



AG Qualität

FACHBEREICH MATHEMATIK

Dirk Windelberg

Theorie der Gleispflege

erschienen in: Immissionsschutz 7 (2002), 4-8

Diese Veröffentlichung erscheint im Rahmen des Projektes
„Untersuchung zur Gleispflege bezüglich einer Bonusregelung für besondere Pflege“
(1.4.98 – 3.1.2000)

AG Qualität im Fachbereich Mathematik
Universität Hannover, Welfengarten 1, D - 30167 Hannover
Telephon: +49-511-762-3336 oder -3337 Telefax: + 49-511-8386072
<http://im-03.iw.uni-hannover.de>
Verantwortliche Leiter: Dr. Dirk Windelberg

Dirk Windelberg

Theorie der Gleispflege

Schlagwörter

Besonders überwachtetes Gleis, Gleispflege, Lärmstatistik, Maximalpegel, Mittelungspegel, Schienenschleifen.

Kurztext

Zwischen der Lärmentwicklung durch Schienenverkehr und dem Schienenzustand der Gleise besteht ein enger Zusammenhang. Um die Schallemissionen vorbeifahrender Züge berechnen zu können, wird nach der *16.BImSchV* ein *durchschnittlich guter Schienenzustand* vorausgesetzt: Für Gleise in diesem Zustand bilden die berechneten Schallemissionen eine obere Grenze der realen Schallemissionen. Wenn die Gleise jedoch stärker als verriffeln, so überschreiten die Schallemissionen die berechneten Grenzen. Sie müssen dann geschliffen werden.

Hier werden die theoretischen Grundlagen für eine Gleispflege nach der *16.BImSchV* entwickelt und – im Anhang A - an einem Beispiel demonstriert.

Im Anhang B wird zur Begründung des hier verwendeten Maximalpegels gezeigt, daß der Mittelungspegel keine juristische Aussage zum Schienenzustand zuläßt.

D.Windelberg

Theorie der Gleispflege¹

Zusammenfassung

Die „Theorie der Gleispflege“ beschäftigt sich mit der durchschnittlichen Gleispflege: Es wird in einer mathematischen Simulation dargestellt, wie sich in der Zeit zwischen zwei Schleifterminen der Schienenzustand infolge einer Verriffelung der Gleise verschlechtert und damit die Lärmbelastung zunimmt. Es werden am Beispiel einer mathematisch beschriebenen Verriffelungskurve ein „Eingriffswert“ und eine „Eingriffszeit“ definiert, wobei bei Überschreitung des Eingriffswertes der Schleifzug bestellt werden muß, der spätestens nach der Eingriffszeit die Schienen wieder neu schleift.

Für die Berechnung der Lärmbelastung wird in der *16.BImSchV* ([1]) ein „Grundwert“ eingeführt, der – bei einem „durchschnittlich guten Schienenzustand (*dgS*)“ – $51 \text{ dB}(A)$ betragen darf, wenn die gemessenen Schallemissionen durch die gerechneten begrenzt werden sollen.

Hier wird dargestellt, daß der Wert von $51 \text{ dB}(A)$ ein Maximalwert² ist, der nicht überschritten werden darf. Daher wird in dem hier betrachteten Beispiel dargestellt, wie die Schleifzyklen zu bestimmen sind, damit die berechnete Lärmbelastung nicht infolge zu starker Schienen-Verriffelung von der gemessenen Lärmbelastung überschritten wird.

Wird ein Gleis nicht gepflegt, d.h. wird erst so spät geschliffen, daß ein Grundwert auf $(51+y) \text{ dB}(A)$ gemessen wird, so wird hier ein „Gleispflegezuschlag (*GPZ*)“ von $y \text{ dB}(A)$ eingeführt: Die nach der *16.BImSchV* berechneten Emissionswerte sind jeweils um $y \text{ dB}(A)$ zu erhöhen.

Wird ein Gleis besonders gepflegt, d.h. wird bereits geschliffen, wenn jeder Grundwert unterhalb von $(51-x) \text{ dB}(A)$ liegt, so wird hier ein „Gleispflegeabschlag (*GPA*)“ von $x \text{ dB}(A)$ eingeführt: Die nach der *16.BImSchV* berechneten Emissionswerte sind jeweils um $x \text{ dB}(A)$ zu erniedrigen.

