

Leise und wettbewerbsfähig

Forschung für die Zukunftsfähigkeit des Schienengüterverkehrs

Christoph Lackhove, Michael Mönsters, Tilo Schumann, Arne Henning

IbO:LES, PiLoNav, CFW, FreeFloat, K-Sohle, LL-Sohle, Schienengüterverkehrslärm, DLR

Der vom Schienengüterverkehr verursachte Lärm erhält zu Recht eine weiter zunehmende Aufmerksamkeit. Schließlich wird davon ausgegangen, dass die Gütertransportleistung auf der Schiene weiter wachsen wird. Höhere Kosten – etwa durch neue Bremssohlen oder Scheibenbremsen für Waggons – könnten diese Entwicklung konterkarieren und damit dem Straßengüterverkehr weiter Vorschub leisten. Gibt es einen Ausweg?

Abgesehen von einem Einbruch während der Konjunkturkrise 2008 konnte sich die Transportleistung im deutschen Schienengüterverkehr auf einem hohen Vorkrisenniveau stabilisieren [1, 2, 3]. Es ist davon auszugehen, dass trotz einer schrumpfenden Anzahl an Gesamtkilometern des deutschen Streckennetzes die Transportleistung auf der Schiene weiter ansteigen wird. Für das Kernnetz bedeutet dies eine deutlich intensivere Nutzung und damit auch eine stärkere Lärmbelastung der Anwohner. Viele Streckenabschnitte sind überlastet [4], sodass weitere Investitionen in die Infrastruktur dringend notwendig sind. Aktuell ist die Umrüstung der Güterwagenflotte auf die K- und LL-Sohle im Gange [5, 6]. In der Branche werden erhöhte Kosten durch die Umrüstung selbst und im Betrieb (Verschleiß) befürchtet, die insbesondere im Kombinierten Verkehr (KV) die Wettbewerbssituation gegenüber dem Straßenverkehr verschlechtern. Es zeigt sich ein deutliches Spannungsfeld zwischen dem berechtigten Bedürfnis der Anwohner nach einem Schutz vor Lärmbelastung, der Umsetzungsgeschwindigkeit der entsprechenden Maßnahmen sowie der Wirtschaftlichkeit und Betriebsfähigkeit des Schienengüterverkehrs (siehe Abbildung 1). Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) als wissenschaftliche Einrichtung sucht nach neuen Ansätzen, diese Konflikte zu lösen und nutzt dafür die vorhandenen interdisziplinären Kompetenzen.

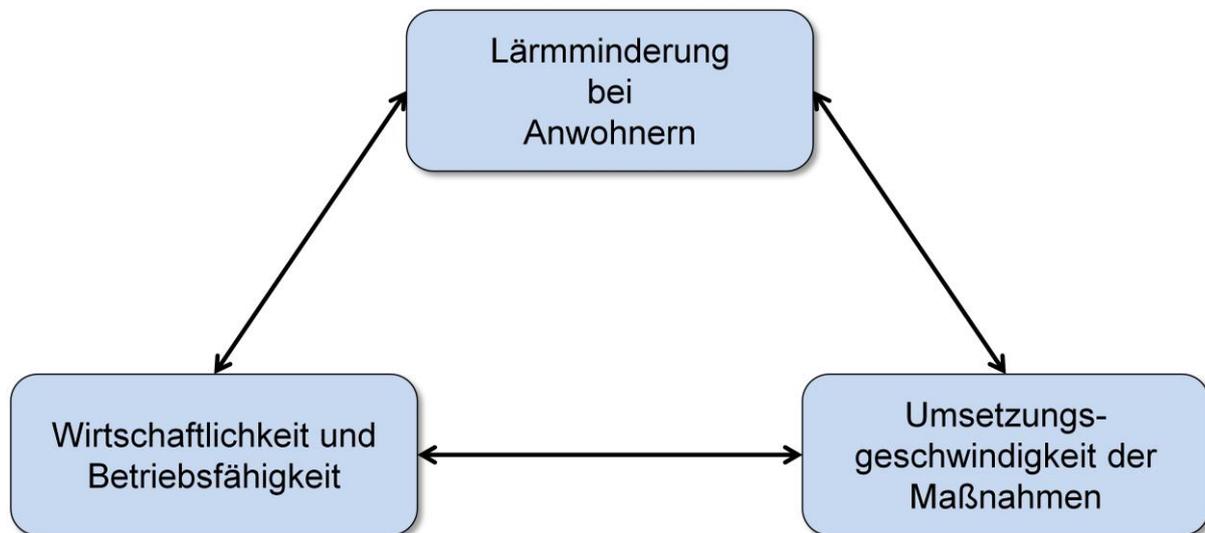


Abbildung 1: Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit, Anwohnerinteressen und Umsetzungsgeschwindigkeit

