

Untersuchung betrieblicher Ansätze zur Minderung von Schienenverkehrslärm

Auswirkungen einer Verringerung der Fahrgeschwindigkeit von Güterzügen auf die Leistungsfähigkeit verschiedener Streckenstandards

Christoph Lackhove
Michael Mönsters
Tobias Lindner

Zusammenfassung:

Das Thema Schienenlärm erhält zu Recht mehr Aufmerksamkeit. Durch den Wegfall des Schienenbonus, durch den die Anforderungen an den Lärmschutz für Neu- und Ausbaustrecken um fünf dB(A) gesenkt wurden, ergeben sich direkte Auswirkungen auf die Zukunftsfähigkeit des Schienengüterverkehrs. Neue Wege, die die Wettbewerbsfähigkeit der Schiene aufrechterhalten und gleichzeitig die Lärmbelastung der Anwohner reduzieren, sind notwendig. Hier wurde die Möglichkeit einer reduzierten Streckengeschwindigkeit für den Güterverkehr untersucht. Mit dem Ergebnis, dass diese Maßnahme nicht zu empfehlen ist, da die negativen Auswirkungen auf den gesamten Schienenverkehr gravierend sind. Zudem ist aufgrund der zunehmenden Brems- und Beschleunigungsvorgänge auch eine lärmmindernde Wirkung in Frage zu stellen.

summary:

The issue of rail noise rightfully receives greater attention. The elimination of the "railway bonus" which leads to stricter noise protection requirements for new and upgraded lines by strengthening the limits by 5 dB(A), produces direct effects on the future viability of rail freight transport. There is a need for new ways to maintain the competitiveness of rail transport with a simultaneous reduction of noise pollution for residents. Possibilities to reduce the line speed for freight traffic were investigated. The result was that this measure should not be recommended as the consequences on rail traffic as a whole are serious. Furthermore, due to the increased brake and acceleration processes, the noise reduction effect has to be questioned.

Der vom Schienengüterverkehr verursachte Lärm erhält zu Recht eine weiter zunehmende Aufmerksamkeit. Zum einen liegt dies sicherlich an einem gesteigerten Interesse der Medien und der damit einhergehenden Berichterstattung. Als alleinige Begründung würde dies der Problematik allerdings nicht gerecht werden. Fakt ist, dass trotz einer schrumpfenden Anzahl an Gesamtkilometern des Streckennetzes die Transportleistung auf der Schiene, abgesehen von einer „Delle“ während der Konjunkturkrise 2008, stetig steigt [1] [2]. Für das Kernnetz bedeutet dies eine deutlich intensivere Nutzung und damit auch eine stärkere Belastung der Anwohner. Viele Streckenabschnitte sind überlastet [3], sodass weitere Investitionen in die Infrastruktur dringend notwendig sind. Durch diese Maßnahme würde jedoch die Belastung der Anwohner noch weiter steigen. Gepaart mit einer in der Gesellschaft steigenden Arbeitsbelastung und somit einer zunehmenden Bedeutung der Ruhezeiten ist die Aktualität der Thematik ersichtlich.

1. Auswirkungen vom Wegfall des Schienenbonus

Als Herausforderung stellt sich eine Eigenschaft des Schienengüterverkehrs dar, die eine schnelle und breite Umrüstung auf leise Technologien bei Güterwagen verhindert. Der Schienengüterverkehr ist in erster Linie über den Preis wettbewerbsfähig mit anderen Transportmitteln. Auf Seiten der Kunden ist keine Bereitschaft zu erwarten, für Umweltfreundlichkeit oder reduzierte Schallemissionen höhere Transportpreise zu zahlen. Durch die Abschaffung des Schienenbonus, welcher bisher eine Überschreitung der Lärmgrenzwerte für den Straßenverkehr um 5 dB im Eisenbahnbetrieb gewährt hat, ergibt sich nun zusätzlicher Druck auf die Güterverkehrsbranche, die Minderung von Schallemissionen aktiv voranzutreiben. Sonst zeichnet sich ein Teufelskreis ab, den es zu vermeiden gilt: Der Güterverkehr ist konkurrenzfähig, weil er günstig ist; da ein hoher Kostendruck besteht, kommen fahrzeugseitige Technologien zur Lärminderung nicht flächendeckend zum Einsatz; durch den somit lauten Güterverkehr wird mit dem Wegfall des Schienenbonus die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit bedroht, wie im Folgenden gezeigt wird.

