

Korrelation des Schallmesswagen-Pegels mit akustischer Schienenrauheit und Gleisabklingraten

Franziska Kendl¹, Holger Heckelmüller¹, Gerhard Krump²

¹ DB Systemtechnik GmbH, 80939 München, E-Mail: franziska.kendl@deutschebahn.com,
holger.heckelmueller@deutschebahn.com

² Technische Hochschule Deggendorf, 94469 Deggendorf, E-Mail: gerhard.krump@th-deg.de

Einleitung

Der Schallmesswagen (SMW) der DB Systemtechnik GmbH misst den akustischen Zustand des Oberbaus und wird dazu eingesetzt, Streckenabschnitte mit der Maßnahme „Besonders überwachtes Gleis“ (BüG) akustisch zu überwachen und eine dauerhafte Lärmreduzierung an diesen Abschnitten nachzuweisen. Insgesamt rund 1000 km zu überwachende Schienenabschnitte werden dafür zweimal jährlich mit dem SMW befahren. Der SMW ist außerdem zur Qualitätskontrolle z.B. im Rahmen der Abnahme von akustischen Schienenschleifarbeiten einsetzbar. Das Rollgeräusch wird bei einer Fahrgeschwindigkeit zwischen 80 km/h und 200 km/h mit einem Mikrofon über dem ungebremsten Messdrehgestell aufgezeichnet. Der Messaufbau des SMW mit den weitgehend konstant glatten Radlaufflächen des Messdrehgestells ermöglicht es, speziell den Einfluss des Oberbaus auf das Rollgeräusch zu messen. Aufgrund der konstant glatten Radlaufflächen resultieren Veränderungen im Messschrieb des SMW aus Veränderungen der akustischen Eigenschaften des Oberbaus [1]. Neben der Anregung durch die Rauheit der Schiene ist für das Rollgeräusch auch die Entstehung und Ausbreitung des Körperschalls im Oberbau eine wichtige Größe [2]. Diese kann durch die Messung der Gleisabklingraten (TDR) quantifiziert werden.

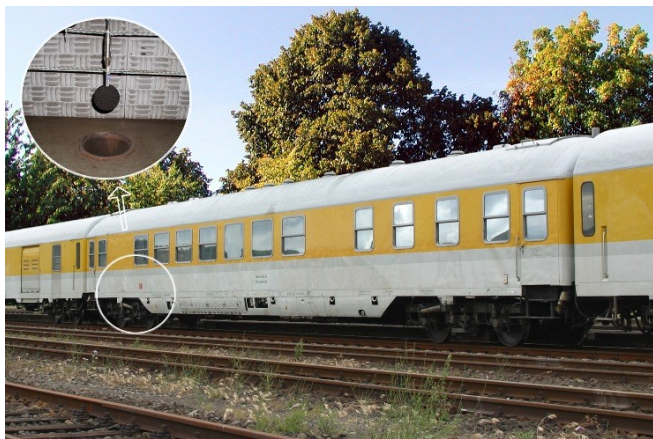


Abbildung 1: Der Schallmesswagen der DB Systemtechnik GmbH

Für BüG-Abschnitte, die aus betrieblichen oder technischen Gründen vorübergehend nicht mit dem SMW befahrbar sind, wäre eine ergänzende Messmethode wünschenswert.

Das RMF-BüG

Das fahrbare Riffelmessgerät RMF-BüG der Firma Vogel & Plötscher erfasst die Rauheit der Schienenfahrfläche und wurde zwischen den Jahren 2000 und 2005 eingesetzt. Es prognostiziert anhand eines eigens dafür entwickelten Einzahlwertes der akustischen Schienenrauheit den SMW-Pegel. Auf Grund des engen Zusammenhangs zwischen der mit dem RMF-BüG gemessenen Schienenrauheit und dem gemessenen SMW-Pegel konnte eine Übertragungsfunktion zwischen Schienenrauheit und SMW-Pegel ermittelt werden, so dass das RMF-BüG auch für Ergänzungsmessungen eingesetzt wurde [3]. Allerdings wird das Messgerät aus praktischen Gründen kaum verwendet. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei der Anwendung des RMF-BüG die akustisch relevanten dynamischen Eigenschaften des Gleises, welche durch die TDR beschrieben werden können, nicht in die Prognose des SMW-Pegels einfließen.

Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Prognose des SMW-Pegels

Daher wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem der SMW-Pegel auf Basis der akustischen Rauheit der Schienenfahrflächen und der Gleisabklingraten prognostiziert werden kann. Zur Beschreibung der Schienenrauheit wird der Rauheits-Einzahlwert $L_{\lambda CA}$ [4] verwendet, zur Beschreibung der Gleisabklingraten der eigens dafür entwickelte Einzahlwert L_{TDR} [5].