Notwendigkeit neuer Ansätze

Der Schienengüterverkehr ist in erster Linie über den Preis wettbewerbsfähig mit anderen Transportmitteln. Diese Eigenschaft des Schienengüterverkehrs stellt sich als Herausforderung dar, welche eine schnelle und breite Umrüstung auf leise Technologien bei Güterwagen verhindert. 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 des Straßenverkehrs um 5 dB im Eisenbahnbetrieb gewährt hat, ergibt sich nun zusätzlicher Druck auf die Güterverkehrsbranche, die Minderung von Schallemissionen aktiv voranzutreiben. Und obwohl die Umrüstung des bestehenden Wagenparks auf die kürzlich eingeführten LL-Sohlen günstiger ist als auf die K-Sohlen, befürchtet die Branche weiterhin wirtschaftliche Nachteile [7]. Insbesondere erhöhte Wartungskosten – egal, ob LL- oder K-Sohle – verschlechtern die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem LKW. Somit zeichnet sich eine Abwärtsspirale ab, die es zu vermeiden gilt: a) der Güterverkehr ist konkurrenzfähig, weil er günstig ist; b) da ein hoher Kostendruck besteht, kommen fahrzeugseitige Technologien zur Lärminderung nicht flächendeckend zum Einsatz; c) durch den somit lauten Güterverkehr wird mit dem Wegfall des Schienenbonus die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit des Schienengüterverkehrs bedroht; d) eine stärkere Verschiebung des Modal Splits zu Gunsten des Straßenverkehrs droht. Doch das kann gesellschaftlich nicht gewollt sein.

In dieser Lage scheint es angemessen, nach neuen Konzepten zu suchen, die dem Schienengüterverkehr eine bessere wirtschaftliche Perspektive bieten können. Die Situation kann Anstoß für eine grundsätzliche Erneuerung und Neuausrichtung des Sektors sein. Beispielsweise engagiert sich das DLR im Konsortium Competitive Freight Wagon (CFW) [8], bei dem vor allem eine deutliche Erhöhung der Laufleistung des Wagenparks angestrebt wird. Dazu ist ein neues Wagenkonzept notwendig, das sich sehr viel flexibler einsetzen lässt. Durch die höhere Laufleistung und die

bessere Auslastung sollen sich aufwendigere Technologien wie beispielsweise Scheibenbremsen wirtschaftlich einsetzen lassen. Weiteres Potenzial für eine Verbesserung liegt in der allgegenwärtigen Digitalisierung. Eine optimierte Wartung oder eine verbesserte Integration in logistische Prozesse durch Echtzeitinformationen scheint damit sehr viel kostengünstiger umsetzbar zu sein als noch vor ein paar Jahren. Dabei wird die Zielrichtung im Gegensatz zu früheren Ansätzen umgekehrt: Im Vordergrund steht die Wirtschaftlichkeit. Mit den dafür abgeleiteten Maßnahmen wird auch eine deutliche Lärmreduzierung angestrebt.

Einbeziehung akustischer Untersuchungen

Großes Potenzial sieht das DLR zum Beispiel in einem konsequenten Akustikdesign für neue Wagen. Dabei geht es nicht nur um die Reduzierung der Maximalpegel, sondern vielmehr um eine gezielte Beeinflussung des Frequenzspektrums. So haben Untersuchungen gezeigt, dass bei gleichem Lautstärkepegel bei Güterzügen eine deutlich höhere Aufwachwahrscheinlichkeit besteht als bei Personenzügen [9]. Die Geräuschqualität wird dafür im Labor modifiziert. Einzelne Geräuschkomponenten können durch Probanden an einer „Sound Machine“ gezielt beeinflusst werden, um ein Geräusch bei gleicher Lautheit angenehmer zu machen. Auch akustische Präferenzen spezifischer Bahngeräusche können im Labor analysiert werden. Möglich wäre der Vergleich der Rollgeräusche aufgrund verschiedener Bremssysteme, Drehgestelle oder Schienen. Gleiches gilt für unterschiedliche Betriebszustände wie Beschleunigen, Bremsen, Ausrollen oder eine Beharrungsfahrt. Mit Hilfe fortschrittlicher akustischer Messtechnik kann das DLR die entsprechenden Geräuschkomponenten isolieren und für solche Untersuchungen verwenden. Die Wirkung des Lärms auf Betroffene soll in die technischen Entwicklungen einfließen. Optimal wäre ein Nachweis der Wirksamkeit im Feld durch Untersuchungen zur Belästigung und der Wirkung auf den Schlaf bei Betroffenen vor Ort, vergleichbar mit einer vom DLR bereits durchgeführten Studie [9].

