | 20 | -81 | 84.1 | 448 | 61.3 | 47.8 | 86.8 |
| 22:51:12 | G | 10 | 89 | 88.8 | 247 | 63.6 | 51.3 | 92.1 |
| 23:32:36 | G | 24 | -81 | 86.9 | 543 | 64.8 | 50.5 | 89.1 |
| 00:58:09 | G | 22 | 85 | 87.7 | 519 | 66.0 | 50.8 | 91.0 |
| 01:00:54 | G | 30 | -64 | 82.2 | 526 | 61.0 | 49.0 | 85.1 |
| 01:13:56 | G | 5.8 | 83 | 84.1 | 134 | 56.6 | 47.6 | 88.1 |
| 01:26:46 | G | 22 | 91 | 88.4 | 556 | 66.7 | 50.7 | 91.6 |
| 01:45:43 | G | 22 | -82 | 84.0 | 500 | 61.6 | 47.7 | 88.7 |
| 01:50:55 | G | 22 | 87 | 88.4 | 537 | 66.7 | 51.2 | 91.7 |
| 02:05:23 | G | 22 | -86 | 88.3 | 526 | 65.9 | 51.3 | 92.0 |
| 03:40:04 | G | 28 | -75 | 83.2 | 587 | 61.8 | 47.9 | 85.8 |
| 04:25:40 | G | 27 | -64 | 81.6 | 477 | 60.1 | 48.5 | 85.2 |
| 04:43:25 | G | 38 | -59 | 83.3 | 628 | 63.3 | 51.2 | 86.5 |
| 04:48:33 | G | 23 | 88 | 88.4 | 552 | 66.8 | 51.1 | 93.1 |
| 05:03:02 | G | 22 | 94 | 88.9 | 580 | 67.2 | 50.7 | 93.2 |

*Tabelle 2.4.1:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am Mittwoch, 15.06.2011 und Donerstag, 16.06.2011

Fortsetzung Mittwoch, 15.06.2011 bis Donerstag, 16.06.2011: 60 Güterzüge

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 05:15:32 | G | 20 | -81 | 85.3 | 449 | 62.5 | 49.1 | 89.6 |
| 05:39:51 | G | 23 | 92 | 92.0 | 593 | 70.5 | 54.1 | 94.6 |
| 05:41:46 | G | 25 | -79 | 85.2 | 555 | 63.3 | 49.2 | 91.1 |
| 05:58:59 | G | 15 | 87 | 88.8 | 366 | 65.4 | 51.7 | 91.5 |
| 06:10:16 | G | 25 | 87 | 88.8 | 599 | 67.6 | 51.6 | 92.7 |
| 06:21:24 | G | 25 | -77 | 84.0 | 535 | 62.1 | 48.4 | 87.0 |
| 06:48:14 | G | 17 | -85 | 87.2 | 391 | 63.5 | 50.3 | 89.5 |
| 06:48:55 | G | 24 | 91 | 86.4 | 612 | 65.1 | 48.6 | 89.4 |
| 07:02:17 | G | 24 | -79 | 82.2 | 529 | 60.2 | 46.2 | 85.1 |
| 07:09:46 | G | 26 | 71 | 83.1 | 513 | 62.1 | 48.6 | 87.6 |
| 07:26:57 | G | 21 | -92 | 87.4 | 538 | 64.8 | 49.5 | 93.2 |
| 07:54:25 | G | 18 | -80 | 86.4 | 400 | 63.1 | 50.3 | 90.4 |
| 08:12:10 | G | 10 | -85 | 92.2 | 236 | 66.3 | 55.3 | 94.5 |
| 08:28:12 | G | 22 | 74 | 86.0 | 456 | 64.3 | 50.9 | 88.8 |
| 08:46:39 | G | 14 | -86 | 84.6 | 335 | 60.2 | 47.5 | 89.3 |
| 08:51:47 | G | 26 | 81 | 86.3 | 581 | 65.2 | 50.0 | 88.0 |
| 09:09:00 | G | 15 | 83 | 87.4 | 346 | 64.0 | 50.8 | 90.1 |
| 09:16:39 | G | 26 | -79 | 85.4 | 574 | 63.7 | 49.4 | 88.1 |
| 09:22:28 | G | 20 | 86 | 85.2 | 483 | 63.1 | 48.1 | 89.4 |
| 10:38:16 | G | 16 | -76 | 82.3 | 344 | 58.5 | 46.8 | 85.5 |
| 10:41:38 | G | 21 | 91 | 88.7 | 541 | 66.8 | 50.9 | 91.9 |
| | | | | | | | | $\Delta$ |
| MINIMUM | | 6 | | 81 | | 57 | 46 | 20 |
| 5%-Grenze | | 10 | | 82 | | 59 | 47 | 20 |
| 50%-Grenze | | 22 | | 86 | | 64 | 50 | 22 |
| Mittelwert | | 27 | | 87 | | 65 | 50 | 22 |
| 95%-Grenze | | 30 | | 91 | | 68 | 53 | 25 |
| MAXIMUM | | 39 | | 98 | | 71 | 55 | 27 |
| Anteil Überschreitungen eines Grundwertes von 51 $dB(A)$ | | | | | | | 27% | |

*Tabelle 2.4.2:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am Samstag, den 15.05.2011, und Sonntag. 16.06.2011.

# 8 monitor4e.tex

Bei mehreren Störungen zu verschiedenen Nacht-Zeiten wird jeweils ein entsprechende Initialisierungsfaktor hinzugefügt.

- **„Schlafgrenze“** $s_3$ Als „Schlafgrenze“ wird der Pegel (in $dB(A)$) definiert, bis zu dem keine Aufweckreaktionen auftreten. Er wird hier mit $s_3$ bezeichnet.

**Beispiel:**
Bei mittlerem Schlaf ist die Aufweckwahrscheinlichkeit um 1:00 Uhr nach (12), falls bis zu diesem Zeitpunkt kein (weckendes) Geräusch gehört wurde:

$$\begin{aligned} c_{norm}(s_1, s_2, t) &= c_{norm}(60, 40, 1:00) = s_1 - s_2 \cdot \cos\left[\left(\frac{t+4}{12}\right)^2 \cdot \pi\right] \\ &= 60 - 40 \cdot \cos\left[\left(\frac{5}{12}\right)^2 \cdot \pi\right] \approx 20.0\% \end{aligned}$$

Wenn nun zu diesem Zeitpunkt während $z(1) = 20\,Sekunden$ der erste ($j = 1$) Güterzug mit einem Vorbeifahrpegel von $p(1) = 75\,dB(A)$ vorbeifährt, so erhöht sich mit $s_3 = -52\,dB(A)$ die Aufweckwahrscheinlichkeit um

$$c_{ini}(1) = (p(1) - s_3)^{1.2} - \left(\frac{27}{z(j)^{1.1}}\right) = (75 - 52)^{1.2} - \left(\frac{27}{20^{1.1}}\right) \approx 43 - 1 = 42\,\%$$

auf $\boxed{62\,\%}$.

- **Wiedereinschlafzeit $t_{wieder}$:**
  Nach jeder Aufweckreaktion gibt es nach der die Aufweckreaktion verursachenden Vorbeifahrzeit $z(j)$ eine „Wiedereinschlafzeit $t_{wieder}$“ in Sekunden, bevor ein Eingeschlafen möglich ist.
  In diesem Bericht werden gesetzt:

| Schlafsituation | $s_3$ | $t_{wieder}$ |
|---|---|---|
| Tiefschlaf | -50 | $60\,s$ |
| mittlerer Schlaf | -52 | $120\,s$ |
| leichter Schlaf | -55 | $180\,s$ |

*Tabelle x.x:*

## 8.1 Mögliche Fortsetzung des Schlafes

- **Rekreationsfunktion $R(j, \lambda)$ mit einem Rekreationsfaktor $\lambda$:**
  Bei jeder Vorbeifahrt $j$ (also zur Zeit $t(j)+z(j)$) wird die Aufweckwahrscheinlichkeit durch den Initialisierungsfaktor $c_{ini}(j)$ erhöht - und überscheitet möglicherweise $c_{tol}$, d.h. weckt den Anlieger auf. Wenn dieser jedoch nicht aufgeweckt, so wird nach der Vorbeifahrt die Aufweckwahrscheinlichkeit wieder gedämpft.

$$\begin{aligned} c_{ges}(s_1, s_2, s_3, t) &= c_{ges}(s_1, s_2, t(j)) + ..... \qquad \text{für} \qquad t(j) \le t \le t(j) + z(j) \\ &\quad \text{falls } c_{ges}(s_1, s_2, t(j)) \le c_{tol} \end{aligned} \tag{18}$$

