

Der Einfluss der Gleisparameter Schienenrauheit und TDR auf die Emissionen von Schall und Erschütterungen

Helmut Venghaus

ACCON GmbH, Greifenberg, E-Mail: Helmut.Venghaus@accon.de

Einleitung

Das Bestreben der Verwaltungen im europäischen Raum den Lärm von Schienenwegen wirksam zu reduzieren, zeigt ganz langsam erste Wirkungen. Der Einsatz von neuen Bremsbauarten bei Fahrzeugen deren Bremsen auf die Radlaufläche einwirken, schafft in Abhängigkeit vom Zugmix auf den jeweiligen Trassen ein Minderungspotential der Schallemissionen von $\Delta L \leq 8$ dB(A).

An Strecken, auf denen fast ausschließlich moderne Personenzüge fahren, wird diese Minderung natürlich nicht erreicht. Um hier eine Verbesserung erreichen zu können, wären andere Hilfsmittel wie Schwingungsdämpfer an Schienen, Rädern und sogar Stahlbrücken erforderlich welche bei passender Auslegung eine hohe Effizienz besitzen. Allerdings werden diese von Betreiberseite sehr häufig wegen eines vermeintlich schlechten Preis-Leistungs-Verhältnisses abgelehnt.

In diesem Beitrag soll aufgezeigt werden, dass mit Hilfe einer angepassten Systematik bei den Instandhaltungsarbeiten an der Trasse weitere Lärminderungspotentiale ausgeschöpft werden können und in speziellen Fällen dabei auch Kosteneinsparungen möglich sind.

Grundlagen

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beruhen zu einem wesentlichen Anteil auf Messungen, die für eine breitere Aussage mit Berechnungen des STARDAMP-Tools [1] ergänzt wurden.

Die Messdaten wurden sowohl an Vollbahnen als auch an Straßenbahnen erhoben. Für beide Bahntypen wurden die Minderungspotentiale abgeschätzt.

Um die Lärminderungspotentiale durch Maßnahmen an der Trasse mit Zahlen hinterlegen zu können, wird fahrzeugseitig konstant eine Radbauart mit einem festgelegten Rauheitsspektrum der Radlaufläche von Scheibenbremsen gerechnet [1]. Als Streckengeschwindigkeit wird 60 km/h angesetzt. Es werden mit diesem Ansatz folgende Aspekte berücksichtigt:

- in innerstädtischen Bereichen rückt die Wohnbebauung näher an die Trassen heran, Streckengeschwindigkeiten sind hier niedrig
- Rauheitsspektren von Rädern mit Scheibenbremsen haben niedrige Amplituden; die Rauheiten der Schienenlaufläche fallen stärker ins Gewicht bei der Schallemission

Schienenrauheiten

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Wirkung von Schienenrauheiten. Es wird aber darauf verwiesen, dass die Lärminderungswirkung bei glatten Radlauflächen in gleicher Art wie bei glatten Schienenoberflächen zu erwarten ist.

Das Wachstum der Schienenrauheiten unterliegt einer exponentiellen Funktion mit den dominierenden Faktoren Zeit und Belastung der rollenden Achslasten.

Die Zeitintervalle, in denen die Schienen im Rahmen der üblichen Instandhaltung geschliffen werden, sind sehr groß, sodass deutliche Unterschiede bei den Schallemissionspegeln vor und nach dem Schleifen auftreten [2]. Mit der Zulassung des „besonders überwachten Gleises“ (büG) im Jahre 1998 als Maßnahme zur Lärminderung an Strecken der DB wurde ein neues Verfahren beim Schienenschleifen eingeführt. An ausgewiesenen Streckenabschnitten wird mit Hilfe eines Schallmesszuges die Schienenrauheit in vorgegebenen Zeitsequenzen gemessen und bei Überschreitung des „Eingriffspegels“ das neuerliche Schleifen des Abschnitts beauftragt.

