AG Qualität

FACHBEREICH MATHEMATIK

Projekt

Untersuchung zur Gleispflege bezüglich einer Bonusregelung für besondere Pflege

Abschlußbericht

Februar 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://www-ifm.math.uni-hannover.de/~windelberg
Verantwortliche Leitung : Dr. Dirk Windelberg

Vorwort 4
Zusammenfassung 5
G.1 *BImSchV* und Grundwert 6
G.2 Beschreibung des durchschnittlich guten Schienenzustandes 6
G.3 Besonders überwachtes Gleis 7
T Theorie der Gleispflege 7
T.1 Modellierung der Verriffelung 7
T.2 Ermittlung des Eingriffswertes 8
T.3 Schleifzyklen 8
T.3.1 Schleifzyklen „durchschnittlich guter Schienenzustand (dgS)“ 9
T.3.2 Schleifzyklen „schlecht gepflegtes Gleis (*sgG*)“ mit *GPZ* = 1 *dB(A)* 9
T.3.3 Schleifzyklen „besonders überwachtes Gleis (*BüG*)“ mit *GPA* = 3 *dB(A)* 10
T.4 Erhaltung und Überwachung des Schienenzustands 10
T.4.1 Schätzung von Eingriffswert und Eingriffszeit für ein reales Gleis 11
T.4.2 Vergleich zwischen geschätzten und gerechneten Werten 12
T.5 Ergebnis Teilprojekt T: Theorie der Gleispflege 13
ABC Praxis der Gleispflege 14
A. Stand der Technik 14
A.1 Beschreibung der Riffelkurve durch das EBA 14
A.2 Prüfung des Schienenzustandes 15
A.3 Überwachung der Gleispflege 17
A.4 Prüfung der Prognosewerte der 16. *BImSchV* 18
B. Streuung von Vorbeifahrpegeln 21
B.1 Pegel zur Charakterisierung des Pegelverlaufs einer Zugvorbeifahrt 22
B.2 Bestimmung des Grundwertes durch den Schallmesswagen 23
B.3 Bestimmung des Grundwertes durch Züge einer Zuggattung 23
B.4 Auswertung der Messungen zum Grundwert 23
B.5 Ergebnis 26
C. Auswertung von Schallpegel-Meßreihen 27
C.1 Darstellung der Auswertung einer Meßreihe 27
C.2 Beurteilung des Wertes des Vertrauensbereiches 28
C.3 Beurteilung des Schienenzustandes 30
Literatur 31

AG Qualität im Fachbereich Mathematik der Universität Hannover

Projekt:
„Untersuchung zur Gleispflege bezüglich einer Bonusregelung für besondere Pflege“

Schlagwörter

Besonders überwachtes Gleis, Gleispflege, Gleispflegeabschlag, Gleispflegezuschlag, Lärmstatistik, Maximalpegel, Mittelungspegel, Schienenverkehr.

Kurztext

Zwischen der Lärmentwicklung durch Schienenverkehr und dem Schienenzustand der Gleise besteht ein enger Zusammenhang, der in diesem Projekt analysiert wurde.

Daher kommt der Gleispflege bezüglich der Lärmbelastung eine große Bedeutung zu:

Im Teilprojekt T wurden theoretischen Grundlagen für eine Gleispflege und die Beurteilung des Gleispflegezustandes durch die Lärmentwicklung während der Vorbeifahrt von Zügen entwickelt.

Die drei Teilprojekte A, B und C beschäftigten sich mit der Anwendung der theoretischen Ansätze auf die Praxis und damit auf der Gleispflege und damit auf die Schallpegelmessungen während Zugvorbeifahrten.

Im Teilprojekt A wurde der Stand der Technik untersucht mit dem Ergebnis, daß der Beurteilungs-Grundwert für den Schienenzustand der maximale Grundwert einer Meßreihe ist.

Ergebnis des Projektes ist eine neue Bonus/Malus-Regelung durch Gleispflegezu- und Gleispflegeabschläge. Diese Zu- oder Abschläge orientieren sich an der Forderung aus der 16.*BImSchV* , daß bei einem „durchschnittlich guten Schienenzustand“ geschliffen werden muß, wenn der Grundwert 51 *dB(A)* überschritten wird.

AG Qualität im Fachbereich Mathematik der Universität Hannover

Projekt:
„Untersuchung zur Gleispflege bezüglich einer Bonusregelung für besondere Pflege“

Projektleitung:
AG Qualität im Fachbereich Mathematik der Universität Hannover
Dr. Dirk Windelberg, Prof. Dr. Ernst Stephan
Welfengarten 1
30167 Hannover

Vorwort

Nach der Vorstellung der Zwischenberichte dieses Projektes wurde erkannt, daß eine Definition des

Beurteilungs-Grundwertes für den Schienenzustand

wichtigster Bestandteil dieses Projektes für die praktische Umsetzung der Theorie ist.

In der 16.BImSchV wird für den „durchschnittlich guten Schienenzustand“ der Grundwert 51 *dB(A)* festgesetzt, und diese Festsetzung ist für die theoretische Betrachtung ausreichend:

51 *dB(A)* ist der Beurteilungs-Grundwert
für einen „durchschnittlich guten Schienenzustand“

Im Teilprojekt A dieses Projektes A wurde der „Stand der Technik“ untersucht: Die Auswertung der EBA-Meßdaten von Barnstorf zeigte, daß die Beurteilung eines Gleises als „besonders überwachtes Gleis“ bei dem zur Zeit vom EBA verwendeten Auswerteverfahren von der Zusammensetzung des vorbeifahrenden Zugkollektivs abhängig ist:

Bei einigen Zügen bewirkt die Verriffelung von Gleisen eine Erhöhung des Vorbeifahrpegels, während bei anderen Zügen die Verriffelung möglicherweise keine Veränderung des Vorbeifahrpegels hervorruft.

Alle Verfahren verwenden jeweils nicht die Vorbeifahrpegel selbst, sondern berechnen aus diesen jeweils den Grundwert.

Der Beurteilungs-Grundwert für das EBA ist

- entweder der Grundwert, den der Schallmeßwagen ermittelt,
- oder der energetische Mittelungspegel der Grundwerte, die aus einer Meßreihe bestimmt wurden.

Wegen der Abhängigkeit dieses Mittelwertes von den „leisen“ Zügen, die durch die Verriffelung nicht betroffen sind, ergab sich eine neue Bewertung des Beurteilungs-Grundwertes:

Der Beurteilungs-Grundwert aus einer Meßreihe von Vorbeifahrpegeln
ist der maximale Grundwert.

AG Qualität im Fachbereich Mathematik

Projekt:
„Untersuchung zur Gleispflege bezüglich einer Bonusregelung für besondere Pflege“

Teilprojekte:

T: Theorie der Gleispflege (Stephan, Windelberg)

A: Stand der Technik

B: Streuung von Vorbeifahrpegeln (Windelberg)

C: Auswertung von Schallpegel-Meßreihen (Ramm)

Zusammenfassung

Durch den Begriff „Besonders überwachtes Gleis (*BüG*)“ soll eine überdurchschnittliche Form von Gleispflege charakterisiert werden soll.

Im Teilprojekt „Theorie der Gleispflege“ wird zunächst die durchschnittliche Gleispflege untersucht: 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*)“ - höchstens 51 *dB(A)* betragen darf, wenn die gemessenen Schallemissionen durch die gerechneten begrenzt werden sollen. 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) dB(A)* gemessen wird, so wird hier ein „Gleispflegezuschlag (*GPZ*)“ von *y dB(A)* eingeführt: Die nach der 16.*BImSchV* berechneten Emissionswerte sind jeweils um *y dB(A)* zu erhöhen.

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

In den Teilprojekten A, B und C wurden reale und simulierte Meßwerte von verschiedenen Schienenzuständen untersucht und graphisch dargestellt. Die Bahn begründet, daß nach ca. 1 Million Lasttonnen der Grundwert eines neu geschliffenen Gleises um 2 *dB(A)* sinkt (siehe A.1). Dazu werden drei Versuche beschrieben, von denen zwei Versuche diese These bestätigen, während ein dritter Versuch nur steigende Grundwerte aufweist. Die Ergebnisse sind Mittelungspegel, die über eine Streckenlänge von 900 *m* entstanden. Bei dieser Entfernung können dir Unterschiede erheblich sein (siehe A.3).

Daher ergab sich, daß in diesem Projekt der maximale Grundwert der Beurteilungs-Grundwert für den Schienenzustand ausgewählt wurde, um den Eingriffswert für das erneute Schleifen zu bestimmen. Dieser Wert ist so zu bestimmen, daß am Schleiftermin der für einen bestimmten Schienenzustand festgelegte Grenz-Grundwert nicht überschritten wird.

G Gesetze, Verordnungen und Voraussetzungen

G.1 *BImSchV* und Grundwert

In der SCHALL 03 und ebenso in der 16. *BImSchV* wird ein Berechnungsverfahren für die Emission von Schienenverkehrslärm angegeben. Grundlage und Ausgangspunkt dieser Berechnungen ist die Definition und der Zusammenhang der drei Begriffe „Normzug“[1] , „Grundwert“ und „durchschnittlich guter Schienenzustand“:

- **Der Stundenpegel der Vorbeifahrt eines *Normzuges* wird *Grundwert* genannt. Für ein Gleis mit *durchschnittlich gutem Schienenzustand* beträgt der Grundwert 51 *dB(A)*.**

Andere Schienenfahrzeuge (wie z.B. *ICE*-Züge) lassen sich durch ihre Abweichungen vom *Normzug* beschreiben. In der 16.*BImSchV* gibt es Rechenvorschriften, wie – ausgehend vom *Grundwert* – der Emissions-Schallpegel dieses Fahrzeuges berechnet werden kann. Entsprechend lassen sich auch spezielle Schienenzustände (wie z.B. Betonschwellen oder Eisenbahnbrücken) durch ihre Abweichung von *einem durchschnittlich guten Schienenzustand* in der Berechnung der Emission berücksichtigen.

Dieses Berechnungsverfahren erlaubt auch eine Umkehrung: Ist der Stundenpegel, die Abweichung vom *Normzug* und die Abweichung vom *durchschnittlich guten Schienenzustand* bekannt, so muß der Grundwert 51 *dB(A)* betragen.

Eine weiter Variation dieses Zusammenhanges erlaubt eine Beschreibung des Schienenzustandes: Ist der Stundenpegel und die Abweichung vom *Normzug* bekannt, so kann die Abweichung zum *durchschnittlich guten Schienenzustand* berechnet werden.

G.2 Beschreibung des durchschnittlich guten Schienenzustandes

Eine Messung eines Vorbeifahrpegels ist im allgemeinen nicht reproduzierbar: Fährt der gleiche Zug zu zwei verschiedenen Zeiten an einer Meßstelle vorbei, so ergeben sich zwei verschiedene Messwerte. Um eine Entscheidung über den „wahren“ Messwerte zu erlangen, gibt es weder in der SCHALL 03 noch in der *BImSchV* einen Hinweis.

Da in diesem Projekt der Schienenzustand mit Hilfe von Vorbeifahrpegeln beurteilt werden soll, wird hier das Maß für die Bewertung mehrerer Meßwerte als *Beurteilungs-Grundwert* bezeichnet und durch die folgenden Annahmen festgelegt:

ANNAHMEN:

(A) **Der Beurteilungs-Grundwert mehrerer gemessener Schallpegel eines Schall-Ereignisses ist der maximale Schallpegel.**

(B) **bei einem „durchschnittlich guten Schienenzustand“ müssen die <u>gemessenen</u> Schallemissionen eines Norm-Zuges unterhalb von 51 *dB(A)* liegen**.

Andere Autoren verwenden für die Bewertung nicht den Maximalpegel, sondern einen Mittelungspegel (z.T. den energetischen, z.T. den arithmetischen). In diesem Bericht werden mehrere Beispiele untersucht, an denen diese verschiedenen Bewertungen diskutiert werden (insbesondere A.1 und A.3). Für die Gleispflege erfolgt die Bewertung durch den Schallmeßzug oder durch Meßreihen, bei denen die zeitliche Dauer der Pausen zwischen zwei Vorbeifahrpegeln vernachlässigt wird.

---

[1] Als *Norm-Zug* wurde ein zu 100 % scheibengebremster Zug definiert, der 100 *m* lang ist und mit einer Geschwindigkeit von 100 *km/h* fährt.

G.3 Besonders überwachtes Gleis

In der Anlage 1a einer Verfügung des Eisenbahn-Bundesamtes [2] möchte sich die Bahn verpflichten, besondere Schinenenstrecken „besonder“ zu pflegen. Dafür soll es ihr erlaubt werden, Lärmschutzwände erst dann zu errichten, wenn die Grenzwerte bei „durchschnittlich gutem Schienenzustand“ um 3 *dB(A)* überschritten sind. Es werden die Ergebnisse aus mehr als 1000 Messungen dargestellt, bei denen die in der 16.*BImSchV* vorgenommene Aufteilung in Zuggattungen übernommen wird.

T Theorie der Gleispflege

T.1 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

nach einem Neuschliff beträgt die Riffelzeit 0 und der Grundwert *N dB(A)*.

bei Riffelzeit 10 verschlechtert sich der Neuschliff-Grundwert *N* um 1.5 *dB(A)* auf (*N+1.5*) *dB(A)*.

