



Dirk Windelberg

Das Maximalpegelhäufigkeitskriterium  
für nächtlichen Güterzugverkehrslärm

Stand: 10. Februar 2011

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Definitionen</b>	<b>2</b>
2.1	Grundwert . . . . .	2
2.2	Durchschnittlich guter Schienenzustand . . . . .	2
2.3	Immissionspegel . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Prognose</b>	<b>4</b>
3.1	Globale Streuung der Güterzug-Grundwerte . . . . .	5
3.2	lokale Streuung der Güterzug-Grundwerte . . . . .	5
3.3	Grundwerte-Prognose-Tabelle . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Maximalpegelhäufigkeitskriterium</b>	<b>6</b>
4.1	Grundbedingung A (alle Nachtstunden) . . . . .	6
4.2	Grundbedingung B (nächtliche Lärmpause) . . . . .	7
4.3	Bestimmung der Maximalpegel . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Beispiel</b>	<b>7</b>
5.1	Voraussetzungen . . . . .	7
5.2	Streuung der Immissionspegel . . . . .	8
5.3	Anwendung des Maximalpegelhäufigkeitskriteriums . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>8</b>

## 1 Einleitung

In dieser Arbeit werden Möglichkeiten zur Berücksichtigung der großen Unterschiede zwischen realen und nach der *Schall 03* berechneten Vorbeifahrpegeln von Güterzügen vorgestellt. Neben der Bewertung der Mittelwerte durch die *Schall 03* werden dazu die Vorbeifahrpegel jedes einzelnen Güterzuges betrachtet. Eine Grundidee dazu findet sich bereits im Fluglärmgesetz: dort wird die Anzahl von Flugzeugen festgelegt, deren Schallpegel während der Nacht einen festgelegten Grenzpegel überschreitet.

Auch der nächtliche Schienen-Güterverkehr bedarf einer Begrenzung der Maximalzahl sehr lauter Züge, da wenige laute Güterzüge den gleichen mittleren Stundenpegel haben wie viele leise Güterzüge, obwohl insbesondere während der Nachtstunden diese beiden Situationen zu deutlich unterschiedlichen Schlafbedingungen führen.

Da sich diese Betrachtung direkt auf den Straßenverkehrslärm übertragen lässt, wird eine Summation verschiedener Verkehrslärmarten möglich.

## 2 Definitionen

### 2.1 Grundwert

In der *Schall 03* wurde 1990 ein „Grundwert“ eingeführt:

**Grundwert**

Ein IC-Zug ( $D_{Fz} = 0$  für Fahrzeugart 6 der *Schall 03*) mit einer Länge von  $100\text{ m}$ , der mit einer Geschwindigkeit von  $100\text{ km/h}$  fährt, zu  $100\%$  aus mit Scheibenbremsen ausgerüsteten Fahrzeugen besteht und auf Schienen in „durchschnittlich gutem Schienenzustand“ fährt, erzeugt in  $25\text{ m}$  seitlicher Entfernung vom Gleis und  $3,5\text{ m}$  über Grund in ebenem Gelände einen  $\text{Vorbeifahrpegel von } p_{\text{vorbei}}(IC) = 81\text{ dB}(A)$ .

Daraus ergibt sich ein  $\text{auf eine Stunde bezogener Mittelungspegel } G_{R/S}(IC) = 51\text{ dB}(A)$ .

Dieser Mittelungspegel wird „Grundwert“ genannt.

### 2.2 Durchschnittlich guter Schienenzustand

Ein „durchschnittlich guter Schienenzustand“ wird von der *DB* durch ihren „Schallmesswagen“ als solcher definiert: Ein Mikrofon zwischen den beiden Schienen misst den Schallpegel während der Überfahrt, und dieser Schallpegel wird umgerechnet auf den an einem Ort in  $25\text{ m}$  seitlicher Entfernung vom Gleis und  $3,5\text{ m}$  über Grund in ebenem Gelände auftreffenden Schallpegel. Beträgt dieser umgerechnete Schallpegel  $51\text{ dB}(A)$ , so wird der Schienenzustand als „durchschnittlich gut“ bezeichnet.