Der Anhang enthält eine Analyse einer Prüfung des Schienenzustandes durch die Bahn sowie deren Protokollierung und – in einem zweiten Teil – eine Begründung zur Wahl des Maximalpegels.

¹ Diese Veröffentlichung erscheint im Rahmen des Projektes „*Untersuchung zur Gleispflege bezüglich einer Bonusregelung für besondere Pflege*“ (1.4.98 – 3.1.2000) der AG Qualität im Fachbereich Mathematik der Universität Hannover.

² die in der *16.BImSchV* als Grundwert gewählten $51 \text{ dB}(A)$ sind dort nicht ausdrücklich als Maximalwert, aber auch nicht als Mittelwert oder Minimalwert angegeben. Im zweiten Teil des Anhangs wird begründet, daß nur der Maximalwert eine sinnvolle Bestimmungsgröße darstellt.

Theorie der Gleispflege

Modellierung der Verriffelung

Für eine einfache mathematische Modellierung der zeitlichen Veränderung des Schienenzustandes sind Randbedingungen notwendig: Hier wird angenommen, daß die Gleise folgende Verriffelungs-Eigenschaften besitzt:

Annahmen zur Verriffelung der Gleise

- (1) nach einem Neuschliff beträgt die Riffelzeit 0 und der Grundwert $N \text{ dB}(A)$.
- (2) bei Riffelzeit 10 verschlechtert sich der Neuschliff-Grundwert N um $1.5 \text{ dB}(A)$ auf $(N+1.5) \text{ dB}(A)$.
- (3) Wenn die Gleise nicht geschliffen werden, so erreicht der Grundwert mit der Riffelzeit 200 den Wert von $(N+20) \text{ dB}(A)$, d.h. er verschlechtert sich gegenüber dem Neuschliff um $20 \text{ dB}(A)$.

Dann ergeben sich für den Ansatz

$$\text{Verschlechterung in } dB(A) = X \cdot \log(Y + Z \cdot \text{Riffelzeit})$$

folgenden Gleichungen:

1. $0 \text{ dB}(A) = X \cdot \log(Y + Z \cdot 0)$ und damit $Y = 1$
2. $1.5 \text{ dB}(A) = X \cdot \log(1 + Z \cdot 10)$
3. $20 \text{ dB}(A) = X \cdot \log(1 + Z \cdot 200)$

die Koeffizienten

$$\text{Verschlechterung in } dB(A) = 56.4 \cdot \log(1 + 0.00632 \cdot \text{Riffelzeit})$$

Bild 1 zeigt diese Abhängigkeit.

