



# **AG Qualität**

## **FAKULTÄT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK**

Dirk Windelberg

### **Bewertung des akustischen Schienenzustandes durch den Schallmesswagen**

Erschienen in

**Immissionsschutz 11 (2006), 168-170**

**Projekt:**  
**Messung und Bewertung der Schienenrauheit**  
**bezüglich der Emissionspegel vorüberfahrender Schienenfahrzeuge**  
Februar 2004 – Januar 2007

Universität Hannover  
Telephon: +49-511-836463      Telefax: + 49-511-8386072  
<http://www.windelberg.de>  
Verantwortliche Leitung : Dr. Dirk Windelberg

## Dirk Windelberg<sup>1</sup>

### Bewertung des akustischen Schienenzustandes durch den Schallmesswagen

#### Schlagwörter

Akustischer Schienenzustand, Schallmesswagen, Mittelwertbildung bei Emissionsmessungen, besonders überwachtes Gleis, durchschnittlicher Schienenzustand, Qualitätskontrolle von Schienen

#### Kurztext

Zur Zeit wird der akustische Schienenzustand eines Gleises mit Hilfe des Schallmesswagens der  $dB$  bestimmt. Der Schallmesswagen misst bei Geschwindigkeiten zwischen 80 und 200  $km/h$  den ( $A$ -bewerteten) Pegel, der von einem Mikrofon über einem Drehgestell des Wagens empfangen wird. Der Zusammenhang zwischen

- der Rauheit der beiden Schienen eines Gleises und
- der Emission eines Schienenfahrzeugs, das diese beiden Schienen befährt

hängt von vielen unbestimmten Parametern aus dem Zusammenwirken von Rad, Schiene und Oberbau ab. Bisher wurde jedoch weder ein allgemeingültiges Mittelungsverfahren

- für die verschiedenen Radrauigkeiten der einzelnen Räder eines Schienenfahrzeugs
- noch für die verschiedenen Rauigkeiten der beiden Schienen eines Gleises

gefunden.

In dieser Arbeit ein fester Ort mit 20 Messpunkten betrachtet, an dem der Schallmesswagen nach einem akustischen Schleifen zu mehreren verschiedenen Zeiten den Schienenzustand gemessen hat. Es wird angegeben, wie die Messdaten auszuwerten sind, um den „mittleren Schienenzustand“ an diesem Ort für die Zeit nach dem letzten Schleifen zu bestimmen.

Dieser mittlere Schienenzustand soll bei einem BüG stets unterhalb von  $48 \text{ dB}(A)$  und bei einem durchschnittlich guten Gleis stets unterhalb von  $51 \text{ dB}(A)$  bleiben – andernfalls können die durch die Rauigkeit des Gleises verursachten Emissionen unzulässigen Lärm verursachen.

---

<sup>1</sup> Dr. Dirk Windelberg bis 2008 Leiter der AG Qualität in der Fakultät für Mathematik und Physik der Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover

## 1. Zusammenfassung

Alle Gleise verriffeln infolge ihrer Nutzung – einige verriffeln schneller und andere verriffeln langsamer. Da die Verriffelung im allgemeinen beim Überfahren durch Schienenfahrzeuge zu einer Erhöhung der Schallemissionen von dem Gesamtsystem „Rad/Schiene“ führt, kann die Verriffelung zu Überschreitungen von Lärm-Grenzwerten führen, wenn Gleise nicht gepflegt werden (siehe [2]).

Um Kosten für hohe Lärmschutzwände zu sparen, wurden „Besonders überwachte Gleise“ („BüG“) eingeführt: zur Zeit sind etwa 3600 km BüG des Streckennetzes der DB (von etwa 65000 km). Nur die BüG werden akustisch überwacht.

Nach der BüG-Verfügung [1] ist ein BüG wie folgt definiert:

1. Das Gleis wird akustisch geschliffen.
2. Nach jeweils 6 Monaten wird der Schienenzustand (der beiden befahrenen Schienen) durch den Schallmesswagen (SMW) der Bahn gemessen: Während der Fahrt des SMW wird an vielen Messpunkten jeweils der A-bewertete Pegel an einem über einem Drehgestell des SMWs angebrachten Mikrofon gemessen. Ein besonderes Umrechnungsverfahren erlaubt es, aus diesem Mikrofonpegel den Schienenzustand zu bestimmen.
3. Nach jeder Messung des Schienenzustandes durch den SMW wird berechnet, ob es einen Streckenabschnitt gibt, der innerhalb der folgenden 12 Monate geschliffen werden muss, denn dann müsste der Schleifzug bestellt werden. Für ein BüG ist ein erneutes (akustisches) Schleifen erforderlich, wenn der „mittlere Schienenzustand“ zwischen zwei Schleifterminen den Wert von 48 dB(A) erreicht.