Wenn die Gleise nicht geschliffen werden, so erreicht der Grundwert mit der Riffelzeit 200 den Wert von (N+20) *dB(A)*, d.h. er verschlechtert sich gegenüber dem Neuschliff um 20 *dB(A)* .

Dann ergeben sich für den Ansatz

$$\textit{Verschlechterung in } dB(A) \;=\; X \cdot \log\left(Y + Z \cdot \textit{Riffelzeit}\right)$$

folgenden Gleichungen:

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

die Koeffizienten

$$\textit{Verschlechterung in } dB(A) \;=\; 56.4 \cdot \log\left(1 + 0.00632 \cdot \textit{Riffelzeit}\right)$$

Bild 1 zeigt diese Abhängigkeit.

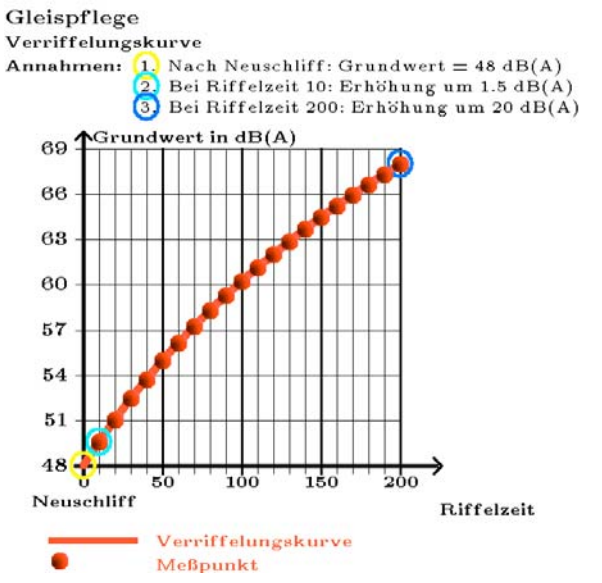


Bild 1: Verriffelungskurve: mathematische Modellierung der Abhängigkeit zwischen Verriffelung und Grundwert bei Neuschliff auf N=48 *dB(A)*

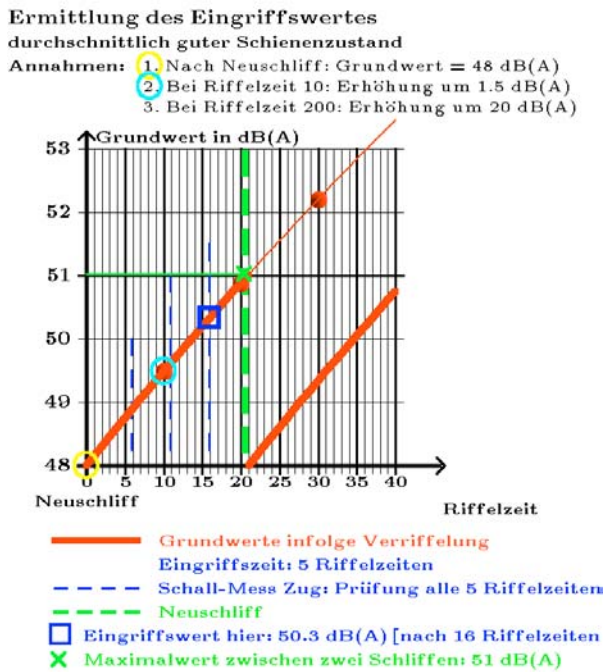


Bild 2: Bestimmung des nächsten Schleiftermins für einen *durchschnittlich guten Schienenzustand* bei einer Verriffelung nach *Bild 1*

T.2 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.

T.3 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

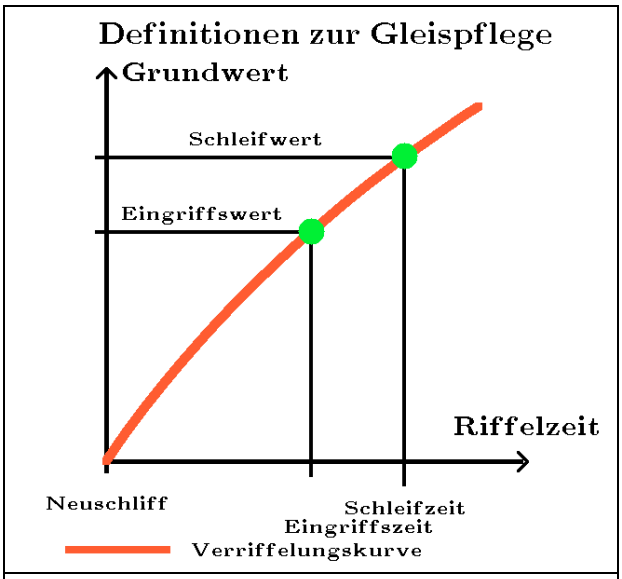


Bild 3: Definitionen zur Gleispflege

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]).

T.3.1 Schleifzyklen „durchschnittlich guter Schienenzustand (dgS)“

Ein „*durchschnittlich guter Schienenzustand*“ ist dadurch charakterisiert, daß der Stundenpegel bei der Vorbeifahrt eines Normzuges der Grenzwert von 51 *dB(A)* nicht überschreitet.

Für einen Schienenweg ist daher nach einem Neuschliff zu überwachen, wie sich der Grundwert ändert.

In *Bild 2* wird angegeben, wie für die in *Bild 1* dargestellte Kurve der Schleifzyklus bestimmt werden muß: Aus der Verriffelungskurve zeigt sich, daß der Grenzwert von 51 *dB(A)* bei der *Riffelzeit* 21 erreicht wird.

Hier wird angenommen wird, daß die *Eingriffszeit* 5 *Riffelzeiten* beträgt, d.h. daß zwischen der Anforderung eines Schleifzuges und dem Eintreffen dieses Zuges eine weitere Verriffelung der Schienen um maximal 5 *Riffelzeiten* stattfindet. Daher ist zum Erhalt eines *dgS* der Schleifzug zu bestellen, wenn der Grundwert den Wert von 50.3 *dB(A)* überschritten hat (bei *Riffelzeit* 16 in *Bild 2*).

T.3.2 Schleifzyklen „schlecht gepflegtes Gleis (*sgG*)“ mit *GPZ* = 1 *dB(A)*

In *Bild 2* wird der zum Erhalt eines „*durchschnittlich guten Schienenzustands*“ erforderliche Schleifrhythmus eingehalten, während in *Bild 4* erst geschliffen wird, wenn die Verriffelung bereits so weit fortgeschritten ist, daß der Grundwert 52 *dB(A)* beträgt.

Damit ist bei jeder Zugvorbeifahrt der Vorbeifahrpegel um 1 *dB(A)* höher als bei einem „*durchschnittlich guten Schienenzustand*“. Die gemessenen Pegel liegen damit alle um 1 *dB(A)* über den nach der 16. *BImSchV* berechneten Pegeln, d.h. die berechneten Pegel sind um 1 *dB(A)* zu erhöhen. Daher ist hier ein Gleispflegezuschlag *(GPZ)* in Höhe von 1 *dB(A)* anzusetzen.

Wenn erst dann geschliffen wird, wenn die Verriffelungskurve den Grundwert von 52 *dB(A)* erreicht hat, so ist dieser Schienenzustand nicht mehr als „*durchschnittlich gut*“ zu bezeichnen – es liegt ein „*schlecht gepflegtes Gleis (sgG)*“ mit *GPZ*=1 *dB(A)* vor.

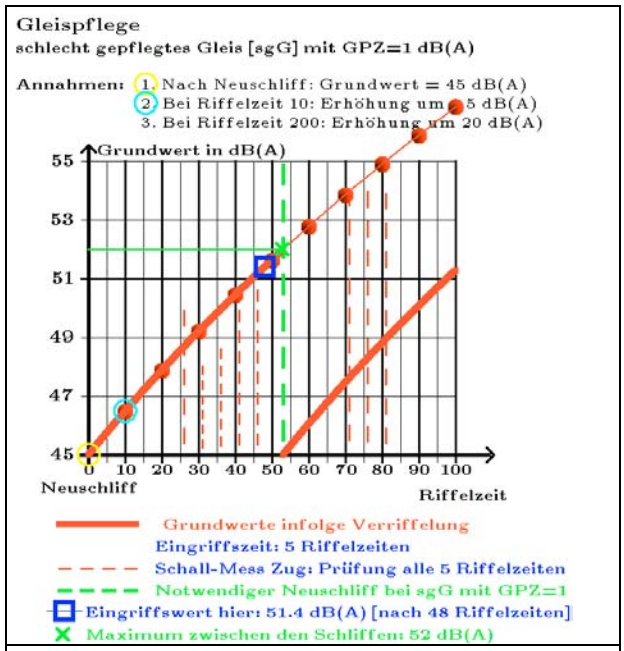


Bild 4: Zyklus der Schleiftermine für ein *sgG* mit *GPZ*=1 *dB(A)* bei Neuschliff auf 45 *dB(A*

T.3.3 Schleifzyklen „besonders überwachtes Gleis (*BüG*)“ mit *GPA* = 3 *dB(A)*

Auch in den *Bildern 5* und *6* werden die Schleifzyklen zweier unterschiedlich gepflegter Gleise miteinander verglichen: In *Bild 5* wird wieder der zum Erhalt eines „*durchschnittlich guten Schienenzustands*“ erforderliche Schleifrhythmus eingehalten, während in *Bild 6* bereits geschliffen wird, wenn der Grundwert 48 *dB(A)* beträgt.

Damit ist bei jeder Zugvorbeifahrt der Vorbeifahrpegel um 3 *dB(A)* niedriger als bei einem „*durchschnittlich guten Schienenzustand*“. Die gemessenen Pegel liegen damit alle um 3 *dB(A)* unter den nach der 16. *BImSchV* berechneten Pegeln, d.h. die berechneten Pegel sind um 3 *dB(A)* zu erniedrigen. Daher ist hier ein Gleispflegeabschlag *(GPA)* in Höhe von 3 *dB(A)* anzusetzen.

Wenn geschliffen wird, wenn die Verriffelungskurve den Grundwert von 48 *dB(A)* erreicht hat, so ist dieser Schienenzustand als *BüG* mit *GPA*=3 *dB(A)* zu bezeichnen.

In diesem Fall muß dann – bei der durch *Bild 1* gegebenen Verriffelungskurve – der Schleifzug nicht erst bei 50.3 *dB(A)* bestellt werden, sondern entsprechend früher (bei 47.3 *dB(A)*).

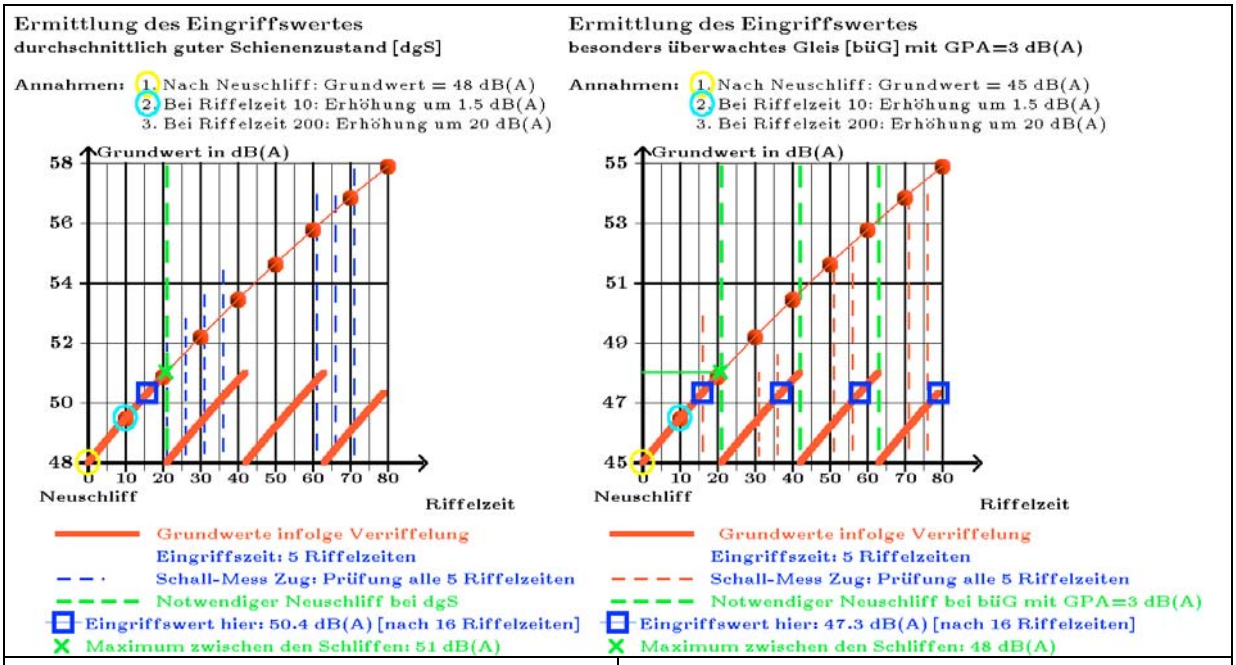


Bild 5: *durchschnittlich guter Schienenzustand* Neuschliff auf 48 *dB(A)*	*Bild 6*: *Besonders überwachtes Gleis mit GPA = 3 dB(A)* Neuschliff auf 45 *dB(A)*

T.4 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 bekannnt, und es ist zeitaufwendig, diese Kurve neu zu bestimmen. Damit entfällt die Möglichkeit, den *Eingriffswert* zu berechnen.