Falls eine Aufweckreaktion stattfindet, verlängert sich die Wachphase um die Wiedereinschlafzeit $t_{wieder}$, so dass gilt

$$\begin{aligned} c_{ges}(s_1, s_2, t) \;:=\; & c_{ges}(s_1, s_2, t(j)) \qquad \text{für} \qquad t(j) \le t \le t(j) + z(j) + t_{wieder} \\ & \text{falls } c_{ges}(s_1, s_2, t(j)) > c_{tol} \end{aligned} \tag{19}$$

Dazu wird definiert:

$$t_{end}(j) := t(j) + z(j) + t_{wach} \qquad \text{falls } \; c_{ges}(t(j) > c_{tol}$$
$$t_{end}(j) := t(j) + z(j) \qquad \text{falls } \; c_{ges}(t(j) \le c_{tol}$$

Ferner sei für die Zeit $t$ nach einer Vorbeifahrt definiert:

$$R(j, \lambda) := c_{end}(j) \cdot 10^{-\lambda \cdot (t - t_{end}(j))} \qquad \text{für} \qquad t \ge t_{end}(j) \tag{20}$$

wobei in diesem Bericht $\lambda = 0.5$ gesetzt wird.

$$c_{ges}(s_1, s_2, t) = \begin{cases} c_{norm}(t) & \text{falls} \quad 0 \le t \le t(1) \\ c_{norm}(t) + c_{ini}(1) & \text{falls} \quad c_{norm}(t(1)) + c_{ini}(1) \le c_{tol} \\ & \text{und} \quad c_{norm}(t(1)) + c_{ini}(1) \ge c_{norm}(t) \\ & \text{für} \quad t(1) \le t \le t_{end}(1) \\ c_{norm}(t) & \text{falls} \quad c_{norm}(t(1)) + c_{ini}(1) < c_{norm}(t) \\ & \text{und} \quad t(1) \le t \le t_{end}(1) \\ \text{damit ist } c_{end}(1) := c_{ges}(t_{end}(1)) \text{ definiert} & \\ c_{norm}(t) + R(1, \lambda) & \text{falls} \quad c_{norm}(t(1)) + c(1) \le c_{tol} \\ & \text{und} \quad t_{end}(1) \le t \le 06\,\text{Uhr} \\ c_{norm}(t) & \text{falls} \quad c_{norm}(t(1)) + c(1) \le c_{norm}(t) \\ & \text{und } t(1) \le t \le 06\,\text{Uhr} \\ c_{norm}(t) + c(1) & \text{falls} \quad t(1) \le t \le t_{end}(1) \\ & \text{und } c_{norm}(t(1)) + c(1) > c_{tol} \\ c_{norm}(t) + \frac{1}{10} \cdot R(1, \lambda) & \text{falls} \quad t_{end}(1) < t \le 06\,\text{Uhr} \\ & \text{und } c_{norm}(t(1)) + c(1) > c_{tol} \end{cases} \tag{21}$$

1 Als „Dosis“ des $j-$ten Güterzuges ($1 \le j \le N$):

D ein gemessener (oder definierter) Verkehrslärmpegel $p(f, j)$ mit einer definierten Frequenzverteilung (in 8 Oktaven $f$), der während einer gemessenen (oder definierten) Vorbeifahrzeit $t(j)$ jeweils auf ein Ohr eines jeden Schläfers $B(i)$ ($1 \le i \le n$) zu verschiedenen Nachtstunden (wie z.B. im Forschungsverbund „Leiser Verkehr“ ([**?**])) wirkt,

2 Als „Wirkung“ auf den Schläfer $B(i)$:

W.1 die $\boxed{\text{Wahrscheinlichkeit einer Aufweckreaktion}}$ des Schläfers $B(i)$ infolge des Verkehrslärmpegels $p(f, j)$ mit der Vorbeifahrzeit $t(j)$,

W.2 der $\boxed{\text{Initialisierungsfaktor } c(j)}$ der Aufwachwahrscheinlichkeit bei einer „allgemeine Pegelreduktion beim Schlaf“ $a_{bij}$

$$c(j) = p(f, j) + a_{bij} - \left( S + \frac{27}{t(j)^{1.1}} \right) \tag{C.2}$$

wobei im Folgenden $a_{bij} = -32$ und $S = 20$ gesetzt sind,

W.3 ein „Rekreationsfaktor“ $\lambda$ zur Berechnung der „Rekreationsfunktion“

$$R(t) := c(j) \cdot 10^{-\lambda \cdot (t - t(j))} \qquad C.3$$

für die Zeit $t$ in $s$ nach der Vorbeifahrt, also $t \geq t(j)$), wobei im Folgenden $\lambda = 0.5$ gesetzt ist.
(Zur Zeit $t = t(j)$ erhöht sich die Aufwachwahrscheinlichkeit additiv um $c(j)$.)

### 8.1.1 Anzahl Aufweckreaktionen während einer Nacht

Es sei $N$ die Anzahl der während einer Nacht vorbeifahrenden Güter-Züge.
Für jeden dieser $N$ Güterzüge $j$ (mit $1 \leq j \leq N$) wurde gemessen bzw. berechnet:

- die Uhrzeit $t(j)$, zu der der Vorbeifahrpegel erzeugt wurde, und
- der Initialisierungsfaktor $c(j)$

Aus diesen Daten wird die Gesamt-Aufweckreaktion $c_{ges}(t)$ zu der (Uhr-)Zeit $t$ (wobei $t > t(j)$ ist) berechnet nach der Formel

$$c_{ges}(t) := \begin{cases} c_{norm}(t) & \text{falls} t < t(1) \\ c_{norm}(t(1)) + c(1) & \text{falls} t(1) \leq t \leq t(1) + z(1) + t_{wach} \\ & \text{und} c_{norm}(t(1)) + c(1) \leq_{tol} \\ c_{norm}(t) + c(1) - \frac{n_{aufw}-1}{n_{aufw}} \cdot (c_{tol} - (c_{norm}(t(1)) + c(1)) & \text{falls} t(1) \leq t \leq t(1) + z(1) + t_{wach} \\ & \text{und} c_{norm}(t(1)) + c(1) > c_{tol} \\ c_{norm}(t) + c(1) \cdot e^{-\lambda \cdot (t - t(1))} & \text{if } t(1) \leq t < t(2) \\ c_{norm}(t) + c(1) \cdot e^{-\lambda \cdot (t - t(1))} + c(2) \cdot e^{-\lambda \cdot (t - t(2))} & \text{if } t(2) \leq t < t(3) \\ \ldots & \ldots\ldots \\ c_{norm}(t) + \sum_{j=1}^{j=n} c(j) \cdot e^{-\lambda \cdot (t - t(j))} & \text{if } t(j) \leq t \end{cases} \qquad C.4$$

Damit kann für die Nacht-Uhrzeit $t(j)$ für die erste nächtliche Vorbeifahrt ($j = 1$) nach der Formel (12) der Aufweckfaktor $aww(t)$ für die zugehörige Schlafsituation angewandt werden.(13) und (20)

# 9 Auswertung 31.12.2010

In dieser und den folgenden Tabellen werden die Vorbeifahrten von jeweils 60 aufeinanderfolgenden Güterzügen an der oben genannten Messstelle dokumentiert und ausgewertet.

## 9.1 Messdaten

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 31.12.2010 (Freitag) bis zum 02.01.2011 (Sonntag). Es lag eine etwa 10 cm dicke Schneedecke auf dem Boden.