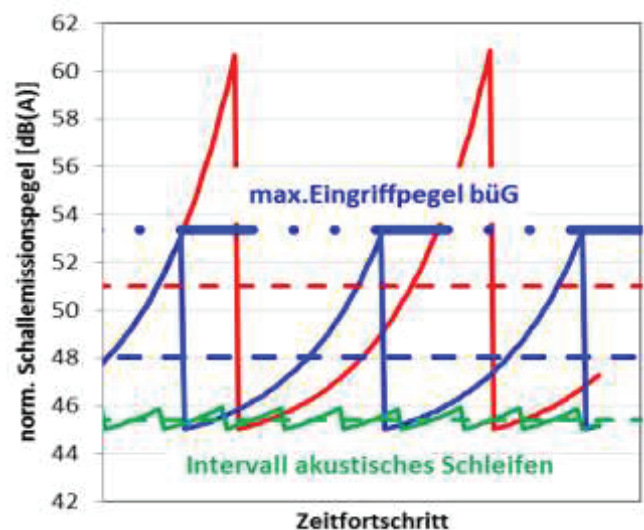


Abbildung 1: Gegenüberstellung des Anstiegs des normierten Schallemissionspegels bei altem Schleifzyklus (rot), Schleifzyklus büG (blau) und modernem akustischen Schleifintervall (grün).

Die Abbildung 1 verdeutlicht, dass mit noch kürzeren Intervallen als beim büG der mittlere Schallemissionspegel eines Trassenabschnitts weiter gesenkt werden kann. Hierzu sind veränderte Schleiftechniken anzuwenden, die während des Schleifvorganges keine Riefen mit konstanten Abständen (=Riffel) hinterlassen. Diese Technik wird

„akustisches Schienenschleifen“ genannt. In Abbildung 1 werden die veränderlichen Tageswerte den Mittelwerten der 3 Schleifzyklen über einen sehr langen Zeitraum mit dargestellt (gestrichelte Linien)

- alter Schleifzyklus (rot) $L_{Am} \approx 51$ dB(A)
(Normwert der alten Schall03)
- Schleifzyklus büG (blau) $L_{Am} \approx 48$ dB(A)
(anerkannt nach Eisenbahnbundesamt 1998),
- akustisches Schleifen (grün) $L_{Am} \approx 45,5$ dB(A)

Vergleicht man die Häufigkeiten der Schleifzyklen untereinander, dann ergibt sich, dass für das büG ca. 1,3-mal häufiger geschliffen werden muss, als nach dem alten Schleifverfahren üblich. Das akustische Schleifen muss ca. 4-mal so häufig durchgeführt werden.

Der alte Schleifzyklus wird eingesetzt im Zuge von Erhaltungsmaßnahmen am Oberbau und führt dabei eine Reprofilierung des Schienenkopfes aus. Diese Schleifarbeit hebt eine Schichtdicke bis zu 2 mm vom Schienenkopf ab und kann daher nur mit einer sehr langsamen Fahrgeschwindigkeit der Maschine durchgeführt werden. Beim büG wird von einem „präventiven Schleifen“ gesprochen. Der Materialabhub ist hier geringer als 1 mm und die Fahrgeschwindigkeit dieser Schleifzüge kann bis zu 15 km/h betragen. Mit dem heute möglichen akustischen Schleifen der Schienen wird ein Materialabtrag von weniger als 0,1 mm erzielt, dafür kann aber die Geschwindigkeit des Schleifzuges bis zu 80 km/h erhöht werden. Da diese schnell fahrenden Schleifzüge im Regelbetrieb mitfahren können, ergibt sich dabei ein weitaus geringerer Planungsaufwand als bei den langsameren Schleifverfahren, was mit einer zusätzlichen Kostenreduktion einhergeht.

In der Studie QUIET TRACK [3] wurden die Kosten der Schleifverfahren untereinander verglichen. Es konnte nachgewiesen werden, dass beim akustischen Schleifen große ökonomische Vorteile im Betrieb der EVU erzielt werden können.

Track Decay Rate TDR

Im Frequenzbereich oberhalb von 350 Hz bis etwa 1500 Hz dominiert die Schallabstrahlung von der Schiene die Schallemission eines fahrenden Zuges. Daraus wird ersichtlich, dass eine Verringerung der Schallabstrahlung erreicht wird durch

- Verringerung des Schwingpegels der Schiene => Abnahme der Kontaktraueheit Rad-Schiene
- Erhöhung der Abklingrate der Schwingungen in der Schiene (Gleisabklingrate = Track Decay Rate, TDR) => die Wellen breiten sich über eine kürzere Distanz entlang der Schiene aus => die abstrahlende Fläche wird verringert

Die TDR wird angegeben als eine Pegelminderung über eine Distanz entlang der Schiene [dB/m] und ist stark abhängig von der Frequenz (Abbildung 2).