T.4.1 Schätzung von Eingriffswert und Eingriffszeit für ein reales Gleis

In den *Bildern 7* und *8* wurde der Schleifzyklus für einen *durchschnittlich guten Schienenzustand* mit Hilfe der Verriffelungskurve 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:

$$Schleifwert\ g_s \ = \ 51\ dB(A)$$

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

$$t_e \ = \ 30\ Tage$$

Abschätzung der Verriffelungskurve

Die Verriffelungskurve ist nach der Modellierung logarithmisch (*Bild 1)*; daher ist sowohl eine Abschätzung $\overline{g_e}$ des *Eingriffswertes* g_e als auch eine Abschätzung $\overline{t_s}$ der *Schleifzeit* t_s durch eine Gerade (oder lineare Extrapolation) möglich:

Beim Neuschliff wird der Grundwert g_n des Gleises gemessen und die Zeit t_n festgestellt [Beispiel: $g_n \ = \ 45\ dB(A)$ und $t_n \ = \ 8\ Tage$ (8.1.1998)].

Zu einem Zeitpunkt t_1 wird der Grundwert g_1 gemessen [Beispiel: $g_1 \ = \ 49\ dB(A)$ und $t_1 \ = \ 400\ Tage$ (20.2.1999)].

Dann ist eine Verriffelungsgerade beschrieben durch $g \ = \ \dfrac{g_1 - g_n}{t_1 - t_n} \cdot t \ + \dfrac{g_n \cdot t_1 - g_1 \cdot t_n}{t_1 - t_n}$,

[Beispiel: $g \ = \ \dfrac{49-45}{400-8} \cdot t \ + \dfrac{45 \cdot 400 - 49 \cdot 8}{400-8} \ = \ \dfrac{t}{98} + \dfrac{2201}{49}$] .

Um die Schleifzeit t_s durch $\overline{t_s}$ abzuschätzen, wird in diese Gleichung der Verriffelungsgeraden der *Schleifwert* $g_s \ = \ 51\ dB(A)$ eingesetzt:

$$51\ dB(A) \ = \ \frac{g_1 - g_n}{t_1 - t_n} \cdot \overline{t_s} + \frac{g_n \cdot t_1 - g_1 \cdot t_n}{t_1 - t_n} \quad \text{oder} \quad \overline{t_s} \ = \ \frac{t_1 - t_n}{g_1 - g_n} \cdot 51\ dB(A) \ - \frac{g_n \cdot t_1 - g_1 \cdot t_n}{g_1 - t_n}$$

[Beispiel: $\overline{t_s} \ = \ \left(98 \cdot 51 \ - \ \dfrac{98 \cdot 2201}{49}\right) Tage \ = \ \left(4998 - 4402\right) Tage \ = \ 596\ Tage$].

Damit ergibt sich dann der Zeitpunkt, zu dem geschliffen werden muß. In dem hier betrachteten Beispiel begann die Zeitzählung am 1.1.1998, also ergibt sich (bei 30 Tagen pro Monat) für die geschätzte Schleifzeit der Termin $\overline{t_s} \ = \ 596\ Tage \ = \ \left(19 \cdot 30 + 26\right) Tage$, gerechnet vom 1.1.1998; also wäre der Schleiftermin der 26.7.1999.

Der geschätzte *Eingriffswert* $\overline{g_e}$ ergibt sich dann, indem in die Geradengleichung (3.) die Zeit $\overline{t_s} - t_e \ = \ \left(596 - 30\right) Tage \ = 566\ Tage$ (26.6.1999) eingesetzt wird:

$$\overline{g_e} \ = \ \frac{g_1 - g_n}{t_1 - t_n} \cdot \left(\overline{t_s} - t_e\right) + \frac{g_n \cdot t_1 - g_1 \cdot t_n}{t_1 - t_n},$$

[Beispiel: $\overline{g_e} \ = \ \left(\dfrac{566}{98} \ + \dfrac{2201}{49}\right) dB(A) \ \approx \ 50.7\ dB(A)$] .

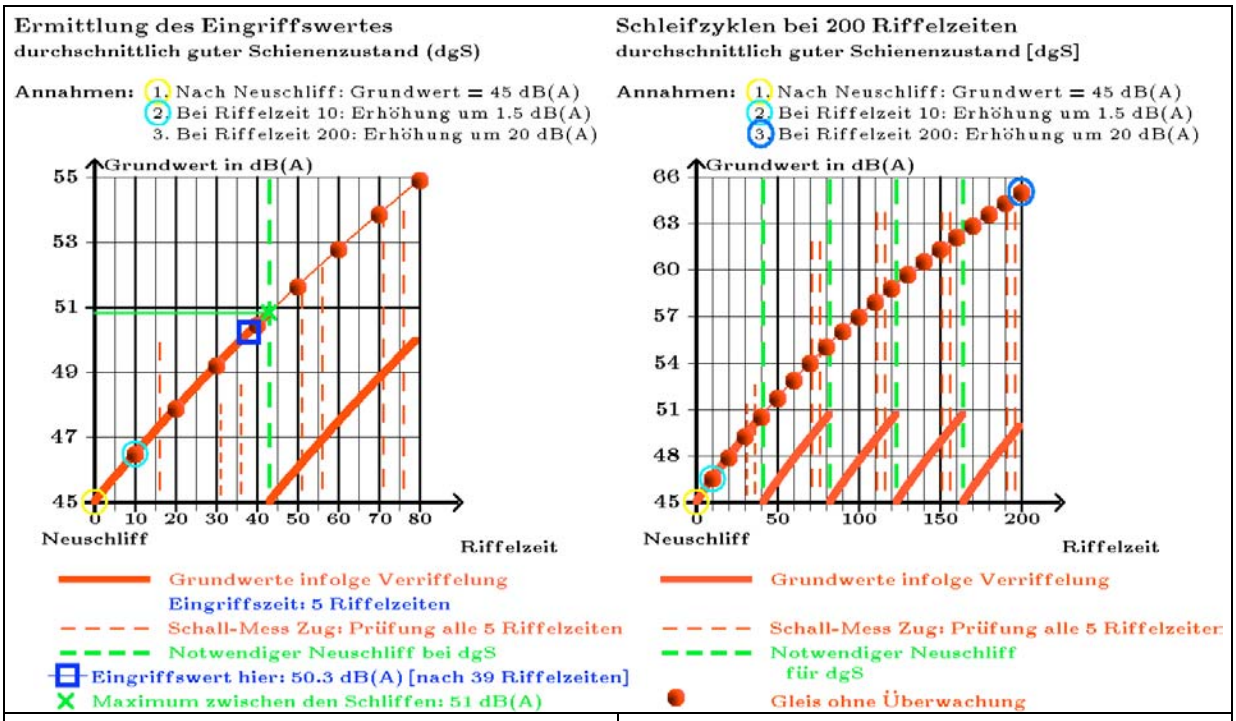


Bild 7: Bei einem Eingriffswert von 50.3 *dB(A)* wird - trotz Schleifens auf einen Grundwert von 45 *dB(A)* – nur ein „*durchschnittlich guter Schienenzustand*“ erreicht.	*Bild 8*: Schleif-Zyklus bei einem Schleifen auf einen Grundwert von 45 *dB(A)* und einem Eingriffswert von 50.3 *dB(A)* für einen „*durchschnittlich guten Schienenzustand*“.

T.4.2 Vergleich zwischen geschätzten und gerechneten Werten

In *Bild 7* ist die Verriffelungskurve für das obige Beispiel eingetragen, während *Bild 8* den gesamten zeitlichen Pflegerhythmus eines durchschnittlich guten Schienenzustandes zeigt.

Wird in der obigen Rechnung anstelle von Tagen mit Riffelzeiten gerechnet, so vereinfacht sich die Rechnung:

Annahmen:

$$\textit{Schleifwert } g_s = 51\ dB(A) \text{ und } t_e = 2\ \textit{Riffelzeiten}$$

Abschätzung der Verriffelungskurve

1. $g_n = 45\ dB(A)$ und $t_n = 0\ \textit{Riffelzeiten}$.
2. $g_1 = 49\ dB(A)$ und $t_1 = 28\ \textit{Riffelzeiten}$ (siehe *Bild 7*: 28 *Riffelzeiten* entsprechen 392 Tagen, also entsprechen 2 *Riffelzeiten* der *Eingriffszeit* von 30 Tagen).
3. Dann ist eine Verriffelungsgerade beschrieben durch $g = \frac{4}{28} \cdot t + 45 = \frac{t}{7} + 45$
4. Um die *Schleifzeit* t_s durch $\overline{t_s}$ abzuschätzen, wird in diese Gleichung der Verriffelungsgeraden der *Schleifwert* $g_s = 51\ dB(A)$ eingesetzt:

   $\overline{t_s} = (7 \cdot (g_s - 45))\ \textit{Riffelzeiten} = 42\ \textit{Riffelzeiten}$. (Ein Vergleich mit *Bild 7* zeigt: die abgeschätzte *Schleifzeit* liegt um 2 *Riffelzeiten* vor der berechneten *Schleifzeit*, d.h. die Abschätzung führt zu einem früheren Schleiftermin. Damit ist diese Abschätzung erlaubt.)
5. Der geschätzte *Eingriffswert* $\overline{g_e}$ ist dann $\overline{g_e} = \frac{42-2}{7} + 45 \approx 50.7\ dB(A)$.

T.5 Ergebnis Teilprojekt T: Theorie der Gleispflege

Der Schienenzustand wird nur durch den Grundwert am Schleiftermin bestimmt. Für den „durchschnittlich guten Schienenzustand“ darf zu diesem Termin der Grundwert 51 *dB(A)* nicht überschritten werden.

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

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

Ziel dieser Untersuchung war es dabei Algorithmen zu entwickeln, mit denen der Zeitpunkt bestimmt werden kann, zu dem infolgeVerriffelung 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.

ABC Praxis der Gleispflege

A. Stand der Technik

A.1 Beschreibung der Riffelkurve durch das EBA

An einem Beispiel soll hier im folgenden dargestellt werden, wie das EBA (in [2]) die „Zeitreihen zur Dauerhaftigkeit der Wirkung des Verfahrens“ für das *BüG* darstellt.

An der Strecke Donauwörth – Augsburg wurde die Schallpegeländerung in Bezug zum Ausgangswert nach dem Schleifen gemessen ([2, Seite 29 f.]). Es wurden die Mittelwerte aus den Grundwerten berechnet – sie sind in *Bild 9* abgebildet: welches ist der Grundwert nach 40 Wochen? - Es ist in der EBA-Verfügung nicht angegeben, wie stark jeweils der maximale Grundwert bzw. der L_{A1} von dem Mittelwert abweicht.

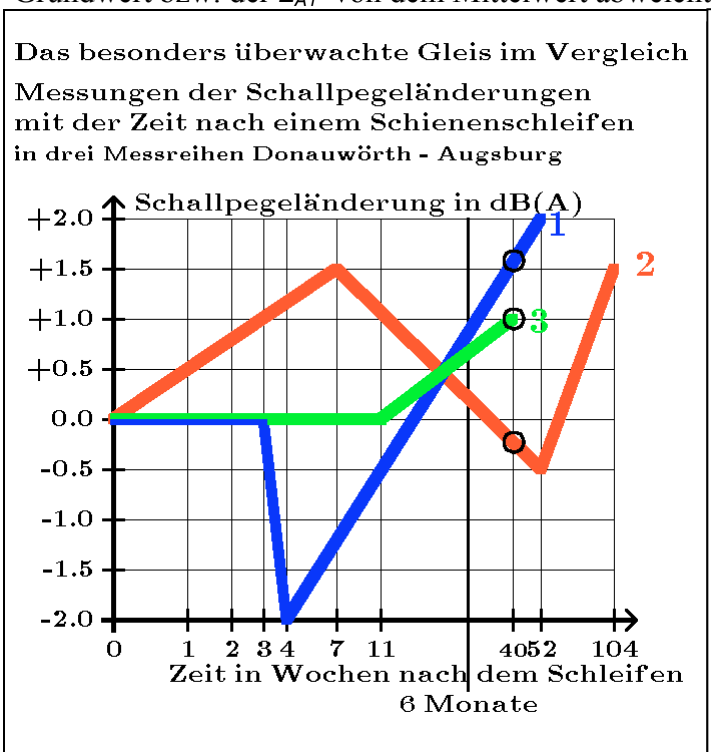


Bild 9: Schallpegeländerungen nach dem Schleifen (aus der EBA-Verfügung)

EBA-Verfügung [2]

1. Strecke Augsburg-Donauwörth km 36,7 bis 37,6 :

Zeitraum nach dem Schleifen	7 Wochen	1 Jahr	2 Jahre
Schallpegeländerung in Bezug zum Ausgangswert nach dem Schleifen	**+1,5 dB**	**-0,5 dB**	**+1,5 dB**

2. Strecke Donauwörth-Augsburg km 37,6 bis 36,7 :

Zeitraum nach dem Schleifen	3 Wochen	4 Wochen	1 Jahr
Schallpegeländerung in Bezug zum Ausgangswert nach dem Schleifen	**0 dB**	**-2,0 dB**	**+2,0 dB**

3. Strecke Donauwörth-Augsburg bei Bäumenheim:

Zeitraum nach dem Schleifen	11 Wochen	10 Monate	
Schallpegeländerung in Bezug zum Ausgangswert nach dem Schleifen	**0 dB**	**+1,0 dB**	

Dieses Beispiel zeigt: Es wurden nach unterschiedlichen Zeiträumen Messungen durchgeführt Es wurde nicht in gleichgrossen Intervallen gemessen (wie in der Theorie in *Bild 2*). Die Ergebnisse erfordern theoretische Überlegungen zu der Verriffelungskurve:

- Im Falle des Meßpunktes (1) steigt die Verriffelung innerhalb der ersten 7 Wochen nach dem Neuschliff um 1,5 *dB(A)* an.- Danach verringert sich die Verriffelung innerhalb von 45 Wochen um 2 *dB(A)*! Dann erhöht sich die Verriffelung wieder.
- Im Falle des Meßpunktes (2) bleibt die Verriffelung innerhalb der ersten 3 Wochen nach dem Neuschliff konstant. – Danach nimmt die Verriffelung innerhalb einer Woche so ab, daß der Grundwert um 2 *dB(A)* fällt, um dann innerhalb von 48 Wochen um 4 *dB(A)* zu verriffeln!