Diese Arbeit beschreibt die stufenweise Berechnung des mittleren Schienenzustandes aus den einzelnen Messdaten des SMW, wobei der SMW-Pegel als Maß für den Schienenzustand verwendet wird.

Dazu wird ein Gleisabschnitt  $G$  betrachtet, auf dem wir uns 20 Messpunkte vorstellen und der akustisch geschliffen wurde.  $m_1$  Monate nach diesem Schliff wird durch den SMW das erste Mal nach dem Schleifen der Schienenzustand gemessen, indem an jedem der 20 Messpunkte jeweils ein SMW-Pegel bestimmt werden.  $m_2$  Monate nach dem Schliff werden dann zum zweiten Male an diesen Messpunkten des Gleisabschnittes  $G$  die SMW-Pegel bestimmt u.s.w..

Hier werden die Ergebnisse der ersten drei Fahrten des SMW numerisch und graphisch angegeben, und für jede dieser drei Fahrten wird jeweils ein mittlerer Pegel  $p_G(1)$ ,  $p_G(2)$  bzw.  $p_G(3)$  zur Beschreibung des Schienenzustandes nach  $m_1$ ,  $m_2$  bzw.  $m_3$  Monaten auf dem Gleisabschnitt  $G$  bestimmt.

In dem zweiten Teil dieses Berichtes wird der mittlere Schienenzustand seit dem letzten Schleifen aus den in einer Tabelle zusammengefassten SMW-Daten berechnet.

- Wenn der Mittelwert grösser ist als 48 dB(A), dann ist dieser Gleisabschnitt zu diesem Zeitpunkt kein "BüG" mehr, da es bereits vor Erreichen dieses Mittelwertes (akustisch) geschliffen sein müsste.
- Wenn der Mittelwert grösser ist als 51 dB(A), dann ist dieser Gleisabschnitt auch kein planfestgestelltes "Nicht-BüG" mehr, da die Berechnung nach der Schall 03 einen „durchschnittlich guten Schienenzustand“ voraussetzt und dieser dadurch definiert ist, dass der zeitliche Mittelwert zwischen den Schleifterminen geringer ist als 51 dB(A) und daher das Gleis bereits vor Erreichen dieses Mittelwertes geschliffen werden

müsste. (Für ein planfestgestelltes Nicht-BüG ist die DB Netz nicht verpflichtet, zu irgendeinem Zeitpunkt den akustischen Schienenzustand zu bestimmen. Daher ist es für einen Anwohner an einer solchen Strecke notwendig, die hier für die Berechnung des Schienenzustandes erforderlichen Daten selbst zu ermitteln.)

- Wenn das Gleis weder ein BüG noch ein planfestgestelltes Gleis ist, dann ist nach einem alten Bestandsrecht die Bahn nicht verpflichtet, den akustischen Schienenzustand in irgendeiner Form zu pflegen.

## 2. Ergebnisse von SMW-Messungen

Es werden 20 (zusammenhängende) Messpunkte auf einem festgelegten Gleisabschnitt  $G$  an einem festen Ort ausgewählt. Für diesen Gleisabschnitt sind in der Tabelle 1 an drei Messterminen jeweils die SMW-Pegel angegeben. Der SMW-Pegel ist das Maß für den Schienenzustand.