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhrzeit | Art | Vorbeifahrzeit $t$ in $s$ | Geschwindigkeit $v$ $v$ 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+G | 24.8 | 76.1 | 83.8 | 620 | 62.6 | 48.4 | 87.6 |
| 00:54:25 | F+G | 27.2 | -67.7 | 83.3 | 582 | 61.8 | 49.4 | 87.2 |
| 01:22:37 | G | 15.2 | 73.7 | 88.3 | 380 | 65.0 | 53.3 | 90.9 |
| 01:44:24 | G | 20.0 | 74.7 | 79.6 | 472 | 57.5 | 44.5 | 84.4 |
| 01:54:54 | G | 21.4 | 92.0 | 88.3 | 547 | 66.5 | 50.4 | 91.4 |
| 02:13:55 | G | 20.0 | 88.0 | 83.7 | 489 | 61.5 | 46.3 | 88.6 |
| 02:21:52 | G | 23.0 | -85.0 | 82.4 | 544 | 60.2 | 45.5 | 87.7 |
| 02:33:57 | G | 22.0 | 86.0 | 87.7 | 526 | 65.9 | 50.6 | 90.6 |
| 02:37:47 | G | 23.2 | -82.0 | 85.6 | 528 | 63.4 | 49.2 | 89.2 |
| 02:44:19 | G | 29.4 | 80.0 | 83.2 | 653 | 62.7 | 47.1 | 87.7 |
| 03:11:39 | G | 24.2 | 63.3 | 81.4 | 511 | 60.1 | 48.4 | 87.3 |
| 03:24:05 | G | 07.6 | -83.1 | 84.5 | 186 | 57.5 | 47.9 | 87.7 |
| 03:26:40 | G | 07.8 | 54.1 | 83.3 | 160 | 57.1 | 52.3 | 85.4 |
| 04:03:51 | G | 27.0 | -61.7 | 80.0 | 463 | 58.4 | 47.3 | 82.9 |
| 04:30:43 | G | 16.2 | 71.6 | 86.2 | 401 | 63.1 | 51.5 | 88.3 |
| 05:05:41 | G | 29.0 | -68.5 | 85.2 | 620 | 64.0 | 51.2 | 89.3 |
| 05:13:06 | G | 22.2 | 70.9 | 81.2 | 543 | 59.5 | 46.6 | 86.2 |
| 05:34:03 | G | 23.0 | 72.8 | 81.4 | 556 | 59.8 | 46.5 | 86.5 |
| 06:33:52 | G | 23.2 | 75.1 | 85.8 | 593 | 64.3 | 50.5 | 90.5 |
| 06:42:50 | G | 25.2 | -70.7 | 84.3 | 581 | 62.4 | 49.8 | 86.2 |
| 06:51:24 | G | 20.4 | -72.0 | 85.9 | 414 | 63.2 | 51.2 | 88.6 |
| 07:13:45 | G | 25.0 | 66.8 | 85.8 | 556 | 64.6 | 52.1 | 91.3 |
| 07:46:46 | G | 22.4 | 75.6 | 86.9 | 548 | 65.2 | 51.5 | 89.2 |
| 08:08:59 | G | 27.0 | 58.5 | 81.1 | 517 | 60.2 | 49.0 | 84.3 |
| 08:14:55 | G | 35.2 | -65.2 | 83.7 | 939 | 63.3 | 50.3 | 87 |
| 08:27:36 | G | 28.8 | -61.2 | 81.4 | 496 | 60.1 | 48.8 | 84.3 |
| 08:39:55 | G | 25.2 | 66.6 | 85.9 | 574 | 64.7 | 52.2 | 89.3 |
| 08:45:43 | G | 25.4 | 66.4 | 86.3 | 557 | 65.2 | 52.7 | 88.9 |
| 09:03:40 | G | 03.4 | -85.3 | 82.2 | 82 | 51.6 | 45.2 | 86.3 |
| 09:24:22 | G | 27.2 | -66.6 | 84.7 | 574 | 63.1 | 50.9 | 89.2 |
| 10:04:03 | G | 18.0 | -62.6 | 85.1 | 355 | 61.8 | 52.2 | 89.6 |
| 10:26:30 | G | 21.6 | 78.9 | 86.6 | 534 | 64.8 | 50.7 | 88.8 |
| 10:33:34 | G | 21.2 | 71.2 | 84.9 | 524 | 63.0 | 50.3 | 90.4 |
| 10:41:08 | G | 27.2 | 68.5 | 84.2 | 627 | 63.4 | 50.1 | 88.9 |
| 11:24:37 | G | 24.6 | 70.7 | 83.3 | 574 | 62.1 | 48.9 | 86.2 |
| 12:04:20 | G | 28.2 | -63.6 | 84.0 | 572 | 62.7 | 50.9 | 89.7 |
| 12:09:13 | G | 29.2 | 64.0 | 77.8 | 649 | 57.3 | 44.7 | 80.7 |
| 12:25:43 | G | 29.2 | 67.8 | 83.7 | 665 | 63.2 | 49.8 | 86.4 |
| 12:27:58 | G | 24.0 | -71.6 | 85.1 | 533 | 63.0 | 50.4 | 87.4 |
| 13:47:37 | G | 24.2 | 73.4 | 80.2 | 565 | 58.9 | 45.3 | 84.6 |
| 14:24:51 | G | 13.2 | 61.9 | 78.8 | 290 | 54.9 | 46.1 | 82.1 |

*Tabelle 2.1.1:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 31.12.10 bei Schnee

Fortsetzung 31.12.2010 bis 02.01.2011:

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 17:27:32 | G | 21.0 | 70.6 | 85.7 | 508 | 63.7 | 51.2 | 89.8 |
| 18:49:24 | G | 20.4 | 72.6 | 82.4 | 493 | 60.3 | 47.5 | 87 |
| 08:29:04 | G | 22.4 | -80.6 | 88.8 | 541 | 66.5 | 52.6 | 92.2 |
| 09:32:59 | G | 02.8 | -116.6 | 83.7 | 95 | 52.3 | 42.7 | 87.3 |
| 08:09:42 | G | 20.0 | 66.6 | 84.7 | 506 | 62.5 | 51.0 | 87.5 |
| 08:36:22 | G | 27.2 | -63.4 | 80.9 | 521 | 59.4 | 47.9 | 84.2 |
| 10:04:19 | G | 23.2 | -63.2 | 83.1 | 464 | 60.9 | 50.1 | 88.5 |
| 11:16:57 | G | 12.2 | 74.7 | 87.7 | 322 | 63.4 | 52.5 | 90.2 |
| 11:32:54 | G | 14.4 | -81.3 | 89.0 | 336 | 64.7 | 52.7 | 91 |
| 12:02:55 | G | 25.2 | -77.2 | 87.8 | 595 | 66.0 | 52.2 | 92.1 |
| 12:56:52 | G | 23.8 | 69.8 | 79.9 | 549 | 58.5 | 45.5 | 82.2 |
| 13:24:23 | G | 23.2 | 72.6 | 85.7 | 490 | 64.2 | 50.9 | 88 |
| 14:16:00 | G | 10.2 | -86.0 | 87.0 | 244 | 61.2 | 49.9 | 89.7 |
| 15:11:06 | G | 22.4 | -87.0 | 90.0 | 541 | 67.6 | 52.8 | 92.2 |
| 15:11:43 | G | 07.0 | 74 | 81.1 | 144 | 54.4 | 46.0 | 83.6 |
| 16:19:32 | G | 23.2 | -76 | 85.1 | 490 | 62.8 | 49.6 | 88 |
| 17:25:52 | G | 25.2 | 83 | 79.8 | 581 | 58.7 | 43.2 | 83 |
| 17:48:44 | G | 20 | 76 | 82.2 | 422 | 60.0 | 46.8 | 85.5 |
| 18:15:37 | G | 23.2 | 87 | 86.6 | 561 | 65.1 | 49.4 | 88.6 |
| 18:36:56 | G | 23 | 89 | 86.3 | 569 | 64.7 | 48.8 | 88.4 |
| | | | | | | | | $\Delta$ |
| MINIMUM | | 2.8 | | 75 | | 48 | 43 | 20 |
| 5%-Grenze | | 4.8 | | 77 | | 52 | 45 | 20 |
| 50%-Grenze | | 23 | | 84 | | 62 | 50 | 22 |
| Mittelwert | | | | 85 | | 62 | 50 | 23 |
| 95%-Grenze | | 29 | | 88 | | 66 | 53 | 27 |
| MAXIMUM | | 35 | | 89 | | 67 | 53 | 31 |
| Anteil Überschreitungen des Grundwertes von 51 $dB(A)$ | | | | | | | 27% | |

*Tabelle 2.1.2:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 31.12.10 bei Schnee
$\Delta$: Differenz zwischen dem mittleren Vorbeifahrpegel
und dem Stundenpegel.

### 9.1.1 Bemerkungen

- um 12:09 Uhr fuhr der Versuchszug mit verschiedenen Bremssystemen vorbei: Sein Grundwert betrug 44.7 $dB(A)$!
- der mittlere Grundwert zwischen dem 31.12.2010 und dem 02.01.2011 lag bei 50 $dB(A)$; dieser Grundwert ist um 1 $dB(A)$ geringer als nach der Berechnung in der Schall 03.