Kommentar zu A.1

Diese Beispiele lassen ein sehr sprunghaftes Verriffeln und Entriffeln annehmen. Wenn die maximalen Steigungen aus diesem Beispiel genommen werden, bedeutet dies:

maximale Verriffelungsrate = 1,5 *dB(A)*/(7 Wochen)

maximale Entriffelungsrate = 2,0 *dB*(A)/Woche

Daher wäre es notwendig , mindestens alle 7 Wochen die Verriffelung zu messen.

Die Bahn begründet diese Messungen (auch in [2]) wie folgt:

- „ca. 4 - 8 Wochen – wenn ca. 1 Million Lasttonnen über die geschliffenen Schienen gefahren sind – nach dem Schleifen“ wird „die akustisch optimale Oberflächenstruktur der Schienenoberfläche erreicht“.

Diese Begründung ist nach Auffassung des EBA „nachvollziehbar dargelegt“.

In diesem Teilprojekt wird zu Bedenken gegeben, daß

1. nicht überall innerhalb von 4 bis 8 Wochen 1 Million Lasttonnen die Gleise befahren
2. nicht die Gesamttonnage (hier 1 Million Lasttonnen), sondern die Einzellasten eine Verbesserung der Oberflächenstruktur ergeben könnten.

Damit wäre es erforderlich, die Unterlagen zu prüfen:

a) Welche Züge fuhren zwischen der 3. und der 4. Woche die Strecke von Donauwörth nach Augsburg – und verursachten damit eine Verbesserung der Oberflächenstruktur um 2 *dB(A)*?

b) Welche Züge fuhren zwischen der 7. und der 52. Woche die Strecke von Augsburg nach Donauwörth – und verursachten damit eine Verbesserung der Oberflächenstruktur um 2 *dB(A)*?

Es ergibt sich aber zusätzlich ein weiteres Problem: Es wird angegeben, daß die Schallpegeländerung sich auf einen Streckenabschnitt von 900 *m* bezieht (zwischen *km* 36,7 und *km* 37,6).

c) Sind die angegebenen Schallpegeländerungen Mittelungspegel über die Strecke von 900 *m*?

Hier wird angenommen, daß die Schallpegeländerungen Mittelungspegel sind. Dann gibt es eine weitere (vielleicht nachvollziehbare) Darlegung:

- Die Verriffelung wirkt auf verschiedene Zuggattungen und verschiedene, über das Rad auf die Schiene wirkende Gewichte unterschiedlich. Diese Wirkung ist zusätzlich noch von der Biegung oder Krümmung des Gleises abhängig. – Es wurde nicht das Maximum der Schallpegeländerung angegeben, sondern der Mittelungspegel von Schallpegeländerung während einer Strecke von 900 *m*. Daher ist es möglich, daß diese Änderungen „zufällig“ und nicht charakteristisch sind.

Im Fall A.3 wird deutlich, daß Mittelungspegel und maximaler Pegel um 8 *dB(A)* voneinander abweichen können.

A.2 Prüfung des Schienenzustandes

Im Folgenden wird gezeigt, daß die Messung der Verriffelung zu einem beliebigen Zeitpunkt (unabhängig von einem Schleiftermin) noch nicht den Nachweis erbringt, daß ein Gleis als ein „besonders überwachtes Gleis mit GPA=2 *dB(A)*“ eingestuft werden kann, auch wenn die gemessenen Werte diese Vermutung zulassen.

Beispiel Barnstorf

Es liegen z.B. Meßwerte aus einer Untersuchung vor, die im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) am Ort Barnstorf vom 25.-27.3.1996 durchgeführt wurden (siehe [2]). Es ist nicht angegeben, ob die Gleise direkt nach der Messung geschliffen wurden. Daher werden in den folgenden Bildern verschiedene Schleifsituationen dargestellt, die jeweils einen anderen Schienenzustand beschreiben. Hier werden nur die in der *Tabelle 1* genannten Grundwerte von Güterzügen betrachtet.

Grundwert	43.5	44.9	45.1	45.3	45.5	45.8	45.9	46.6	46.9
Häufigkeit	1	1	1	2	1	1	3	2	1

Grundwert	47.3	47.4	47.5	47.8	48.1	48.2	48.3	48.5
Häufigkeit	1	1	1	1	1	2	1	1

Tabelle 1: Meßwerte von Güterzügen zur Prüfung des Schienenzustandes in Barnstorf

Kommentar zu A.2

Es wurde hier zu einem Zeitpunkt zwischen zwei Schleifterminen gemessen. Aus der Theorie der Gleispflege ergibt sich jedoch, daß ein *BüG* dadurch charakterisiert ist, daß direkt vor einem Schleiftermin der Grundwert ermittelt und unterhalb von 51 *dB(A)* liegen muß. Ein Schleiftermin wird in der Schrift [2] jedoch nicht genannt.

Daher werden hier zwei Ergebnisse präsentiert, die einerseits den Schluß zulassen, daß dieser Schienenzustand als d*gS* bezeichnet werden muß (*Bild 10*), und andererseits zu dem Urteil führen können, daß dieses Gleis ein *sgG* mit GPZ=3 *dB(A)* ist (*Bild 11*).

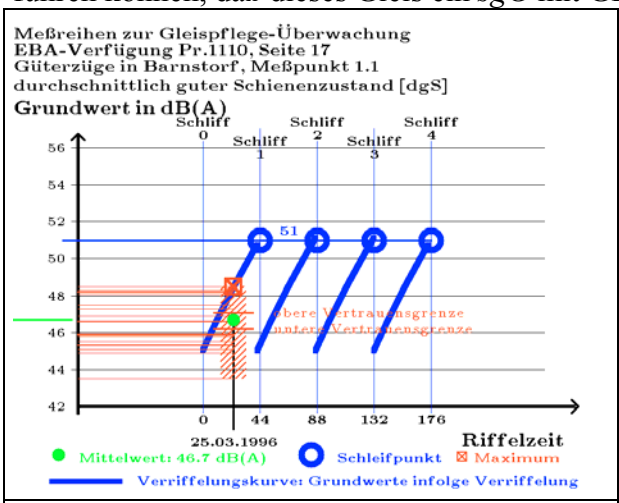


Bild 10: Prüfung als „*dgS*“ in Barnstorf

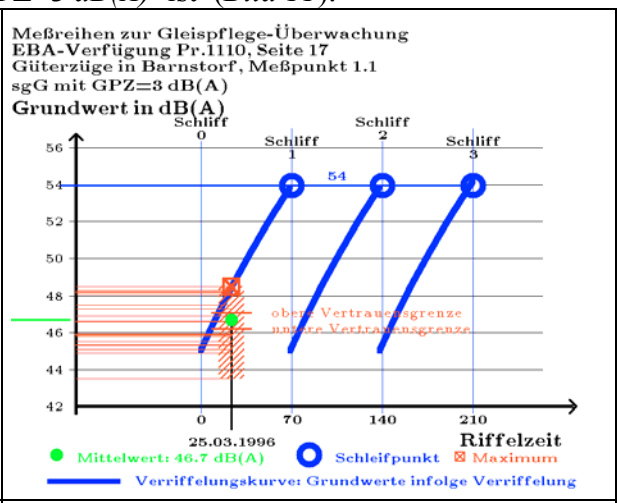


Bild 11: Prüfung als „*sgG*“ mit GPZ=3 *dBA)*in Barnstorf

Durchschnittlich guter Schienenzustand

Der maximale Pegel beträgt 48.5 *dB(A)*. Bei diesem Wert ist noch kein Neuschliff erforderlich, d.h. es kann sein, daß in diesem Falle der Schienenzustand „*durchschnittlich gut*“ ist. Dann wäre es notwendig, spätestens bei der *Riffelzeit* 44 zu schleifen, wenn die Verriffelungskurve aus *Bild 1* an diesem Ort Gültigkeit hat (siehe *Bild 10*).

Schlecht gepflegtes Gleis mit *GPZ* = 3 *dB(A)*

Es kann allerdings auch sein, daß in diesem Falle der Schienenzustand als „*schlecht gepflegtes Gleis mit GPZ* = 3 *dB(A)*“ zu bezeichnen ist. Dann wäre es notwendig, spätestens bei der *Riffelzeit* 71 zu schleifen, wenn die Verriffelungskurve aus *Bild 1* an diesem Ort Gültigkeit hat (siehe *Bild 11*).

A.3 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

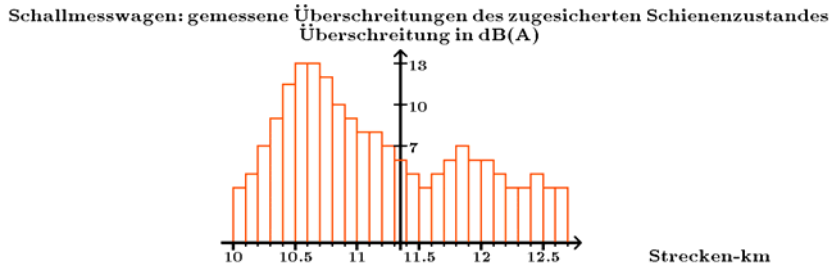
von *km*	Bis *km*	mittlere Überschreitung (*dB*)	Überschreitung > 10 *dB*	Bemerkungen
6	9,8	7	km 9,1 bis 9,2	
10,0	12,7	8	km 10,5 bis 10,8	
12,9	19,4	5	km 12,1 bis 12,3	
			km 13,3 bis 13,4	

Tabelle 2: EBA-Meßprotokoll einer Schallmesswagenfahrt

Kommentar zu A.3

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 Strecken-abschnitte gibt, bei denen Überschreitungen von mehr als 10 *dB(A)* auftreten (z.B. von *km* 10,5 bis *km* 10,8).



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
Ueberschr.	4	5	7	9	11.5	13	13	12	10	9	8	8	7	6	5	4	5	6	7
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
Ueberschr.	6	6	5	4	4	5	4	4
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 12: Ergebnis der Messung der Überschreitungen durch den Schallmesswagen der Bahn: maximale Überschreitung: 13 *dB(A)*

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 12*).

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.