Bahnbetriebliche Maßnahmen

Eine weitere Möglichkeit besteht im gezielten Eingriff in die bahnbetriebliche Steuerung. Dies wird bekanntermaßen bereits mit den Zielen einer gesteigerten Stabilität im Betrieb und einer energieeffizienteren Fahrweise getan. Im Rahmen des Projekts „FreeFloat“ [10] wurden dispositive Maßnahmen zur Vermeidung von Halten vor Signalen durch eine angepasste Geschwindigkeit umgesetzt. Für eine energieeffiziente Fahrweise sind diverse Produkte am Markt. Dabei geben autarke Fahrerassistenzsysteme Empfehlungen auf Basis von Zugcharakteristik und Streckenprofil. Im Personenverkehr können darüber hinaus Pufferzeiten im Fahrplan genutzt werden, um bei Verfrühungen langsamer zu fahren und somit den Bedarf an Traktionsenergie zu minimieren. Systeme wie „CATO“ [11] beziehen zusätzlich die Signalstellung im Rahmen einer vorausschauenden Fahrweise mit ein. Ein solcher Ansatz wurde unter Beteiligung des DLR auch im Projekt „Precise and Integer Localisation and Navigation in Rail and Inlandwater Traffic“, kurz „PiLoNav“ [12] verfolgt. Mit Bezug auf Lärm-

minderung werden jedoch hauptsächlich Fahrverbote oder Geschwindigkeitsreduzierungen diskutiert (siehe Tabelle 1).

	Stabilität im Betrieb	energieeffizientes Fahren	Lärminderung
Ansatz	FreeFloat [10]	diverse Ansätze und Produkte am Markt	Eingriff in den Betrieb
Beschreibung	Züge fahren ohne Halt vor Signalen; Vorgabe einer Zielgeschwindigkeit an Triebfahrzeugführer; Übermittlung der optimalen Geschwindigkeit per SMS	autarke Fahrerassistenzsysteme geben Empfehlung auf Basis von Zugcharakteristik und Streckenprofil; moderne Systeme prognostizieren zusätzlich Signalstellung	niedrigere Geschwindigkeiten (dauerhaft oder temporär/räumlich begrenzt); Fahrverbote
Ergebnis	erfolgreiche Testphase; noch keine flächendeckende Einführung	keine negative Wirkung auf Stabilität	nachweisbare Lärminderung; mehrere Studien legen dramatische Auswirkungen auf Güterverkehr nahe [13,14]

Tabelle 1: die Verknüpfung der drei Ansätze Stabilität, Energieeffizienz und Lärm bietet großes Potenzial zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs

Die Reduzierung der Güterzug-Höchstgeschwindigkeit ist auf den ersten Blick eine schnell umsetzbare, kostengünstige Maßnahme und wurde in verschiedenen Studien, u.a. durch das DLR, untersucht [13, 14]. Sie garantiert eine hohe Lärminderung, wenn die Geschwindigkeitssenkung 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 [15]. Das mittel- und langfristige Ziel der Verlagerung von Gütertransporten auf die Schiene wird so gefährdet. In der Studie des DLR [13] behindert der Schienengüterverkehr den Personenverkehr in so hohem Maße, dass auch der Personenverkehr unter Fahrzeitverlängerungen oder sogar Angebotskürzungen leidet. Die Geschwindigkeitsunterschiede würden erheblich anwachsen, so dass sich der Güterverkehr und der Personenverkehr stark 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.

Zum Thema Geschwindigkeitsreduktion für Güterzüge herrscht in der deutschen Politik ein ambivalentes Meinungsbild. Viele vom Bahnlärm betroffene Länder fordern sofortige betriebsbeschränkende Maßnahmen sowie die Schaffung der dafür notwendigen Rechtsgrundlagen [16]. Das Bundesverkehrsministerium will dagegen in 2016 keine Geschwindigkeitsbeschränkungen anordnen, auch wenn das Zwischenziel (Umrüstungsgrad der auf deutschen Schienen fahrenden Güterwagen von 50 % in 2016) noch nicht vollständig erreicht ist [17]. Die EU-Kommission vertritt eine ähnliche Position zum Thema und stellt die Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs vor den Lärmschutz [18].