Der Vorbeifahrpegel eines Zuges  $Z$  wird jedoch nicht nur durch den Schienenzustand  $S$  der beiden Schienen eines Gleises, sondern auch durch die Qualität  $R$  der Räder von Lokomotive und Wagen bestimmt. Daher ist der Grundwert auch für IC-Züge nicht immer  $51\text{ dB}(A)$ , sondern ändert sich mit dem Schienenzustand und den anderen Parametern.

Es ist ferner nicht bekannt, wie sich eine Änderung des Schienenzustandes auf den Vorbeifahrpegel eines Güterzuges auswirkt.

**Zusammenhang zwischen Stundenpegel und Vorbeifahrpegel**

Wenn  $p_{\text{vorbei}}(Z)$  der Vorbeifahrpegel eines Zuges  $Z$  ist,  $t(Z)$  seine Vorbeifahrzeit und  $p_{\text{stunden}}(Z)$  der zugehörige Stundenpegel, so gilt

$$p_{\text{stunden}}(Z) = \lg \left[ \frac{t(Z)}{3600} \right] + p_{\text{vorbei}}(Z) \quad (1)$$

Im Folgenden soll ein Güterzug betrachtet werden, für den sowohl der Stundenpegel als auch der Vorbeifahrpegel in Abhängigkeit von dem (Güterzug-)Grundwert bestimmt wird:

**Grundwert, Stundenpegel und Vorbeifahrpegel eines Güterzuges**

Nach der *Schall 03* ergibt sich für einen  $500\text{ m}$  langen Güterzug, der mit einer Geschwindigkeit von  $100\text{ km/h}$  fährt, zu  $100\%$  mit Grauguß-Klotzbremsen ausgestattet ist und auf Schienen in „durchschnittlich gutem Schienenzustand“ fährt, in  $25\text{ m}$  seitlicher Entfernung und  $3,5\text{ m}$  über Grund in ebenem Gelände ein Stundenpegel

$$\begin{aligned} p_{\text{stunden}}(Z) &= G_{R/S}(Z) + D_{Fz} + D_D + D_l + D_v + D_{Fb} + D_{Br} + D_{Bü} + D_{Ra} \quad (2) \\ &= G_{R/S}(Z) + 0 + 7 + 7 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0 \\ &= G_{R/S}(Z) + 16\text{ dB}(A) \end{aligned}$$

bei Verlegung der Schienen auf Betonschwellen im Schotterbett.

In diesem Fall ist die Vorbeifahrzeit  $t(Z) = 18\text{ s}$ . Damit beträgt nach (1) der Vorbeifahrpegel

$$p_{\text{vorbei}}(Z) = G_{R/S}(Z) + 16 + 23 = G_{R/S}(Z) + 39\text{ dB}(A) \quad (3)$$

Die Gleichung (3) enthält den Grundwert  $G_{R/S}(Z)$ . - Der Grundwert wird nur für *IC*-Züge gemessen (und hier durch  $G_{R/S}(IC)$  bezeichnet). Ein „durchschnittlich guter Schienenzustand“ wird also durch  $G_{R/S}(IC) = 51 \text{ dB}(A)$  beschrieben. Für diesen Schienenzustand soll die *Schall 03* die Emissionspegel aller Zugarten beschreiben, d.h. es soll gelten

$$G_{R/S}(Z) = 51 \text{ dB}(A) \quad \text{bei durchschnittlich gutem Schienenzustand} \quad (4)$$

für Züge  $Z$  aller Zugarten

Eine Änderung des Schienenzustandes wirkt sich jedoch auf verschiedene Zugarten verschieden aus<sup>1)</sup>.