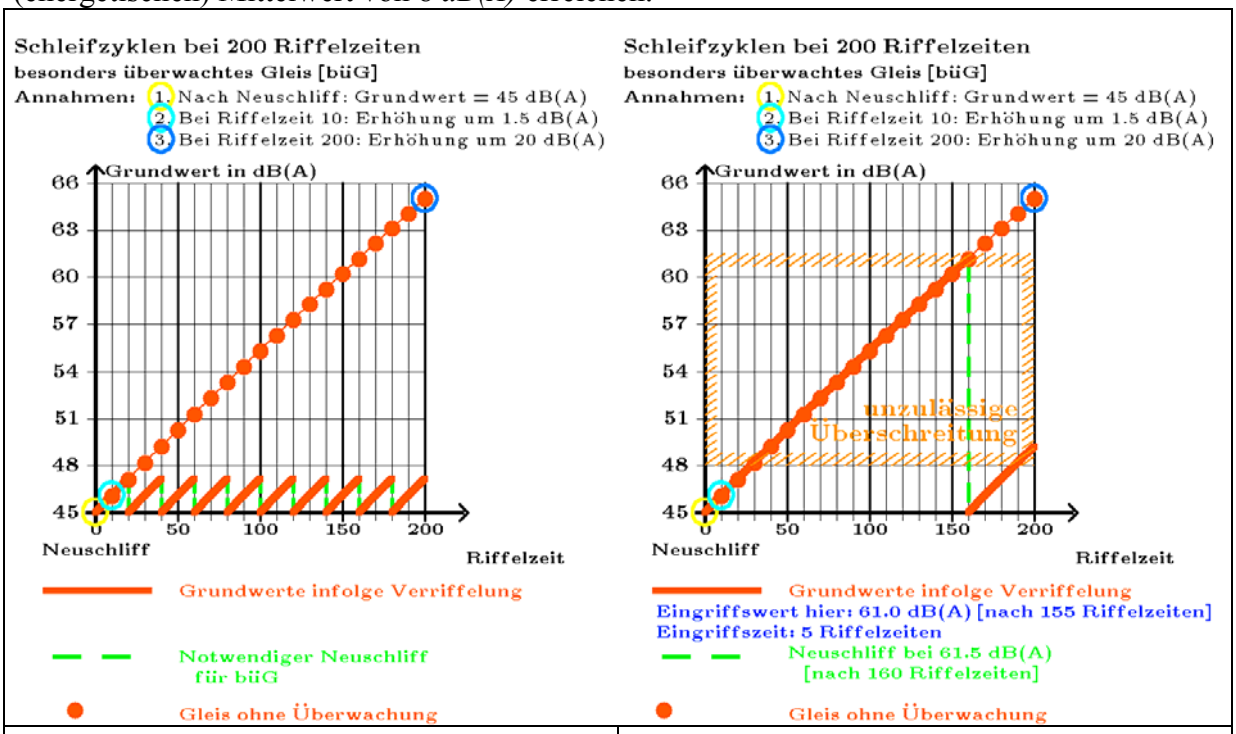


Bild 13: Schleifzyklen für ein „besonders überwachtes Gleis“ (ohne Überschreitung)

Bild 14: reale Überschreitung des Grundwertes eines „besonders überwachtes Gleises“ um 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 *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 13* werden die Schleifzyklen für ein „besonders überwachtes Gleis“ dargestellt: es gibt keine Überschreitung. – In *Bild 14* 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 *dB(A)*, d.h. die zulässige Lärmbelastung wird infolge der Verriffelung um 13.5 *dB(A)* überschritten.

A.4 Prüfung der Prognosewerte der 16. *BImSchV*

Im Folgenden wird gezeigt, wie leicht eine falsche Grenzbedingung zu falschen Beurteilungen einer Lärmsituation führen kann. Dazu wird beispielhaft vorgestellt, wie gepüft werden kann, ob die nach der 16.*BImSchV* berechneten Pegel auch für ICE-Züge gelten, die Geschwindigkeiten zwischen 280 und 300 *km/h* fahren.

Es soll dazu die folgende Hypothese geprüft werden.

- **Die nach der 16.*BImSchV* berechneten Emissionswerte für ICE-Züge mit Geschwindigkeiten zwischen 280 und 300 km/h sind eine obere Grenze für die real gemessenen Emissionen.**

Kommentar zu A.4

Die Daten, auf deren Grundlage das UBA diese Hypothese prüfen wollte, standen diesem Projekt leider nicht zur Verfügung. Aber es war bekannt, nach welchem Verfahren diese Hypothese geprüft wurde: Aus den Daten wird nach einem (ebenfalls vom UBA nicht genannten) Verfahren aus den Daten eine Regressionsgerade bestimmt, die den Zusammenhang zwischen Grundwert und Geschwindigkeit beschreibt.

Es wird dann geprüft, ob diese Regressionsgerade bei Geschwindigkeiten bis 300 *km/h* jeweils unterhalb der Kurve liegt, die durch die 16.*BImSchV* bestimmt wird:

- Bleibt für jede Geschwindigkeit der durch die Regressionsgerade bestimmte Pegel unterhalb des nach der 16.*BImSchV* berechneten Pegels, so ist die Hypothese anzunehmen.
- Übersteigt für irgendeine Geschwindigkeit der durch die Regressionsgerade bestimmte Pegel den durch die 16.*BImSchV* berechneten Pegel, so ist die Hypothese anbzulehnen.

Daher werden dazu zwei Beispiele angegeben: In jedem der Beispiele werden von 57 Zugvorbeifahrten jeweils der „geschwindigkeitsabhängige, normierte Pegel“ bestimmt. Diese werden dann mit den Grenzwerten aus der 16.*BImSchV* verglichen.

Beispiel 1

Die normierten Pegel des ersten Beispiels sind in *Bild 15* eingetragen.

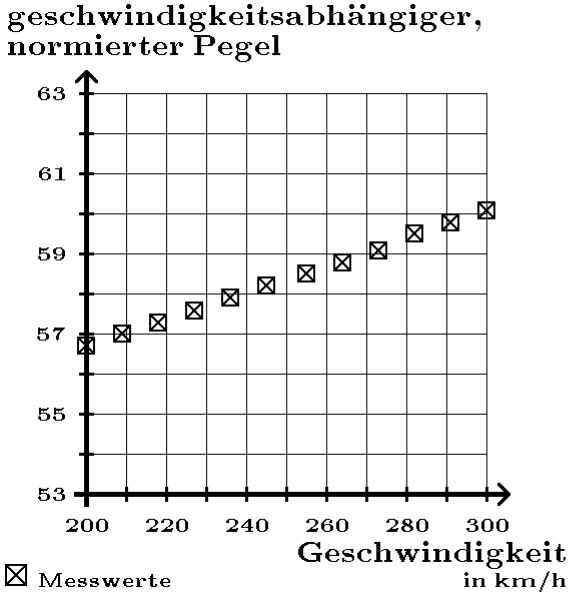


Bild 15: Beispiel geschwindigkeitsabhängiger Pegel

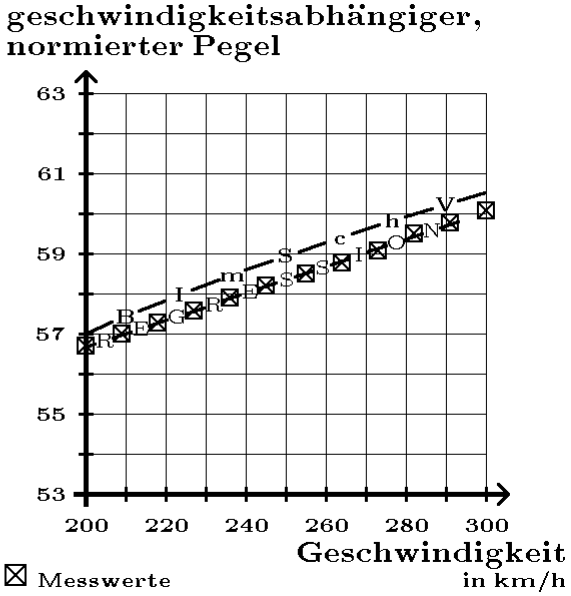


Bild 16: Bewertung von *Bild 15* durch Regression / Mittelwert

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Geschwindigkeit	200	209	218	227	236	245	255	264	273	282	291	300
Häufigkeit	4	4	4	6	4	6	4	7	4	3	4	7
Pegel (gemessen)	56.7	57.0	57.3	57.6	57.9	58.2	58.5	58.8	59.1	59.5	59.8	60.1

16.BImSchV	57.0	57.4	57.8	58.1	58.5	58.8	59.1	59.4	59.7	60.0	60.2	60.5
Differenz	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4

Tabelle 3: Meßwerte zur Prüfung der Prognosewerte der 16.*BImSchV*
Modell-Daten

In *Bild 16* wurden die Grenzwerte der 16.*BImSchV* eingetragen. Zusätzlich wurde eine[2] Regressionsgerade aus den normierten Grundwerten aus *Bild 15* berechnet. Es zeigt sich, daß diese Regressionsgerade unterhalb der Grenzkurve der 16.*BImSchV* liegt. Im Sinne der juristischen Beurteilung durch das Bundesverwaltungsgericht (siehe oben) ist damit begründet, daß diese Meßwerte zulässig sind, d.h. daß ein „*durchschnittlich guter Schienenzustand*“ vorliegt.

Beispiel 2

Mit etwas mathematischer Phantasie läßt sich jedoch auch ein anderes Beispiel konstruieren, bei dem es nicht mehr „offensichtlich“ ist, daß hier ein „*durchschnittlich guter Schienenzustand*“ vorliegt: In *Bild* 17 werden die in *Tabelle 3* enthaltenen Meßwerte vorgestellt. Auch hier liegt die Regressionsgerade unterhalb der Grenzkurve der 16.*BImSchV*. Aber die Regressionsgerade beschreibt die Mittelwerte, und es ist deutlich, daß der normierte Pegel im Falle der Nr. 8 (in *Tabelle 4*) um 3.1 *dB(A)* über dem nach der 16.*BImSchV* berechneten Pegel liegt[3].

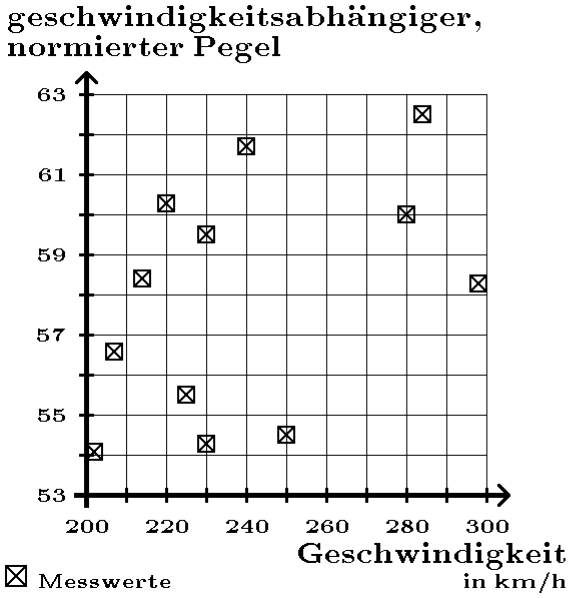


Bild 17: Beispiel geschwindigkeitsabhängiger Pegel

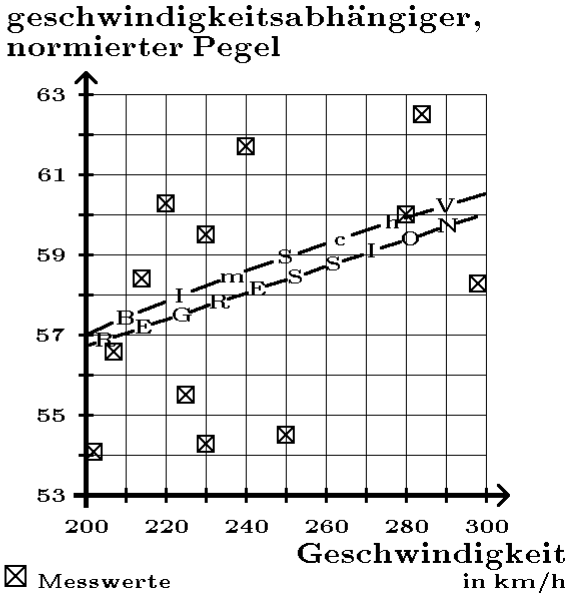


Bild 18: Bewertung von *Bild 17* durch Regression / Mittelwert

[2] Es gibt stets zwei Regressionsgeraden – je nach Wahl der Achsen (die zweite Regressionsgerade schneidet aber die Kurve der 16.*BImSchV*). Ferner gibt es die Möglichkeit, die Zuverlässigkeit der Bildung einer Regressionsgeraden zu prüfen – darauf wurde vom Autor hier absichtlich verzichtet.

[3] Die Überschreitung von 3.0 *dB(A)* gilt nach juristischer Auffassung als „wesentlich“.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Geschwindigkeit	202	207	214	220	225	230	230	240	250	280	284	298
Häufigkeit	4	4	4	6	4	6	4	7	4	3	4	7
Pegel (gemessen)	54.1	56.6	58.4	60.3	55.5	54.3	59.5	61.7	54.5	60.0	62.5	58.3
16.BimschV	57.1	57.3	57.6	57.8	58.0	58.2	58.2	58.6	59.0	59.9	60.1	60.5
Differenz	-3.0	-0.7	+0.8	+2.5	-2.5	-3.9	+1.3	+3.1	-4.5	+0.1	+2.4	-2.2

Tabelle 4: Meßwerte zur Prüfung der Prognosewerte der 16.*BImSchV*
Variierte Daten

Auch in *Bild 18* wurden die Grenzwerte der 16.*BImSchV* eingetragen und eine Regressionsgerade aus den normierten Grundwerten aus *Bild 17* berechnet. Es zeigt sich auch hier, daß diese Regressionsgerade unterhalb der Grenzkurve der 16.*BImSchV* liegt. Im Sinne der juristischen Beurteilung durch das Bundesverwaltungsgericht (siehe oben) ist damit auch für diese normierten Grundwerte bewiesen, daß ein „*durchschnittlich guter Schienenzustand*“ vorliegt.

Vergleich der beiden Beispiele

Die eingangs aufgestellte Hypothese, daß die nach der 16 *BImSchV* berechneten Emissionswerte bei Geschwindigkeiten zwischen 280 und 300 *km/h* von ICE-Zügen eine obere Grenze bilden, ist im zweiten Beispiel für die 4 Züge der Nr. 11 nicht erfüllt. Damit ist die Hypothese falsch: Die Regressionsgerade beschreibt die Lärmsituation nicht. Da eine Regressionsgerade von den Mittelwerten gebildet wird, ist sie für Lärmbewertungen ungeeignet.