Ein Blick zum Luftverkehr zeigt eine sehr ähnliche Problemlage. So wurden dort vor mehr als zehn Jahren verkehrspolitische Lärminderungskonzepte gefordert, da eine technische Lärminderung an der Quelle von der Entwicklung bis zur Markteinführung und -durchdringung zu viel Zeit benötigen würde. Es sei notwendig, kurzfristig realisierbare Lösungen für die Interessenskonflikte zwischen Lärmbetroffenen, Wirtschaft, Luftfahrtindustrie und Flugreisenden zu finden [19, 20]. Diese Problemstellung lässt sich weitgehend auf den Schienengüterverkehr übertragen, wie oben bereits beschrieben. Durch das DLR wurde daraufhin ein lärmreduziertes Anflugverkehrsmanagement entwickelt, bestehend aus einem lärmreduzierten Anflugverfahren und Flugrouten. Ziel war dabei die bestmögliche Ausnutzung der Luftraum- und Landebahnkapazität bei größtmöglicher Sicherheit und Umweltverträglichkeit [21]. Während eine lärmreduzierte Trassenführung für den Güterverkehr lediglich bei Streckenneubauten relevant sein kann, haben wir untersucht, ob sich eine lärmreduzierte Betriebssteuerung unter Berücksichtigung der Erhaltung von Streckenkapazität und Betriebsstabilität umsetzen lässt. Darüber hinaus wurde untersucht, inwiefern sich diese Ziele mit einer energieeffizienten Fahrweise kombinieren lassen. Entstanden ist dabei der Ansatz Ibo:LES (Integrierte betriebliche Optimierung: Lärm, Energie, Stabilität), der hier im Folgenden kurz erläutert wird.

Integrierte betriebliche Optimierung

Prämisse für diesen Ansatz ist eine Optimierung abhängig von der aktuellen betrieblichen Lage. Anders als bei generellen Geschwindigkeitsreduzierungen wird nur zugunsten einer Minderung des Lärms in den Betrieb eingegriffen, wenn dies ohne negative Auswirkungen auf Kapazität und Stabilität möglich ist. Dies entspricht dem Muster, das bereits für Fahrerassistenzsysteme zur energieeffizienten Fahrweise angewendet wird. Für die Anwohner bedeutet das eine Reduktion der Lärmbelastung, soweit dies der Bahnbetrieb zulässt. Ein Anspruch auf eine Minderung um einen festgelegten Betrag lässt sich aus dem Ansatz nicht ableiten.

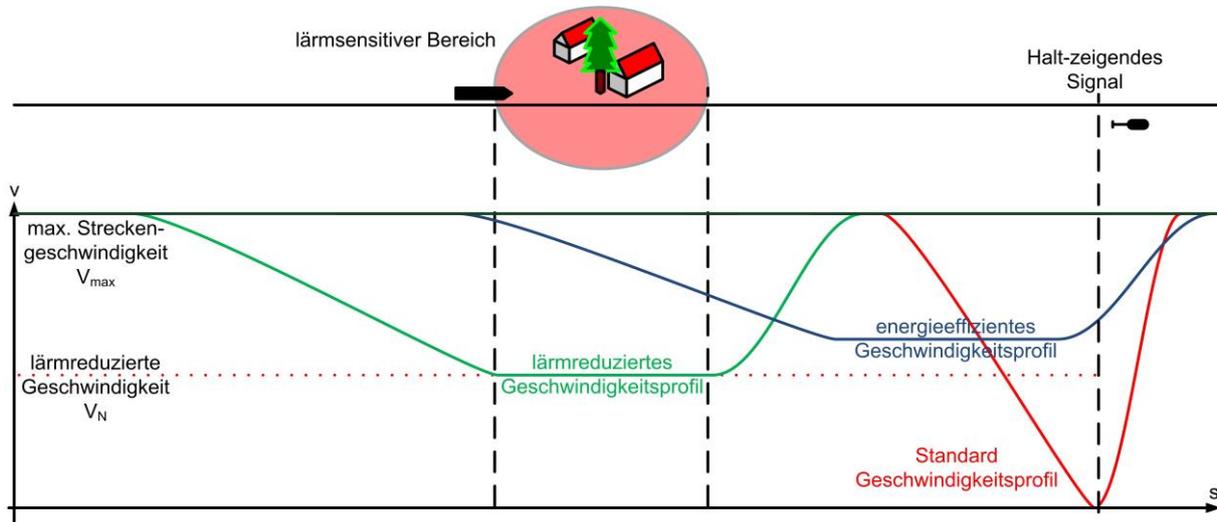


Abbildung 2: beim IbO:LES-Ansatz wird das vorausschauende Fahren gezielt genutzt, um die Geschwindigkeitsreduktion in lärmsensible Bereiche zu verschieben (schematische Darstellung)