Da die Verallgemeinerung (4) auf alle Zugarten  $Z$  - und damit auch auf beliebige Güterzüge - offensichtlich unzulänglich ist, wird hier ein eigener Grundwert  $G_{R/S}(Z)$  eingeführt, der nach folgendem Verfahren bestimmt werden kann:

In  $25 \text{ m}$  seitlicher Entfernung vom Gleis und  $3,5 \text{ m}$  über Grund in ebenem Gelände wird der Vorbeifahrpegel  $p_{vorbei}(Z)$  eines  $500 \text{ m}$  langen Güterzuges  $Z$  gemessen, der mit einer Geschwindigkeit von  $100 \text{ km/h}$  fährt und zu  $100\%$  mit Grauguß-Klotzbremsen ausgestattet ist. Mit  $p_{vorbei}(Z)$  kann dann aus der Gleichung (3) der Grundwert  $G_{R/S}(Z)$  bestimmt werden:

$$G_{R/S}(Z) = p_{vorbei}(Z) - 39 \text{ dB}(A) \quad (5)$$

Wenn dieser Güterzug mit anderer Geschwindigkeit und/oder anderer Länge vorbeifährt, dann ist  $G_{R/S}(Z)$  nach den Gleichungen (2) und (1) zu bestimmen.

## 2.3 Immissionspegel

Wenn der durch einen Zug  $Z$  mit dem an einem Ort in  $25 \text{ m}$  seitlicher Entfernung und  $3,5 \text{ m}$  über Grund in ebenem Gelände erzeugte Vorbeifahrpegel  $p_{vorbei}(Z)$  bekannt ist, kann mit Hilfe der Ausbreitungsrechnung aus der *Schall 03* für die Außenwand einer Wohnung  $W$  der Immissionspegel  $I_{R/S}(außen, Z, W)$  bestimmt werden.

---

<sup>1)</sup> Ein Versuch, die Änderungen für verschiedene Zugarten zu beschreiben, erfordert die Kenntnis des Zusammenhanges zwischen Schienenzustand und Schallemission. Die Schallemission hängt jedoch auch von der Qualität der Räder sowie mehrerer weiterer Parameter ab: so wurde für ein speziell geschliffenes „besonders überwachtetes Gleis“  $S(büG)$  gemessen:

$$G_{R/S(büG)}(ICE) = 45 \text{ dB}(A) \quad \text{und} \quad G_{R/S(büG)}(\text{Güterzug}) = 50 \text{ dB}(A)$$

### 3 Prognose

Da die einzelnen Güterwagen und damit auch die Güterzüge sehr unterschiedliche Vorbeifahrpegel erzeugen, ist es nicht ausreichend, die Emissionen mehrerer Güterzüge zusammenfassend nur durch einen Mittelungspegel zu beschreiben.

Daher wird hier ergänzend ein Berechnungsverfahren angegeben, mit dem es möglich ist, für zukünftige Güterzug-Vorbeifahrten die Anzahl der Vorbeifahrten zu bestimmen, bei denen ein festgelegter Maximalpegel überschritten wird.

Es wurden an 63 Orten jeweils während einer kurzen Zeitperiode die Güterzug-Grundwerte aufeinanderfolgender Güterzüge nach den oben genannten Verfahren bestimmt, so dass angenommen werden kann, dass sich der Schienenzustand während dieser Zeit nicht wesentlich änderte.