	Schleif-termin	i=1	i=2	i=3
Monat/Jahr	Feb 2004	Jun 2004	Dez 2004	Aug 2005
Anzahl Monate nach Schleiftermin	$m_0=0$	$m_1=4$	$M_2=10$	$m_3=18$
MP 1		44.3	44.8	46.8
MP 2		44.8	47.6	47.5
MP 3		46.0	47.6	49.8
MP 4		48.2	47.2	50.0
MP 5		44.0	47.4	50.0
MP 6		40.1	49.6	48.8
MP 7		39.0	46.5	49.6
MP 8		40.0	44.9	50.0
MP 9		40.3	43.8	52.0
MP 10		41.2	42.8	45.8
MP 11		41.3	43.1	44.7
MP 12		41.8	44.2	45.8
MP 13		42.4	44.4	47.4
MP 14		43.2	44.6	46.2
MP 15		43.0	44.8	46.0
MP 16		43.0	44.4	47.4
MP 17		43.4	44.3	48.4
MP 18		43.0	45.5	49.0
MP 19		43.2	45.7	48.2
MP 20		43.8	45.6	47.4

Tabelle 1: Messdaten des SMW am Gleisabschnitt  $G$

Für diesen Gleisabschnitt  $G$  wollen wir zu jedem Messtermin die 95%-Grenze  $p_G(i)$  bestimmen; das ist (wegen der 20 gemessenen Pegel) der zweithöchste SMW-Pegel.

Der erste Messtermin ( $i=1$ ) nach dem Schleifen liegt 4 Monate nach dem letzten Schleiftermin. Zu diesem Zeitpunkt ist an 95% der 20 Messpunkte (also an 19 Messpunkten) der gemessene Pegel niedriger als der am Messpunkt  $MP 3$  gemessene SMW-Pegel von 46.0  $dB(A)$ . Also ist  $p_G(1) = 46.0 \text{ dB}(A)$ . Entsprechend ist

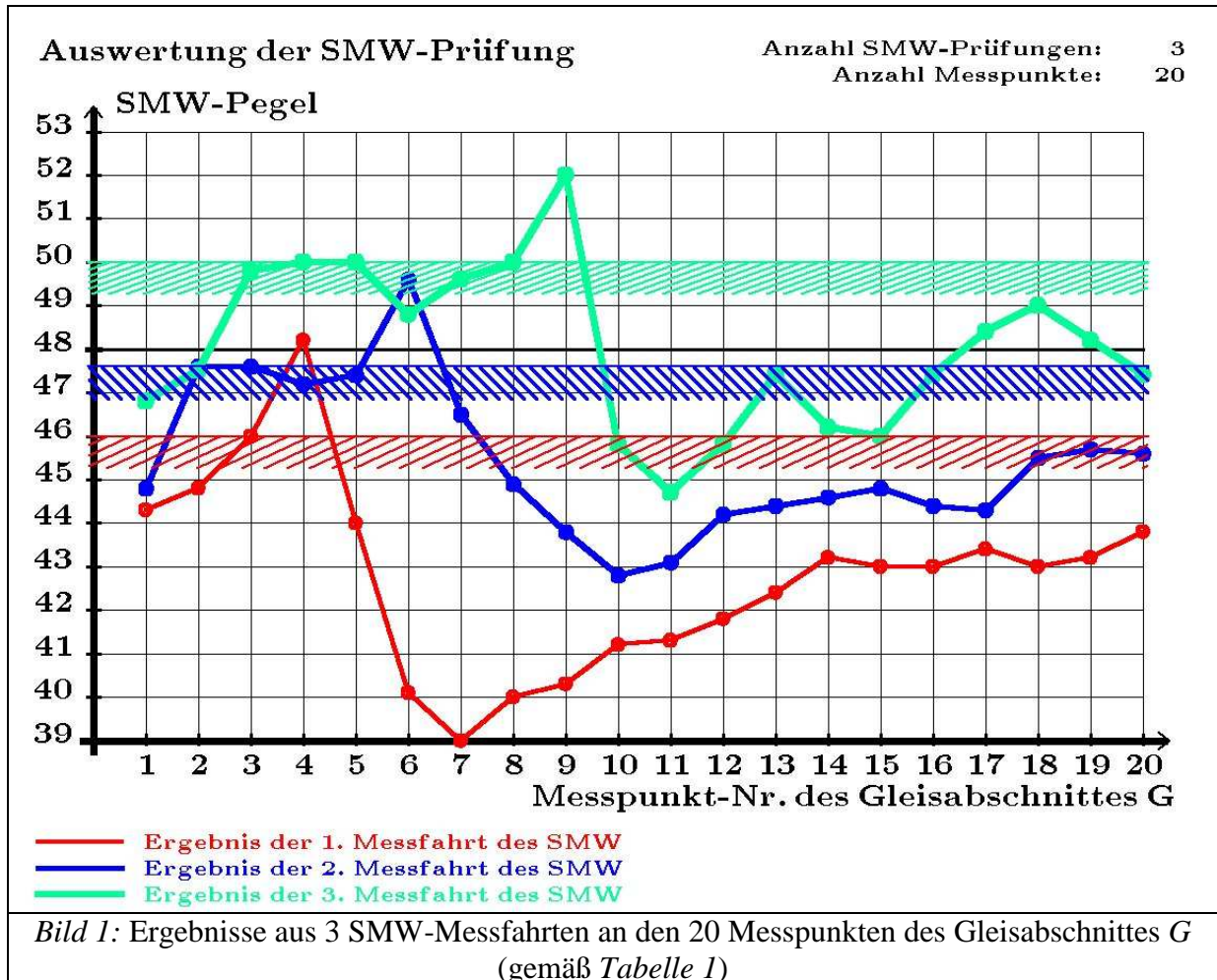
Anzahl Monate nach Schleiftermin	$m_1=4$	$m_2=10$	$m_3=18$
SMW-Pegel des Gleisabschnittes	$p_G(1) = 46.0 \text{ dB}(A)$	$p_G(2) = 47.6 \text{ dB}(A)$	$p_G(3) = 50.0 \text{ dB}(A)$