Ausgangspunkt für IbO:LES ist die vorausschauende Fahrweise. Das heißt, dass die Stellung der Signale berücksichtigt wird. Hierbei ist darüber hinaus eine Prognose der Signalstellung notwendig. Für jeden Zug wird auf freier Strecke prognostiziert, wann der aktuell belegte Block verlassen wird. Das DLR hat diesen Ansatz bereits im Projekt PiLoNav umgesetzt und zu einer Fahrzeitprognose weiterentwickelt. Ergibt sich nun für einen betrachteten Zug, dass er am Signalsichtpunkt auf ein „Halt erwarten“ zeigendes Signal zufährt, wird dem Triebfahrzeugführer über ein entsprechendes Assistenzsystem eine reduzierte Geschwindigkeit empfohlen. Sie ist so berechnet, dass der Zug den Signalsichtpunkt genau zu dem Punkt erreicht, an dem das Signal „Fahrt erwarten“ zeigt. Bis zu diesem Punkt entspricht die Vorgehensweise der bereits aus Systemen zur Stabilisierung des Betriebs und zur Steigerung der Energieeffizienz bekannten Verfahren. Hier soll die Geschwindigkeitsreduzierung jedoch gezielt in lärmsensiblen Bereichen geschehen. Diese können durchaus räumlich weiter vor dem Vorsignal liegen. Dementsprechend sind die Anforderungen an die Fahrzeitprognose höher. Das Geschwindigkeitsprofil wird darüber hinaus so berechnet, dass der Zug am Vorsignal wieder die volle Streckengeschwindigkeit erreicht hat (siehe Abbildung 2). So lassen sich mehrere Vorteile vereinen:

- durch die reduzierte Geschwindigkeit im lärmsensiblen Bereich wird dort die Lärmbelastung vermindert
- ein Halt vor dem Hauptsignal wird vermieden, damit sinkt der Energiebedarf
- der Zug räumt den aktuell belegten Block so schnell wie möglich, dies wirkt sich positiv auf die Betriebsstabilität aus.

Dieser theoretische Ansatz wurde im Rahmen einer Machbarkeitsuntersuchung genauer betrachtet. Dafür wurde beispielhaft die Einfädelung im Bereich vor Uelzen aus Richtung Hannover bzw. Stendal gewählt (siehe Abbildung 3).

