Dr. Dirk Windelberg

AG QUALITÄT
Leibniz Universität Hannover
Mathematik

8. Dezember 2005
wi51208

Von Messergebnissen zur Beurteilung des Schienenzustandes

1 Zusammenfassung

Alle Gleise verriffeln infolge ihrer Nutzung. Da die Verriffelung im allgemeinen zu einer Erhöhung Schallemissionen führt, kann es zu Überschreitungen von Lärm-Grenzwerten führen, wenn Gleise nicht gepflegt werden (siehe [2]: Lärmbelastung durch ungepflegte Gleise).

Um Kosten für hohe Lärmschutzwände zu sparen, wurden „Besonders überwachte Gleise“ (“BüG“) eingeführt: zur Zeit sind etwa 3600 km BüG. Nur diese Gleise werden akustisch überwacht: Nach der BüG-Verfügung [1] ist ein BüG-Gleis 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 sehr vielen Messpunkten der SMW-Pegel[1]) gemessen.
3. Wenn der <u>Mittelwert</u> aller SMW-Pegel nach dem letzten Schleiftermin den Wert von 48 $dB(A)$ erreicht, muss erneut (akustisch) geschliffen werden.

Hier wird ein Gleisabschnitt G betrachtet, auf dem wir uns 20 Messpunkte vorstellen. Dieser Gleisabschnitt wurde geschliffen. Nach m_1 Monaten durch den SMW das erste Mal nach dem Schleifen der Schienenzustand gemessen, indem an diesen 20 Messpunkten der SMW-Pegel bestimmt wurde. m_2 Monate nach dem Schliff werden dann zum zweiten Male an diesen Messpunkten des Gleisabschnittes G die SMW-Pegel bestimmt u.s.w.. Die Ergebnisse der ersten drei Fahrten des SMW werden numerisch und graphisch angegeben, und für jede dieser drei Fahrten wird jeweils ein 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.

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

In dem zweiten Teil dieses Berichtes wird der Mittelwert des Schienenzustandes seit dem letzten Schleifen aus den o.g. Daten berechnet.

- Wenn dieser grösser ist als 48 $dB(A)$, dann ist dieser Gleisabschnitt kein „BüG“ mehr, da es breits vorher erneut wieder (akustisch) geschliffen sein müsste.
- wenn dieser grösser ist als 51 $dB(A)$, dann ist dieser Gleisabschnitt auch kein planfestgestelltes „Nicht-BüG“ mehr, da es breits vorher erneut wieder geschliffen sein müsste. Nach einem alten Bestandsrecht ist dann die Bahn nicht verpflichtet, den (akustischen) Schienenzustand in irgendeiner Form zu pflegen.

[1]) Als „SMW-Pegel“ wird hier der gemessene Stundenpegel des SMW bezeichnet.

2 Ergebnisse von SMW-Messungen

Wir wählen vereinfacht 20 (zusammenhängende) Messpunkte auf einem festgelegten Gleisabschnitt (von z.B. 1 m Länge) an einem festen Ort. Für diesen Gleisabschnitt wollen wir untersuchen, wie sich die SMW-Pegel verändern:

	Schleif-termin	Messwerte SMW-Fahrt		
		$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
Monat/Jahr	02/2000	06/2000	12/2000	08/2001
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
$p_G(i)$		46.0	47.6	50.0

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. Es gilt dann die Aussage: 95% aller gemessenen Pegel liegen jeweils für jedes i unterhalb $p_G(i)$.

Zusammenfassend betrachten wir also für diesen Gleisabschnitt folgende Messwerte:

Anzahl Monate nach Schleiftermin	$m_1 = 4$	$m_2 = 10$	$m_3 = 18$
SMW-Pegel des Gleisabschnittes	$G(1) = 46.0$	$p_G(2) = 47.6$	$p_G(3) = 50.0$

Tabelle 2: Ergebnis der Messdaten-Auswertung von *Tabelle 1*

Das Ergebnis dieser Betrachtungen läßt sich wie folgt graphisch darstellen:

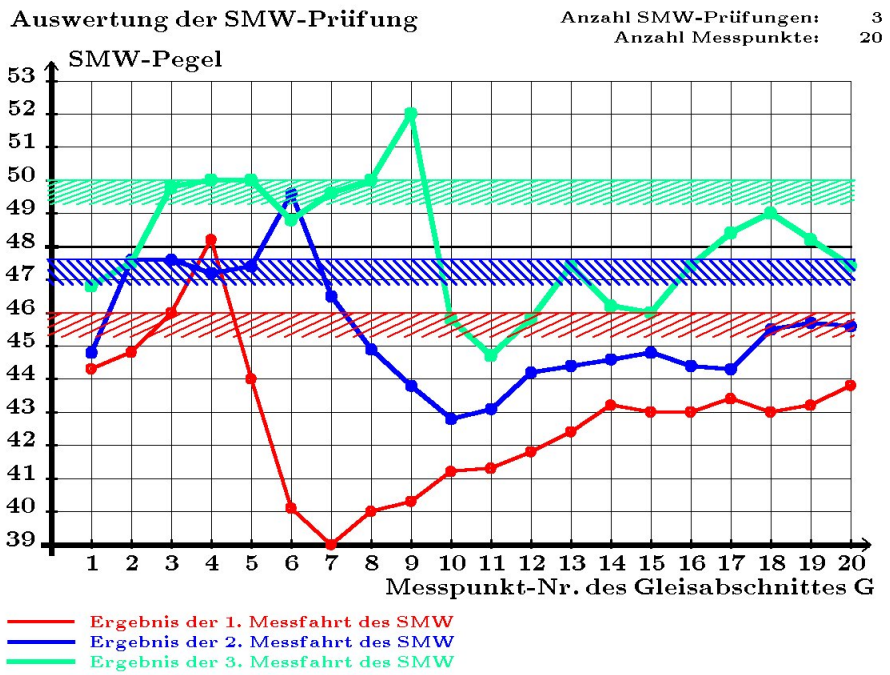

Bild 1: Nach dem Neuschliff des Gleisabschnittes G mit 20 Messpunkten ergaben sich die obigen Messwerte
rot: Messergebnisse der ersten Messfahrt des SMW nach dem Schleifen
blau: Messergebnisse der zweiten Messfahrt des SMW nach dem Schleifen
grün: Messergebnisse der dritten Messfahrt des SMW nach dem Schleifen

3 BüG-Prüfung

3.1 3 SMW-Fahrten

1. Während 4 Monaten gilt der Pegel $p_G(1) = 46.0$.
   Also beträgt der mittlere Pegel $\Sigma_e(1)$ für die ersten 4 Monate nach dem Schleifen
   $$\boxed{\Sigma_e(1) = 46.0\,dB(A)}$$

2. Während der folgenden 6 Monate gilt „im Mittel“ das energetische Mittel von $p_G(1)$ und $p_G(2)$: $M_e(p_G(1), p_G(2)) = 10 \cdot \lg\left[\frac{1}{2} \cdot (10^{0.1 \cdot 46.0} + 10^{0.1 \cdot 47.6})\right] = 46.9$

   Also beträgt der mittlere Pegel $\Sigma_e(2)$ für die ersten 4+6=10 Monate
   $$\boxed{\Sigma_e(2) = 10 \cdot \lg\left[\frac{4}{10} \cdot 10^{0.1 \cdot 46.0} + \frac{6}{10} \cdot 10^{0.1 \cdot 46.9}\right] = 46.5\,dB(A)}$$

3. Während der folgenden 8 Monate gilt „im Mittel“ das energetische Mittel $p_G(2)$ und $p_G(3)$: $M_e(p_G(2), p_G(3)) = 10 \cdot \lg\left[\frac{1}{2} \cdot (10^{0.1 \cdot 47.6} + 10^{0.1 \cdot 50.0})\right] = 49.0$

   Also beträgt der mittlere Pegel $\Sigma_e(3)$ für die ersten 4+6+8=18 Monate
   $$\boxed{\Sigma_e(3) = 10 \cdot \lg\left[\frac{4}{18} \cdot 10^{0.1 \cdot 46.0} + \frac{6}{18} \cdot 10^{0.1 \cdot 46.9} + \frac{8}{18} \cdot 10^{0.1 \cdot 49.0}\right] = 47.8\,dB(A)}$$