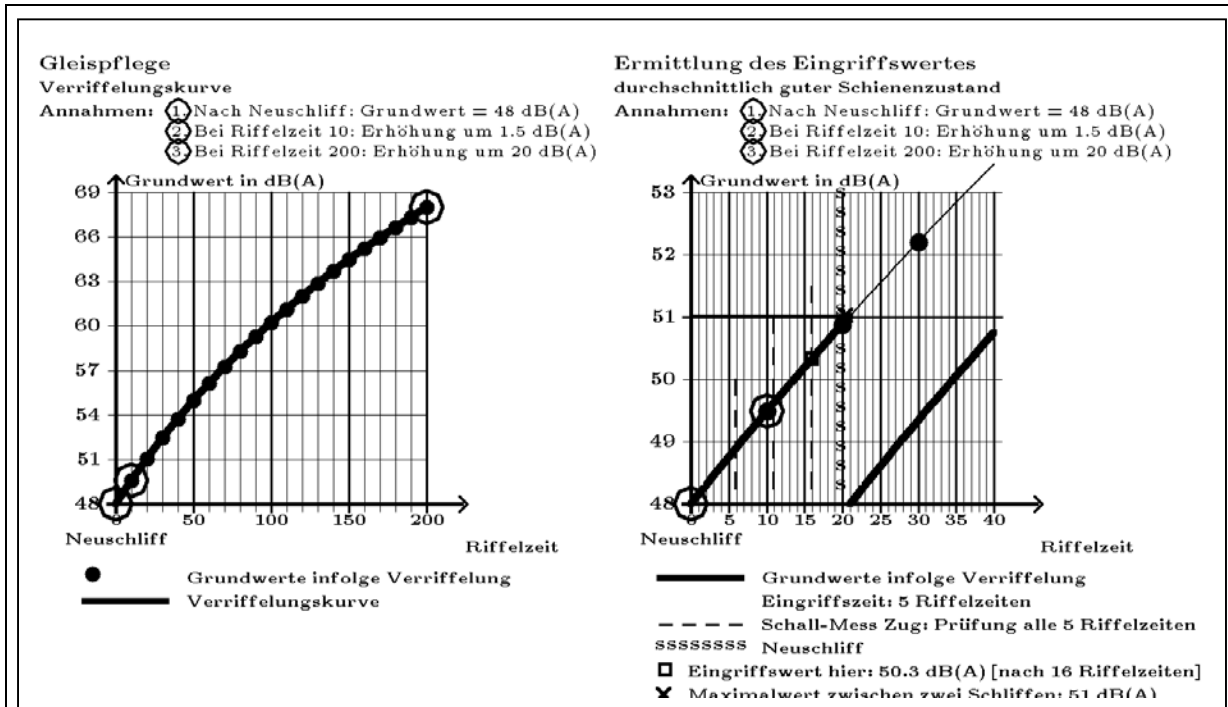


Bild 1: Verriffelungskurve: mathematische Modellierung der Abhängigkeit zwischen Verriffelung und Grundwert bei Neuschliff auf $N=48 \text{ dB(A)}$

Bild 2: Bestimmung des nächsten Schleiftermins für einen durchschnittlich guten Schienenzustand bei einer Verriffelung nach Bild 1

Ermittlung des Eingriffswertes

Für diese Modellierung wird angenommen, daß nach der Feststellung (Messung) der Überschreitung eines Eingriffswertes eine weitere Verriffelung eintritt, bevor diese durch einen Schliff beseitigt wird:

Annahme zur Eingriffszeit

Wenn eine Überschreitung eines Eingriffswertes festgestellt wird, beträgt die maximale Zeit bis zum Schleifen der Gleise 5 Riffelzeiten (Annahmen: Eingriffszeit = 5 Riffelzeiten).

Für diese Eingriffszeit wurde in Bild 2 der Eingriffswert bestimmt: Um nach einem Neuschliff auf 48 dB(A) einen *durchschnittlich guten Schienenzustand* zu erhalten, muß der Schleifzug bestellt werden, wenn der Grundwert auf 50.3 dB(A) abgesunken ist.

Schleifzyklen

In Bild 3 werden die bisher eingeführten Begriffe an einer Riffelkurve beschrieben: Wenn für ein Gleis bekannt ist, welcher Zusammenhang zwischen

- der (realen) Zeit nach dem Neuschliff und
- der Riffelzeit im Gleis

besteht, dann ist für dieses Gleis die Umrechnung zwischen *realen Zeiten* und *Riffelzeiten* möglich. Die *Schleifzeit* ist dann der Zeitpunkt, zu dem die Gleise geschliffen werden müssen, wenn ein maximaler *Schleifwert* nicht überschritten werden soll. Durch die Kenntnis der *Eingriffszeit* (als der maximalen Zeit, die zwischen der Anforderung und dem tatsächlichen Schleifen vergeht) kann die *Riffelzeit* bestimmt werden, zu der ein Schleifzug bestellt werden muß. Zu dieser *Riffelzeit* kann aus der Riffelkurve der *Eingriffswert* berechnet

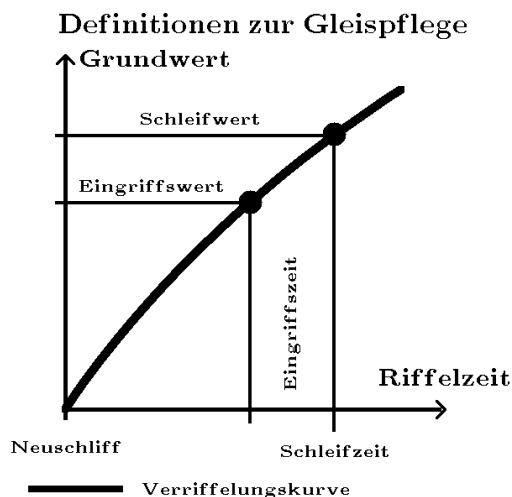


Bild 3: Definitionen zur Gleispflege

werden (siehe Bild 3). Dadurch entsteht dann der in Bild 2 dargestellte Rhythmus (vergl. dazu auch Bild 1 in dem UBA-Bericht: *Schematische Darstellung der Pegelentwicklung* ([4, Seite 12])).