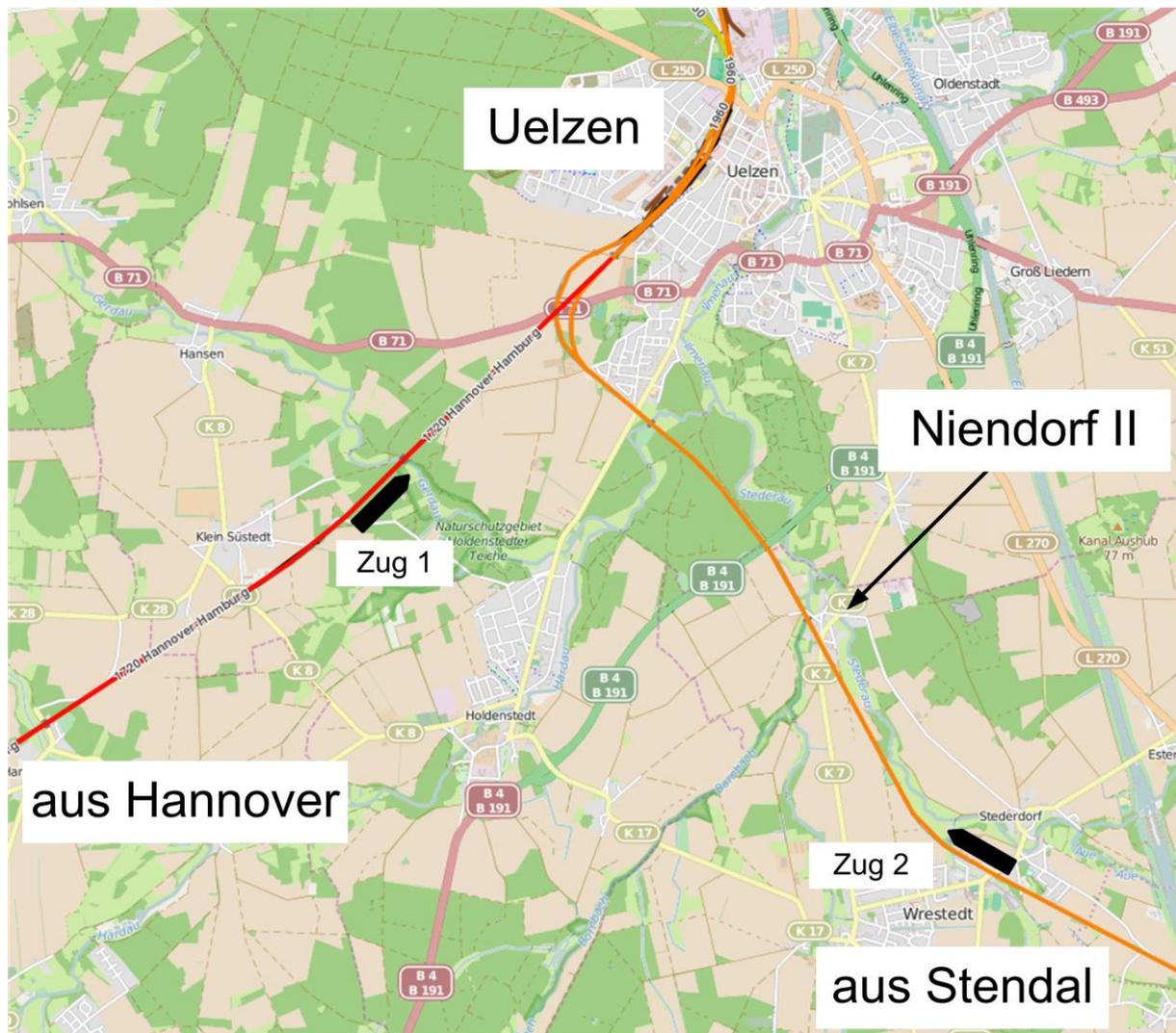


Abbildung 3: Ausschnitt aus dem Untersuchungsraum der Machbarkeitsanalyse im Bereich Uelzen, Quelle: [22]

Hier mündet die Strecke Stendal - Uelzen (Amerikalinie) in die Hauptstrecke Hannover - Hamburg. Der vorausfahrende Fernzug aus Hannover (Zug 1) ist verspätet, was im Normalfall einen Halt für den aus Stendal kommenden Güterzug (Zug 2) bedeuten würde. Durch den Ansatz IbO:LES war es nun möglich, den Halt für den Güterzug zu vermeiden. Die Trasse des Güterzugs fügt sich nun harmonisch hinter dem vorausfahrenden Fernzug ein. Durch den vermiedenen Halt konnte der Energiebedarf im Vergleich zum Normalfall um etwa 15% reduziert werden. Auch eine Reduktion der Immissionen in die an der Strecke liegenden Orte konnte erreicht werden, beispielsweise um zirka 3 dB(A) in Niendorf II (siehe Abbildungen 4 und 5). Die Schallausbreitung in Abbildung 5 verdeutlicht gegenüber Abbildung 4 außerdem eine deutliche Reduktion der Maximalpegel. Insofern ist ein erster Nachweis der Wirksamkeit gelungen.

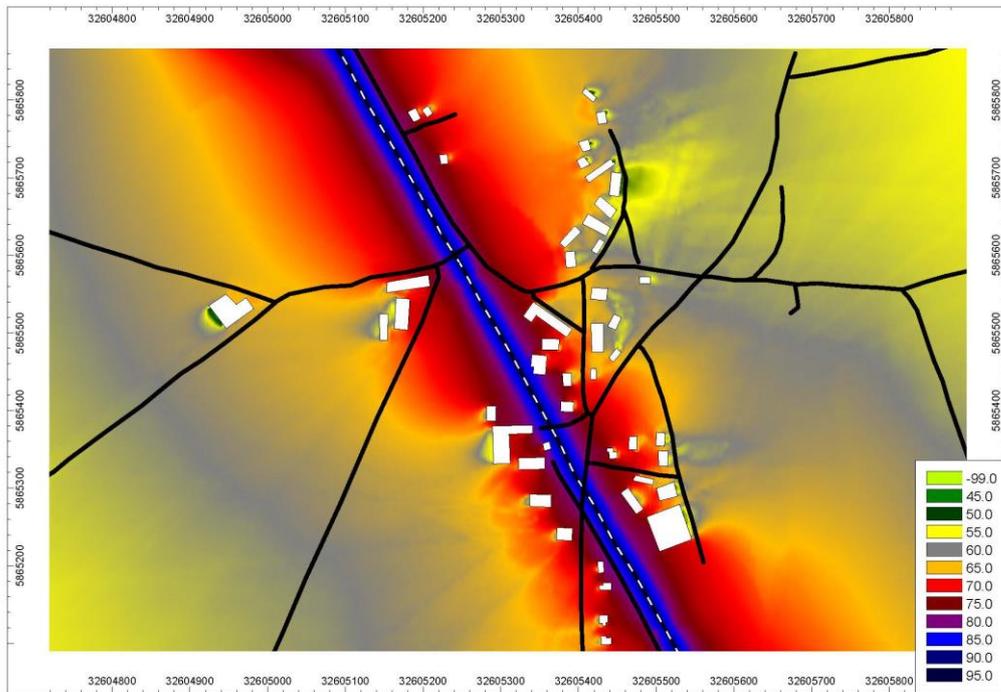


Abbildung 4: Maximalpegel bei Standardfahrweise: der Güterzug durchfährt Niendorf II mit planmäßiger Höchstgeschwindigkeit (100 km/h); dementsprechend hohe Pegel an streckennaher Bebauung