Die Messung der Schienenrauheit wurde mit zwei verschiedenen Messgeräten durchgeführt und erfolgte gemäß dem in der Norm DIN EN 15610 beschriebenen Verfahren [6]. Das Rauheitsmessgerät m|rail trolley der Firma Müller-BBM wird kontinuierlich über die Schiene geschoben und erfasst die Rauheit der Schienenoberfläche mittels eines mechanischen Tasters. Das m|rail trolley erlaubt im Vergleich zum RMF-BüG die Messung der Schienenrauheit mit einer doppelt so hohen Längsauflösung von 1 mm. Da das m|rail trolley nur 1/3 des Gewichts des RMF-BüG hat, werden bei Arbeiten im Gleis die Handlichkeit und die Sicherheit deutlich verbessert [7], es misst jedoch nur eine Schiene des Gleises. Zusätzlich werden Messdaten verwendet, die mit dem Rauheitsmessgerät RM1200 H erfasst wurden. Die Messwerte des m|rail trolley stehen nachweislich in Kontinuität mit dem RM1200 H, diese können daher miteinander verglichen werden [8]. Zur Beschreibung der Schienenrauheit auf dem gemessenen Streckenabschnitt wird der Rauheits-Einzahlwert $L_{\lambda CA}$ für den Wellenlängenbereich $\lambda = 1 \text{ cm}$ bis 10 cm bei einer Geschwindigkeit von $v = 100 \text{ km/h}$ berechnet.

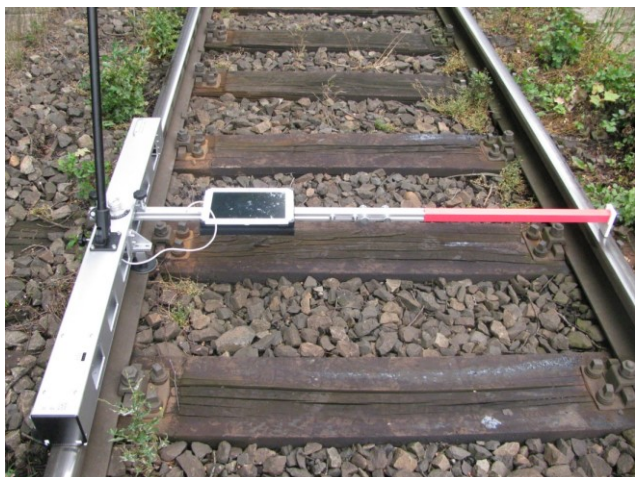


Abbildung 2: Das Schienenrauheits-Messgerät m/rail trolley

Die Gleisabklingraten wurden gemäß der Norm DIN EN 15461 ermittelt [9]. Aus den vertikalen Gleisabklingraten wird zur Beschreibung der Steifigkeit des Oberbaus der TDR-Einzahlwert L_{TDR} berechnet, der die Abnahme des Schwingungspegels nach 0,15 m Schiene in dB beschreibt. Ein Gleis mit einer guten Dämpfung, also mit hohen Abklingraten, hat damit einen höheren Einzahlwert als ein Gleis mit einer schlechten Dämpfung, d.h. niedrigen Abklingraten [5].

Um die Schallemission des Oberbaus anhand der Einzahlwerte $L_{\lambda CA}$ und L_{TDR} zu beschreiben, werden diese wie in Gleichung (1) miteinander verrechnet. Damit wird die Schallemission des Oberbaus L_{ges} , die durch die Schienenrauheit angeregt wird, bei einer guten Dämpfung stärker reduziert als bei einer schlechten Dämpfung.

$$L_{ges} = L_{\lambda CA} - L_{TDR} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Die Ergebnisse aller Versuche und die zugehörigen SMW-Pegel für die jeweiligen Streckenabschnitte sind in Tabelle 1 zusammengefasst:

Tabelle 1: Aufstellung aller Messergebnisse

| Versuch Nr. | $L_{\lambda CA}$ | L_{TDR} | L_{ges} | L_{SMW} |
|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
| | [dB] | | | |
| 1 | 10,1 | 6 | 4,1 | 49,9 |
| 2 | 6,0 | 6 | 0,0 | 48,8 |
| 3 | 4,7 | 12 | -7,3 | 48,2 |
| 4 | 10,5 | 13 | -2,5 | 49,9 |
| 5 | 10,4 | 12 | -1,6 | 49,7 |
| 6 | 1,6 | 13 | -11,4 | 46,5 |
| 7 | -0,4 | 13 | -13,4 | 44,3 |
| 8 | 1,6 | 13 | -11,4 | 45,8 |
| 9 | 0,6 | 11 | -10,4 | 48,0 |
| 10 | 8,3 | 18 | -9,7 | 48,6 |
| 11 | -0,4 | 12 | -12,4 | 47,7 |
| 12 | 0,0 | 11 | -11,0 | 48,4 |
| 13 | 1,9 | 11 | -9,1 | 48,5 |
| 14 | 0,0 | 13 | -13,0 | 46,4 |
| 15 | 1,9 | 13 | -11,1 | 47,5 |

Bei Betrachtung der Werte fiel auf, dass bei TDR-Einzahlwerten ≤ 12 dB der Einfluss der TDR nicht mehr vorhanden ist. Nachdem die TDR-Einzahlwerte hier sehr unterschiedlich sind, sollte, falls ein Einfluss vorhanden ist, dieser deutlich zu sehen sein. Die Variation des SMW-Pegels lässt sich aber nur anhand von $L_{\lambda CA}$ erklären. Bei allen Messungen mit $L_{TDR} \leq 12$ dB liegen die zugehörigen Kurven der Gleisabklingraten teilweise oder ganz unter der TSI-Grenzkurve. Daher wird vermutet, dass bei Unterschreiten der Grenzkurve die TDR keinen Einfluss mehr auf die Schallemission des Oberbaus hat. Eine weitere Untersuchung dieses Phänomens wurde nicht vorgenommen.

Anhand der vorliegenden Messdaten wurde außerdem festgestellt, dass bei durchschnittlichen ($4\text{dB} < L_{\lambda CA} < 10\text{dB}$) und hohen ($L_{\lambda CA} > 10$ dB) Rauheiten, die akustische Schienenrauheit ebenfalls der entscheidende Einfluss auf die Rollgeräuschenstehung ist.

Um den nachlassenden Einfluss der TDR in den beiden Fällen zu berücksichtigen, werden die TDR-Einzahlwerte bei Unterschreiten der TSI-Grenzkurve ($L_{TDR} \leq 12$ dB) und bei durchschnittlichen und hohen Schienenrauheiten ($L_{\lambda CA} > 4$ dB) auf den Wert 9 dB vereinheitlicht. Dieser Wert entspricht dem Median aller $L_{TDR} \leq 12$ dB in Tabelle 1. An Streckenabschnitten mit niedriger Schienenrauheit ($L_{\lambda CA} < 4$ dB) und hohen Gleisabklingraten ($L_{TDR} > 12$ dB) muss der Einfluss der dynamischen Eigenschaften des Oberbaus auf das Rollgeräusch jedoch berücksichtigt werden. In diesen Fällen wird keine Vereinheitlichung durchgeführt, so dass der Einfluss von $L_{\lambda CA}$ und L_{TDR} gleich groß ist.

Das Ergebnis der Korrelation von L_{ges} mit dem SMW-Pegel ist in Abb. 3 graphisch dargestellt. Die beste Annäherung ist über eine polynomiale Regression möglich. Für die Stichprobenwerte aus Tabelle 1 lautet die Regressionsgleichung zur Berechnung des SMW-Pegels aus akustischer Schienenrauheit und Gleisabklingraten:

$$L_{SMW} = -0,0225 \times L_{ges}^2 + 49,455 \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

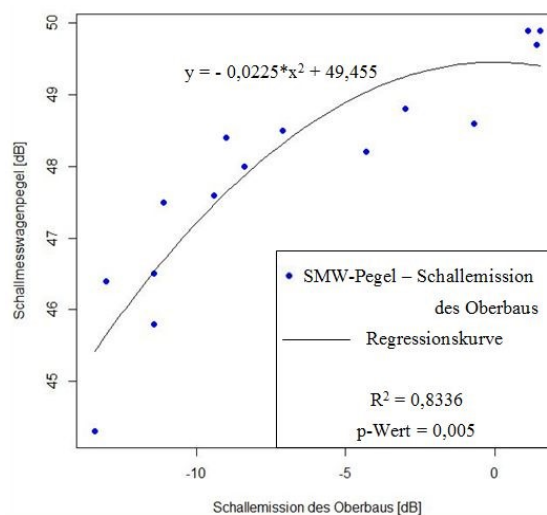


Abbildung 3: Korrelation der berechneten Schallemission des Oberbaus L_{ges} mit dem Schallmesswagen-Pegel L_{SMW} .