B. Streuung von Vorbeifahrpegeln

Schallpegel von Zugvorbeifahrten entwickeln sich im allgemeinen aus einem „Hintergrundgeräusch“ und wachsen dann zu „Geräuschspitzen“ an. Nach der Vorbeifahrt fällt der Lärm wieder auf das Hintergrundgeräusch zurück. Diese Charakteristik ist in *Bild19* dargestellt.

Dieser Kurve soll ein Pegel zugeordnet werden, der den Schienenzustand beschreibt:

Je höher der Pegel, desto schlechter der Schienenzustand.

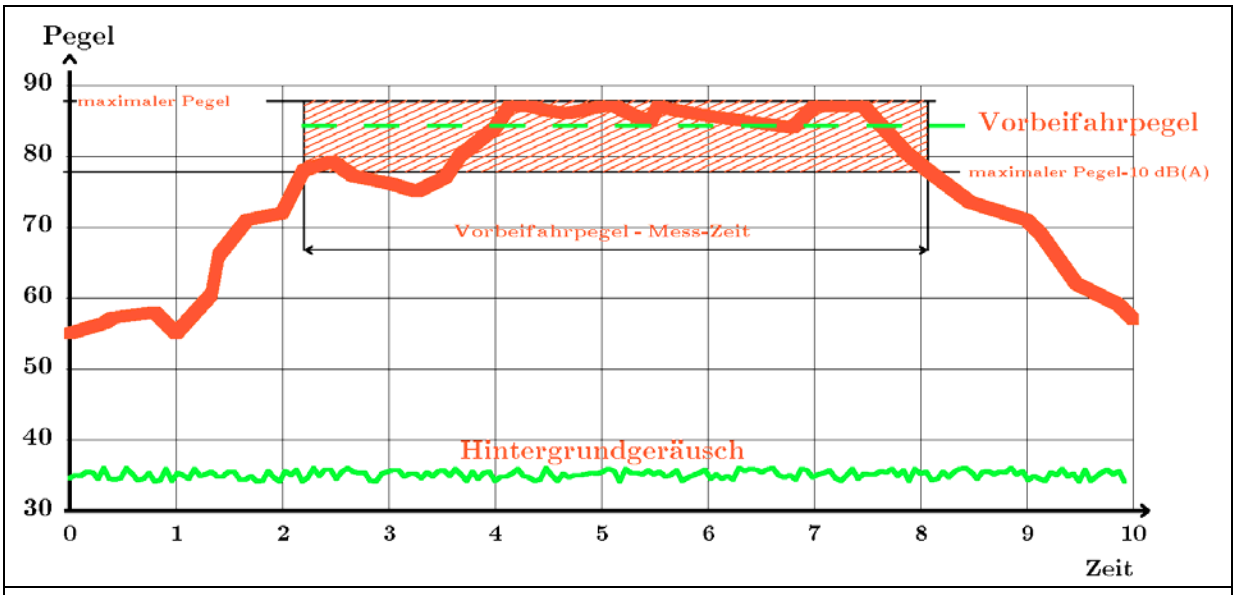


Bild 19: Pegelverlauf während einer Zugvorbeifahrt

B.1 Pegel zur Charakterisierung des Pegelverlaufs einer Zugvorbeifahrt

Für diesen Verlauf lassen sich zur Charakterisierung des Schienenzustandes folgende Einzel-Pegel bestimmen:

- **Maximalpegel**: Durch diesen Pegel wird der auffälligste Anteil der Vorbeifahrt beschrieben. Die Länge der Vorbeifahrt wird von diesem Pegel nicht erfaßt.
- **10-dB-Pegel**: Der Mittelwert der Einzelmessungen, die in der Zeit erfaßt werden zwischen
  - der Anfangszeit mit dem Pegel (Maximalpegel - 10 *dB(A)*)
  - dem Maximalpegel
  - der Endzeit mit dem Pegel (Maximalpegel – 10 *dB(A)*)

  Dieser Pegel berücksichtigt den Maximalpegel auch, ist aber meßtechnisch nur bei kontinuierlicher Erfassung der Einzelpegel bestimmbar und daher für stichprobenartige Messungen, wie sie zur Beobachtung der Verriffelung notwendig sind, nur bedingt verwendbar.

  Daher ist der 10-dB-Pegel für die Beurteilung des Schienenzustandes ungeeignet.
- **(arithmetischer oder energetischer) Mittelungspegel**: Der Mittelungspegel erfaßt noch weitere Pegel aus der Zeit beim Herannahen bzw. Wegfahren des Zuges und ist daher – wie schon der 10-dB-Pegel – ungeeignet für die Beurteilung des Schienenzustandes. Da dennoch in vielen Bereichen der Mittelungspegel verwendet wird, soll im folgenden die Bedeutung dieses Pegels in mehreren Beispielen untersucht werden.
- **Minimalpegel** (oder der in 95 % der Fälle überschrittene Pegel L_{AF95}): Dieser Pegel beschreibt nicht die Vorbeifahrt, sondern das Hintergrundgeräusch.

Bundesverwaltungsgericht und Deutsche Bahn

Es gibt „Verordnungsgeber“, die Geräuschspitzen nicht gesondert berücksichtigen, sondern nur Mittelwerte zur Beschreibung von Lärmsituationen zulassen. Dazu schreibt das Bundesverwaltungsgericht in [3] :

- **Unter diesen Umständen kann nicht festgestellt werden, daß der Verordnungsgeber mit dem von ihm gewählten Verfahren, ausschließlich auf die jeweiligen Mittelungspegel abzüglich eines Schienenbonus von 5 *dB(A)* abzustellen und**

Maximalpegel oder mittlere Maximalpegel nicht gesondert zu berücksichtigen, sein normatives Ermessen bei der Festsetzung von Immissionsgrenzwerten überschritten hat.

Das Bundesverwaltungsgericht läßt daher zu, daß **Mittelwerte** als „Maß“ gewählt werden.

Kommentar

Es entstehen die geringsten Kosten für Lärmschutzmaßnahmen, wenn der **minimale Pegel** als Maß für den Vorbeifahrpegel gewählt wird („Da .. das Schleifen der Schienen mit hohen Kosten verbunden ist, ist es erforderlich, den Grenzwert für das Schienenschleifen so hoch wie möglich anzusetzen“ schreiben dazu Hölzl, Diehl und Beier in [3]). Der Minimalpegel wird nur dann den Grenzwert erreichen, wenn das Hintergrundgeräusch diesen erreicht. – In der Praxis sollte dieser Fall niemals eintreten.

B.2 Bestimmung des Grundwertes durch den Schallmesswagen

Wenn der Schallmeßwagen ein Gleis bezüglich seiner Verriffelung und damit seinen Grundwert prüft, so gibt es nur einen Pegelverlauf.

B.3 Bestimmung des Grundwertes durch Züge einer Zuggattung

In der oben genannten Verfügung des Eisenbahnbundesamtes ([2]) sollte der Schienenzustand von drei Gleisen geprüft werden. Es sollte gezeigt werden, daß die gemessenen Grundwerte so niedrig sind, daß für diese Gleise ein Gleispgflegeabschlag GPA einzurichten sei.

Nach den theoretischen Darstellungen aus dem Teilprojekt T wäre es dazu notwendig, direkt vor einem Schleiftermin den Grundwert festzustellen. Das war den Informationen des EBA nicht zu entnehmen.

Es wurden die in *Bild 20* dargestellten Mittelwerte von Grundwerten aus Messungen an drei aufeinanderfolgenden Tagen angegeben. Für jede Zuggattung wurde jeder Mittelwert aus z.T. mehreren Messungen einzelner Vorbeifahrten bestimmt.

Mittelwerte	Barnstorf		Nörten-Hardenberg		Twistringen 1	
Höchster Grundwert	GZ	50.1 *dB(A)*	GZ	48.8 *dB(A)*	RE/SE	48.8 *dB(A)*
	RE/SE	49.1 *dB(A)*			RE/SE	47.9 *dB(A)*
	RE/SE	48.5 *dB(A)*	GZ	47.3 *dB(A)*	GZ	47.6 *dB(A)*
	GZ	47.8 *dB(A)*			GZ	46.4 *dB(A)*
	IC/IR	47.0 *dB(A)*	ICE	45.8 *dB(A)*	ICE	45.2 *dB(A)*
	IC/IR	45.9 *dB(A)*	ICE	44.6 *dB(A)*	IC/IR	44.6 *dB(A)*
Geringster Grundwert	ICE	45.1 *dB(A)*	IC/IR	43.9 *dB(A)*	IC/IR	44.1 *dB(A)*

B.4 Auswertung der Messungen zum Grundwert

Das *Bild 20* zeigt, daß

- bei zwei verschiedenen Messungen
- am gleichen Ort und bei gleicher Zuggattung

die gemittelten Grundwerte um bis zu 2.3 *dB(A)* voneinander abweichen können (bei Güterzügen in Barnstorf).

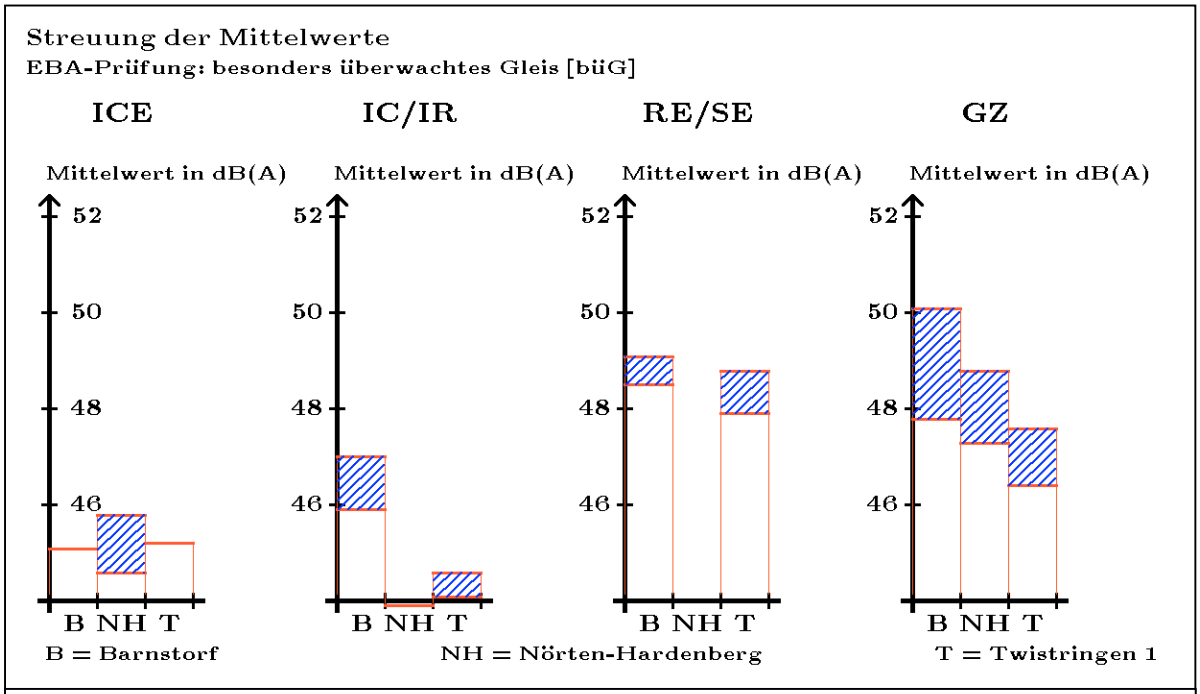


Bild 20: Meßergebnisse aus der EBA-Verfügung, getrennt nach Zuggattungen

Nach der Theorie der Gleispflege ist das Ergebnis dieser Messung unverständlich: Durch die Berechnungen der 16.*BImSchV* soll gewährleistet sein, daß für alle Zuggattungen durch Zurückrechnen der gleiche Grundwert erreicht wird, der dann den Schienenzustand charakterisiert. Die in *Bild 20* dargestellten Ergebnisse zeigen jedoch deutlich, daß die Festlegung eines Grundwertes problematisch ist.

In *Bild 21* werden die Mittelwerte aus *Bild 20* den jeweiligen Orten zugeordnet. Dabei wird zur besseren Vergleichbarkeit bei jedem Ort jeweils nach Zuggattungen getrennt.

