

Wirkung unterschiedlicher Güterwagen-Bremssysteme auf den Vorbeifahrpegel

1 Problem

Es gibt ein Protokoll¹⁾ der DB vom 13.05.2002 über Messungen zum Vergleich der Vorbeifahrpegel von Grauguss und K-Sohle:

Danach wurde ein Versuchs-Güterzug aus 20 bezüglich Konstruktion und Aufbauten gleichen vierachsigen Güterwagen (Tamms 895) zusammengestellt, die mit zwei verschiedenen, jeweils direkt auf die Radlauflächen wirkenden Bremssystemen ausgestattet waren:

- 10 Güterwagen mit Grauguss-Klotz-Bremse
- 10 Güterwagen mit einer Verbundstoff-Bremse

Dieser Versuchs-Güterzug fuhr mit einer Geschwindigkeit $v = 100 \text{ km/h}$ an einem Messpunkt vorbei, der sich im Abstand von 7.5 m von der Gleismitte und in 2.16 m Höhe über der Schienenoberkante befand.

Der gemessene Vorbeifahrpegel dieses Zuges betrug

- im Bereich der Grauguss-gebremsten Güterwagen **101 dB(A)** und
- im Bereich der mit K-Sohle gebremsten Güterwagen **89 dB(A)**.

Schon immer unterschieden sich die Vorbeifahrpegel verschiedener Güterwagen bei gleichem Schienenzustand um bis zu 8 dB(A) (siehe Windelberg, D.: „Güterzug-Schallemissionen: Messung und gesetzliche Bewertung“ in *Immissionsschutz 13 (2008)*, 193-196).

Wenn dennoch nach der *Schall 03 (1990)* für einen durchschnittlich guten Schienenzustand der Vorbeifahrpegel berechnet wird, so ergibt sich für die Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse ein Vorbeifahrpegel von 92 dB(A) mit und von 97 dB(A) ohne „Schienenbonus“ - anstelle des gemessenen Vorbeifahrpegels von 101 dB(A) (siehe Kapitel 3 (Anhang)).

Ein solcher Unterschied läßt sich nur erklären, wenn die Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse extrem schlecht gewartet wurden.

In dem Entwurf für eine *Schall 03 (2006)* errechnet sich bei gleichem Schienenzustand zwischen Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse und Güterwagen mit K-Bremse ein Unterschied von 5 dB(A) . Der oben angeführte Versuchs-Güterzug zeigt jedoch, dass Berechnung und Messung auch in einer neuen *Schall 03 (2006)* nicht zusammenpassen.

Frage

Bleibt dieser oben genannte Unterschied von 12 dB(A) bestehen, wenn diese Güterwagen jeweils $200\,000 \text{ km}$ im „typischen“ Einsatz gefahren sind?

¹⁾ Vortrag R. Heinisch, DB Systemverbund Bahn, 2.4.2007 in Bingen.

2 Vermutungen zur Beantwortung der Frage

2.1 Allgemeine Bemerkungen

Durch Reibung zwischen Bremsbelag und Radlaufläche treten beim Bremsen Temperaturen bis zu $450^\circ C$ auf. Da eine Ersetzung durch Scheibenbremsen aus Kostengründen abgelehnt wird, ist es Ziel der Forschung, neue Werkstoffe für die Bremsklötze zu entwickeln. Sie sollen die gleiche Bremswirkung besitzen wie die Grauguss-Klotzbremse, bis $450^\circ C$ temperaturbeständig sein und bei starkem Abbremsen von hohen Geschwindigkeiten den Reibwert mindern. Bisher gibt es dazu die Bremse mit K- sowie mit LL-Sohle. Güterwagen müssen nach 200 000 - 300 000 gefahrenen Kilometern, spätestens aber jeweils nach 8 Jahren, in die Werkstatt. Dort werden

- alle Radsätze (Achse mit 2 Rädern) ausgebaut und bezüglich Flachstellen und Riefen geprüft und dann gegebenenfalls „abgedreht“
- das Bremssystem überprüft und gegebenenfalls repariert
- bereits reparierte Radsätze eingesetzt (meist nicht die aus diesem Güterwagen ausgebauten).