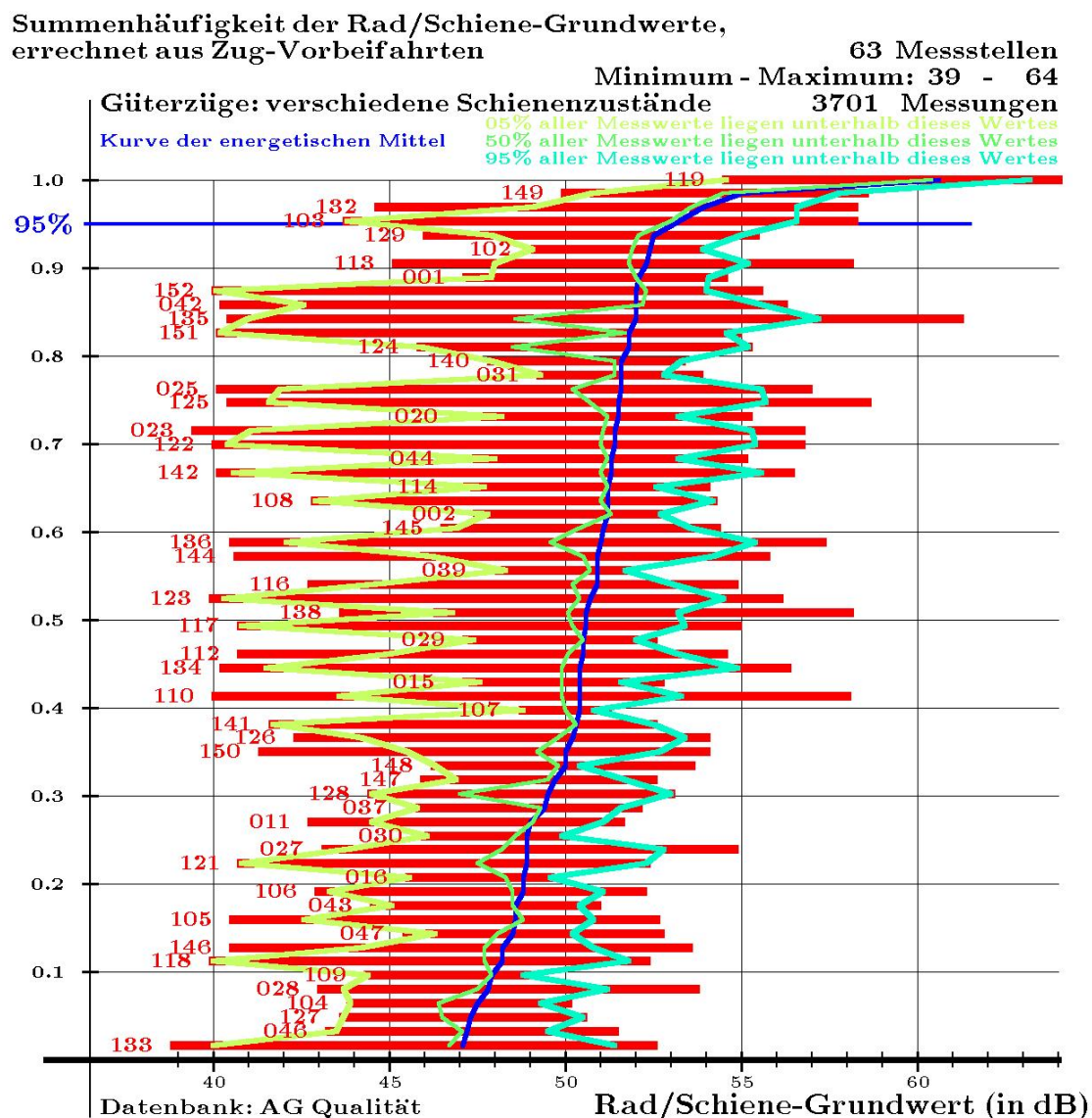


Bild 3.1: 05%- und 95%-Grenze der Güterzug-Grundwerte

Am Ort 109:  $49 \text{ dB(A)} \leq 95\text{-Grenze} \leq 57 \text{ dB(A)}$  am Ort 125

Am Ort 118:  $40 \text{ dB(A)} \leq 05\text{-Grenze} \leq 48 \text{ dB(A)}$  am Ort 102

- Aus bekannten Informationen über die globale Streuung von Güterzug-Grundwerten an 63 verschiedenen Messpunkten (siehe Bild 3.1) sollen hier allgemeingültige Extremwerte  $G_{R/S,min}$  und  $G_{R/S,max}$  bestimmt werden. Dabei wurde als „95%-Grenze der Güterzug-Grundwerte“ der Grundwert definiert, der von 95% der Güterzüge nicht überschritten wird. Entsprechend wird die „05%-Grenze der Güterzug-Grundwerte“ definiert als der Grundwert, der von 05% der Güterzüge nicht überschritten

wird.