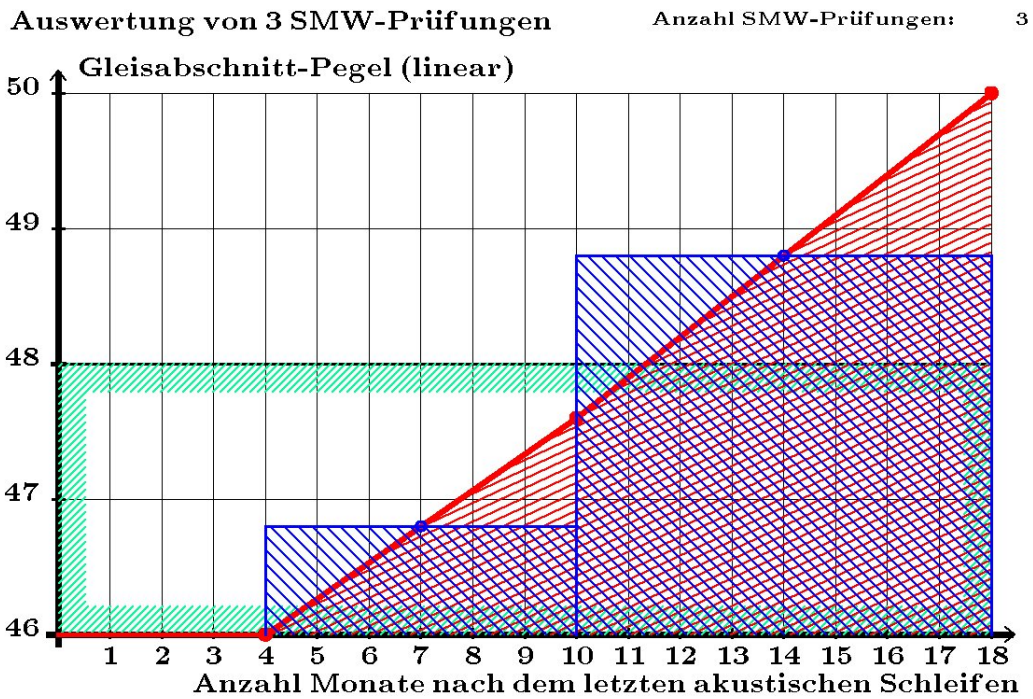

Bild 2: BüG-Prüfung mit energetischer Mittelung
Berechnung des Mittelungspegels seit dem letzten Schleiftermin
aus den 3 Messfahrten mit den Messergebnissen
gemäß *Tabelle 2*

3.2 Prognose

Zwischen der zweite und der dritten Messfahrt des SMW liegen $m_3 - m_2 = 8$ Monate, und während dieser Zeit änderte sich der mittlere Schienenzustand um $\Sigma_e(3) - \Sigma_e(2) = 47.8 - 46.5 = 1.3$ auf $\Sigma_e(3) = 47.8$. Folglich ist anzunehmen, dass der mittlere Schienenzustand den Grenzwert 48 nach

$$\boxed{n_g = \frac{0.2}{1.3} \cdot 8 = 1.2 \text{ Monaten}}$$

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

3.3 n SMW-Fahrten

Wir definieren $m_0 := 0$ und $p_G(0) := p_G(1)$. Dann können wir bei n Messfahrten des SMW (mit $n > 1$) den mittleren Pegel $\Sigma_e(n)$ berechnen:

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

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

4 Ergebnis

Es wurde gezeigt, dass für einen Gleisabschnitt G

- für ein BüG aus den Daten des SMW
- für ein planfestestelltes Nicht-BüG aus den selbst ermittelten Daten eins Anwohners

der mittlere Schienenzustand von G seit dem letzten Schleifen berechnet werden kann: er beträgt in dem angegeben Beispiel seit dem letzten Schleiftermin $47.8\,dB(A)$. Aus einfacher Rechnung konnte ferner prognostiziert werden, dass dieser Mittelwert in 1.2 Monaten auf $48\,dB(A)$ ansteigt, wenn die Streckenbelastung sich nicht wesentlich ändert.

Damit ist gezeigt, dass es Rechenverfahren gibt, um den mittleren Schienenzustand eines Gleisabschnittes zu berechnen.

Literatur

[1] EBA-Verfügung Pr.1110 vom 16.03.1998. Lärmschutz: Pgelabschlag 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.

Beispiele

Anzahl Monate nach Schleiftermin	$m_1 = 4$	$m_2 = 10$	$m_3 = 18$
SMW-Pegel des Gleisabschnittes	$p_G(1) = 46.0$	$p_G(2) = 47.6$	$p_G(3) = 50.0$
SMW-Pegel Mittelwert	$M_e(p_G(1)) = 46.0$	$M_e(p_G(1), p_G(2)) = 46.9$	$M_e(p_G(2), p_G(3)) = 49.0$

Tabelle 3: Ergebnis der Messdaten-Auswertung von *Tabelle 2*

Damit ergibt sich nach 10 Monaten: Der Mittelungspegel beträgt $46.54\,dB(A)$, und bis zum Erreichen von eines Mittelungspegels von $47.00\,dB(A)$ würde es noch 5 Monate dauern, wenn die Verrifelungs-Geschwindigkeit gleich bleibt.

Damit ergibt sich nach 18 Monaten: Der Mittelungspegel beträgt $47.5\,dB(A)$, und bis zum Erreichen von eines Mittelungspegels von $48.00\,dB(A)$ würde es noch 1 Monat dauern, wenn die Verrifelungs-Geschwindigkeit gleich bleibt.