Erhaltung und Überwachung des Schienenzustands

Aus den bisherigen theoretischen Betrachtungen wird deutlich, daß nur durch rechtzeitiges Schleifen ein bestimmter Schienenzustand erhalten bleibt. Dieser bestimmte Schienenzustand ist durch einen maximalen *Schleifwert* gegeben (also bei einem *dgS* durch den Schleifwert 51 dB(A)).

Um für ein reales Gleis den Schienenzustand (und damit den maximalen *Schleifwert*) zu erhalten, muß das Gleis zu der *Schleifzeit* geschliffen werden. Die *Schleifzeit* hängt aber von der Verriffelungskurve ab. Diese Kurve ist für ein reales Gleis im allgemeinen nicht bekannt, und es ist zeitaufwendig, diese Kurve neu zu bestimmen. Damit entfällt die Möglichkeit, den *Eingriffswert* zu berechnen.

Schätzung von Eingriffswert und Eingriffszeit für ein reales Gleis

In Bild 4 wird dargestellt, wie der Schleifzyklus für einen *durchschnittlich guten Schienenzustand* mit Hilfe der Verriffelungskurve dargestellt/berechnet. Im Folgenden soll gezeigt werden, daß auch ohne Kenntnis der Verriffelungskurve ein rechtzeitiges Schleifen gewährleistet werden kann.

Annahmen:

Es wird angenommen, daß für ein Gleis der *durchschnittlich gute Schienenzustand* erhalten bleiben soll, d.h. es wird festgelegt:

$$\text{Schleifwert } GS = 51 \text{ dB(A)}$$

und daß die Eingriffszeit 30 Tage beträgt, d.h.

$$TE = 30 \text{ Tage}$$

Abschätzung der Verriffelungskurve

Die Verriffelungskurve ist nach der Modellierung logarithmisch (Bild 1).

Daher ist sowohl eine Abschätzung \overline{GE} des *Eingriffswertes* GE als auch eine Abschätzung \overline{TS} der *Schleifzeit* TS durch eine Gerade (als linearer Extrapolation der Meßwerte) möglich: Beim Neuschliff wird der Grundwert GN des Gleises gemessen und die Zeit TN festgestellt [Beispiel: $GN = 45 \text{ dB(A)}$ und $TN = 0 \text{ Tage}$].

Zu einem Zeitpunkt TJ wird der Grundwert GJ gemessen [Beispiel: $GJ = 49.5 \text{ dB(A)}$ und $TJ = 220 \text{ Tage}$].

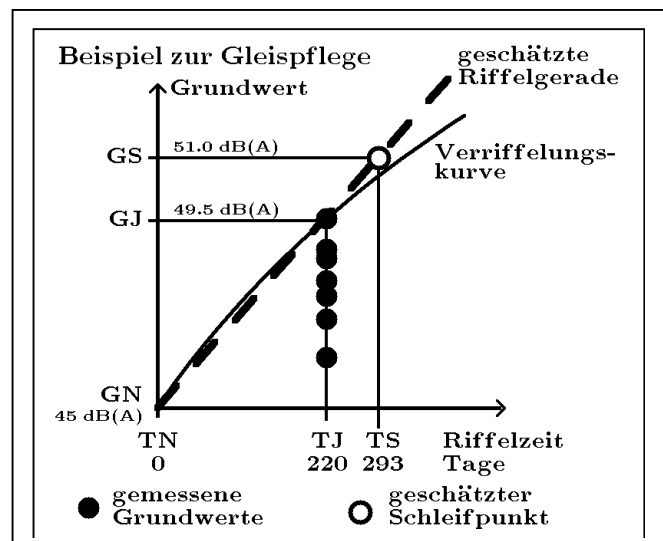


Bild 4: Schätzung von Eingriffswert und Schleifpunkt (linearer Ansatz) für einen „durchschnittlich guten Schienenzustand“

Dann ist eine Verriffelungsgerade beschrieben durch

$$G = \frac{GJ - GN}{TJ - TN} \cdot T + \frac{GN \cdot TJ - GJ \cdot TN}{TJ - TN} \quad (V)$$

[Beispiel: $G = \frac{49.5 - 45}{220} \cdot T + \frac{45 \cdot 220 - 0}{220} = \frac{9}{440} \cdot T + 45$] .