Der Schienenbonus wurde eingerichtet, da von einer weniger belastenden Wirkung des Schienenverkehrslärms gegenüber anderen Verkehrsmitteln ausgegangen wurde. In aktuellen Studien konnte dieser physiologisch nicht begründet werden [4], dementsprechend ist die Abschaffung nur folgerichtig [5]. Der Wegfall hat jedoch massive Auswirkungen auf Aus- und Neubaustrecken, da nun entsprechend höhere Ansprüche an den Lärmschutz gestellt werden. Stand 2010 waren 800 km der vorgesehenen 3400 km lärmsanierungsbedürftiger Strecken mit Maßnahmen versehen. Durch den Wegfall des Schienenbonus kommen weitere 1200 km an lärmsanierungsbedürftigen Strecken hinzu [6]. Dies entspricht Mehrkosten von ca. 1,2 Mrd. Euro. Gleichzeitig ist jedoch nicht vorgesehen, die Mittel für Infrastrukturmaßnahmen zu erhöhen [7]. Dementsprechend ist von einer nicht planmäßigen Realisierung einer Reihe von Bedarfsplanprojekten auszugehen, beispielsweise die Strecke Münster-Lünen [8].

2. Möglichkeit betrieblicher, fahrzeugseitiger sowie infrastruktureller Maßnahmen zur Lärminderung

All diese Aussagen, insbesondere die stark steigenden Kosten, basieren jedoch darauf, dass der zusätzliche Lärmschutz durch konventionelle Maßnahmen umgesetzt wird. Dies wären in erster Linie Lärmschutzwände und Schallschutzfenster. Der Bau von Lärmschutzwänden, die diesen Anforderungen genügen, wäre jedoch mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden, da diese deutlich höher gebaut werden müssten als unter Beibehaltung des Schienenbonus. Der Zerschneidungseffekt der Landschaft wäre bei diesen Ausführungen nicht mehr akzeptabel.

Eine Alternative stellt die schnelle und flächendeckende Ausrüstung von Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen dar. Die Hoffnungen ruhen dabei auf der kürzlich zugelassenen LL-Bremssohle [9] [10]. Sie raut die Laufflächen der Wagenräder nicht auf und vermeidet somit das problematische Ansteigen des Rollgeräuschs. Gleichzeitig benötigt sie im Gegensatz zur K-Sohle keine Anpassung des Bremsgestänges bei bestehenden Güterwagen, da sie über eine Bremskraftkennlinie ähnlich der der dort verbauten Graugussbremsklötze verfügt. Unterstützt durch eine lärmabhängige Trassenpreiskomponente soll bis 2020 die Schallemission des Güterverkehrs um 10 dB reduziert werden [11]. Da

jedoch erhöhte Wartungsaufwände zu erwarten sind, wird bei einem Großteil der Wagen erst umgerüstet werden, wenn dies rechtlich vorgeschrieben ist [12] [13].

Eine dritte, häufig diskutierte und teilweise angedrohte Variante, ist die Verringerung der Geschwindigkeit des Schienengüterverkehrs. Die Variante lässt sich zunächst kostenlos umsetzen und sorgt für eine sofortige Reduktion der Schallemissionen.

3. Untersuchung der Verringerung von Fahrgeschwindigkeiten als betriebliche Maßnahme

Im Folgenden werden zunächst die Auswirkungen der Verringerung von Fahrgeschwindigkeiten auf die Streckenleistungsfähigkeit näher untersucht. Anschließend folgt die Zusammenfassung einer Bemessung der mit einer Geschwindigkeitsreduktion der Güterzüge einhergehenden, möglichen Verminderung der Lärmentstehung.

3.1 Vorbereitung von Modellinfrastruktur und Betriebsprogramm

Zur Untersuchung der Auswirkungen wurden zunächst zwei Modellstrecken mittels der Simulationssoftware RailSys modelliert und in jeweils zwei verschiedenen Betriebsvarianten umgesetzt. Die Erstellung der Modelle basierte dabei auf der Definition verschiedener Streckenstandards gemäß Richtlinie [14]. Die Orientierung an der Richtlinie bietet die Nutzung einheitlicher Vorgaben für Infrastruktur, Betriebsprogramm und Fahrzeuganforderungen. Anschließend wurde die Auswirkung einer Geschwindigkeitsverminderung der Güterzüge auf die Leistungsfähigkeit unter beispielhaften Fahrplantrassen dort planmäßig anzutreffender Zuggattungen analysiert. Die Untersuchung hatte zum Ziel, sowohl eine Mischverkehrsstrecke (M160) als auch eine Güterverkehrsstrecke (G120) zu betrachten (vgl. Abbildungen 1 und 2).