### 9.1.2 Graphische Zusammenfassung

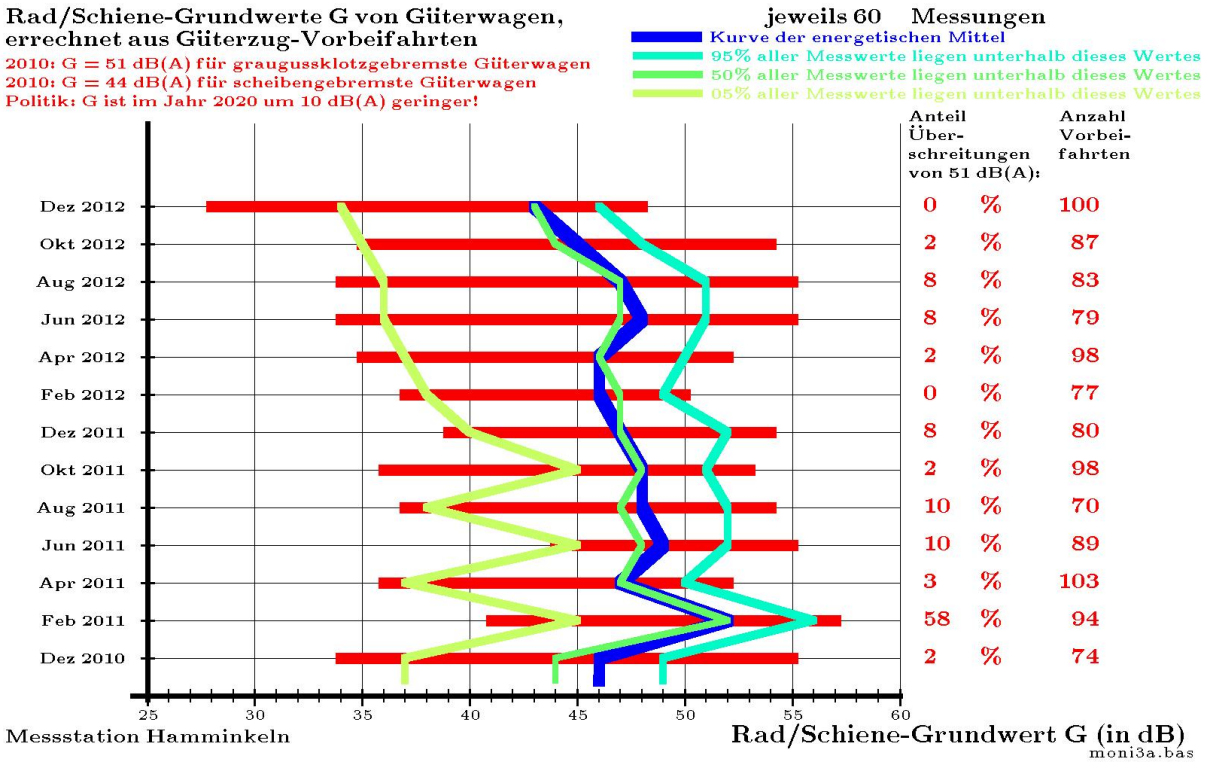


*Bild 2.2.1*: Entwicklung der Grundwerte mit der Zeit

### 9.1.3 Vergleich mit ICE

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 07:26:09 | ICE | 06.0 | 114.6 | 78.7 | 210 | 51.3 | 44.9 | 81.1 |
| 08:08:33 | ICE | 06.0 | -126.5 | 86.4 | 227 | 58.3 | 51.4 | 88.7 |

*Tabelle 2.3.1:* ICE-Vorbeifahrten ($D_D = 0$) bei Schnee am 31.12.2010

# 10 zeitliche Veränderungen der Lärmsituation

## 10.1 Vorhaben

Die Bahnstrecke in Hamminkeln wird während der meisten Tage eines Jahres durch etwa 60 Güterzüge innerhalb von 24 Stunden befahren. Zusätzlich fahren Personenzüge, ICE-Züge und einzelne Lokomotiven.

Daher wurden hier alle zwei Monate jeweils 60 Güterzüge während ihrer Vorbeifahrt an Hamminkeln genau bezüglich ihrer Schallabstrahlung (siehe Kapitel 1) vermessen. Es ist Ziel dieser Untersuchung, bis zum Jahr 2020 im Takt von 2 Monaten fortwährend die Lärmentwicklung von jeweils 60 Güterzügen zu dokumentieren und auszuwerten, um

- einerseits zu messen, ob die **Vorbeifahrpegel** von Güterzügen , und
- andererseits zu berechnen, ob die **Grundwerte** von Güterwagen

infolge technischer Verbesserungen um 10 $dB(A)$ geringer werden

## 10.2 Graphische Zusammenfassungen

Bisher wurden jeweils 60 Güterzugvorbeifahrten aus den folgende Zeiträumen betrachtet:
Dezember 2010 ./. Februar 2011 ./. April 2011 ./. Juni 2011

### 10.2.1 Vorbeifahrpegel

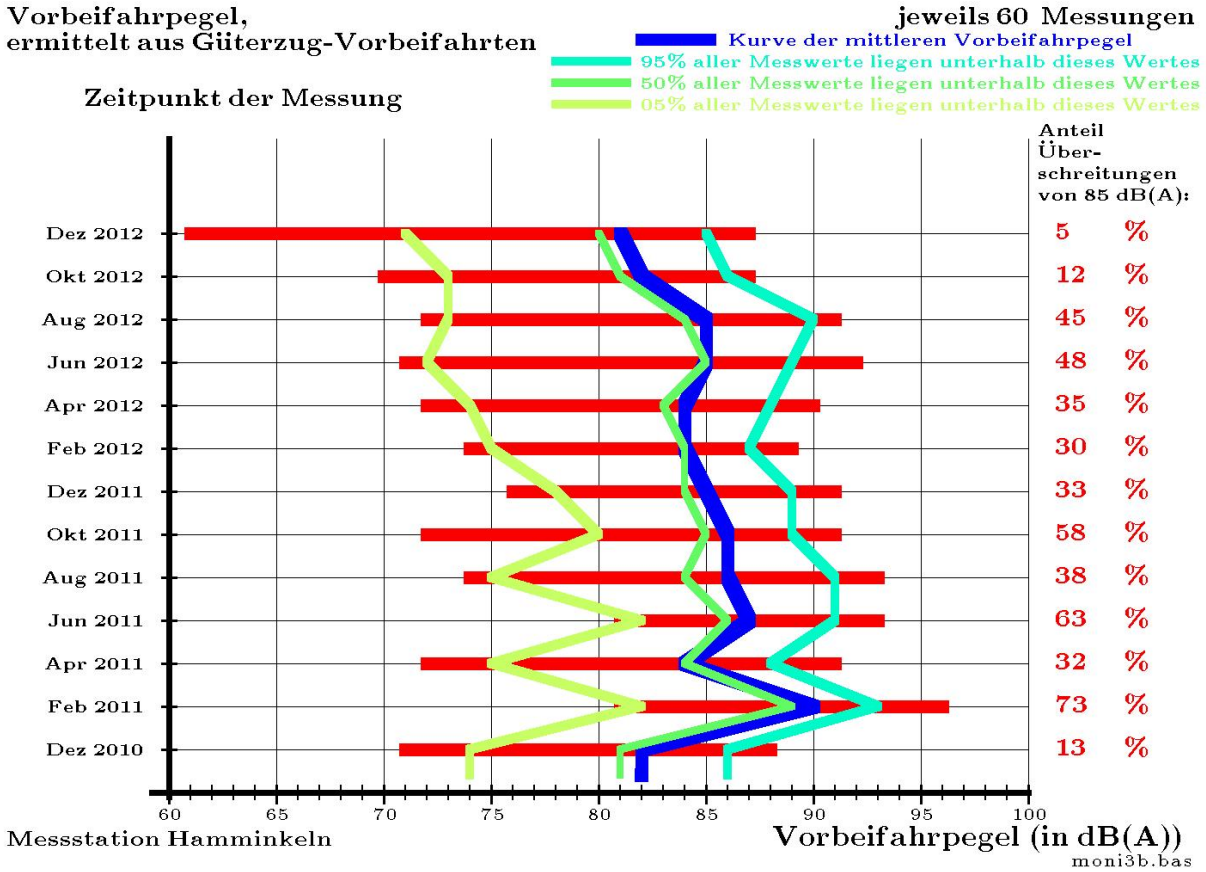


*Bild 3.1.1*: Entwicklung der Vorbeifahrpegel mit der Zeit
Vergleiche Dezember 2010 bis Juni 2011
unter besonderer Berücksichtigung der Überschreitungen von 85 $dB(A)$