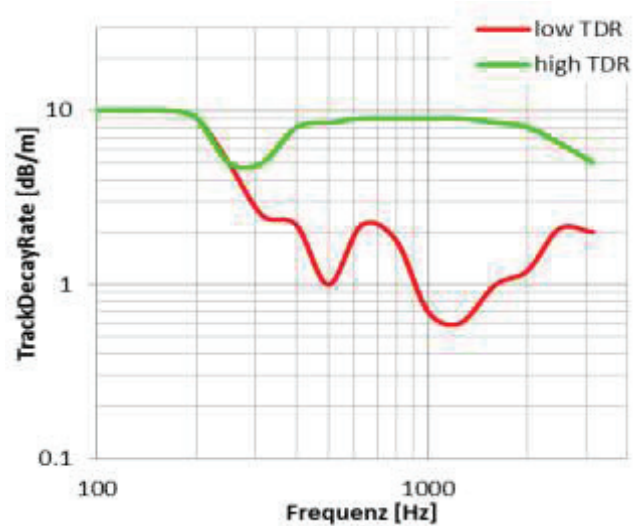


Abbildung 2: Darstellung der TDR für eine stark gedämpfte (grün) und eine schwach gedämpfte (rot) Schiene.

Je direkter oder härter die Kopplung zwischen Schiene und Schwelle ausfällt, desto mehr Energie kann die Schiene an die Schwelle abgeben. Daraus folgt, dass eine harte Zwischenplatte für eine gute Kopplung sorgt und somit die Schallabstrahlung der Schiene geringer wird. Jedoch ist im Gegenzug zu berücksichtigen, dass harte Zwischenlagen zu einer wesentlich erhöhten Belastung der Schiene beitragen und daraus die Verriffelung bzw. die Schienenrauheit wesentlich schneller zunimmt.

Im Zuge von Untersuchungen zur Wirkung von Schienendämpfern unter Laborbedingungen wurde ein Berechnungsmodell entwickelt, das die von der TDR abhängige Schallemission der Schiene als 1-Zahl-Wert „Track Noise Reduction“ (TNR) angibt [4]. In Abbildung 3 wird die TNR für unterschiedlich harte Zwischenplatten angegeben. Die TNR wurde dabei über die an den jeweiligen Strecken ermittelten TDR-Werte berechnet.

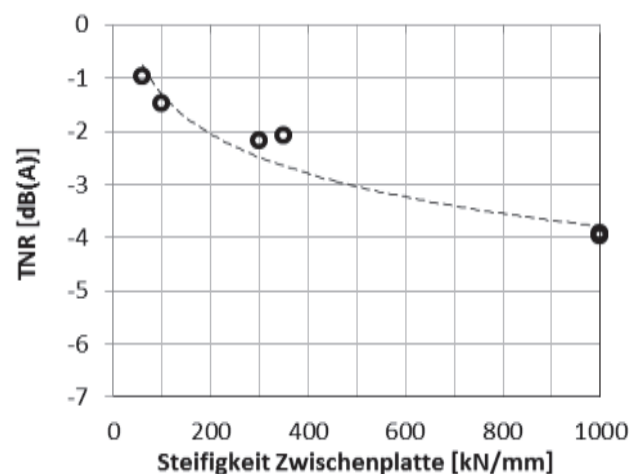


Abbildung 3: TNR in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Zwischenlagen berechnet aus den TDR-Daten der jeweiligen Strecken

Im Forschungsprojekt METARAIL [5] wird die Veränderung der Schallemission begründet allein aus

unterschiedlich steifen Zwischenlagen mit $\Delta L \approx 5,9 \text{ dB(A)}$ beziffert. Die in dieser Studie betrachteten Steifigkeiten gehen über die im Diagramm der Abbildung 3 betrachteten Werte weit hinaus.