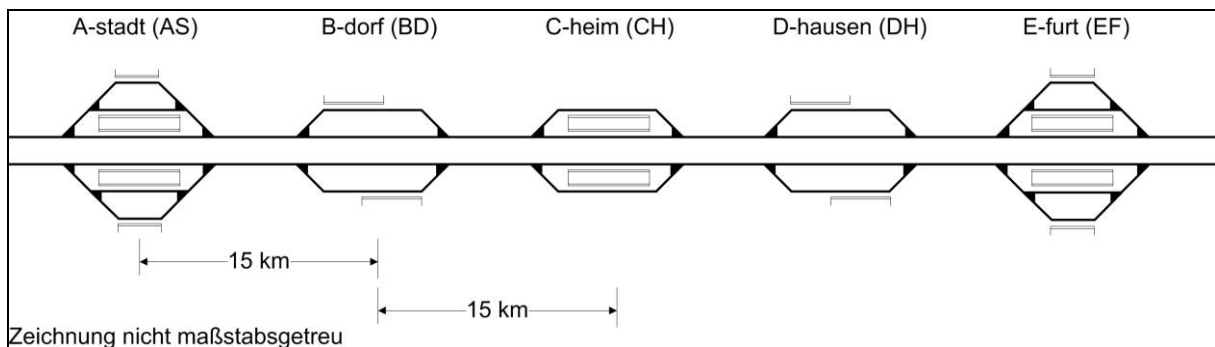


Abbildung 1: Streckenband der untersuchten Beispielinfrastruktur einer Strecke M160 [15]

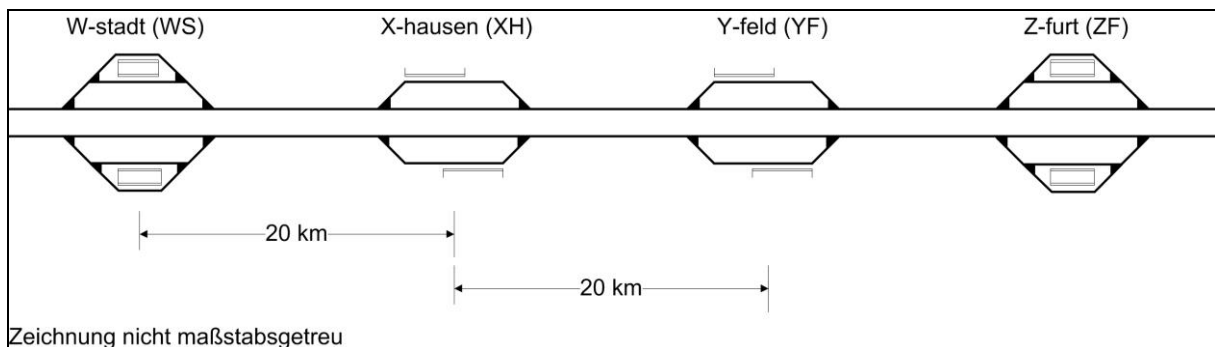


Abbildung 2: Streckenband der untersuchten Beispielinfrastruktur einer Strecke G120 [15]

Die Untersuchung der Mischverkehrsstrecke verfolgte das primäre Ziel, die Auswirkungen der Geschwindigkeitsreduzierung des Schienengüterverkehrs auf ein heterogenes Betriebsprogramm zu prüfen. Mit Hilfe der reinen Güterverkehrsstrecke sollte stattdessen untersucht werden, welche Aus-

wirkungen sich auf ein bisher bezüglich der Geschwindigkeit eher homogenes Betriebsprogramm ergeben. Bei der Analyse wurden die Anzahl der erstellbaren Fahrplantrassen als auch die sich verändernden Zeit-Weg-Linien der Zugfahrten untersucht. Mit Hilfe der Gegenüberstellung der konstruierbaren Fahrplantrassen konnte bewertet werden, welche Auswirkungen eine lärmschutzbedingte Geschwindigkeitsreduzierung des Schienengüterverkehrs erzeugt. Bei einer Länge von jeweils 60 km beträgt die Höchstgeschwindigkeit auf der Mischverkehrsstrecke 160 km/h und auf der Güterverkehrsstrecke 120 km/h.