### 10.2.2 Grundwerte

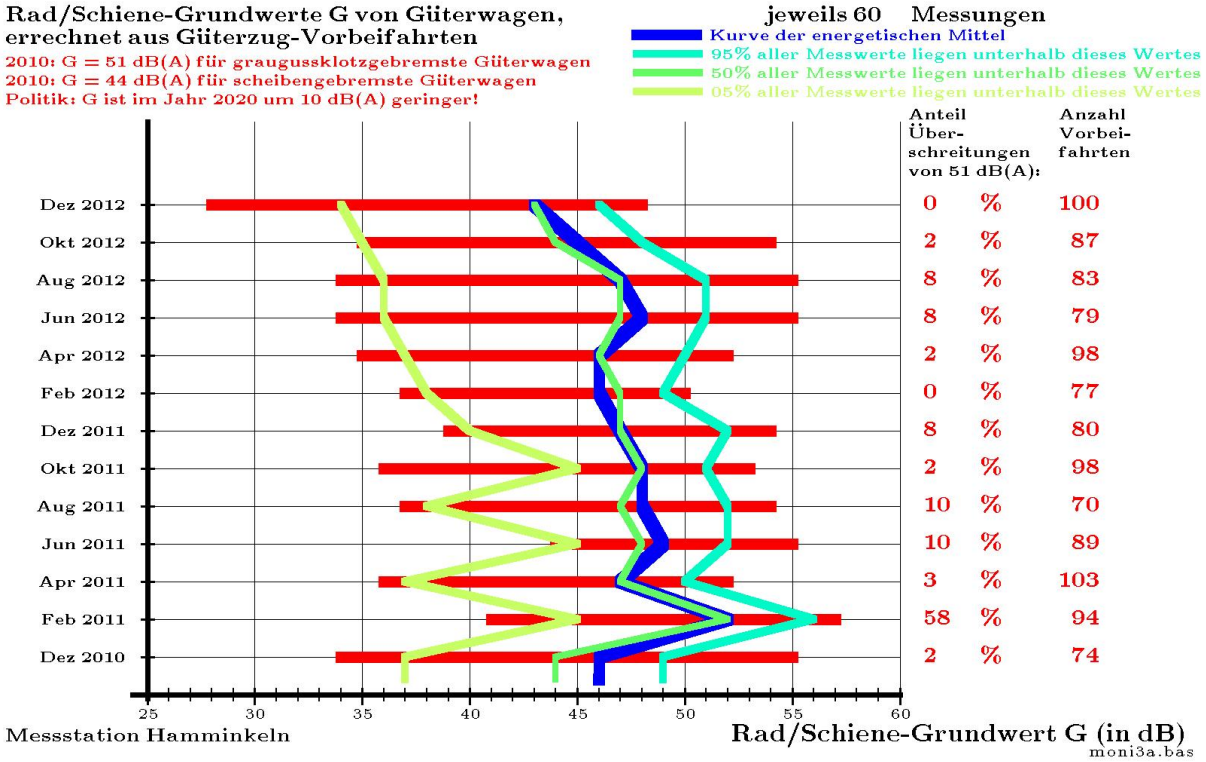


*Bild 3.1.2*: Entwicklung der Grundwerte mit der Zeit
Vergleiche Dezember 2010 bis Dezember 2011
unter besonderer Berücksichtigung der Überschreitungen von 51 $dB(A)$

## 10.3 Messdaten

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 28.02.2011 (Montag) und dem 01.03.2011 (Dienstag) bei Frühlingswetter.

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 00:05:13 | G | 20 | -76 | 83.2 | 425 | 60.4 | 47.8 | 86.5 |
| 00:42:42 | G | 25 | -94 | 93.1 | 658 | 71.3 | 54.9 | 97.4 |
| 01:27:25 | G | 24 | -89 | 96.2 | 591 | 74.1 | 58.7 | 98.6 |
| 01:33:30 | G | 24 | -91 | 97.0 | 607 | 74.9 | 59.2 | 99.6 |
| 05:43:18 | G | 27 | -83 | 91.5 | 631 | 70.0 | 54.8 | 95.4 |
| 06:47:29 | G | 24 | -80 | 89.8 | 540 | 67.7 | 53.6 | 92.1 |
| 08:09:10 | G | 35 | 68 | 84.1 | 655 | 64.4 | 50.2 | 87.3 |
| 08:15:22 | G | 24 | 84 | 93.4 | 560 | 72.0 | 56.7 | 96.6 |
| 08:27:08 | G | 24 | -86 | 91.7 | 579 | 69.7 | 54.6 | 94.7 |
| 09:13:18 | G | 22 | 85 | 87.8 | 519 | 66.1 | 50.9 | 92.7 |
| 09:32:40 | G | 8.2 | -91 | 95.7 | 207 | 69.0 | 57.9 | 98.8 |
| 09:45:53 | G | 10 | 69 | 87.7 | 195 | 62.7 | 53.6 | 90.9 |
| 09:53:16 | G | 21 | 81 | 90.1 | 477 | 68.2 | 53.8 | 92.2 |
| 09:58:00 | G | 24 | 76 | 90.8 | 513 | 69.5 | 55.3 | 93.9 |
| 10:01:57 | G | 24 | -78 | 89.4 | 523 | 67.3 | 53.6 | 93.1 |
| 10:31:45 | G | 26 | -76 | 89.7 | 554 | 68.0 | 54.3 | 92.3 |
| 11:31:27 | G | 13 | -82 | 84.9 | 302 | 60.2 | 48.4 | 89.1 |
| 12:07:22 | G | 30 | -71 | 84.9 | 601 | 63.8 | 50.3 | 87.5 |
| 12:09:33 | G | 27 | 77 | 82.1 | 569 | 61.2 | 46.5 | 86.2 |
| 12:22:05 | G | 24 | -90 | 98.5 | 598 | 76.4 | 60.8 | 99.9 |
| 12:28:07 | G | 36 | -59 | 86.1 | 582 | 65.8 | 54.1 | 88.8 |
| 13:15:46 | G | 25 | 77 | 86.8 | 540 | 65.6 | 51.2 | 92.9 |
| 13:28:37 | G | 29 | -77 | 90.1 | 625 | 68.9 | 54.5 | 93.2 |
| 13:30:33 | G | 31 | 80 | 81.9 | 693 | 61.7 | 45.8 | 84.3 |
| 13:43:10 | G | 28 | -83 | 93.1 | 636 | 71.7 | 56.5 | 97.3 |
| 14:11:13 | G | 23 | 87 | 93.1 | 556 | 71.6 | 55.9 | 94.8 |
| 14:26:35 | G | 26 | 77 | 81.6 | 548 | 60.6 | 46.0 | 84.4 |
| 15:11:06 | G | 16 | -78 | 93.1 | 352 | 69.3 | 57.3 | 95.5 |
| 15:26:25 | G | 22 | 88 | 86.7 | 538 | 64.9 | 49.3 | 92.6 |
| 15:34:18 | G | 25 | 82 | 88.7 | 574 | 67.6 | 52.3 | 96.6 |
| 15:38:22 | G | 30 | -71 | 85.3 | 596 | 64.3 | 50.8 | 88.4 |
| 16:13:21 | G | 9.0 | 87 | 88.0 | 218 | 62.4 | 50.8 | 90.6 |
| 16:46:45 | G | 24 | 87 | 89.3 | 585 | 68.0 | 52.2 | 93.2 |
| 17:40:57 | G | 22 | 89 | 92.9 | 544 | 71.1 | 55.4 | 96.5 |
| 18:13:28 | G | 23 | -91 | 87.7 | 586 | 65.5 | 49.9 | 93.9 |
| 19:08:02 | G | 16 | 67 | 79.7 | 307 | 56.7 | 45.8 | 81.8 |
| 19:30:00 | G | 15 | 79 | 86.0 | 334 | 62.7 | 50.1 | 89.1 |
| 20:07:13 | G | 28 | -75 | 90.3 | 580 | 68.9 | 55.1 | 92.6 |
| 20:27:31 | G | 7.0 | 82 | 91.2 | 159 | 64.5 | 54.8 | 94.4 |
| 20:33:25 | G | 25 | 80 | 91.5 | 551 | 70.3 | 55.4 | 94.4 |

*Tabelle 3.1.1:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am Montag, den 28.02.2011, bei Frühlingswetter