In den Berechnungsprogrammen zur Schallemission von Eisenbahnstrecken werden TDR-Werte zu Grunde gelegt, wie sie sich bei ordnungsgemäßer Installation einer Gleistrasse mit neuen Bauteilen einstellen sollten. Bei realen Strecken, an denen seit längerer Zeit keine Instandhaltungsarbeiten ausgeführt wurden, sind sehr häufig Abweichungen zu erkennen, die zu merklichen Veränderungen des Schallemissionspegels führen.

Hierfür maßgeblich sind 3 Parameter, die einer zeitlichen Veränderung durch die Belastung der Räder unterworfen sind:

- Steifigkeit des Schotters
- Steifigkeit der Zwischenlagen
- Veränderung der Haltekraft der Klammern am Schienenfuß – teilweise bedingt durch den Schwund der Dicke der Zwischenlage

Es ist bekannt, dass unterschiedliche Steifigkeiten des Schotterbettes Veränderungen in der Schallemission bewirken [5], jedoch ist deren Auswirkung auf die Frequenzzusammensetzung oder der funktionale Zusammenhang von Steife zu Emissionspegel nach Kenntnis des Autors bislang nicht genauer untersucht worden.

In einer Studie der Schweizerischen Bundesbahn über die Wirkung von Schienendämpfern [6] wurde nachgewiesen, dass die Dicke der Zwischenlagen, die sehr lange an hochbelasteten Strecken eingebaut waren, bis zu 18 % zurückgegangen ist. Damit wurde die Spannkraft der Halteklammern am Schienenfuß merklich reduziert, was zu einer Abnahme der TDR führt, da der Kontakt der Schiene zur Schwelle schwindet. Als Folge daraus nimmt die Schallemission in solchen Streckenabschnitten zu.

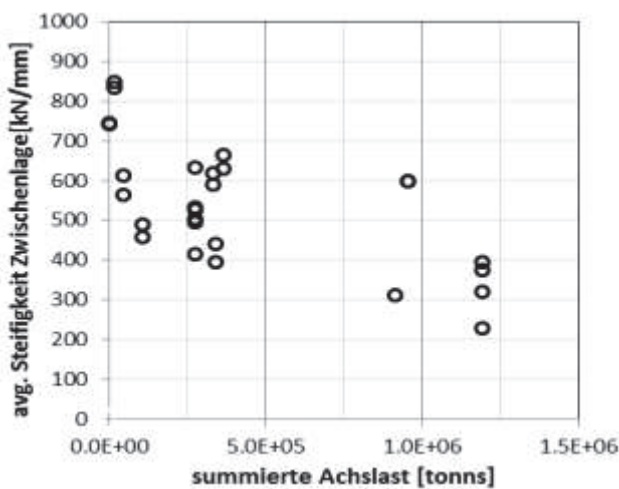


Abbildung 4: Veränderung der Steifigkeiten von EVA Zwischenlagen in Abhängigkeit von der summierten Achslast

In welcher Form sich die Veränderung der Steifigkeiten von

Zwischenlagen durch Walkarbeit auswirkt, wird derzeit in der Fachwelt diskutiert. Die in der Schweiz überwiegend verwendeten Zwischenlagen basieren auf der Mischung Ethylen-Vinyl-Acetat (EVA). Die Veränderungen der Steifigkeiten der Zwischenlagen wurden der summierten Achsbelastung gegenübergestellt (Abbildung 4). Es zeigte sich dabei, dass Zwischenlagen aus EVA mit zunehmender Belastung weicher werden, was ebenfalls zu einer Abnahme der TDR führt und in Folge dazu, zu einer Erhöhung der Schallemission führt.

Verknüpft man die Relation von Steife der Zwischenplatte zur TNR (Abbildung 3) mit den beobachteten Veränderungen der Steifigkeiten aus der Verkehrsbelastung (Abbildung 4), so kann eine Erhöhung des Schallemissionspegels in Höhe von $\Delta L \approx 1 \text{ dB(A)}$ wegen der Alterung der Zwischenlagen aus der derzeit üblichen Nutzungsdauer abgeschätzt werden.

Auswirkung auf die Emission von Erschütterungen aus dem Gleisbereich

Die Auswirkungen der Schienenrauheiten und der Kopplung der Schiene an den Untergrund gekennzeichnet durch die TDR müssen in erster Hinsicht auf die Verteilung der Rauheiten in die unterschiedlichen Bandbreiten diskutiert werden (Abbildung 5).