Es ist bekannt, dass Flachstellen eines Rades (die entstehen, wenn beim Bremsen die Räder blockieren) zu „schlagenden“ Geräuschen führen.

Es ist nicht bekannt, ob es einen messbaren Zusammenhang zwischen Schienenzustand und der Rauheit der Radlaufläche gibt.

Nach der *Schall 03 (1990)* wird der „Einfluss der Bremsbauart (D_D)“ berechnet:

- Für Güterzugwagen ohne Scheibenbremsen ist $D_D = 7 dB(A)$,
- für Güterzugwagen mit 100% Scheibenbremsen ist $D_D = 0 dB(A)$

Also könnte nach dieser Berechnung eine Lärmreduktion von maximal $7 dB(A)$ erreicht werden.

Nach der *Schall 03 (2006)* wird der „Einfluss der Bremsbauart (D_D)“ berechnet (zum Zeitpunkt der End-Formulierung der dieser Schall 03 (2006) gab es allerdings noch keine Untersuchungen zum Verschleiss der Radlaufläche mit der Zeit):

Grauguss ./ K-Bremse in der Schall 03 (2006)									
Frequenzmitte	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	a_A
Schiene	-50	-40	-24	-8	-3	-6	-11	-30	67.0
Grauguss	-40	-30	-22	-9	-3	-5	-15	-26	72.5
K-Bremse	-50	-40	-25	-9	-4	-4	-11	-23	58.0

Dann ist

$$\text{Schiene} \oplus \text{Grauguss} = 72.5 dB(A) \text{ und } \text{Schiene} \oplus \text{K-Bremse} = 67.5 dB(A)$$

also Differenz von $5 dB(A)$

Also könnte nach der geplanten Berechnung in der Schall 03 (2006) eine Lärmreduktion von maximal $5 dB(A)$ durch Umrüstung von Grauguß-Klotz-Bremsen auf K-Sohlen-Bremsen erreicht werden.

Ohnehin ist die Beschreibung der Rauheit von Bremsfläche, Radlaufläche und Schienenufläche (noch) nicht geeignet, Vorhersagen über die Schallerzeugung zuzulassen. (Es wird z.Zt. in der Werkstatt nicht untersucht, ob ein erkennbarer Zusammenhang besteht zwischen der Bremsbauart und der Art der Schäden an der Radlaufläche.)

2.2 Thesen

A1 Die Räder erhalten - unabhängig vom Bremssystem - Flachstellen (die durch blockierende Räder beim Bremsen infolge des Rutschens auf der Schiene entstehen) oder Riefen (durch Fremdkörper zwischen Bremsbelag und Radlaufläche). Eine Grauguss-Klotzbremse verursacht mehr Fehlstellen auf der Radlaufläche als eine K- oder LL-Sohle.

Nach 200 000 *km* sind Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse immer noch lauter als Güterwagen mit K- oder LL-Sohle - aber es ist unbekannt, wie groß der A-bewertete Unterschied ist (und wie groß der Unterschied in den einzelnen Oktaven des Frequenzbereiches ist).

A2 Nach relativ kurzer Nutzungszeit erhalten die Radlauflächen Riefen, weil

- sich bei Güterwagen mit K- oder LL-Sohle Fremdkörper zwischen Bremsbelag und Radlaufläche festsetzen und
- sich bei Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse Gußteile ablösen und jeweils Riefen auf der Radlaufläche erzeugen
- bei beiden Bremstypen Flachstellen auftreten.

Nach 200 000 *km* sind daher beide Güterwagen gleich laut.

A3 Ein anfänglicher Unterschied der Vorbeifahrpegel (wie z.B. im eingangs angegebenen Protokoll der DB von 11 *dB(A)* beschrieben) bleibt auch nach 200 000 *km* in etwa gleicher Größe erhalten, weil eine Bremse mit K- oder LL-Sohle häufiger gewartet werden muss als eine Grauguss-Klotzbremse.