Die verschiedenen Szenarien werden in Tabelle 1 gegenübergestellt und im Folgenden erläutert.

Strecke	Infrastrukturvariante	Betriebsvariante	Geschwindigkeit SGV in km/h
M160	var-1	var-1-0	120
M160	var-1	var-1-1	60
G120	var-2	var-2-0	120
G120	var-2	var-2-1	60

Tabelle 1: Geschwindigkeiten des Schienengüterverkehrs (SGV) je nach Betriebsvariante [15]

Die Betriebsvariante 1-0 stellt den regulären Betrieb einer Strecke der Kategorie M160 dar. Der Schienengüterverkehr weist eine Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h auf. In der Betriebsvariante 1-1 verkehren die Güterzüge mit einer verminderten Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h. Die Betriebsvariante var-2-0 spiegelt den regulären Betrieb einer Strecke des Standards G120 wider. Der Schienengüterverkehr erreicht eine Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h. Analog zur Betriebsvariante 1-1 verkehren die Güterzüge in der Betriebsvariante 2-1 mit einer verminderten Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h. Auf der Strecke M160 verkehren Intercitys (IC), Regional-Express-Züge (RE), Regionalbahnen (RB) sowie RB-Verstärker im Mischverkehr mit Güterzügen (KC), orientiert an den Angaben in den Definitionen der Streckenstandards nach [14]. Auf der Strecke G120 verkehren KC- und RB-Züge sowie RB-Verstärker.

Der Betrachtungszeitraum wurde auf den Zeitraum 07.00 Uhr bis 10.00 Uhr festgelegt, um die morgendliche Verkehrsspitze des Personenverkehrs zu berücksichtigen. Da in [14] zur Streckenbelastung eine Ober- und eine Untergrenze angegeben sind, wurde zur Durchführung der Untersuchung der Mittelwert aus beiden Angaben gebildet. Dazu wurden die Tagesganglinien und die jeweiligen Zugzahlen pro Betriebsstunde ausgewertet. Aus diesen Informationen konnten dann die erforderlichen Zuggattungen und Zugzahlen abgeleitet werden.

Mit Hilfe der gemittelten Zugzahlen aus den Vorgaben der Richtlinie wurde ein Fahrplan für die Betriebsvarianten 1-0 und 2-0 erarbeitet. Bei der Erstellung der Fahrpläne wurden verschiedene Prioritätsregeln beachtet. Auf der Strecke M160 hat der IC die höchste Priorität, gefolgt vom RE und der RB. Dem Güterzug KC wird die niedrigste Priorität eingeräumt. Auf der Strecke G120 stellt sich die Situation umgekehrt dar: Hier besitzt der Güterzug KC die höchste Priorität in der Betriebsabwicklung, da es sich um eine Vorrangstrecke für den Güterverkehr handelt. Die Überholgleise dienen demzufolge ausdrücklich nur dem SPNV. Die Güterzüge dürfen laut Richtlinie nicht durch den SPNV behindert werden. Der SPNV muss sich im Gegensatz zum herkömmlichen Netz fahrplantechnisch und betrieblich dem Schienengüterverkehr anpassen. Diese Betriebsweise stellt die von der EU bereits oft geforderte Bevorzugung von Güterzügen auf den TEN-Magistralen dar.

Orientiert an den Fahrplänen und den Modellzugkonfigurationen für die beiden Betriebsvarianten 1-0 und 2-0 wurden die Fahrpläne der Betriebsvarianten 1-1 und 2-1 abgeleitet. Anschließend konnte die Anzahl der jeweils realisierbaren Fahrplantrassen ermittelt werden.

Nähere Informationen zur Vorbereitung und Durchführung der Eisenbahnbetriebssimulation können in [15] nachgelesen werden.