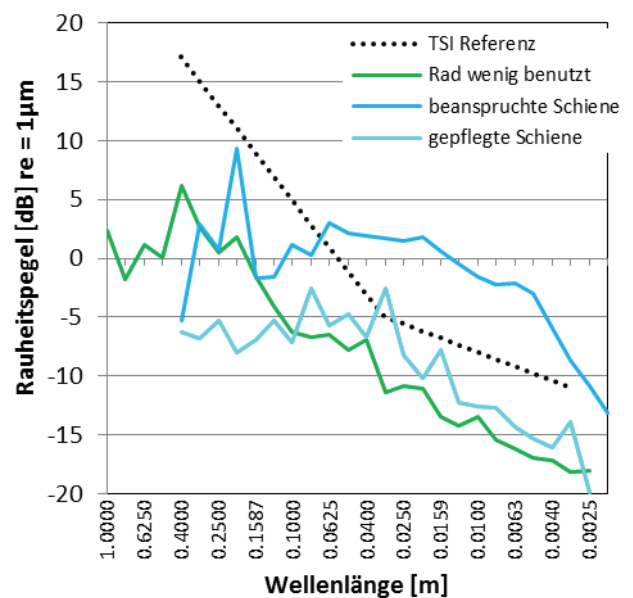


Abbildung 5: Rauheitsspektren von einem wenig beanspruchten Rad (grün), einer beanspruchten Schiene (blau) und einer gepflegten Schiene (türkis)

Bei gepflegten bzw. wenig benutzten Kontaktflächen von Rad und Schiene werden in etwa gleiche Rauheitspegel erreicht. Bei zunehmender Abnutzung der Kontaktflächen steigen zuerst die Rauheitspegel in den langwelligen Frequenzbändern an.

Die Transformation in den Frequenzbereich ergibt sich aus der momentanen Geschwindigkeit der Züge. In Abbildung 6 werden die zur „beanspruchten Schiene“ aus Abbildung 5 gehörenden Anregungsspektren im Frequenzbereich für 3

unterschiedliche Zuggeschwindigkeiten dargestellt.

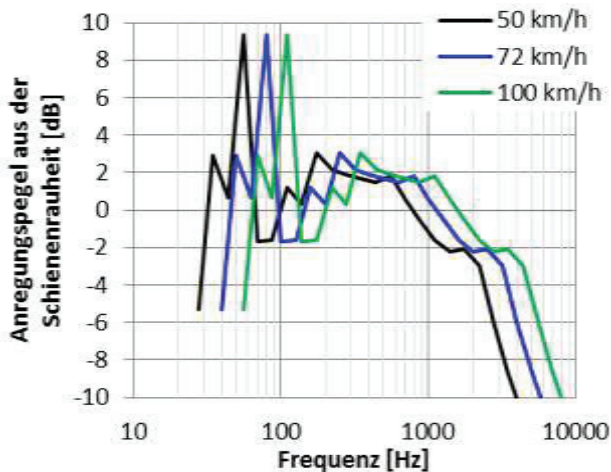


Abbildung 6: Frequenzspektrum für die Anregung aus der Rauheit einer „beanspruchten Schiene“ bei unterschiedlichen Zuggeschwindigkeiten

Aus der TDR ergibt sich die Kopplung der Schiene mit dem Gleisunterbau. In Abbildung 7 werden vergleichend die Einfügungsdämpfungen (=Kehrwert der Kopplung) für UIC60-Schienen auf B70-Betonschwellen mit weicher und harter Zwischenlage dargestellt.