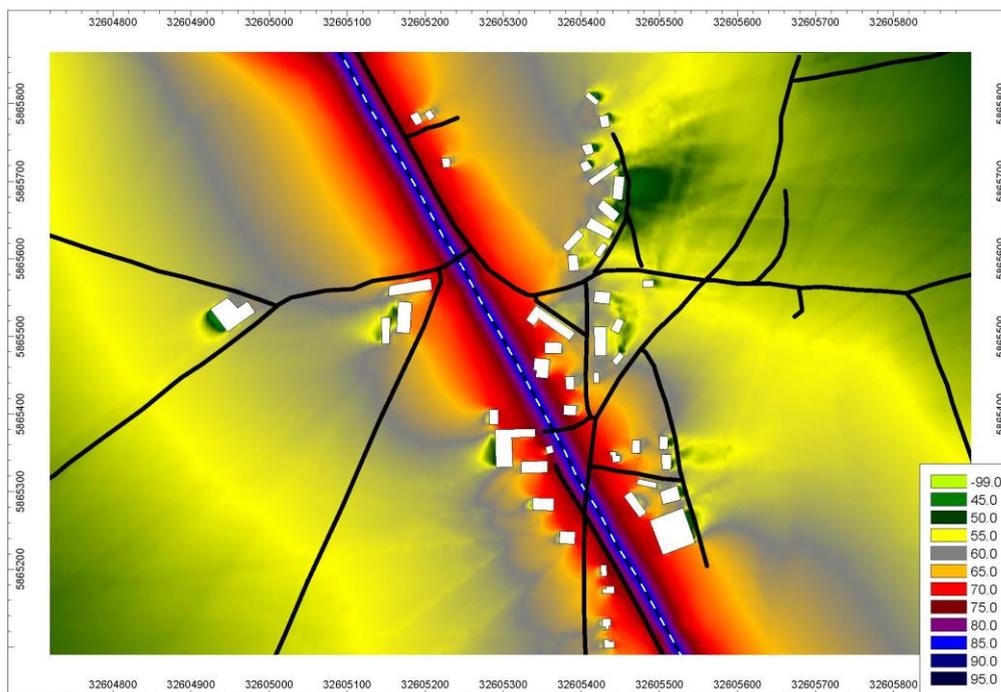


Abbildung 5: Maximalpegel bei Anwendung von IbO:LES: die Geschwindigkeitsreduktion des Güterzugs (50 km/h) wird gezielt in den Bereich Niendorf II gelegt; infolgedessen deutlich reduzierte Pegel

Zusammenfassung

Das Thema Schienenlärm erhält zu Recht mehr Aufmerksamkeit. Neue Wege, die die Wettbewerbsfähigkeit der Schiene aufrechterhalten und gleichzeitig die Lärmbelastung der Anwohner reduzieren, sind notwendig. Im Beitrag wurden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, die in einem gesamtheitlichen Ansatz kombiniert werden können. Insbesondere wurde das Potenzial einer auf Lärminderung ausgelegten, vorausschauenden Fahrweise dargestellt (IbO:LES). Dabei ließen sich die Ziele eines stabilen Betriebs mit maximaler Streckenkapazität, eines minimierten Energiebedarfs sowie einer Minderung der Lärmbelastung der Anwohner miteinander kombinieren. Welches Potenzial dieser Ansatz angewendet auf das gesamte deutsche Streckennetz hätte, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Literatur:

- [1] DB Netz AG (2012): „DB AG Daten und Fakten 2011“, Frankfurt am Main, Broschüre, März 2012
- [2] Siegmann, Jürgen (2012): „Historische Entstehungsgeschichte des deutschen Schienennetzes“, Technische Universität Berlin, 01.11.2012,
<http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/350049>, 08.01.2013, 14:30
- [3] Verkehr in Zahlen 2014/2015, 43. Jahrgang, Güterverkehr - Verkehrsleistung in Mrd. tkm - Eisenbahnen, S. 244-245, Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- [4] Eickmann, Carla, Kohlruss, Jacob, Schumann, Tilo (2008): „Hafenhinterlandanbindung – Sinnvolle Koordination von Maßnahmen im Schienenverkehr zur Bewältigung des zu erwartenden Verkehrsaufkommens“, Studie, 15.10.2008, DLR Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig
- [5] Rail Business (2015): „Wagenhalter verstärken Anstrengungen um Bekämpfung des Bahnlärms“, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe 4/2015, Seite 3
- [6] Deutsche Bahn AG (2015): „Lärminderung an der Quelle - Flüsterbremsen machen Züge leiser“, Stand: 04.03.2015,
http://www1.deutschebahn.com/laerm/laermreduktion_am_fahrzeug/fluesterbremesen.html; Zugriff 05.08.15
- [7] Rail Business (2014): „AAE: „Nachteile durch frühe Umrüstung“, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe 38/2014, Seite 2
- [8] Bänsch, Roland (2014): „Schienengüterverkehr braucht Innovation“, In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, November 2014, Seite 62
- [9] 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
- [10] Oetting, Andreas, Kaufmann, Roland, Weidner, Tibor (2015): „Entwicklung eines Konfliktassistenzsystems für die Disposition bei der DB Netz AG“, DB Netz AG, Frankfurt/Main, Paper für die IT15.rail, 13.06.2015
- [11] Lagos, Mario (2011): „CATO offers energy savings“, Transrail Sweden AB, In: Railway Gazette International, May 2011, pp. 50-52
- [12] Schumann, Tilo, Ummels, Michael (2015): „Operatives Verkehrsmanagement für einen energieeffizienten Bahnbetrieb“, In: EI - Der Eisenbahningenieur, Juni 2015, S. 36-40
- [13] Lackhove, Christoph, Mönsters, Michael, Lindner, Tobias (2013): „Betriebliche Ansätze zur Minderung von Schienenverkehrslärm“, In: EI - Der Eisenbahningenieur, November 2013, S. 16-19
- [14] VIA Consulting & Development GmbH, Railistics GmbH (2014): „Folgen von Geschwindigkeitsbeschränkungen für den Schienengüterverkehr aus Lärmschutzgründen“, Studie im Auftrag des VDV, der VPI und des BDI, 24.10.2014
- [15] Koch, Bernhard (2007): „Lärmemissionen und Lärminderung im Schienenverkehr“, In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, Dezember 2007, Seite 772-779
- [16] Rail Business (2014): „Umweltministerium und Länder halten an Zwischenziel für Lärmsanierung fest“, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe 47/2014, Seite 1

[17] Rail Business (2014): „Staatssekretär Odenwald: 2016 drohen noch keine ordnungspolitischen Eingriffe“, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe 45/2014, Seite 1

[18] Rail Business (2013): „Kein EU-Freibrief für Nachtfahrverbote“, Verlag Eurailpress, DVV Media Group GmbH, Hamburg, Ausgabe 8/2013, Seite 3

[19] König, Reinhard, Saliaris, Christos, Huemer, Roman-Georg (2004): „Lärmarme An- und Abflugverfahren“, In: Projekt Leiser Flugverkehr, DLR, Abschlusspräsentation, Köln, 16.03.2004

[20] Warlitzer, Volker, Ehmer, Hansjochen (2004): „Lärmreduzierende Konzepte“, In: Projekt Leiser Flugverkehr, DLR, Abschlusspräsentation, Köln, 16.03.2004

[21] Stump, Raimar, Temme, Marco (2007): „Lärmreduzierendes Anflugverkehrsmanagement“, In: Projekt Leiser Flugverkehr II, DLR, Abschlusspräsentation, Göttingen, 17.09.2007

[22] OpenStreetMap.org, OpenRailwayMap.org, Copyright OpenStreetMap-Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0, Abbildung mit eigenen Angaben ergänzt

Autoren:

Dr.-Ing. Christoph Lackhove

Gruppenleiter Bahnbetrieb am Institut für Verkehrssystemtechnik, Abteilung Bahnsysteme, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V., Braunschweig christoph.lackhove@dlr.de

Michael Mönsters, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrssystemtechnik, Abteilung Bahnsysteme, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V., Braunschweig michael.moensters@dlr.de

Dipl.-Ing. Tilo Schumann

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrssystemtechnik, Abteilung Bahnsysteme, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V., Braunschweig tilo.schumann@dlr.de

Dr.-Ing. Arne Henning

Gruppenleiter Fahrzeugaerodynamik und Akustik am Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Abteilung Fluidsysteme, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V., Göttingen arne.henning@dlr.de