3.2 Ergebnis der Untersuchung

Die Untersuchung der verschiedenen Betriebsprogramme auf den beiden Streckenstandards hat gezeigt, dass der langsame Schienengüterverkehr massive Konflikte mit den Personenverkehrstrassen verursacht. Im Vergleich zu den Betriebsvarianten 1-0 und 2-0 ist die Integration der Güterzug-Trassen in ein befriedigendes Fahrplangefüge für die Varianten 1-1 und 2-1 deutlich schwieriger durchführbar. Hauptproblem der Fahrplanerstellung ist das Auflaufen nachfolgender Personenzüge auf die langsamer fahrenden Güterzüge, bedingt durch den großen Abstand von Überholmöglichkeiten und der vordefinierten Auslastung.

Für die Strecke M160 besteht mit 100 km/h die größte Geschwindigkeitsschere zwischen schnell fahrenden Personenzügen und dem in der Geschwindigkeit verminderten Güterverkehr. Der Personen- und Güterverkehr behindern sich damit stärker als in der Nullvariante. Um den schnelleren Verkehr auf der Strecke nicht zu benachteiligen, ist eine weitaus höhere Anzahl an Überholungshalten des Schienengüterverkehrs erforderlich. Ebenso ist die Dauer der Überholungshalte angewachsen, da teilweise zwei nacheinander folgende Personenzüge abgewartet werden müssen. Bei der Fahrplanerstellung wurde gemäß der Prioritätsregelung dem schnellen Personenverkehr Vorrang gewährt. Demzufolge hat die Geschwindigkeitsreduktion keine gravierenden Auswirkungen auf den IC, den RE und die stündlichen RB. Die Verstärker-Leistungen der RB müssen jedoch entfallen. Die Geschwindigkeitsreduktion für die Güterzüge bewirkt einen Verlust von fünf Güterzug-Trassen im Betrachtungsbeispiel.

Auf der Strecke G120 muss der SPNV unter Verringerung der Geschwindigkeit der Güterzüge Einbußen in der Trassenanzahl hinnehmen, da der Schienengüterverkehr auf dieser Strecke weiterhin Vorrang in der Betriebsabwicklung erhält. Die SPNV-Züge laufen nach einem Halt in einem Bahnhof oder Haltepunkt nach jedem Wiederanfahren zwangsläufig auf einen vorausfahrenden Güterzug auf und müssen abbremsen. Ein behinderungsfreies Fahren zwischen den Haltepunkten ist für den SPNV nicht mehr möglich. Der Fahrplan aus der Nullvariante ist nicht mehr umsetzbar, dementsprechend entstehen deutliche Fahrzeitverluste für den SPNV. Es wurde versucht, zumindest ein stündliches Grundangebot des SPNV aufrechtzuerhalten. Die Verstärker-Leistung der RB muss allerdings entfallen. Da der Schienengüterverkehr nur noch mit 60 km/h verkehren darf, bewirkt diese Zugattung auf der Strecke G120 einen Verlust von acht Güterzug-Trassen im Betrachtungszeitraum.

Die Ergebnisse der Streckenuntersuchung machen deutlich, dass die Anordnung einer Geschwindigkeitsreduktion für Güterzüge den Personenverkehr bzw. den Güterverkehr massiv behindert. Wenn die Gesamtzahl an realisierbaren Fahrplantrassen betrachtet wird, sinkt dieser Wert bei beiden betrachteten Strecken um rund ein Drittel ab. Die ursprünglich geplanten Betriebsprogramme sind in Folge der Geschwindigkeitsreduzierung des Schienengüterverkehrs nur noch zu 70 % umsetzbar.

3.3 Auswirkung der Verringerung von Fahrgeschwindigkeiten auf die Lärmentstehung

Bei einer Absenkung der Höchstgeschwindigkeit von 100 auf 80 km/h wird die Lärmemission eines Zuges um drei dB(A) reduziert [16]. Wenn die Höchstgeschwindigkeit eines Zuges um die Hälfte gemindert wird, ergibt sich im Mittel eine Lärminderung von fünf bis sechs dB(A) [17]. Bei einer Geschwindigkeitsreduzierung von 120 auf 60 km/h (vgl. Betriebsvarianten 1-1 und 2-1) ist demnach von einer Lärminderung in Höhe von sechs dB(A) auszugehen. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme bewegt sich damit im Bereich zwischen Lärmschutzwänden (Minderung ca. zehn dB(A)) und Schienestegdämpfern (Minderung zwei bis vier dB(A)) [18] [19] [20].