Um die Schleifzeit TS durch \overline{TS} abzuschätzen, wird in diese Gleichung der Schleifwert $GS = 51 \text{ dB}(A)$ eingesetzt.

[Im Beispiel: $51 \text{ dB}(A) = \frac{9}{440} \cdot \overline{TS} + 45$ oder $\overline{TS} = \frac{440}{9} \cdot (51 - 45) \approx 293 \text{ Tage}$]

Damit ergibt sich dann der Zeitpunkt, zu dem geschliffen werden muß.

In dem hier betrachteten Beispiel ergibt sich damit der geschätzte Eingriffswert \overline{GE} , wenn in der Gleichung (V) die Zeit

$$Z = \overline{TS} - TE = (293 - 30) \text{ Tage} = 263 \text{ Tage}$$

eingesetzt wird. Dann ist

$$\overline{GE} = \frac{9}{440} \cdot Z + 45 = 50.4 \text{ dB}(A)$$

Also muß der Schleifzug bestellt werden, wenn der maximale Grundwert $50.4 \text{ dB}(A)$ erreicht.

Ergebnis

Der Schienenzustand wird nur durch den Grundwert am Schleiftermin bestimmt. Für den „durchschnittlich guten Schienenzustand“ darf der Grundwert $51 \text{ dB}(A)$ am Schleiftermin nicht überschritten werden.

Ein *BüG* erhält als Bonus einen Gleispflegeabschlag *GPA* um den Betrag, um den der Grundwert beim Schleiftermin unter $51 \text{ dB}(A)$ liegt.

Ein *sgG* erhält als Malus einen Gleispflegezuschlag *GPZ* um den Betrag, um den der Grundwert beim Schleiftermin über $51 \text{ dB}(A)$ liegt.

In dieser Untersuchung wurden Algorithmen zur Bestimmung des Zeitpunktes entwickelt, zu dem infolge Verriffelung der Vorbeifahrpegel einen gesetzten Grenzwert überschreitet.

Wenn die Verriffelungskurve an einem Ort unbekannt ist, so kann dieser Zeitpunkt geschätzt werden, indem

1. der Zeitpunkt und der Grundwert beim letzten Neuschliff und
2. der Zeitpunkt und der Grundwert zu einem Meßtermin nach dem Neuschliff bekannt sind (siehe „Abschätzung der Verriffelungskurve“).

Wenn die Verriffelungskurve bekannt ist, genügt es, bei jedem Neuschliff

- den Zeitpunkt und
- den Grundwert

im Meßprotokoll festzuhalten.

Anhang

Überwachung der Gleispflege

Wenn diese Überwachung durch das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) vorgenommen wird, kann von diesem ein Messprotokoll erbeten werden. Hier sind beispielhaft Ergebnisse eines solchen Protokolls (EBA, Außenstelle Hamburg) abgedruckt:

Auswertung der Schallmesswagenfahrt Hamburg - Kiel vom 25.11.1999				
Zusammenstellung der Bereiche mit Überschneidungen von mindestens 3 dB				
von km	Bis km	mittlere Überschreitung (dB)	Überschreitung > 10 dB	Bemerkungen
6	9,8	7	km 9,1 bis 9,2	
10,0	12,7	8	km 10,5 bis 10,8	
12,9	19,4	5	km 12,1 bis 12,3	
			km 13,3 bis 13,4	

<i>Tabelle 2: EBA-Meßprotokoll einer Schallmesswagenfahrt</i>

Kommentar

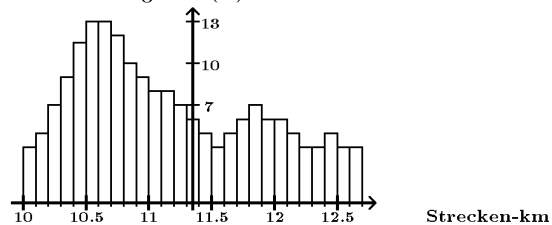
Überschreitungen hätten nicht auftreten dürfen; durch rechtzeitige Prüfung des Schienenzustandes hätte der Schleif-Termin so festgelegt werden müssen, daß keine Überschreitung stattfindet.