Fortsetzung Montag, 28.02.2011 bis Dienstag, 01.03.2011: 60 Güterzüge

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 21:13:25 | G | 24 | -87 | 95.9 | 585 | 73.8 | 58.7 | 99.2 |
| 21:30:15 | G | 23 | 91 | 91.5 | 592 | 70.1 | 53.8 | 94.3 |
| 22:06:54 | G | 24 | 84 | 85.8 | 560 | 64.4 | 49.1 | 91.3 |
| 22:10:23 | G | 27 | -81 | 90.7 | 609 | 69.2 | 54.5 | 93.0 |
| 22:33:36 | G | 29 | 74 | 81.5 | 596 | 61.0 | 46.4 | 88.0 |
| 22:34:54 | G | 22 | -82 | 90.4 | 506 | 68.0 | 54.0 | 93.2 |
| 22:40:20 | G | 22 | 67 | 89.0 | 413 | 67.3 | 55.2 | 90.9 |
| 22:54:09 | G | 37 | 52 | 85.5 | 532 | 66.0 | 55.1 | 87.8 |
| 23:02:00 | G | 34 | 58 | 86.0 | 548 | 66.2 | 54.1 | 89.2 |
| 23:29:36 | G | 19 | 81 | 90.6 | 432 | 68.3 | 54.3 | 93.8 |
| 23:36:01 | G | 34 | -63 | 87.7 | 599 | 67.2 | 54.7 | 91.1 |
| 23:45:03 | G | 27 | -73 | 89.5 | 547 | 68.0 | 54.6 | 94.2 |
| 23:54:39 | G | 19 | -84 | 93.0 | 449 | 70.0 | 56.3 | 97.8 |
| 00:05:13 | G | 20 | -76 | 83.2 | 425 | 60.4 | 47.8 | 86.5 |
| 00:17:20 | G | 33 | -64 | 88.5 | 587 | 67.9 | 55.4 | 91.2 |
| 00:55:01 | G | 31 | -80 | 92.4 | 693 | 71.4 | 56.3 | 96.6 |
| 01:08:24 | G | 35 | -54 | 80.9 | 525 | 60.5 | 49.9 | 87.8 |
| 01:19:14 | G | 37 | -57 | 79.3 | 597 | 59.2 | 47.5 | 83.1 |
| 01:24:51 | G | 29 | 64 | 86.7 | 519 | 66.2 | 53.5 | 89.4 |
| 01:46:29 | G | 24 | -82 | 92.5 | 544 | 70.4 | 56.0 | 96.5 |
| | | | | | | | | $\Delta$ |
| MINIMUM | | 7 | | 78 | | 57 | 43 | 20 |
| 5%-Grenze | | 9 | | 80 | | 59 | 46 | 20 |
| 50%-Grenze | | 24 | | 89 | | 67 | 54 | 22 |
| Mittelwert | | 29 | | 91 | | 69 | 54 | 22 |
| 95%-Grenze | | 35 | | 96 | | 74 | 59 | 25 |
| MAXIMUM | | 37 | | 99 | | 76 | 61 | 27 |
| Anteil Überschreitungen eines Grundwertes von 51 $dB(A)$ | | | | | | | 67% | |

*Tabelle 3.1.2:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 28.02. und 01.03.2011 bei Frühlingswetter (ohne Schnee).

## 10.4 April 2011

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 30.04.02.2011 (Samstag) und dem 01.05.2011 (Sonntag) bei kaltem Wetter.

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 00:20:46 | G | 27 | -78 | 84.5 | 593 | 63.0 | 48.6 | 86.7 |
| 00:43:13 | G | 21 | 75 | 85.1 | 435 | 63.2 | 49.9 | 87.4 |
| 00:55:44 | G | 20 | -90 | 88.0 | 500 | 65.2 | 50.4 | 91.2 |
| 01:42:31 | G | 26 | -81 | 88.5 | 596 | 66.8 | 52.2 | 93.5 |
| 01:45:10 | G | 28 | 85 | 85.0 | 666 | 64.3 | 48.1 | 88.0 |
| 02:47:21 | G | 16 | -86 | 83.8 | 381 | 60.0 | 46.8 | 88.6 |
| 03:11:52 | G | 18 | -83 | 88.0 | 418 | 64.8 | 51.5 | 92.9 |
| 03:32:08 | G | 19 | 82 | 84.7 | 433 | 62.3 | 48.2 | 89.8 |
| 04:30:39 | G | 07.4 | 75 | 87.2 | 154 | 60.8 | 52.0 | 90.9 |
| 04:43:03 | G | 22 | 90 | 87.0 | 555 | 65.3 | 49.3 | 89.0 |
| 05:39:20 | G | 22 | 90 | 88.2 | 555 | 66.5 | 50.5 | 93.6 |
| 06:13:56 | G | 24 | 83 | 87.2 | 558 | 65.9 | 50.7 | 90.5 |
| 06:17:02 | G | 21 | -83 | 86.2 | 494 | 63.7 | 49.6 | 90.3 |
| 06:24:59 | G | 21 | -82 | 85.3 | 485 | 62.7 | 48.8 | 88.1 |
| 06:30:25 | G | 22 | -91 | 91.0 | 558 | 68.6 | 53.2 | 95.1 |
| 06:38:24 | G | 25 | 83 | 86.2 | 581 | 65.1 | 49.7 | 89.8 |
| 06:43:39 | G | 26 | 81 | 88.6 | 585 | 67.6 | 52.4 | 91.4 |
| 07:05:26 | G | 28 | -75 | 84.4 | 586 | 63.0 | 49.1 | 87.1 |
| 07:28:07 | G | 19 | 90 | 84.8 | 480 | 62.5 | 47.2 | 88.9 |
| 07:33:30 | G | 21 | 92 | 87.5 | 542 | 65.6 | 49.6 | 89.5 |
| 07:40:52 | G | 29 | 70 | 84.0 | 564 | 63.5 | 49.7 | 87.1 |
| 08:19:07 | G | 13 | -94 | 87.5 | 339 | 62.8 | 49.3 | 90.2 |
| 08:25:57 | G | 19 | -86 | 88.1 | 454 | 65.0 | 51.1 | 92.2 |
| 08:33:07 | G | 23 | -95 | 91.5 | 612 | 69.2 | 53.1 | 94.8 |
| 08:47:53 | G | 20 | 85 | 87.2 | 477 | 65.1 | 50.3 | 92.4 |
| 09:27:45 | G | 07.6 | 92 | 86.4 | 194 | 60.1 | 48.5 | 90.5 |
| 09:28:29 | G | 22 | -82 | 87.4 | 499 | 64.9 | 50.9 | 91.0 |
| 10:39:14 | G | 13 | 80 | 90.1 | 298 | 66.2 | 54.0 | 91.9 |
| 11:08:52 | G | 22 | -87 | 85.0 | 532 | 62.6 | 47.8 | 89.2 |
| 11:26:20 | G | 13 | -88 | 87.8 | 314 | 63.0 | 50.4 | 90.5 |
| 11:48:42 | G | 20 | 89 | 84.9 | 494 | 62.7 | 47.4 | 90.9 |
| 12:12:26 | G | 23 | 89 | 88.0 | 579 | 66.5 | 50.5 | 92.1 |
| 12:14:54 | G | 14 | -86 | 84.2 | 339 | 59.8 | 47.1 | 88.3 |
| 12:33:04 | G | 23 | 85 | 87.9 | 548 | 66.4 | 51.0 | 90.9 |
| 12:43:24 | G | 15 | -80 | 85.1 | 332 | 61.0 | 49.1 | 88.4 |
| 14:06:48 | G | 24 | 86 | 91.9 | 583 | 70.6 | 54.9 | 96.3 |
| 14:16:01 | G | 21 | -83 | 85.8 | 482 | 63.2 | 49.3 | 88.9 |
| 14:28:57 | G | 21 | -91 | 89.3 | 521 | 66.6 | 51.5 | 94.2 |
| 15:07:05 | G | 20 | -81 | 84.8 | 452 | 62.0 | 48.6 | 88 |
| 15:12:47 | G | 17 | 74 | 79.2 | 358 | 56.4 | 44.1 | 83.2 |

*Tabelle 2.3.1:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am Montag, den 30.04.2011, bei kaltem Wetter.

Fortsetzung Samstag, 30.04.2011 bis Sonntag, 01.05.2011: 60 Güterzüge

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 15:24:39 | G | 21 | 85 | 83.6 | 501 | 61.7 | 46.7 | 88.4 |
| 15:30:23 | G | 19 | 80 | 85.2 | 431 | 62.9 | 49.1 | 87.6 |
| 16:32:03 | G | 20 | 83 | 88.5 | 470 | 66.4 | 51.9 | 91.4 |
| 16:44:07 | G | 20 | -82 | 85.7 | 449 | 62.8 | 49.3 | 90.6 |
| 18:31:45 | G | 19 | -91 | 86.5 | 490 | 63.5 | 48.8 | 91.9 |
| 19:10:05 | G | 25 | 76 | 84.2 | 528 | 63.0 | 48.7 | 88.3 |
| 19:24:49 | G | 19 | 83 | 86.1 | 443 | 63.8 | 49.6 | 89.4 |
| 19:48:37 | G | 25 | -85 | 89.5 | 596 | 67.6 | 52.6 | 93.1 |
| 20:06:17 | G | 23 | -80 | 90.1 | 509 | 67.8 | 54.0 | 93.4 |
| 20:08:51 | G | 30 | 73 | 86.4 | 612 | 66.1 | 51.5 | 90.4 |
| 20:48:30 | G | 13 | 89 | 84.5 | 321 | 60.5 | 47.0 | 89.4 |
| 23:39:39 | G | 20 | -92 | 78.4 | 514 | 55.5 | 40.5 | 81.9 |
| 06:00:58 | G | 22 | 91 | 89.0 | 561 | 67.3 | 51.2 | 92.5 |
| 07:10:42 | G | 27 | 67 | 85.1 | 513 | 64.4 | 51.3 | 87.9 |
| 07:27:06 | G | 23 | 89 | 92.0 | 569 | 70.5 | 54.5 | 95.1 |
| 07:34:29 | G | 17 | 88 | 87.5 | 425 | 64.7 | 50.2 | 91.0 |
| 07:54:14 | G | 26 | -81 | 81.7 | 585 | 60.0 | 45.5 | 84.9 |
| 09:22:31 | G | 20 | 91 | 92.5 | 511 | 70.3 | 54.7 | 94.6 |
| 09:28:39 | G | 25 | -82 | 85.9 | 572 | 64.1 | 49.5 | 88.4 |
| 09:43:18 | G | 21 | 93 | 87.0 | 543 | 65.1 | 49.0 | 89.4 |
| | | | | | | | | $\Delta$ |
| MINIMUM | | 7.4 | | 77 | | 56 | 41 | 20 |
| 5%-Grenze | | 13 | | 78 | | 56 | 46 | 21 |
| 50%-Grenze | | 21 | | 86 | | 64 | 50 | 22 |
| Mittelwert | | 23 | | 87 | | 65 | 51 | 23 |
| 95%-Grenze | | 28 | | 91 | | 69 | 54 | 25 |
| MAXIMUM | | 30 | | 92 | | 71 | 55 | 26 |
| Anteil Überschreitungen eines Grundwertes von 51 $dB(A)$ | | | | | | | 30% | |

*Tabelle 2.3.2:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot)
am Samstag, den 30.04.2011, und Sonntag. 01.05.2011, bei kaltem Wetter.