Abbildung 4 zeigt zum Vergleich das Ergebnis der Korrelation des Einzahlwertes der Rauheit $L_{\lambda CA}$ mit dem SMW-Pegel. Die Prognose des SMW-Pegels ohne Berücksichtigung der TDR ist wesentlich ungenauer. Besonders im Bereich niedriger Rauheit streuen die Werte von $L_{\lambda CA}$ sehr weit um die Regressionsgerade.

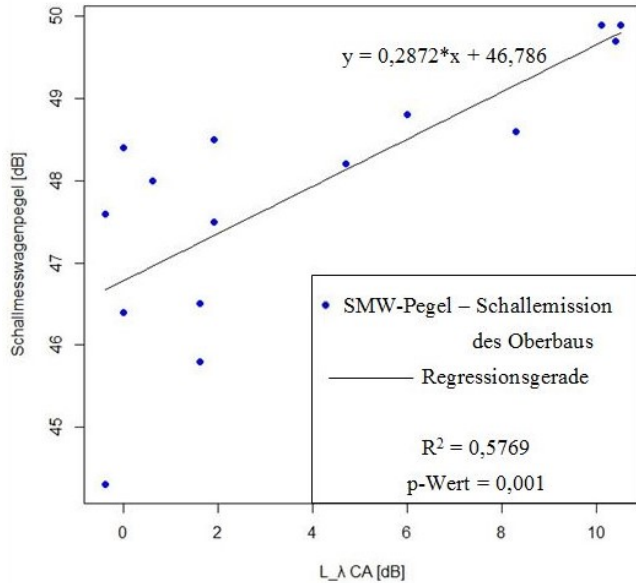


Abbildung 4: Korrelation des Rauheits-Einzahlwertes $L_{\lambda CA}$ mit dem Schallmesswagen-Pegel L_{SMW} .

Zusammenfassung und Ausblick

Das vom SMW gemessene und als normierter SMW-Pegel angegebene Rollgeräusch des SMW hängt neben der akustischen Schienenrauheit ebenfalls von dem dynamischen Verhalten des Gleises, das durch die Gleisabklingrate charakterisiert werden kann, ab. Unter Verwendung des Einzahlwertes der Schienenrauheit $L_{\lambda CA}$ und des Einzahlwertes der TDR L_{TDR} ist es möglich, den SMW-Pegel mit einer deutlich höheren Genauigkeit zu prognostizieren als ohne Berücksichtigung der TDR. Durch dieses Verfahren kann die Ursache für erhöhte Rollgeräuschpegel auf bestimmten Streckenabschnitten zukünftig besser ermittelt werden und so gezielte Maßnahmen zur Verminderung des Rollgeräuschs getroffen werden.

Ein wichtiger Schritt zur Etablierung des entwickelten Verfahrens ist die Entwicklung einer Methode, mit der die TDR schneller und über längere Abschnitte gemessen werden kann, denn noch ist die Messung der TDR sehr zeitaufwändig. Zudem muss die Datenbasis weiter erhöht werden, um die mit den bisherigen Messungen erzielten Ergebnisse zu validieren.

Literatur

- [1] DB Systemtechnik GmbH: PA-1001 Messungen des Rollgeräusches mit dem Schallmesswagen. Interne Prüfanweisung, München, 2015
- [2] Thron, Th.: Emissionsmodell für Schienenverkehrslärm - Ein Beitrag zur Lärmprognose auf der Basis messtechnisch erfasster Modellparameter. Dissertation, TU Berlin, 2010
- [3] DB Systemtechnik Aufbau und Arbeitsweise des Messgerätes RMF-BüG und Vorschlag eines Abnahmewertes für BüG-Schleifen. Interner Bericht, München, 2005
- [4] A. van Beek, E. Verheijen: Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise (HARMONOISE). 2003
- [5] H. Heckelmüller, F. Kendl, G. Krump: Entwicklung eines TDR-Einzahlwertes zur einfacheren Charakterisierung der Schallemission des Oberbaus. DAGA 2016
- [6] DIN EN 15610: Bahnanwendungen – Geräuschemission – Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch. 2010
- [7] Müller-BBM GmbH: Betriebsanleitung m|rail trolley – Rauheitsmessgerät für Schienen. München, 2014
- [8] DB Systemtechnik GmbH: Eignungsprüfung Schienenrauheitsmessungen mit der Firma Müller-BBM GmbH. Interner Bericht, München, 2015
- [9] DIN EN 15461: Bahnanwendungen – Schallemission – Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtgeräuschmessungen. 2011