

Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg

Schlussbericht

15.06.2012



Wir bauen
Zukunft

Hier erprobt, gefördert durch die Bundesregierung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, die Deutsche Bahn AG eine innovative Schallschutztechnologie im Rahmen des Konjunkturprogramms II 2009 - 2011



Vorwort des Vorstandsvorsitzenden der DB Netz AG

Mit der politischen Zielstellung „Wir bauen Zukunft“ wurden vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) im Rahmen des Konjunkturprogramms II für das Vorhaben „Einzelmaßnahmen zur Lärm- und Erschütterungsminderung am Fahrweg“ der DB Netz AG Mittel in Höhe von 100 Mio. Euro bereitgestellt. Hiermit konnten neuartige Lärminderungstechnologien, die bislang nicht zu den Standardmaßnahmen der Lärminderung zählen, getestet werden. Ziel der Erprobung war es, Erkenntnisse über die Eignung der Technologien unter den Bedingungen des rollenden Rades in der Praxis zu gewinnen und nachzuweisen, welchen Beitrag sie zur Minderung des Lärms leisten können. Neben dem Aspekt der Lärminderung wurden dabei auch Technologien eingesetzt, die sich reduzierend auf die Erschütterungsemissionen des Schienenverkehrs auswirken sollen. Mit diesen Maßnahmen soll ein wichtiger Beitrag geleistet werden, um weiteres Wachstum im Schienengüterverkehr zu ermöglichen und gleichzeitig die Belastungen durch Lärm und Erschütterungen für die Anwohner zu reduzieren.



Oliver Kraft
Vorstandsvorsitzender DB Netz AG

Seit dem in Kraft treten des Bundes-Immissionsschutzgesetzes im Jahr 1974 wurden ausschließlich konventionelle Maßnahmen zur Minderung von Lärmimmission in Form von Schallschutzwänden oder -wällen, sowie passive Maßnahmen an den Gebäuden selbst in Form von Schallisierungen an Fassaden und Fenstern angewendet. Unter den Rahmenbedingungen des Konjunkturprogramms II konnten nun neue Lösungen erprobt und die Voraussetzung für die effizientere Weiterentwicklung geschaffen werden. Mit diesem Programm wurden nicht nur schwerpunktmäßig kleine und mittelständige Unternehmen an dem Innovationsprozess beteiligt, sondern auch Signale an Hochschulen und Industrie gesendet, verstärkt die Entwicklung weiterer Innovationen voranzutreiben. Da voraussichtlich noch im Laufe des Jahres 2012 durch die Einführung der überarbeiteten Berechnungsvorschrift für die Lärmimmissionen des Schienenverkehrs Schall 03 [2012] auch das Verfahren für die behördliche Anerkennung der Lärminderungseffekte einer neuen Technik geregelt sein wird, bin ich guter Zuversicht, dass der in Gang gebrachte Innovationsprozess stetig fortgeführt wird. Die DB Netz AG ist bereit, diesen Weg aktiv zu unterstützen.

Für die gute Zusammenarbeit, die für die Umsetzung der Maßnahmen in kurzer Zeit unverzichtbar war, bedanke ich mich an dieser Stelle ausdrücklich bei der Abteilung Landverkehr im BMVBS und dem Projektträger, bei den Mitarbeitern des Eisenbahn-Bundesamtes, den Experten der Eisenbahnunfallkasse und bei den Mitarbeitern der DB Netz AG, die alle zusammen mit viel Engagement, Kreativität und Fachwissen die Umsetzung der 82 Maßnahmen ermöglicht haben.

.....
Oliver Kraft (Vorstandsvorsitzender der DB Netz AG)
Frankfurt am Main, den 30.04.2012

Inhaltsverzeichnis

1. Managementsummary	4
2. Umsetzung Konjunkturprogramm II Erprobung Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg	6
2.1. Anlass und Ziele	6
2.2. Vorgehen und Umsetzung.....	8
2.3. Grundlagen akustische Bewertung der Technologien.....	12
3. Ergebnisse und Bewertung der Technologien.....	16
3.1. Schienenstegdämpfer (SSD) und Schienestegabschirmung (SSA)	18
3.2. Schienenschmiereinrichtungen (SSE)	30
3.3. Verschäumter Schotter.....	37
3.4. Brückenentdröhnung	41
3.5. Reibmodifikator für Gleisbremsen.....	57
3.6. Niedrige Schallschutzwände (nSSW)	61
3.7. High speed Grinding (HSG) (Hochgeschwindigkeitsschleifen)	70
3.8. Unterschottermatten	75
3.9. Besohlte Schwellen	79
3.10. Gabionenwände.....	84
3.11. Beschichtete Schienen	88
3.12. Fotovoltaik (FV) auf Schallschutzwänden	91
3.13. Aufsatz auf Beugungskanten von Schallschutzwänden	95
3.14. Technologiekombinationen (außer Brückenentdröhnung).....	99
4. Vergleichende Bewertung der Technologien	101
4.1. Lärminderungsmaßnahmen an der Lärmquelle.....	101
4.2. Lärminderungsmaßnahmen auf den Ausbreitungsweg zum Immissionsort.....	103
4.3. Lärminderungsmaßnahmen an lärmintensiveren Stellen (hot spots).....	104
4.4. Zusammenfassende Darstellung von Lärminderungskosten	105
5. Literaturverzeichnis	107
6. Abkürzungsverzeichnis	109