Tabelle 2: Ergebnis der Messdaten-Auswertung von Tabelle 1

Es gilt dann allgemein die Aussage:

95% der gemessenen Pegel liegen jeweils für jeden Messtermin  $i$  unterhalb  $p_G(i)$

Das Ergebnis dieser Betrachtungen lässt sich wie folgt graphisch darstellen:



### 3 BüG-Prüfung

#### 3.1 Auswertung der drei SMW-Fahrten

##### 3.1.1 arithmetisch Mittelung

Da keine weiteren Informationen über den Schienenzustand vorliegen, wird angenommen, dass während der ersten 4 Monate nach dem Schleifen der Pegel  $p_G(1) = 46.0 \text{ dB(A)}$  galt.

Also beträgt der „mittlere arithmetische Pegel“  $\Sigma_a(1)$  für die ersten 4 Monate nach dem Schleifen

$$\Sigma_a(1) = 46.0 \text{ dB(A)}$$

Während der folgenden 6 Monate gilt „im Mittel“ das arithmetische Mittel von  $p_G(1)$  und  $p_G(2)$ :

$$M_a[p_G(1), p_G(2)] = \frac{1}{2} \cdot [46.0 + 47.6] = 46.8 \text{ dB(A)}$$

Da für die ersten 4 Monate der mittlere Pegel  $p_G(1) = 46.0 \text{ dB(A)}$  und für die folgenden 6 Monate der mittlere Pegel  $M_a[p_G(1), p_G(2)] = 46.8 \text{ dB(A)}$  betrug, beträgt der „mittlere arithmetische Pegel“  $\Sigma_a(2)$  für die ersten 4+6=10 Monate