Auch nach 200 000 *km* im „typischen“ Einsatz ändert sich der Unterschied zwischen Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse und Güterwagen mit K- oder LL-Sohle bezüglich ihrer Vorbeifahrpegel bei $v = 100 \text{ km/h}$ gegenüber dem Start bei 0 *km* nicht.

A4 Der Unterschied der Vorbeifahrpegel wird hauptsächlich durch die Rauheit (oder Glattheit) der Schienenoberfläche verursacht. Da sich die Parameter „Schienenrauheit“ und „Fehlstellen in der Radlaufläche“ sehr schnell ändern (können), ist keine Prognose zur Geräuschentwicklung in Abhängigkeit von der Laufleistung möglich. Nach einer Laufleistung von 200 000 *km* im „typischen“ Einsatz ändern sich so viele für die Schallabstrahlung relevanten Parameter, dass eine Prognose über eine mögliche Änderung eines bei 0 *km* Laufleistung gemessenen Unterschiedes zwischen Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse und Güterwagen mit K- oder LL-Sohle nicht möglich ist.

A5 Die Wagenaufbauten (und auch die Kombination mehrerer verschiedener Güterwagen) sowie die Beladung beeinflussen den Vorbeifahrpegel stärker als das Bremssystem: Ein leichter Güterwagen „hüpft“ stärker als ein schwerer.

Nach einer Laufleistung von 200 000 *km* im „typischen“ Einsatz bleibt der Einfluß von Wagenaufbauten und Beladung bestimmend. Eine Prognose über eine mögliche Änderung eines bei 0 *km* Laufleistung gemessenen Unterschiedes zwischen Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse und Güterwagen mit K- oder LL-Sohle ist nicht möglich.

3 Anhang

In diesem Teil soll der Vorbeifahrpegel der 10 Güterwagen mit Grauguss-Klotz-Bremse des Versuchs-Güterzuges nach der *Schall 03 (1990)* berechnet werden.

Der Versuchs-Güterzug fuhr mit einer Geschwindigkeit $v = 100 \text{ km/h}$ an einem Messpunkt vorbei, der sich im Abstand von 7.5 m von der Gleismitte und in 2.16 m Höhe über der Schienenoberkante befand; der gemessene Vorbeifahrpegel dieses Zuges betrug im Bereich der Grauguss-gebremsten Güterwagen $p_{\text{vorbei}} = 101 \text{ dB(A)}$

Mit den Bezeichnungen der *Schall 03 (1990)* wird wie folgt gerechnet:

- p Anteil der Fahrzeuge mit Scheibenbremsen in % des gesamten Zuges: hier also $p = 0$.
- n Anzahl der Züge pro Stunde, hier also $n = 1$.
- Mittelungspegel $L_m^{(25)}$ (lange, gerade Strecke) nach Diagramm 7:
 $L_m^{25} = 51 + 10 \cdot \lg(n \cdot (5 - 0.04 \cdot p)) = 51 + 7 = 58$
- $l = 200 \text{ m}$: angenommene Länge von 10 Güterwagen
- $v = 100 \text{ km/h}$: angegebene Geschwindigkeit
- $D_{Fb} = 2$: Schotterbett, Beton- oder Holzschwelle
- Pegeldifferenz $D_{l,v}$ durch unterschiedliche Zuglängen und Geschwindigkeiten (nach Diagramm 2)

$$\begin{aligned} D_{l,v} &= 10 \cdot \lg(l \cdot v^2) - 60 \\ &= 10 \cdot \lg(200 \cdot 100^2) - 60 = 63 - 60 = 3 \end{aligned}$$

- Pegeländerung $D_{s_{\perp}}$ durch unterschiedliche Abstände s_{\perp} zwischen der Gleisachse und dem Immissionsort (lange, gerade Strecke) mit
 Abstand von der Gleismitte: 7.5 m und Höhe über Schienenoberkante: 2.16 m :

$$\begin{aligned} s_{\perp} &= \sqrt{7.5^2 + 2.16^2} = 7.80 \\ D_{s_{\perp}} &= 15.8 - 10 \cdot \lg(s_{\perp}) - 0.0142 \cdot (s_{\perp})^{0.9} \\ &= 15.8 - 10 \cdot \lg(7.80) - 0.0142 \cdot (7.80)^{0.9} \\ &= 15.8 - 8.92 - 0.0142 \cdot 6.35 = 15.8 - 8.92 - 0.09 = 6.8 \end{aligned}$$

- Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung in Abhängigkeit von der mittleren Höhe h_m nach Diagramm 9 (hier wird eine mittlere Höhe $h_m = 2 \text{ m}$ angenommen):

$$\begin{aligned} D_{BM} &= -4.8 \cdot 10^{\frac{1}{2.3} \cdot \left[-\left(\frac{h_m}{s_{\perp}} \cdot \left(8.5 + \frac{100}{s_{\perp}} \right) \right)^{1.3} \right]} = -4.8 \cdot 10^{\frac{1}{2.3} \cdot \left[-\left(\frac{2.00}{7.80} \cdot \left(8.5 + \frac{100}{7.80} \right) \right)^{1.3} \right]} \\ &= -4.8 \cdot 10^{\frac{1}{2.3} \cdot \left[-\left(\frac{2.00}{7.80} \cdot \left(8.5 + \frac{100}{7.80} \right) \right)^{1.3} \right]} = -4.8 \cdot 10^{\frac{1}{2.3} \cdot [-9.10]} = -4.8 \cdot 10^{-3.96} = 0.0 \end{aligned}$$

- Verfahren „lange, gerade“ Strecke

$$\begin{aligned} L_{r,j} &= L_m^{25} + D_{Fz} + D_{l,v} + D_{Fb} + D_{s_{\perp}} + D_{BM} + D_{Korr} + S \\ &= 58 + 0 + 3 + 2 + 6.8 + 0 + 0 - 5 = 65 \end{aligned}$$

Der errechnete Beurteilungs-Stundenpegel ergibt sich also zu 65 dB(A) .

Für die Vorbeifahrt benötigen diese 10 Güterwagen von 200 m Länge bei

$$v = 100 \frac{km}{h} = 100 \cdot \frac{1000}{3600} \frac{m}{s} = 100 \cdot \frac{200}{720} \frac{m}{s} = \frac{200}{7.2} \frac{m}{s}$$

eine Vorbeifahrzeit $t_{vorbei} = 7.2 s$.

Der Zusammenhang zwischen dem Stundenpegel ($L_{r,j} = 65 dB(A)$) und dem Vorbeifahrpegel p_{vorbei} während 7.2 s lautet

$$L_{r,j} = 10 \cdot \lg \left[\frac{t_{vorbei}}{3600} \right] + p_{vorbei}, \quad \text{also hier} \quad 65 = 10 \cdot \lg \left[\frac{7.2}{3600} \right] + p_{vorbei} = -27 + p_{vorbei}$$

und daher

$$p_{vorbei} = 65 + 27 = 92 dB(A)$$

Dieses Ergebnis läßt sich wie folgt interpretieren:

- In der eingangs zitierten Veröffentlichung zu den gemessenen Güterzug-Vorbeifahrpegeln wird dargestellt, dass 95% der Grundwerte um bis zu 8 dB(A) streuen.
- es gibt keine mathematisch zu rechtfertigende Begründung für die Berücksichtigung eines „Schienenbonus“ bei der Berechnung des Beurteilungspegels.

Folglich könnte erwartet werden, dass die gemessenen Vorbeifahrpegel der Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse Werte im Bereich

$$p_{vorbei} + \text{„Schienenbonus“} \pm 4 = 97, \pm 4 dB(A)$$

liegen, d.h.

$$94 dB(A) \leq p_{mess} \leq 101 dB(A)$$

Es ist erstaunlich, dass 95% der Pegel aus der zitierten Datenbank unterhalb der von der Bahn bei der Vorbeifahrt des Versuchs-Güterzug der Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse gemessenen Pegel von 101 dB(A) lagen. Es bleibt zu vermuten, dass andere Güterwagen mit Grauguss-Klotzbremse zu einer geringeren Differenz der Pegel geführt hätten.

D.Windelberg