Dieses Protokoll zeigt jedoch, daß es Streckenabschnitte gibt, bei denen Überschreitungen von mehr als 10 dB(A) auftreten (z.B. von km

10,5 bis km 10,8). Es wird nicht angegeben, um wie viel die Überschreitung höher ist als 10 dB(A). Der Mittelwert (8 dB(A)) wurde über das gesamte Gleisstück von 2,7 km Länge gebildet, es besteht daher für einen Anlieger etwa bei km 10,6 die Möglichkeit, daß die Überschreitung bei 13 dB(A) liegt (siehe Bild 5).

Die Mittelwertbildung, die in dem Meßprotokoll (Tabelle 2) angegeben ist, liefert für den Anlieger bei km 10,6 keine Aussage über die Pegelüberschreitung an seinem Haus. Die Pegelüberschreitung wurde mangels Informationen vom Autor dieses Aufsatzes willkürlich rekonstruiert, wobei die Überschreitungen insgesamt in diesem Streckenabschnitt den (energetischen) Mittelwert von 8 dB(A) erreichen.

Schallmesswagen: gemessene Überschreitungen des zugesicherten Schienenzustandes
Überschreitung in dB(A)

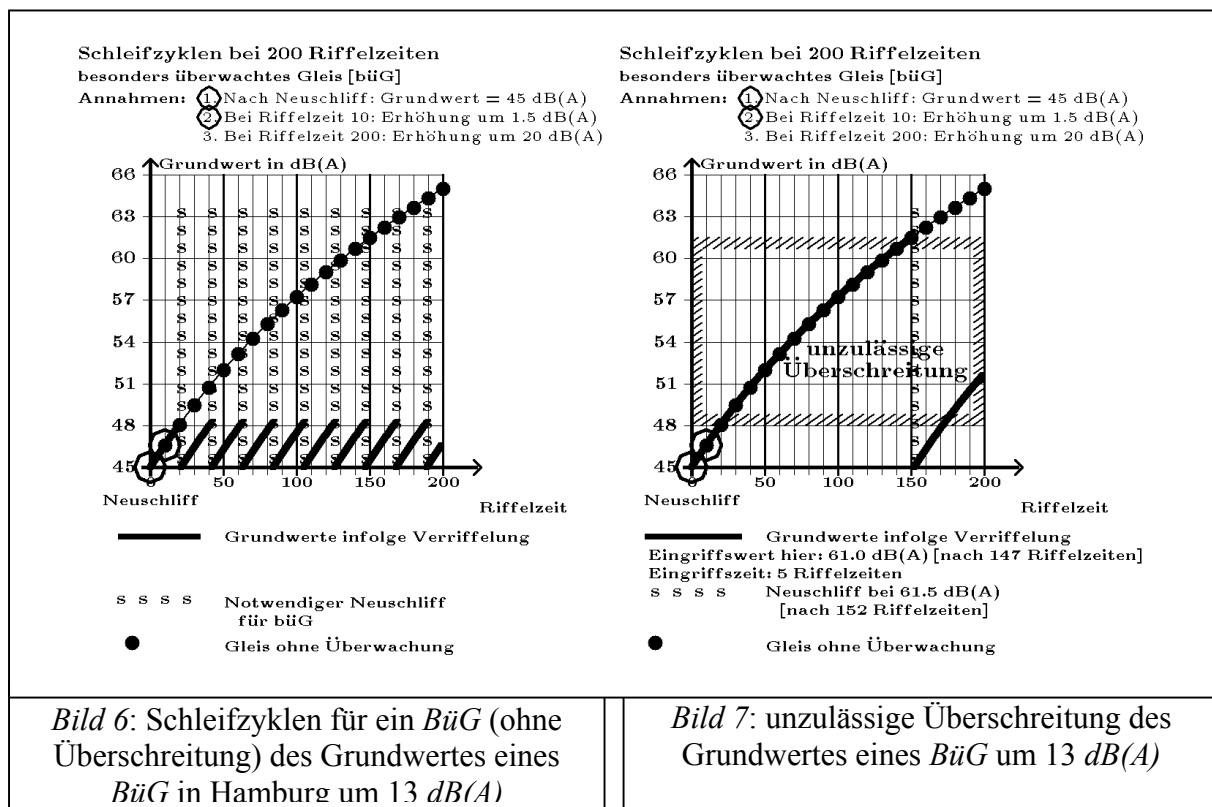


km	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9	11	11,1	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6	11,7	11,8
Grundwert	52	53	55	57	59,5	61	61	60	58	57	56	56	55	54	53	52	53	54	55
Häufigkeit	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

km	11,9	12	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6
Grundwert	54	54	53	52	52	53	52	52
Häufigkeit	1	1	1	1	1	1	1	1

Quelle: Schallmesswagenfahrt Hamburg - Kiel vom 25.11.1999: km 10,0 bis km 12,7

Bild 5: Ergebnis der Messung des Grundwertes durch einen Schallmesswagen: Überschreitung: 13 dB(A)