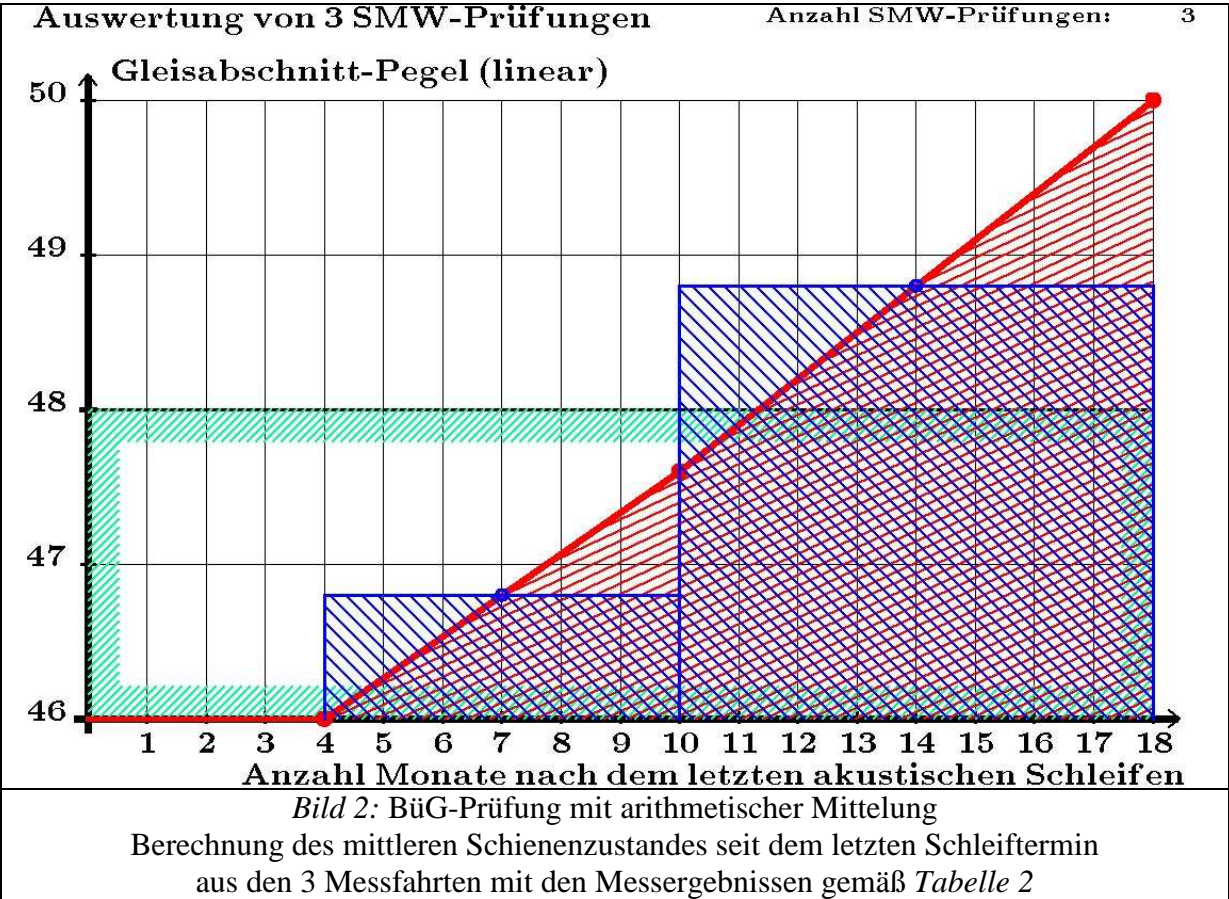
$$\Sigma_a(2) = \frac{4}{10} \cdot 46.0 + \frac{6}{10} \cdot 46.8 = 46.5 \text{ dB(A)}$$

Während der folgenden 8 Monate gilt „im Mittel“ das arithmetische Mittel von  $p_G(2)$  und  $p_G(3)$ :

$$M_a[p_G(2), p_G(3)] = \frac{1}{2} \cdot [47.6 + 50.0] = 48.8 \text{ dB(A)}$$

Dann beträgt der „mittlere arithmetische Pegel“  $\Sigma_a(3)$  für die ersten 4+6+8=18 Monate

$$\Sigma_a(3) = \frac{4}{18} \cdot 46.0 + \frac{6}{18} \cdot 46.8 + \frac{8}{18} \cdot 48.8 = 47.5 \text{ dB(A)}$$



### 3.1.2 energetische Mittelung

Da keine weiteren Informationen über den Schienenzustand vorliegen, wird angenommen, dass während der ersten 4 Monate nach dem Schleifen der Pegel  $p_G(1) = 46.0 \text{ dB(A)}$  galt.

Daher beträgt der „mittlere energetische Pegel“  $\Sigma_e(1)$  für die ersten 4 Monate nach dem Schleifen

$$\Sigma_e(1) = 46.0 \text{ dB(A)}$$

Während der folgenden 6 Monate gilt „im Mittel“ das energetische Mittel von  $p_G(1)$  und  $p_G(2)$ :

$$M_e[p_G(1), p_G(2)] = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{2} \cdot (10^{0.1 \cdot 46.0} + 10^{0.1 \cdot 46.9}) \right] = 46.9 \text{ dB(A)}$$

Daher beträgt der „mittlere energetische Pegel“  $\Sigma_e(2)$  für die ersten 4+6=10 Monate