Zusammengefasst zeigt sich also, dass sich durch eine Geschwindigkeitsreduktion des Schienengüterverkehrs mit wenig Aufwand eine hohe Lärminderung erzielen lässt. Es ist allerdings zu prüfen, in welchem Maße das Anfahren und Abbremsen des Schienengüterverkehrs durch zusätzlich notwendige Überholungen die lärmindernde Wirkung der Geschwindigkeitsreduktion beeinträchtigt.

4. Resümee

Die Reduzierung der Güterzug-Höchstgeschwindigkeit ist auf den ersten Blick eine schnell umsetzbare, kostengünstige Maßnahme. Sie garantiert eine hohe Lärminderung, wenn die Geschwindigkeits-senkung entsprechend groß ausfällt. Die unmittelbare Umsetzbarkeit mit schnellem Erfolg blendet

allerdings die mittel- und langfristigen Folgen für das Bahnsystem aus. Eine Geschwindigkeitsreduktion der Güterzüge kann zu einer Einschränkung der Streckenleistungsfähigkeit, verbunden mit einer reduzierten Anzahl an konstruierbaren Fahrplantrassen führen. Darüber hinaus schlägt sich die verbleibende Transportgeschwindigkeit in einem Attraktivitätsverlust des Schienengüterverkehrs in der Transportwirtschaft nieder. Die Transportkosten steigen und aufeinander abgestimmte Logistikketten können nicht mehr gehalten werden [21]. Das mittel- und langfristige Ziel der Verlagerung von Gütertransporten auf die Schiene wird so gefährdet. Der Schienengüterverkehr behindert den Personenverkehr in so gewichtigem Maße, dass der Personenverkehr unter Fahrzeitverlängerungen oder sogar Angebotskürzungen leidet. Die Geschwindigkeitsscheren sind derartig groß, dass sich der Güterverkehr und der Personenverkehr erheblich stören. Zu bedenken ist, dass Brems- und Haltevorgänge von Güterzügen als besonders laut anzunehmen sind, auch wenn dieser Aspekt näher untersucht werden muss. Unter diesem Aspekt ist die mindernde Wirkung der reduzierten Geschwindigkeit fraglich. Die Bundesregierung sieht im Moment keine rechtliche Grundlage für eine Geschwindigkeitsreduktion des Schienengüterverkehrs [22]. Die EU vertritt die gleiche Position und stellt die Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs vor den Lärmschutz. Insbesondere das Ziel der Verkehrsverlagerung der Güterströme auf die Schiene und das Prinzip des freien Warenverkehrs widersprechen einer Geschwindigkeitsreduktion von Güterzügen [23]. Die oben dargestellte Streckenuntersuchung bestätigt viele der angesprochenen Gesichtspunkte. Dabei wird das schwierige Spannungsfeld deutlich, in dem sich der Verkehrslärm allgemein, insbesondere aber der Schienengüterverkehrslärm befindet. Durch den Wegfall des Schienenbonus hat sich jedoch die Situation des Schienengüterverkehrs weiter verschärft. Ohne höhere Investitionen und neue Lösungsansätze besteht die Gefahr einer Spirale aus hohen Schallemissionen, mangelnder Streckenkapazität, steigenden Transportkosten und sinkender Wettbewerbsfähigkeit.

Literatur:

- [1] DB Netz AG, Frankfurt am Main, *DB AG Daten und Fakten 2011*, Broschüre, März 2012
- [2] Siegmann, Jürgen, *Historische Entstehungsgeschichte des deutschen Schienennetzes*, Technische Universität Berlin, 01.11.2012, <http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/350049>, 08.01.2013 um 14:30
- [3] Eickmann et al.: *Hafenhinterlandanbindung – Sinnvolle Koordination von Maßnahmen im Schienenverkehr zur Bewältigung des zu erwartenden Verkehrsaufkommens*, Abschlussbericht, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik, 15.10.2008
- [4] Müller et al. (2011): *Verbundprojekt: DEUFRAKO/RAPS - Railway noise (and other modes) annoyance, performance, sleep: wirkungsorientierte Bewertung unterschiedlicher Verkehrslärmarten*; Teilvorhaben DLR: Metaanalyse und Feldstudie; Abschlussbericht / Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft. Projektleiter: U. Müller. - [Köln], 126 S. : graph. Darst., Kt. - Förderkennzeichen BMBF 19U6014B. - Verbund-Nr. 01050291
- [5] Antwort der Bundesregierung auf Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Valerie Wilms, Dr. Anton Hofreiter, Cornelia Behm, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Drucksache 17/7050, *Stand der Maßnahmen zur Reduzierung des Schienenverkehrslärms*, 20.09.2011
- [6] Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Anton Hofreiter, Winfried Hermann, Bettina Herlitzius, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Drucksache 17/1855, *Maßnahmen der Bundesregierung zur Beschränkung von Schienenlärm*, 25.05.2010
- [7] Gesetzentwurf der Fraktionen der CDU/CSU und FDP, Drucksache 17/10771, *Entwurf eines Elften Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes*, 25.09.2012