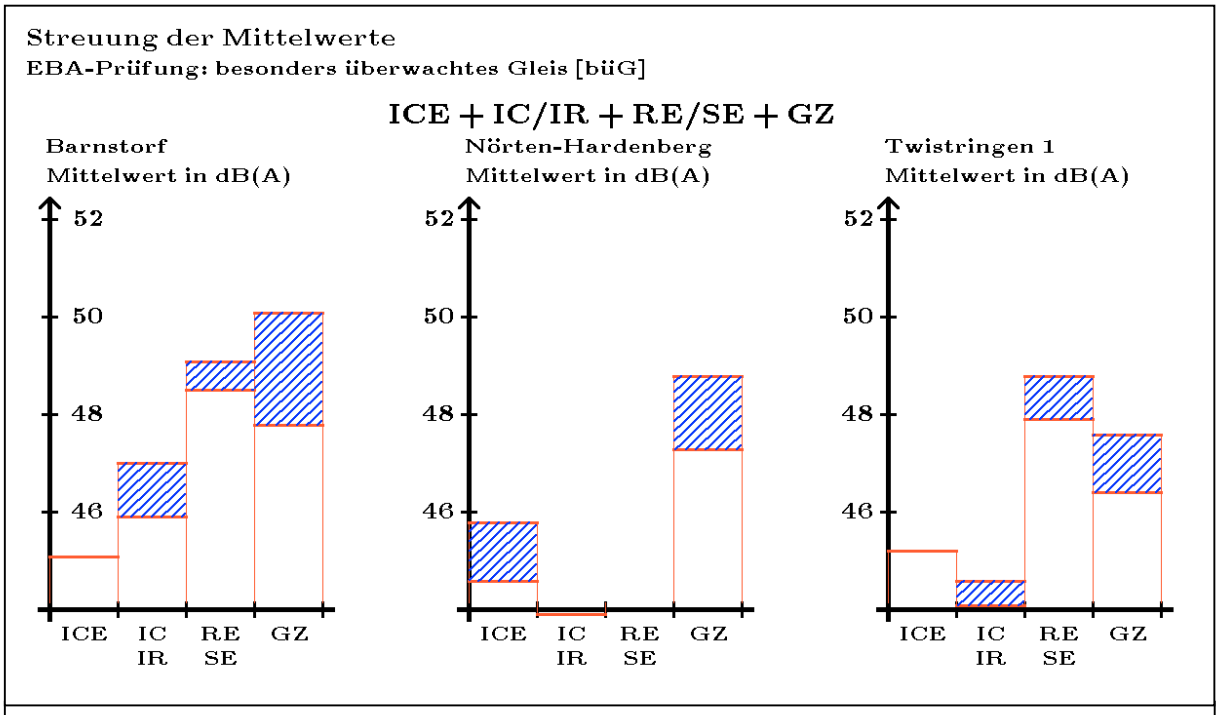


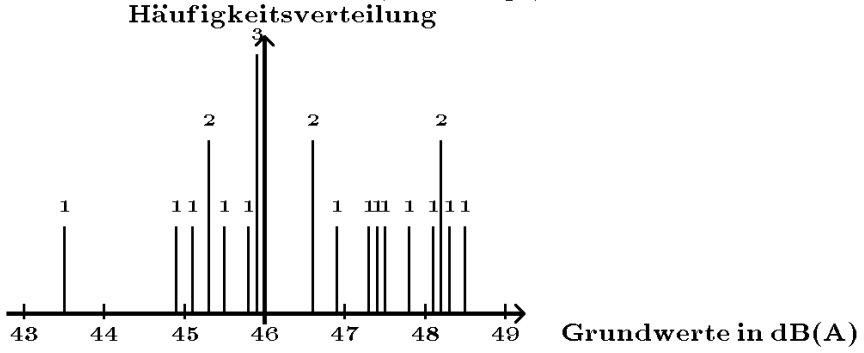
Bild 21: Meßergebnisse aus der EBA-Verfügung, getrennt nach Orten

Prüfung der Überschreitung des Eingriffswertes für Barnstorf

Wenn etwa aus den Meßdaten von Barnstorf bestimmt werden soll, ob ein Eingriffswert von 49 *dB(A)* überschritten ist, so genügen nicht die Mittelwerte aus *Bild 21*, sondern es sind die einzelnen Grundwerte zu betrachten.

Es wird daher hier das Meßprotokoll vom 25. bis zum 27.3.1996 herangezogen ([2]); die Grundwerte für Güterzüge, die den Meßpunkt 1.1 passierten, sind in *Bild 21* eingetragen.

In *Bild 22* wird für die Orte Barnstorf und Nörten-Hardenberg jeder Mittelwert jeweils durch die erzeugenden Grundwerte ersetzt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden dabei die Grundwerte der Güterzüge von Meßpunkt 1.1. in Barnstorf für jeden der Mittelwerte angenommen.



Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Grundwert	43.5	44.9	45.1	45.3	45.5	45.8	45.9	46.6	46.9	47.3	47.4	47.5	47.8	48.1	48.2	48.3	48.5
Häufigkeit	1	1	1	2	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Quelle: Müller-BBM 31416/2 (1997) Güterzüge: Barnstorf Mp 1.1 L GD

Bild 22: gemessene Grundwerte für Güterzüge aus Barnstorf

Wird nun für Barnstorf der Mittelwert für Güterzüge aus *Bild 21* ersetzt durch die Grundwerte aus *Bild 22*, so ergibt sich das *Bild 23*: Auf der linken Seite sind die Zuggattungen noch getrennt, während auf der rechten Seite die Daten gemischt wurden. Für diese Daten wurden die drei Maße arithmetisches Mittel, logarithmisches Mittel und Maximalpegel eingetragen.

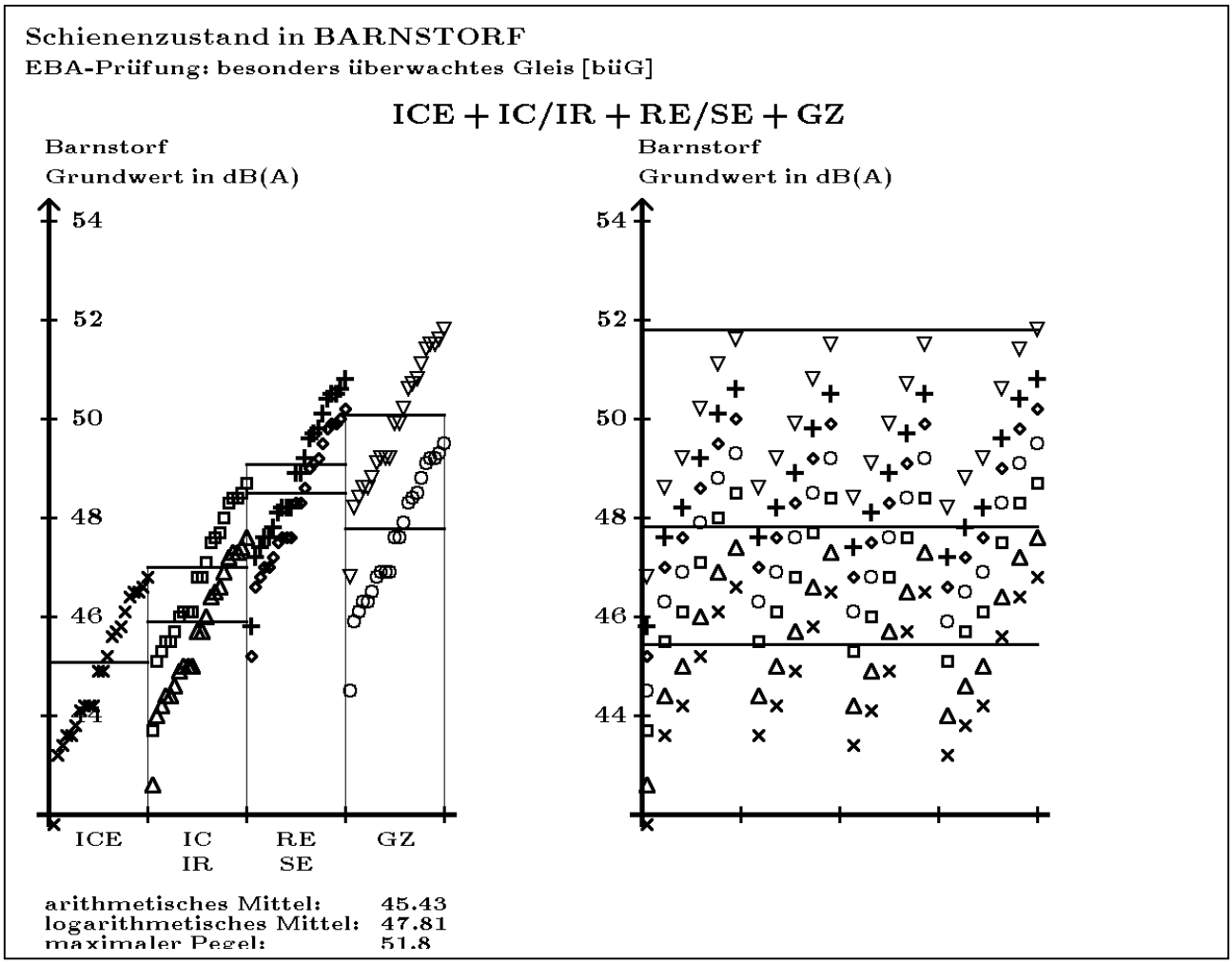


Bild 23: Meßergebnisse aus der EBA-Verfügung aus Barnstorf, Meßpunkt 1.1, alle Züge 25. - 27.3.1996

B.5 Ergebnis

Das Urteil, ob dieses Gleis noch als *besonders überwachtes Gleis* mit Gleispflegeabschlag von 2 *dB(A)* gelten darf, sei dem Leser überlassen.

Infolge der starken Streuung der Meßwerte (im Fall A.3 etwa 8 *dB(A)*) lassen die beiden in *Bild 23* dargestellten Mittelwerte erkennen, daß ihr Wert gegenüber dem Maximum sehr leicht beeinflußt werden kann: Damit scheinen weder das energetische noch arithmetische Mittel zur Beschreibung dieses Schienenzustandes geeignet zu sein. (Diese starke Streuung der Versuchsergebnisse wird auch von Vogelsang und Wende in [4] untersucht.)

C. Auswertung von Schallpegel-Meßreihen

In diesem Teilprojekt soll untersucht werden, welche Pegel sich zur Charakterisierung einer Meßreihe von Schallpegeln eignet. Dabei werden nur Meßreihen betrachtet, die zeitunabhängig (während weniger Tage) zur Bestimmung des Grundwertes an einem festen Ort durch mehrere Zugvorbeifahrten ermittelt wurden.

C.1 Darstellung der Auswertung einer Meßreihe

Es wird nach *VDI 3723 Blatt1* für den Mittelungspegel $L_{AFeq;m}=M_m$ als *Kenngröße* die obere und die untere Vertrauensgrenze bestimmt: Dabei wird hier deutlich, daß diese Grenzen nur die Lage des Mittelungspegels beschreiben. Die Bedeutung dieses Pegels wird in dem *VDI-Blatt* jedoch nicht diskutiert[4].

Hier ergibt sich bei einer Klasseneinteilung – gemäß der linken Hälfte von *Bild 24* - vorgenommen:

49 - 52 – 55 – 58 – 61 – 64 *dB(A)*

Dann kann nach dieser Norm sowohl der energetische Mittelwert als auch seine obere und untere Vertrauensgrenze berechnet werden. Diese Vertrauensgrenzen dienen der Beschreibung der Lage des Mittelwertes. Weder aus dem Mittelwert noch aus den Vertrauensgrenzen kann eine Folgerung für den maximalen Pegel gezogen werden.

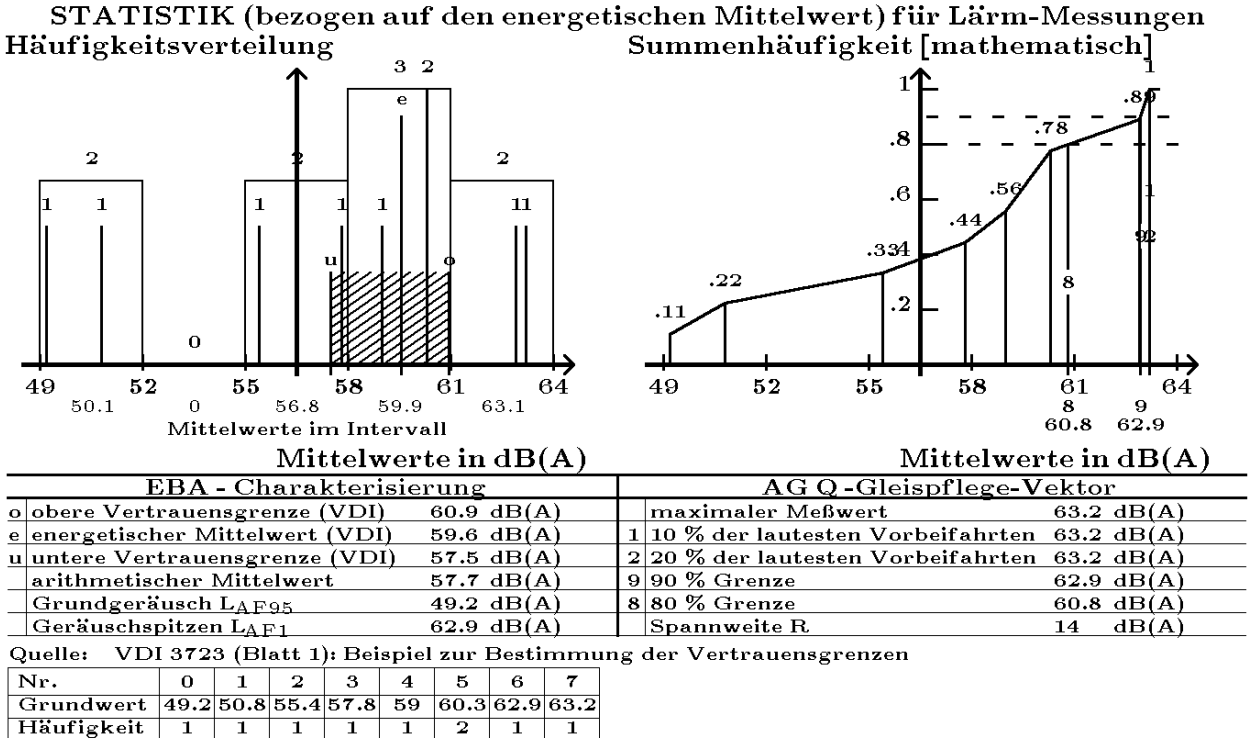


Bild 24: Darstellung von Meßergebnissen (Beispiel aus VDI 3723)