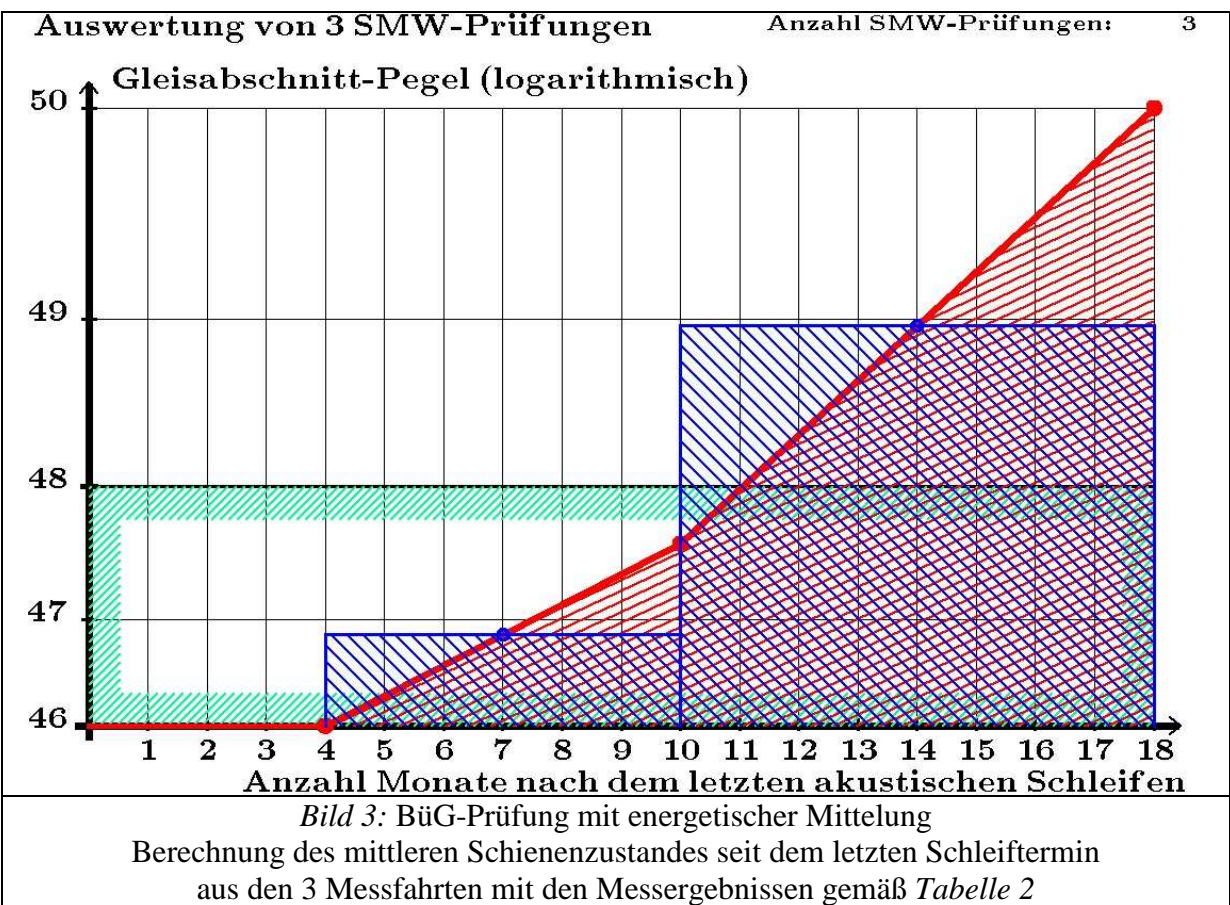
$$\Sigma_e(2) = 10 \cdot \lg \left[ \frac{4}{10} \cdot 10^{0.1 \cdot 46.0} + \frac{6}{10} \cdot 10^{0.1 \cdot 46.9} \right] = 46.5 \text{ dB(A)}$$

Während der folgenden 8 Monate gilt „im Mittel“ das energetische Mittel von  $p_G(2)$  und  $p_G(3)$ :

$$M_e[p_G(2), p_G(3)] = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{2} \cdot (10^{0.1 \cdot 47.6} + 10^{0.1 \cdot 50.0}) \right] = 49.0 \text{ dB(A)}$$

Also beträgt der „mittlere energetische Pegel“  $\Sigma_e(3)$  für die ersten 4+6+8=18 Monate

$$\Sigma_e(3) = 10 \cdot \lg \left[ \frac{4}{18} \cdot 10^{0.1 \cdot 46.0} + \frac{6}{18} \cdot 10^{0.1 \cdot 46.9} + \frac{8}{18} \cdot 10^{0.1 \cdot 49.0} \right] = 47.8 \text{ dB(A)}$$