- [8] <http://www.wn.de/Muensterland/2013/02/Auf-dem-Abstellgleis-Ausbau-der-Bahnstrecke-Muenster-Luene-koennte-unwirtschaftlich-sein>, Westfälische Nachrichten, Artikel vom 05.02.2013, 22.08.2013 um 15:30
- [9] Eisenbahn-Revue International, *Durchbruch für die LL-Sohle*, Verlag Minirex AG, Luzern (CH), Ausgabe 7/2013, S. 344
- [10] Rail Business, *UIC gibt grünes Licht für Zulassung der LL-Sohle*, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe 23/2013, Seite 3
- [11] Jens Klocksinn (2012): *Lärmschutz an der Schiene – Strategien des Bundes*, Vortrag vom 20.03.2012, DAGA 2012, 38. Jahrestagung für Akustik, 19.-22. März 2012, Darmstadt
- [12] Eisenbahn-Revue International, *DB baut LL-Sohlen ein*, Verlag Minirex AG, Luzern (CH), Ausgabe 8+9/2013, Seite 414
- [13] Rail Business, *VPI-Vorsitzender Lawrenz warnt vor zu hohen Erwartungen an LL-Sohle*, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe 27/2013, Seite 2
- [14] DB Netz AG, Frankfurt am Main, DB-Richtlinie 413.0301, *Bahnbetrieb, Infrastruktur gestalten, Streckenstandards*, Fassung vom 01.01.2002
- [15] Mönsters, Michael, *Konzepte zur Beschleunigung der Lärminderungswirkung im Schienengüterverkehr*, Masterarbeit, Technische Universität Braunschweig, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Verkehrssystemtechnik, April 2013
- [16] Kalivoda, Manfred, psiA-Consult, *How Can Infrastructure Manager Influence Noise Generation of Rolling Stock, Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems, Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, Volume 99*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 250-256, 2008
- [17] Hemsworth, Brian, *Environmental Noise Directive Development of Action Plans for Railways*, UIC, April 2008
- [18] Gramowski, Christoph et al., *Rollgeräuschreduktion durch innovative Schienenkonstruktion*, Der Eisenbahningenieur, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe August 2008, Seite 6-10
- [19] DB Netz AG, Frankfurt am Main, *Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg, Konjunkturpaket II*, Schlussbericht, 15.06.2012
- [20] Kraft, Oliver, *Innovativer Lärmschutz: neue Wege der Lärmreduzierung am Fahrweg*, Der Eisenbahningenieur, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe September 2010, Seite 46-53
- [21] Koch, Bernhard, *Lärmmissionen und Lärminderung im Schienenverkehr*, Eisenbahntechnische Rundschau, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe Dezember 2007, Seite 772-779
- [22] Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Gustav Herzog, Sören Bartol, Uwe Beckmeyer, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der SPD, Drucksache 17/2638, *Maßnahmen zur Verbesserung des Lärmschutzes im Landverkehr*, 26.07.2010
- [23] Rail Business, *Kein EU-Freibrief für Nachtfahrverbote*, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe 8/2013, Seite 3

Autoren:

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Lackhove

Gruppenleiter Bahnbetrieb

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Verkehrssystemtechnik, Abteilung Bahnsysteme, Braunschweig

christoph.lackhove@dlr.de

Michael Mönsters, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Verkehrssystemtechnik, Abteilung Bahnsysteme, Braunschweig

michael.moensters@dlr.de

Dipl.-Ing. Tobias Lindner

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Technische Universität Braunschweig, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung

tobias.lindner@tu-bs.de