Bild 24 ist ein Beispiel zur Demonstration der Begriffe. Es werden 9 Meßwerten ausgewertet. Auf der linken Hälfte wird die vom EBA vorgenommene Bildung des energetischen

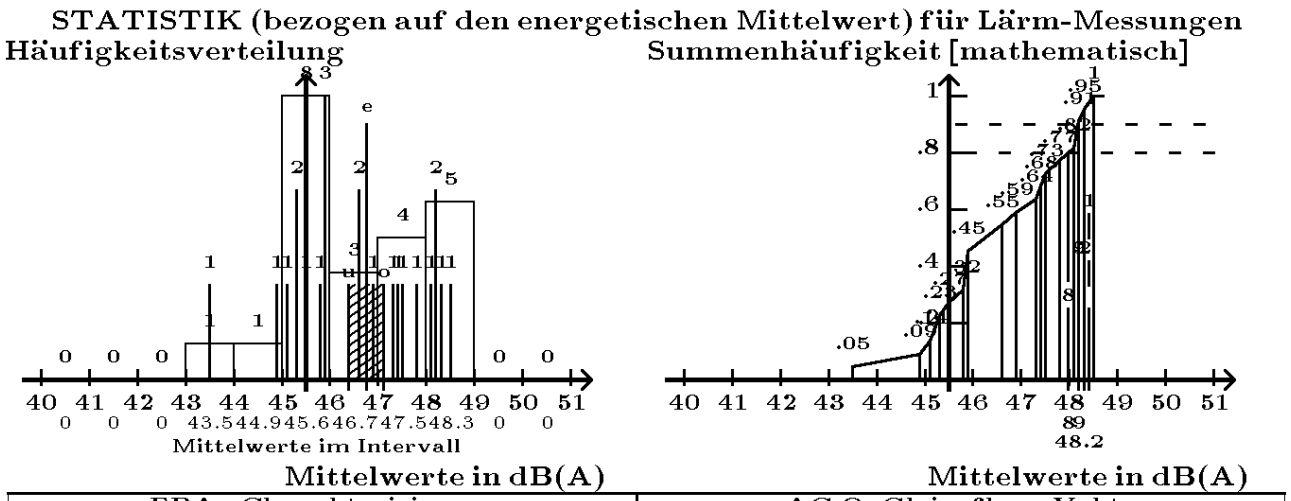
[4] Für die Lärmbewertung charakterisiert der Mittelungspegel nicht den Schienenzustand (siehe Ergebnis des Teilprojekts T). Daher sind auch die Vertrauensbereiche für den Mittelungspegel ohne Bedeutung.

Mittelungspegels vorgeschlagen. Zur Bestätigung der „richtigen“ Lage des Mittelwertes wird ferner verlangt, daß die Vertrauensgrenzen nicht weiter als 1 *dB(A)* auseinanderliegen.

Auf der rechten Hälfte wird die Summenhäufigkeit dieser Meßreihe dargestellt. Auch aus dieser Darstellung kann der maximale Pegel abgelesen werden.

C.2 Beurteilung des Wertes des Vertrauensbereiches

Es wird im Teilprojekt A das EBA-Beispiel der Güterzüge aus Barnstorf vorgestellt. Für dieses Beispiel wird Darstellungsform aus *Bild 24* gewählt.



EBA - Charakterisierung		
o	obere Vertrauensgrenze (VDI)	47.1 dB(A)
e	energetischer Mittelwert (VDI)	46.8 dB(A)
u	untere Vertrauensgrenze (VDI)	46.4 dB(A)
	arithmetischer Mittelwert	46.6 dB(A)

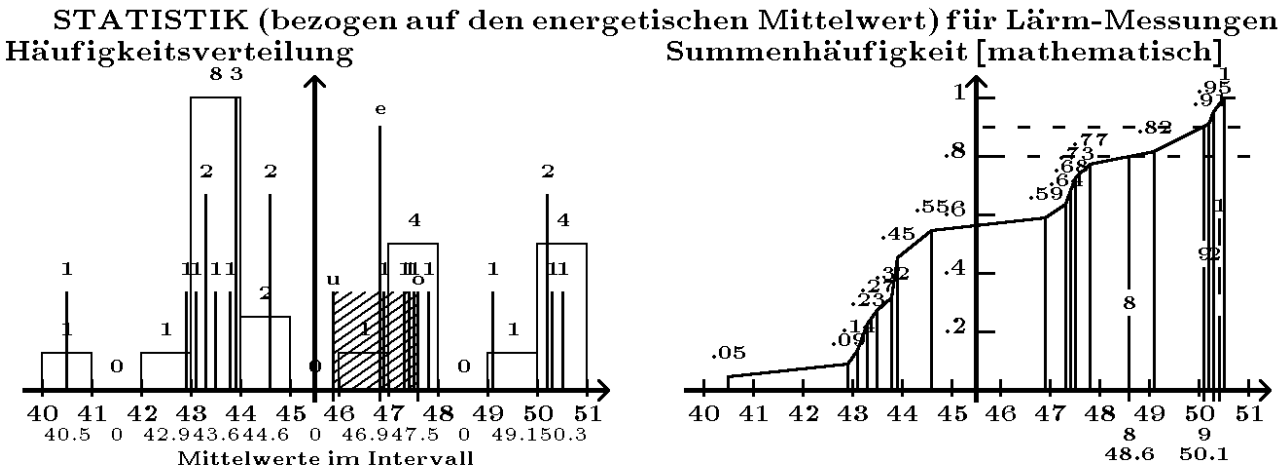
AG Q -Gleispflege-Vektor		
	maximaler Meßwert	48.5 dB(A)
1	10 % der lautesten Vorbeifahrten	48.4 dB(A)
2	20 % der lautesten Vorbeifahrten	48.3 dB(A)
9	90 % Grenze	48.2 dB(A)
8	80 % Grenze	48 dB(A)
	Spannweite R	5 dB(A)

Quelle: Müller-BBM 31416/2 (1997) Güterzüge: Barnstorf Mp 1.1 L GD

Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Grundwert	43.5	44.9	45.1	45.3	45.5	45.8	45.9	46.6	46.9	47.3	47.4	47.5	47.8	48.1	48.2	48.3	48.5
Häufigkeit	1	1	1	2	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Bild 25: gemessene Grundwerte für Güterzüge aus Barnstorf
Darstellung von *Bild 22* im Format von *Bild 24*

Für dieses Beispiel wird nun untersucht, wie gut der energetische Mittelwert den Schienenzustand beschreibt. Dazu werden die gemessenen Grundwerte so verändert, daß der Mittelwert erhalten bleibt, nicht aber der maximale Grundwert:



EBA - Charakterisierung			AG Q -Gleispflege-Vektor		
o	obere Vertrauensgrenze (VDI)	47.6 dB(A)		maximaler Meßwert	50.5 dB(A)
e	energetischer Mittelwert (VDI)	46.8 dB(A)	1	10 % der lautesten Vorbeifahrten	50.4 dB(A)
u	untere Vertrauensgrenze (VDI)	45.9 dB(A)	2	20 % der lautesten Vorbeifahrten	50.3 dB(A)
	arithmetischer Mittelwert	45.8 dB(A)	9	90 % Grenze	50.1 dB(A)
	Grundgeräusch L_{AF95}	42.9 dB(A)	8	80 % Grenze	48.6 dB(A)
	Geräuschspitzen L_{AF1}	50.3 dB(A)		Spannweite R	10 dB(A)

Quelle: Müller-BBM 31416/2 (1997) Güterzüge: überhöht: einfach

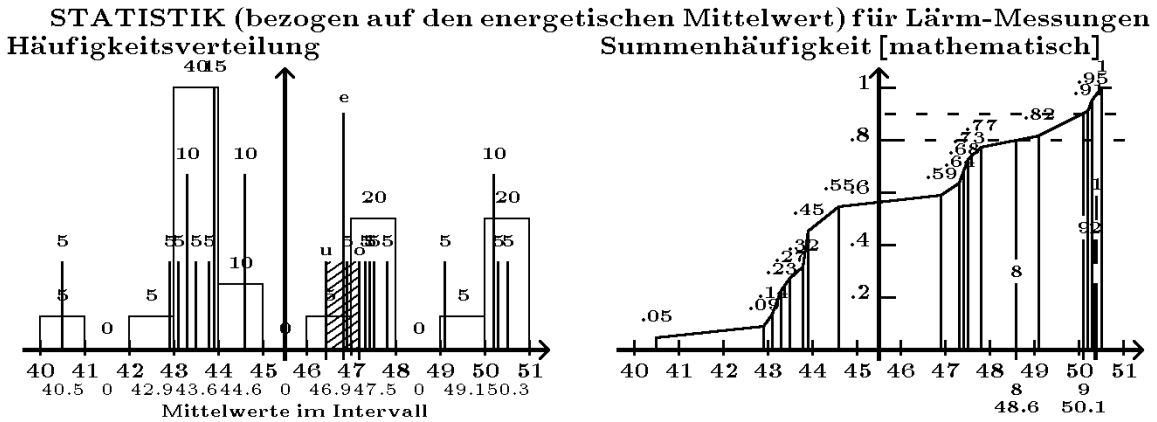
Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
GDalt	43.5	44.9	45.1	45.3	45.5	45.8	45.9	46.6	46.9	47.3	47.4	47.5	47.8	48.1	48.2	48.3	48.5
GDneu	40.5	42.9	43.1	43.3	43.5	43.8	43.9	44.6	46.9	47.3	47.4	47.5	47.8	49.1	50.2	50.3	50.5
Häufigk.	1	1	1	2	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Bild 26: Veränderung der gemessenen Grundwerte für Güterzüge aus Barnstorf aus *Bild 25*

In diesem Falle ist allerdings der Vertrauensbereich für den Mittelwert sehr groß: die untere Vertrauensgrenze liegt bei 45,9 *dB(A)*, während die obere bei 47,5 *dB(A)* liegt. Daher würde nach der Beschreibung des EBA diese Messung noch nicht ausreichen.

Mehrfachmessungen zur Erlangung eines schmalen Vertrauensbereichs

Es wird nun dieses Ergebnis 5 mal (z.B. hintereinander) gemessen. Das Ergebnis ist dann in *Bild 27* dargestellt.



EBA - Charakterisierung		
o	obere Vertrauensgrenze (VDI)	47.2 dB(A)
e	energetischer Mittelwert (VDI)	46.8 dB(A)
u	untere Vertrauensgrenze (VDI)	46.4 dB(A)
	arithmetische Mittelwert	45.8 dB(A)

AG Q -Gleispflege-Vektor		
	maximaler Meßwert	50.5 dB(A)
1	10 % der lautesten Vorbeifahrten	50.4 dB(A)
2	20 % der lautesten Vorbeifahrten	50.3 dB(A)
9	90 % Grenze	50.1 dB(A)
8	80 % Grenze	48.6 dB(A)
	Spannweite R	10 dB(A)

Quelle: Müller-BBM 31416/2 (1997) Güterzüge: überhöht: fünffach

Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
GDalt	43.5	44.9	45.1	45.3	45.5	45.8	45.9	46.6	46.9	47.3	47.4	47.5	47.8	48.1	48.2	48.3	48.5
GDneu	40.5	42.9	43.1	43.3	43.5	43.8	43.9	44.6	46.9	47.3	47.4	47.5	47.8	49.1	50.2	50.3	50.5
Häufigk.	5	5	5	10	5	5	15	10	5	5	5	5	5	5	10	5	5

Bild 27: Fünf Wiederholungsmessungen zu den veränderten Grundwerte Barnstorf aus *Bild 26*

Dieses Bild macht deutlich, daß der Mittelwert den tatsächlichen Schienenzustand nicht beschreibt.

C.3 Beurteilung des Schienenzustandes

Unter der Annahme, daß die nach der 16.*BImSchV* berechneten Pegel die obere Grenze darstellen, zeigt das Ergebnis des zweiten Beispiels, daß die Gleise schlecht gepflegt sind:

1. Wenn diese 57 Messungen an einem festen Ort vorgenommen wurden, kann auf Grund der zuvor zur Gleispflege dargestellten Betrachtungen das Gleis als „schlecht gepflegtes Gleis“ mit *GPZ*=3.1 *dB(A)* eingestuft werden.
2. Wenn diese 57 Messungen an verschiedenen Messorten vorgenommen wurden, kann auf Grund der zuvor zur Gleispflege dargestellten Betrachtungen ein Vergleich nicht stattfinden: Es könnten unterschiedliche Schienenzustände vorliegen, wodurch die Messungen unterschiedlich bewertet würden.

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 der Projektleitung:

AG Qualität im Fachbereich Mathematik der Universität Hannover

Dr. Dirk Windelberg, Prof. Dr. Ernst Stephan

Welfengarten 1

30167 Hannover