- Darüber hinaus kann aus der Bestimmung des Mittels der lokalen Güterzug-Grundwerte  $G_{R/S,mit}$  eine lokale „charakteristische Verteilung für 20 aufeinanderfolgende Güterzug-Grundwerte“ für einen beliebigen Gleisabschnitt prognostiziert werden.

### 3.1 Globale Streuung der Güterzug-Grundwerte

Aus der Literatur sind aus Messungen an 63 Orten folgende Grenz-Grundwerte bekannt<sup>2)</sup>:

**Streuung der Grundwerte (aus der Literatur):**

Die 95%-Grenze der Güterzug-Grundwerte liegt in 95% von 63 Orten zwischen

$$49 \leq G_{R/S,max} \leq 57 \text{ dB(A)}$$

(siehe *Bild 3.1*, Minimum am Ort 109, Maximum am Ort 125)

Die 05%-Grenze der Güterzug-Grundwerte liegt in 95% von 63 Orten zwischen

$$40 \leq G_{R/S,min} \leq 48 \text{ dB(A)}$$

(siehe *Bild 3.1*, Minimum am Ort 118, Maximum am Ort 102)

### 3.2 lokale Streuung der Güterzug-Grundwerte

An einem festen Ort können für 100 Güterzüge  $Z_i$  ( $1 \leq i \leq 100$ ) jeweils die Güterzug-Grundwerte  $G_{R/S}(Z_i)$  nach (2) und (1) aus den gemessenen Vorbeifahr-Parametern berechnet und nach ihrer Größe sortiert werden.

**Streuung der Grundwerte (aus Messungen):**

Die für 95% der Güterzug-Grundwerte geltenden kleinsten und größten Grundwerte ( $G_{R/S,min}$  bzw.  $G_{R/S,max}$ ) sowie das energetische Mittel ( $G_{R/S,mit}$ ) werden aus der Messung von 100 Vorbeifahrparametern bestimmt.

<sup>2)</sup> Windelberg, Dirk: „Güterzug-Schallemissionen: Messung und gesetzliche Bewertung“. Immissionschutz, 2008 (Heft 4), Abbildungen 3 und 4.

### 3.3 Grundwerte-Prognose-Tabelle

Mit den drei Parametern  $G_{R/S,min}$ ,  $G_{R/S,mit}$  und  $G_{R/S,max}$ , von denen die beiden Extremwerte  $G_{R/S,min}$  und  $G_{R/S,max}$  aus der Literatur oder aus lokalen Messungen zu bestimmen sind und  $G_{R/S,mit}$  aus lokalen Messungen, ergibt sich die Möglichkeit, die lokale Lärmsituation realistisch abzuschätzen. Die Schwankungen der Grundwerte, die sich aus der unterschiedlichen Zusammensetzungen der Güterzüge ergeben, lassen sich mit Hilfe eines Zufallsgenerators simulieren; dadurch ergibt sich z.B. exemplarisch für 20 Güterzüge eine „Grundwerte-Prognose-Tabelle“:

Hier setzen wir

$$G_{R/S,min} = 48 \text{ dB}(A) \text{ und } G_{R/S,max} = 57 \text{ dB}(A).$$

Eine der Größe nach sortierte Tabelle von 20 Güterzug-Grundwerten kann dann wie folgt aussehen:

Bei  $G_{R/S,mit} = 51 \text{ dB}(A)$ :

48.0	48.0	48.0	48.2	48.2	48.5	48.6	48.7	49.1	49.2
49.4	49.5	49.9	50.0	50.2	50.4	50.6	51.6	56.6	57.0

*Tabelle 3.1:* Grundwerte-Prognose:  
lokale Verteilung der Grundwerte  $G_{R/S}$  für 20 Güterzüge  
bei  $G_{R/S,min} = 48 \text{ dB}(A)$ ,  $G_{R/S,mit} = 51 \text{ dB}(A)$  und  $G_{R/S,max} = 57 \text{ dB}(A)$

oder

bei  $G_{R/S,mit} = 54 \text{ dB}(A)$ :

48.0	48.2	48.3	48.7	49.1	49.4	49.5	50.6	52.2	52.7
53.6	54.8	55.0	55.2	55.4	55.6	55.7	55.7	56.9	57.0