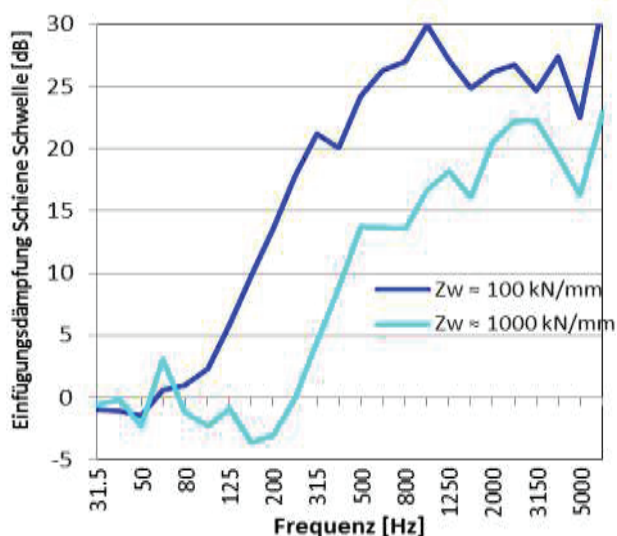


Abbildung 7: Einfügungsdämpfung für die Schwingungsübertragung von der Schiene zur Schwelle im unbelasteten Zustand bei weicher Zwischenlage (blau) und sehr harter Zwischenlage (türkis)

Mit härterer Zwischenlage erweitert sich die direkte Kopplung der Schiene an den Untergrund. Daraus wird ersichtlich, dass die Schiene Schwingenergie verliert und deshalb weniger Schallemissionen verursacht.

In Bezug auf die Erschütterungsemissionen weist sich dieser Zustand als nachteilig aus, da nach Abbildung 6 gerade die unteren Frequenzbereiche den größten Anteil der anregenden Energien beinhalten.

Zusammenfassung

In diesem Bericht wurde dargestellt, dass Veränderungen der Schienenrauheit und der Gleiselastizität (kombinierte Steifigkeiten aller Komponenten im Trassenaufbau) aus der Belastung der rollenden Räder zu einer kontinuierlichen Erhöhung des Schallemissionspegels aus den Trassenabschnitten führt.

Eine zu lang andauernde Nutzung der Zwischenlagen und zu lang andauernde Zeitabstände in der Kontrolle der Anzugkräfte der Schienenklammern bewirken eine Abnahme der TDR. Daraus können sich Anstiege des Schallemissionspegels bis zu $\Delta L \approx 2,5 \text{ dB(A)}$ einstellen.

Mit Hilfe des akustischen Schienenschleifens ist eine Reduktion des Schallemissionspegels bis $\Delta L \approx 5 \text{ dB(A)}$ gegenüber dem heutigen Zustand erreichbar. Das akustische Schleifen muss zwar wesentlich häufiger durchgeführt werden als konventionelles Schleifen, stört jedoch den Betriebsablauf wegen des schnelleren Arbeitsfortschritts weniger.

Optimierte Instandhaltungsarbeiten an Eisenbahntrassen können mit Hilfe von modernem Schienenschleifen und einem früheren Austausch der abgenutzten Zwischenlagen eine Reduktion des Schallemissionspegels von $\Delta L \approx 6 - 7 \text{ dB(A)}$ erreichen.

Da die Kopplung der Schiene an den Untergrund gerade im unteren Frequenzbereich bis 200 Hz nahezu vollständig ist und zugleich in diesem Frequenzbereich die Rauheiten von Rad und Schiene am schnellsten anwachsen, muss höchster Wert auf eine glatte Kontaktfläche von Rad und Schiene gelegt werden. Mit Hilfe dieser optimierten Instandhaltungsmaßnahmen können auch die Erschütterungsemissionen aus den Bahntrassen gering gehalten werden.

Literatur

- [1] G. Squicciarini, D.J. Thompson.: TASK 2.2: DESCRIPTION OF THE STARDAMP TOOL, STARDAMP PROJECT (2012)
- [2] Geräuschemissionen von Eisenbahnen, UBA Texte 61/03, ISSN 0722-186X, 2003
- [3] H.Venghaus; Noise Management Tool for introduction of track based noise mitigation solutions, QUIET TRACK DELIVERABLE D5.3; EU PROJECT N°: 604891; 2016
- [4] D.J. Thompson.: Single number descriptor of track decay rates: a proposal for SBB; ISVR, 21 April 2012, nicht veröffentlichte Mitteilung im Rahmen des Projekts
- [5] M. Wirmsberger et al., METARAIL Project, Final Report, EU Contract RA-97-SC.1080, 1999
- [6] J. Oertli; Erprobung von Schienendämpfern Schlussbericht, April 2016, SBB AG Infrastruktur Ingenieurbau und Umwelt, Lärm; bislang unveröffentlicht