Ein solches Gleis ist ein „schlecht gepflegtes Gleis“ im oben bezeichneten Sinn. Für derartige Gleise ist ein Gleispflegezuschlag GPZ in Höhe der maximalen Überschreitung anzusetzen, also für den Streckenabschnitt von km 10,5 bis km 10,7 zunächst $GPZ = 13 \text{ dB(A)}$.

Das Meßprotokoll der *Tabelle 2* entstand jedoch nicht während des Schleifens, sondern während einer Prüfung des Schienenzustandes. Der reale Gleispflegezuschlag kann daher noch höher sein.

In *Bild 6* werden die Schleifzyklen für ein *BüG* dargestellt: es gibt keine Überschreitung. – In *Bild 7* wurde dann der reale Schleifzyklus aus dem Beispiel der *Tabelle 2* dargestellt: Wenn der Schleifzug 5 *Riffelzeiten* nach der Feststellung der Überschreitung kommt, verriffelt das Gleis in der Zwischenzeit nochmals um 0.5 dB(A) .

Damit ist für den Anlieger bei km 10,6 der Vorbeifahrpegel infolge der Verriffelung bei jeder Zugvorbeifahrt um 13.5 dB(A) höher als der Wert, der in der Planfeststellung angerechnet wurde; es gilt daher $GPZ=13.5 \text{ dB(A)}$, d.h. die zulässige Lärmbelastung wird infolge der Verriffelung um 13.5 dB(A) überschritten.

Maximalpegel und Mittelungspegel

In der *16.BImSchV* wird nicht angegeben, ob der Grundwert von 51 dB(A) als Mittelungspegel einer Meßreihe oder als Maximalpegel von Einzelmessungen zu bestimmen ist.

Hier wird in *Bild 8* ein Beispiel einer Meßreihe angegeben, aus der beurteilt werden soll, wann die Schienen geschliffen werden müssen. Es wird angenommen, daß diese Beurteilung sowohl von einem Anlieger als auch von dem *EBA* vorgenommen werden.

In dem Beispiel streuen die Grundwerte der Vorbeifahrpegel in der üblichen Breite (6 dB(A)).

Riffelzeit	i	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Grundwert	g_i	50.76	52.88	47.19	51.13	53.25	47.55	51.48	53.60	47.9