*Tabelle 3.2:* Grundwerte-Prognose:  
lokale Verteilung der Grundwerte  $G_{R/S}$  für 20 Güterzüge  
bei  $G_{R/S,min} = 48 \text{ dB}(A)$ ,  $G_{R/S,mit} = 54 \text{ dB}(A)$  und  $G_{R/S,max} = 57 \text{ dB}(A)$

Es wird auf der Grundlage einer solchen lokalen Verteilung prognostiziert, dass die Grundwerte der jeweils zukünftigen 20 Güterzüge diese Streuung aufweisen.

## 4 Maximalpegelhäufigkeitskriterium

Folgende zwei alternative Grundbedingungen eines Maximalpegelhäufigkeitskriteriums sind entsprechenden Bestimmungen für Fluglärmbelastung entlehnt:

### 4.1 Grundbedingung A (alle Nachtstunden)

Es wird angenommen, dass die Größe eines maximalen Vorbeifahrpegels  $p_{6,N,max}$  an der Außenwand einer Wohnung bzw. an der Außenwand eines Schlafzimmers so festgelegt wird, dass

mehr als 6 Pegel  $p$  mit  $p > p_{6,N,max}$  zu irgendwelchen Zeiten  
während der 8 Nachtstunden zwischen 22 und 06 Uhr

als „unzumutbare Schlafstörung“ empfunden werden, während eine geringere Zahl zumutbar ist.

Diese Grundbedingung A ist auf jede Nacht eines Jahres anzuwenden.

## 4.2 Grundbedingung B (nächtliche Lärmpause)

Es wird angenommen, dass die Größe eines maximalen Vorbeifahrpegels  $p_{6,24-04,max}$  an der Außenwand einer Wohnung bzw. an der Außenwand eines Schlafzimmers so festgelegt wird, dass

mehr als 6 Pegel  $p$  mit  $p > p_{6,24-04,max}$  während der Zeit  
zwischen 22 und 24 Uhr oder zwischen 04 und 06 Uhr

als „unzumutbare Schlafstörung“ empfunden werden, auch wenn in der Zeit zwischen 24 und 04 Uhr kein Zug mit einem Pegel  $p$  mit  $p > p_{6,24-04,max}$  vorbeifährt.

Diese Grundbedingung B ist auf jede Nacht eines Jahres anzuwenden.

## 4.3 Bestimmung der Maximalpegel

Für jeden prognostizierten Güterzug-Grundwert aus einer Grundwerte-Prognose mit den globalen Güterzug-Grundwerten  $G_{R/S,min}$  und  $G_{R/S,max}$  sowie dem lokalen Grundwert-Mittelwert  $G_{R/S,mit}$  (wie *Tabelle 3.1*) wird mit einer Ausbreitungsrechnung die jeweilige Höhe des Immissionspegels  $I_{R/S}(außen, Z, W)$  an der Außenwand einer Wohnung  $W$  bestimmt.

Damit ergibt sich die Möglichkeit, für jeweils 20 Güterzüge die Grundwerte bei einer zukünftigen Vorbeifahrt vorauszusagen.

- Bei Annahme der Grundbedingung A:  
Wie viele Güterzüge überschritten den Grenzpegel  $p_{6,N,max}$ ?
- Bei Annahme der Grundbedingung B:  
Wie viele Güterzüge überschritten in der Zeit zwischen 22 und 24 oder in der Zeit zwischen 04 und 06 den Grenzpegel  $p_{6,24-04,max}$  und gab es Güterzüge, die in der Zeit zwischen 24 und 04 den Grenzpegel  $p_{6,24-04,max}$  überschritten?