### 3.2 Prognose

Zwischen den letzten beiden Messfahrten des SMWs, also hier zwischen der zweiten und der dritten Messfahrt, liegen  $m_3 - m_2 = 8$  Monate, und während dieser Zeit verschlechterte sich der Schienenzustand

- bei arithmetischer Mittelung um  $\Sigma_a(3) - \Sigma_a(2) = 47.5 - 46.5 = 1.0 \text{ dB(A)}$  auf  $\Sigma_a(3) = 47.5 \text{ dB(A)}$
- bei energetischer Mittelung um  $\Sigma_e(3) - \Sigma_e(2) = 47.8 - 46.5 = 1.3 \text{ dB(A)}$  auf  $\Sigma_e(3) = 47.8 \text{ dB(A)}$

Folglich wird angenommen, dass der mittlere Schienenzustand den BüG-Grenzwert von  $48 \text{ dB(A)}$

- bei arithmetischer Mittelung nach  $n_a = \frac{0.5}{1.0} \cdot 8 = 4.0 \text{ Monaten}$
- bei energetischer Mittelung nach  $n_e = \frac{0.2}{1.3} \cdot 8 = 1.2 \text{ Monaten}$

erreicht, d.h. der Gleisabschnitt  $G$  muss innerhalb der nächsten 4.0 bzw. 1.2 Monate akustisch geschliffen werden.

### 3.3 Allgemeine Formel zur Berechnung des energetischen Mittels

Wir beginnen unsere Rechnung mit dem Termin des letzten durchgeführten akustischen Schleifens. Dieser Termin sei der Monat  $m_0$  und das Jahr  $j_0$ .

Es werden die Monate  $m(i)$  des  $i$ -ten Messtermins nach dem Schleiftermin gezählt.

Für die Zeit zwischen den Messterminen  $m(i-1)$  und  $m(i)$  wird das energetische Mittel berechnet

$$M_e[p(i-1), p(i)] = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{2} \cdot (10^{0.1 \cdot p(i-1)} + 10^{0.1 \cdot p(i)}) \right]$$

und mit diesem kann nach  $n$  Messterminen der mittlere Schienenzustand berechnet werden:

$$\Sigma_e(n) = 10 \cdot \lg \left[ \sum_{i=1}^n \frac{m(i) - m(i-1)}{m(n)} \cdot 10^{0.1 \cdot M_e[p(i-1), p(i)]} \right]$$

## 4 Ergebnis

Es wurde gezeigt, dass auf einem Gleisabschnitt  $G$

- für ein BüG aus den Daten des SMW
  - für ein planfestgestelltes Nicht-BüG aus den selbst ermittelten Daten eines Anwohners
- der „mittlere arithmetische Schienenzustand“ oder der „mittlere energetische Schienenzustand“ von  $G$  seit dem letzten Schleifen berechnet werden kann. Die arithmetische Mittelung führt zu einer höheren Belastung der Anwohner als die energetische Mittelung.

Falls der Gleisabschnitt  $G$  in dem oben angegeben Beispiel zu einem BüG gehört, könnte ein Anlieger an diesem Gleisabschnitt vom EBA die Auskunft erhalten, dass der mittlere (energetische) Schienenzustand seit dem letzten Schleiftermin  $47.8 \text{ dB(A)}$  beträgt und dass daher innerhalb der nächsten 1.2 Monate die Gleise akustisch geschliffen werden (falls sich die Streckenbelastung während dieser Zeit nicht wesentlich ändert).



### **Literatur**

[1] EBA-Verfügung Pr. 110 vom 16.03.998. Lärmschutz: Pegelabschlag für das „Besonders überwachte Gleis“ („BüG“) gemäß Fußnote zur Tabelle C (Korrekturglied  $D_{Fb}$  der Anlage 2 zu § 3 der 16. BImSchV. Verfügung zum Lärmschutz an Schienenwegen - Vollzug der Fußnote der Tabelle a.a.O.

[2] Windelberg, D.: Lärmbelastung durch ungepflegte Gleise. Immissionsschutz **5** (2000), 134-140.

(Ein einfaches Programm zur Berechnung des mittleren Schienenzustandes seit dem letzten Schleifen kann jederzeit kostenlos vom Autor bezogen werden.)