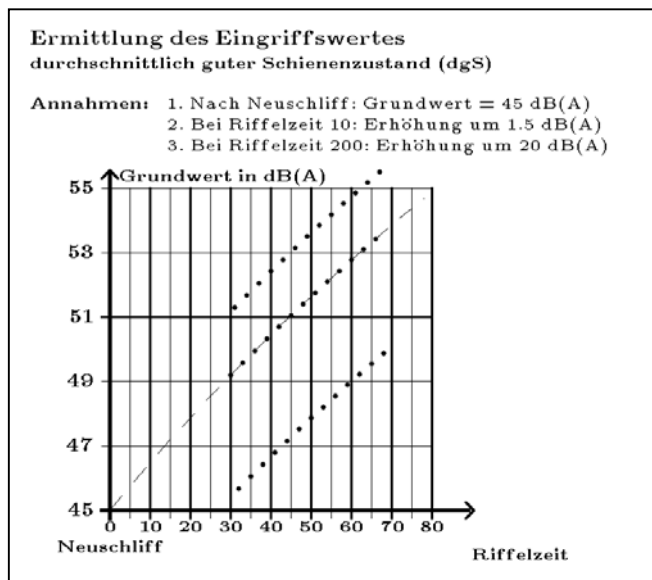


Bild 8: Beispiel gemessener Grundwerte (konstruiert)

Mittelwerte

Anlieger haben gemessen: Sie begannen zur Riffelzeit $i = 42$ und bestimmten von den 5 folgenden Zugvorbeifahrten jeweils den Grundwert:

$$\sum_{i=42}^{i=46} g_i = 51.50 \text{ dB(A)}$$

Daher meldeten sie diesen Mittelungspegel dem *EBA* und forderten, daß die Schienen geschliffen werden.

Das *EBA* stellte ebenfalls Rechnungen an: Es wurde von Riffelzeit $i = 44$ bis zur Riffelzeit $i = 48$ gemessen und der Mittelwert bestimmt:

$$\sum_{i=44}^{i=48} g_i = 50.73 \text{ dB(A)}$$

Daher entschied das *EBA*: es muss noch nicht geschliffen werden.

Wären Maximalwerte gewählt worden, hätte es diese unterschiedlichen Reaktionen nicht gegeben.

Maximalwerte

Anlieger haben gemessen: Sie begannen zur Riffelzeit $i = 42$ und bestimmten von den 5 folgenden Zugvorbeifahrten jeweils den Grundwert:

$$\max \{g_i ; 42 \leq i \leq 46\} = 53.25$$

Daher meldeten sie diesen Mittelungspegel dem *EBA* und forderten, daß die Schienen geschliffen werden.

Das *EBA* stellte ebenfalls Rechnungen an: Es wurde von Riffelzeit $i = 44$ bis zur Riffelzeit $i = 48$ gemessen und der Mittelwert bestimmt:

$$\max \{g_i ; 44 \leq i \leq 48\} = 53.25$$

Daher entscheidet bei Verwendung von Maximalwerten auch das *EBA*, daß geschliffen werden muss.

Kommentar

Um ein eindeutiges Ergebnis bei der Beurteilung des Schienenzustandes eines Gleises zu erhalten, ist der Mittelungspegel ungeeignet: Je nach der Stärke der Streuung und nach der „Periodizität“ der Ereignisse ist der Meßzeitraum dem Einzelfall anzupassen. Das in *Bild 8* angegebene Beispiel wurde konstruiert: Die Ereignisse treten mit einer Periode von 3 auf, und ihr (energetischer) Mittelwert ist ein Punkt auf der Verriffelungskurve. Im realen Verkehr

sind die Ereignisse i.a. nicht regelmäßig – daher ist der Unterschied zwischen zwei Messungen, die während verschiedener Zeiträume vorgenommen werden, wesentlich stärker als in diesem Beispiel.

Damit entfällt die Möglichkeit, den Mittelungspegel einer Meßreihe zur Bestimmung des Grundwertes auszuwählen.

Literatur

- [1] 16. *BImSchV*: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung) vom 12. Juni 1990.
- [2] Anlage 1a zu: EBA-Verfügung Pr.1110 vom 16.03.1998: 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.
- [3] Hölzl, G., Diehl, R.J. und Beier, M.: Anwendung der Rollgeräuschprognose zur Entwicklung eines Schienenschleifkriteriums. DAGA 1998, Zürich.
- [4] Vogelsang, B.M und Wende, H.: *Auswirkungen neuer Schleifverfahren auf die Geräuschemission von Zügen*. DAGA 1967, Kiel.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Dirk Windelberg

AG Qualität im Fachbereich Mathematik der Universität Hannover

Welfengarten 1 - 30167 Hannover