# 5 Beispiel

## 5.1 Voraussetzungen

- V1 Ein Anlieger  $A$  an einem von Güterzügen befahrenen Schienenweg  $S$  weiß, dass nach den Fahrplänen der Bahn an diesem Schienenweg im Nacht-Jahresmittel 90 Güterzüge vorbeifahren.
- V2 Es ist bekannt, dass die Schienen auf Betonschwellen im Schotterbett verlegt wurden.
- V3 Es ist dem Anlieger bekannt, dass der aktuell gemessene lokale Güterzug-Grundwert  $G_{R/S,mit} = 51 \text{ dB}(A)$  beträgt.
- V4 Es ist aus der Literatur bekannt, dass die globalen 95% und 05%-Grenzen der Güterzug-Grundwerte  $G_{R/S,min} = 48 \text{ dB}(A)$  und  $G_{R/S,max} = 57 \text{ dB}(A)$  betragen.
- V5 Es wird angenommen, dass alle Güterzüge die gleiche Länge (500 m) und mit der gleichen Geschwindigkeit (100 km/h) fahren; damit gilt (3).
- V6 Die Wohnung  $W$  von Anlieger  $A$  liege 75 m von dem Schienenweg  $S$ , und die Ausbreitungsrechnung ergibt, dass auf Grund dieser Entfernung vom Gleis jeder Grundwert um 7 dB(A) zu reduzieren ist.

Nach Gleichung (3) und der Voraussetzung V6 ergibt sich daher für die Wohnung  $W$  von  $A$  bei der Vorbeifahrt eines Zuges  $Z_i$ :

$$I_{R/S}(Z_i, W) = G_{R/S}(Z_i) + 32 \text{ dB}(A)$$

## 5.2 Streuung der Immissionspegel

Die Grundwerte der vorbeifahrenden Güterzügen streuen im Nacht-Jahresmittel so, wie dies in der *Tabelle 3.1* der Grundwerte-Prognose angegeben ist. Daraus werden für jeden Zug  $Z_i$  die Immissionspegel  $I_{R/S}(\text{außen}, Z_i, W)$  an der Außenwand seiner Wohnung  $W$  bestimmt (hier für jeweils 20 Züge):

80.0	80.0	80.0	80.2	80.2	80.5	80.6	80.7	81.1	81.2
81.4	81.5	81.9	82.0	82.2	82.4	82.6	83.6	88.6	89.0

*Tabelle 5.1:* Vorbeifahr-Prognose:

Verteilung der Immissionspegel  $I_{R/S}(Z, W)$  für 20 Güterzüge bei  $G_{R/S, \min} = 48 \text{ dB}(A)$ ,  $G_{R/S, \text{mit}} = 51 \text{ dB}(A)$  und  $G_{R/S, \max} = 57 \text{ dB}(A)$

## 5.3 Anwendung des Maximalpegelhäufigkeitskriteriums

Für die *Grundbedingung*  $A$  sei hier  $p_{6,N, \max} = 85 \text{ dB}(A)$  angenommen.

Da hier 90 Güterzüge (nach V1) während der Nacht vorbeifahren, wird jeweils für 20 Güterzug-Vorbeifahrten gezählt, wie häufig der Immissionspegel  $I_{R/S}(Z, W)$  den Maximalpegel  $p_{6,N, \max} = 85 \text{ dB}(A)$  überschreiten würde:

Es sind jeweils 2 Überschreitungen pro 20 Vorbeifahrten prognostiziert, also bei 90 Vorbeifahrten 9 Überschreitungen. Es sind aber nur 6 Überschreitungen zulässig.

## 6 Ergebnis

Es wurde gezeigt, dass es möglich ist, auch für den nächtlichen Güterzuglärm die Anzahl der besonders lästigen und eventuell zu Aufweckreaktionen führenden Maximalpegel innerhalb jeder Nacht zu prognostizieren. In dieser Arbeit werden zwei Grundbedingungen formuliert, um die Anwendbarkeit der Grundwerte-Prognose-Tabelle in einem Beispiel demonstrieren zu können.

Eine Übertragung auf Straßenverkehrslärm ist direkt möglich.

Damit lassen sich bereits in diesem Stadium die drei Verkehrslärmarten miteinander vergleichen; die Lärmbelastung wird durch energetische Addition der Stundenpegel und durch arithmetische Addition der Anzahlen der Überschreitung ermittelt.