## 10.5 Juni 2011

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 15.06.011 (Mittwoch) und dem 16.06.2011 (Donnerstag).

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 12:12:28 | G | 15 | 86 | 91.0 | 358 | 67.6 | 53.9 | 93.6 |
| 12:41:00 | G | 25 | -91 | 85.0 | 632 | 63.1 | 47.2 | 88.7 |
| 12:44:27 | G | 23 | 88 | 87.6 | 562 | 66.1 | 50.3 | 92.7 |
| 13:08:23 | G | 13 | 83 | 83.1 | 304 | 59.1 | 46.5 | 87.3 |
| 13:48:33 | G | 15 | -82 | 87.2 | 341 | 63.1 | 50.8 | 88.9 |
| 14:18:50 | G | 15 | -84 | 85.6 | 359 | 61.6 | 48.9 | 90.7 |
| 14:49:42 | G | 12 | 90 | 87.0 | 300 | 62.6 | 49.4 | 90.3 |
| 16:22:35 | G | 23 | -82 | 85.2 | 527 | 63.0 | 48.8 | 88.8 |
| 16:29:28 | G | 30 | -78 | 88.6 | 654 | 67.5 | 52.8 | 91.4 |
| 16:48:17 | G | 22 | 92 | 84.6 | 562 | 62.8 | 46.7 | 87.9 |
| 17:03:11 | G | 24 | -79 | 85.5 | 525 | 63.4 | 49.6 | 88 |
| 17:10:34 | G | 27 | -84 | 83.3 | 635 | 61.8 | 46.6 | 89.2 |
| 17:43:30 | G | 16 | 91 | 90.3 | 410 | 67.3 | 52.6 | 92.8 |
| 17:43:30 | G | 16 | 91 | 90.3 | 410 | 67.3 | 52.6 | 92.8 |
| 18:24:40 | G | 24 | -92 | 89.4 | 608 | 67.3 | 51.5 | 92.7 |
| 18:43:35 | G | 18 | -81 | 84.4 | 397 | 61.0 | 48.2 | 89.1 |
| 19:09:45 | G | 39 | 60 | 81.0 | 657 | 61.8 | 48.6 | 84.9 |
| 19:15:46 | G | 33 | 64 | 82.0 | 583 | 62.0 | 48.8 | 84.4 |
| 19:30:43 | G | 23 | -83 | 86.2 | 537 | 64.0 | 49.6 | 88.4 |
| 20:24:11 | G | 21 | -92 | 87.0 | 537 | 64.3 | 49.1 | 91.8 |
| 20:28:52 | G | 22 | 91 | 89.4 | 561 | 67.7 | 51.6 | 92.5 |
| 20:45:13 | G | 26 | 81 | 85.3 | 590 | 64.3 | 49.1 | 88.6 |
| 22:08:42 | G | 28 | -70 | 85.0 | 545 | 63.7 | 50.7 | 88.3 |
| 22:15:28 | G | 24 | -93 | 90.6 | 620 | 68.5 | 52.5 | 93.7 |
| 22:22:07 | G | 22 | -91 | 89.8 | 568 | 67.4 | 51.9 | 92.5 |
| 22:39:23 | G | 20 | -81 | 84.1 | 448 | 61.3 | 47.8 | 86.8 |
| 22:51:12 | G | 10 | 89 | 88.8 | 247 | 63.6 | 51.3 | 92.1 |
| 23:32:36 | G | 24 | -81 | 86.9 | 543 | 64.8 | 50.5 | 89.1 |
| 00:58:09 | G | 22 | 85 | 87.7 | 519 | 66.0 | 50.8 | 91.0 |
| 01:00:54 | G | 30 | -64 | 82.2 | 526 | 61.0 | 49.0 | 85.1 |
| 01:13:56 | G | 5.8 | 83 | 84.1 | 134 | 56.6 | 47.6 | 88.1 |
| 01:26:46 | G | 22 | 91 | 88.4 | 556 | 66.7 | 50.7 | 91.6 |
| 01:45:43 | G | 22 | -82 | 84.0 | 500 | 61.6 | 47.7 | 88.7 |
| 01:50:55 | G | 22 | 87 | 88.4 | 537 | 66.7 | 51.2 | 91.7 |
| 02:05:23 | G | 22 | -86 | 88.3 | 526 | 65.9 | 51.3 | 92.0 |
| 03:40:04 | G | 28 | -75 | 83.2 | 587 | 61.8 | 47.9 | 85.8 |
| 04:25:40 | G | 27 | -64 | 81.6 | 477 | 60.1 | 48.5 | 85.2 |
| 04:43:25 | G | 38 | -59 | 83.3 | 628 | 63.3 | 51.2 | 86.5 |
| 04:48:33 | G | 23 | 88 | 88.4 | 552 | 66.8 | 51.1 | 93.1 |
| 05:03:02 | G | 22 | 94 | 88.9 | 580 | 67.2 | 50.7 | 93.2 |

*Tabelle 2.4.1:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am Mittwoch, 15.06.2011 und Donerstag, 16.06.2011

Fortsetzung Mittwoch, 15.06.2011 bis Donerstag, 16.06.2011: 60 Güterzüge

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 05:15:32 | G | 20 | -81 | 85.3 | 449 | 62.5 | 49.1 | 89.6 |
| 05:39:51 | G | 23 | 92 | 92.0 | 593 | 70.5 | 54.1 | 94.6 |
| 05:41:46 | G | 25 | -79 | 85.2 | 555 | 63.3 | 49.2 | 91.1 |
| 05:58:59 | G | 15 | 87 | 88.8 | 366 | 65.4 | 51.7 | 91.5 |
| 06:10:16 | G | 25 | 87 | 88.8 | 599 | 67.6 | 51.6 | 92.7 |
| 06:21:24 | G | 25 | -77 | 84.0 | 535 | 62.1 | 48.4 | 87.0 |
| 06:48:14 | G | 17 | -85 | 87.2 | 391 | 63.5 | 50.3 | 89.5 |
| 06:48:55 | G | 24 | 91 | 86.4 | 612 | 65.1 | 48.6 | 89.4 |
| 07:02:17 | G | 24 | -79 | 82.2 | 529 | 60.2 | 46.2 | 85.1 |
| 07:09:46 | G | 26 | 71 | 83.1 | 513 | 62.1 | 48.6 | 87.6 |
| 07:26:57 | G | 21 | -92 | 87.4 | 538 | 64.8 | 49.5 | 93.2 |
| 07:54:25 | G | 18 | -80 | 86.4 | 400 | 63.1 | 50.3 | 90.4 |
| 08:12:10 | G | 10 | -85 | 92.2 | 236 | 66.3 | 55.3 | 94.5 |
| 08:28:12 | G | 22 | 74 | 86.0 | 456 | 64.3 | 50.9 | 88.8 |
| 08:46:39 | G | 14 | -86 | 84.6 | 335 | 60.2 | 47.5 | 89.3 |
| 08:51:47 | G | 26 | 81 | 86.3 | 581 | 65.2 | 50.0 | 88.0 |
| 09:09:00 | G | 15 | 83 | 87.4 | 346 | 64.0 | 50.8 | 90.1 |
| 09:16:39 | G | 26 | -79 | 85.4 | 574 | 63.7 | 49.4 | 88.1 |
| 09:22:28 | G | 20 | 86 | 85.2 | 483 | 63.1 | 48.1 | 89.4 |
| 10:38:16 | G | 16 | -76 | 82.3 | 344 | 58.5 | 46.8 | 85.5 |
| 10:41:38 | G | 21 | 91 | 88.7 | 541 | 66.8 | 50.9 | 91.9 |
| | | | | | | | | $\Delta$ |
| MINIMUM | | 6 | | 81 | | 57 | 46 | 20 |
| 5%-Grenze | | 10 | | 82 | | 59 | 47 | 20 |
| 50%-Grenze | | 22 | | 86 | | 64 | 50 | 22 |
| Mittelwert | | 27 | | 87 | | 65 | 50 | 22 |
| 95%-Grenze | | 30 | | 91 | | 68 | 53 | 25 |
| MAXIMUM | | 39 | | 98 | | 71 | 55 | 27 |
| Anteil Überschreitungen eines Grundwertes von 51 $dB(A)$ | | | | | | | 27% | |

*Tabelle 2.4.2:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am Samstag, den 15.05.2011, und Sonntag. 16.06.2011.

## 10.6 August 2011

Die hier ausgewerten Messdaten stammen vom 30.08.011 ().

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 00:42:56 | G | 23 | -72 | 85.8 | 456 | 63.5 | 51.1 | 89.6 |
| 01:43:12 | G | 26 | -82 | 87.6 | 599 | 66.0 | 51.2 | 90.2 |
| 04:38:18 | G | 18 | -77 | 87.8 | 390 | 64.6 | 52.2 | 90.2 |
| 04:39:16 | G | 27 | -70 | 87.4 | 521 | 65.9 | 53.1 | 90.5 |
| 05:15:33 | G | 26 | -81 | 87.4 | 588 | 65.7 | 51.1 | 90.1 |
| 05:42:27 | G | 25 | -80 | 87.0 | 559 | 65.2 | 50.9 | 91.4 |
| 06:42:58 | G | 39 | -60 | 78.9 | 652 | 58.9 | 46.5 | 81.4 |
| 07:08:19 | G | 17 | -74 | 85.4 | 350 | 61.8 | 50.2 | 88.1 |
| 07:12:00 | G | 30 | -70 | 83.4 | 584 | 62.3 | 49.0 | 85.9 |
| 07:14:40 | G | 29 | -66 | 82.8 | 538 | 61.6 | 49.1 | 85.3 |
| 08:17:20 | G | 28 | -77 | 82.8 | 599 | 61.4 | 47.2 | 86.9 |
| 09:28:01 | G | 27 | -87 | 87.4 | 639 | 65.8 | 50.3 | 90.6 |
| 09:29:06 | G | 12 | -80 | 83.9 | 258 | 58.7 | 47.8 | 88.6 |
| 09:37:26 | G | 16 | -77 | 84.9 | 344 | 61.1 | 49.3 | 87.5 |
| 10:24:38 | G | 24 | -86 | 92.4 | 576 | 70.4 | 55.4 | 96.1 |
| 10:31:46 | G | 14 | -80 | 90.2 | 317 | 65.9 | 54.1 | 92.4 |
| 11:32:48 | G | 28 | -76 | 84.9 | 586 | 63.4 | 49.4 | 87.3 |
| 11:40:30 | G | 26 | -81 | 86.8 | 590 | 65.2 | 50.6 | 89.7 |
| 11:42:56 | G | 29 | -81 | 78.0 | 647 | 56.7 | 41.8 | 84.1 |
| 12:30:20 | G | 27 | -77 | 87.4 | 575 | 65.8 | 51.7 | 90.0 |
| 12:43:16 | G | 24 | -81 | 85.2 | 547 | 63.2 | 49.0 | 87.9 |
| 12:51:21 | G | 18 | -91 | 89.3 | 455 | 66.0 | 51.5 | 92.4 |
| 13:03:28 | G | 34 | -79 | 82.0 | 748 | 61.5 | 46.1 | 86.3 |
| 13:39:46 | G | 23 | -81 | 78.0 | 516 | 55.7 | 41.8 | 80.7 |
| 14:09:47 | G | 26 | -78 | 85.8 | 566 | 64.1 | 50.1 | 88.8 |
| 14:22:59 | G | 27 | -87 | 75.2 | 660 | 53.7 | 38.1 | 78.3 |
| 14:45:04 | G | 30 | -69 | 74.5 | 569 | 53.4 | 40.3 | 77.9 |
| 15:31:17 | G | 17 | 80 | 86.4 | 370 | 62.8 | 50.3 | 88.4 |
| 15:49:51 | G | 24 | -88 | 88.2 | 581 | 66.1 | 50.9 | 92.4 |
| 15:56:51 | G | 20 | -92 | 87.5 | 511 | 64.7 | 49.6 | 90.2 |
| 16:22:11 | G | 8.8 | -82 | 84.0 | 200 | 57.6 | 47.6 | 88 |
| 16:36:11 | G | 11 | 73 | 78.0 | 226 | 52.7 | 43.2 | 82.4 |
| 16:44:08 | G | 21 | 79 | 86.1 | 462 | 63.4 | 50.1 | 88.1 |
| 17:10:24 | G | 24 | -91 | 92.6 | 614 | 70.6 | 54.9 | 95.2 |
| 18:52:16 | G | 28 | 64 | 82.8 | 503 | 61.4 | 49.6 | 86.7 |
| 19:11:57 | G | 26 | 73 | 84.8 | 524 | 63.1 | 50.0 | 86.9 |
| 19:27:51 | G | 16 | -82 | 84.1 | 372 | 60.4 | 47.8 | 87.4 |
| 19:30:22 | G | 25 | 81 | 82.7 | 565 | 60.8 | 46.4 | 87.3 |
| 19:41:22 | G | 31 | -71 | 73.8 | 612 | 52.8 | 39.2 | 77.1 |
| 20:10:14 | G | 23 | -92 | 90.8 | 589 | 68.5 | 52.8 | 93 |

*Tabelle 2.4.3:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 30.08.2011 und 31.08.2011

Fortsetzung 30.08.2011 bis 31.08.2011: 60 Güterzüge

| | Messwerte | | | | Berechnete Werte | | | Messwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Uhr-zeit | Art | Vorbei-fahrzeit $t$ in $s$ | Geschwin-digkeit $v$ $v$ in $km/h$ | Vorbei-fahrpegel in $dB(A)$ | Länge in $m$ | Stunden-pegel in $dB(A)$ | Grund-wert in $dB(A)$ | maximaler Pegel in $dB(A)$ |
| 20:20:04 | G | 29 | -82 | 77.4 | 668 | 56.2 | 40.9 | 83 |
| 20:25:45 | G | 9.8 | 69 | 84.2 | 189 | 58.2 | 49.9 | 86.6 |
| 20:28:26 | G | 24 | -92 | 89.5 | 614 | 67.5 | 51.6 | 92.7 |
| 21:10:12 | G | 30 | -64 | 82.3 | 536 | 61.3 | 49.2 | 85.3 |
| 21:19:42 | G | 24 | -83 | 82.9 | 556 | 60.9 | 46.4 | 88.7 |
| 21:26:10 | G | 24 | -88 | 78.9 | 592 | 56.8 | 41.5 | 82.2 |
| 21:50:35 | G | 12 | 91 | 91.2 | 303 | 66.1 | 53.4 | 94.3 |
| 22:07:21 | G | 32 | 66 | 75.4 | 590 | 54.6 | 41.8 | 78.6 |
| 22:31:20 | G | 27 | 73 | 84.6 | 548 | 63.1 | 49.8 | 86.9 |
| 22:38:53 | G | 28 | 78 | 78.4 | 609 | 57.0 | 42.6 | 85.2 |
| 23:01:35 | G | 24 | 87 | 75.6 | 577 | 53.5 | 38.3 | 81.7 |
| 23:11:10 | G | 26 | 82 | 87.4 | 600 | 65.7 | 50.9 | 90.2 |
| 23:18:39 | G | 16 | 83 | 87.9 | 364 | 64.1 | 51.4 | 90.5 |
| 23:59:55 | G | 30 | -82 | 76.2 | 672 | 55.1 | 39.8 | 82.6 |
| 00:53:00 | G | 23 | -71 | 82.4 | 461 | 60.2 | 47.8 | 86.2 |
| 01:03:00 | G | 20 | -91 | 89.8 | 510 | 67.0 | 52.0 | 92.7 |
| 01:51:11 | G | 24 | 86 | 89.1 | 566 | 67.0 | 52.2 | 91.7 |
| 02:03:16 | G | 21 | 79 | 83.7 | 457 | 61.0 | 47.8 | 87.3 |
| 02:12:06 | G | 23 | 84 | 89.7 | 542 | 67.5 | 52.9 | 92.6 |
| 02:23:57 | G | 29 | 78 | 75.4 | 634 | 54.2 | 39.6 | 82 |

*Tabelle 2.4.4:* Daten (in schwarz) und Ergebnisse (in rot) am 30.08.2011, und 31.08.2011.