Anlage 1: Maßnahmenliste

Anlage 2: Grundlegende Anforderungen an Nachweismessungen zur quantitativen Bewertung von infrastrukturbasierten Innovationen zur Minderung des Schienenlärms

Anlage 3: Methode zur Auswertung der Messergebnisse und Bewertung der Minderungsbeiträge der Technologien

1. Managementsummary

Der vorliegende Schlussbericht über die mit Mitteln des Konjunkturprogramms II erprobten innovativen Maßnahmen zur Lärm- und Erschütterungsminderung am Fahrweg beschreibt die Ziele dieses Teils des Konjunkturprogramms, das Vorgehen bei der Maßnahmenfestlegung und deren Umsetzung, die Grundlagen für die Messung der akustischen Effekte sowie die erprobten Technologien und die von ihnen erzielten Ergebnisse. In Kapitel 4 werden als Orientierungsrahmen technologieübergreifend Kosten und Wirkung der erprobten Technologien verglichen.

Die Erprobung der innovativen Maßnahmen stützt die Zielsetzung der im Nationalen Verkehrslärmschutzpaket II vom 27. August 2009 formulierten Ziele des BMVBS und das Lärm-minderungsziel der Bahn, den vom Schienenverkehr ausgehenden Lärm bis zum Jahre 2020 zu halbieren. Um dieses Ziel zu erreichen, konnte das Portfolio an technischen Minderungsmaßnahmen erweitert werden.

Die Auswahl der Standorte erfolgte auch mit dem Ziel, Anwohner von Lärmimmissionen zu entlasten und der Anforderung, örtliche Bedingungen zu finden, die einen normgerechten messtechnischen Nachweis der Minderungseffekte erlauben.

Es wurden insgesamt 13 innovative Technologien einzeln und in Kombinationen erprobt. Dabei wurden 82 Maßnahmen, zum Teil mit Ergänzungsmaßnahmen erweitert, realisiert. Einzelne werden noch nachlaufend in 2012 außerhalb der Finanzierung des Programms fertig gestellt.

Die Bewertung der Minderungseffekte für den Luftschall erfolgte bereits nach der Systematik der Schall 03 [2012], deren Einführung zurzeit im BMVBS vorbereitet wird. Das Messkonzept und das Vorgehen bei der Aus- und Bewertung der Messergebnisse wurden mit dem Eisenbahn-Bundesamt und dem Umweltbundesamt abgestimmt.

Folgende Ergebnisse erzielten die erprobten Technologien:

Minderungspotenzial der Technologien

Technologie		Effekte [dB] nach Schall 03 [1990]	Wertung
1	Schienenstegdämpfer (SSD) / Schienenabschirmung (SSA)	2 (SSD) 3 (SSA)	SSD: 4 Hersteller SSA: 1 Hersteller
2	Schienenschmiereinrichtungen (SSE)	3	Auswertung der Berliner Ringbahn bei Radien 300 bis 500 m
3	Verschäumter Schotter	0	Kein Minderungsbeitrag auf Luft- und Körperschallemissionen, aber auch kein Zuschlag von 3 dB wie bei Fester Fahrbahn erforderlich
4	Brückenentdröhnung	6	Reduktionspotenzial im Luft- und Körperschall. Verringerung der Brückenzuschläge nach Schall 03 [2012] bis 6 dB (brückenabhängig)
5	Reibmodifikator für Gleisbremsen	3 bis 8	Bergbremse 3 dB, Talbremse 8 dB
6	Niedrige Schallschutzwände (nSSW)	6/5 3/2	H = 74 cm wandnahes Gleis/wandfernes Gleis H = 55 cm wandnahes Gleis/wandfernes Gleis
7	High speed Grinding (HSG)	3	Wirkung entsprechend BÜG
8	Unterschottermatten (USM)	Erschütterungen	1 Maßnahme nicht repräsentativ
9	Besohlte Schwellen	Erschütterungen	Bei mittelweicher Besohlung wurden Effekte im erschütterungsrelevanten Frequenzbereich von bis zu 7 dB festgestellt. Gute Wirksamkeit auf Brücken
10	Gabionenwände	Wie herkömmliche SSW	Gleichwertigkeit der Gabionenwände nachgewiesen
11	Beschäumte Schienen	-	derzeit, noch keine belastbaren Ergebnisse
12	Fotovoltaik (FV) auf Schallschutzwänden	-	Akustischer Zusatznutzen bei Weiterentwicklung möglich
13	Aufsatz auf Beugungskante von Schallschutzwänden (Lärmspoiler)	-	Keine Zusatzeffekte gegenüber Referenzhöhe nachgewiesen,

Bild 1: Übersicht der erprobten Technologien und Ergebnisse

Mit dem Programm konnten die „klassischen“ Lärminderungsmaßnahmen für den Schutz des Außenbereichs erweitert werden. Mit dieser Erweiterung des Maßnahmenportfolios können künftig nach Anerkennung der Technologien im Rahmen des Verfahrens nach Schall 03 [2012] Lärmschutzmaßnahmen bei der Lärmvorsorge und bei der Lärmsanierung effizienter und anwohnerfreundlicher gestaltet werden. Es werden Potenziale aufgezeigt, um die erprobten Technologien sowohl auf der Wirkungs- als auch auf der Kostenseite weiterzuentwickeln. Der Innovationsprozess im Lärmschutz wird weiter gehen.

2. Umsetzung Konjunkturprogramm II Erprobung Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg

2.1. Anlass und Ziele

Auf der Grundlage des Gesetzes zur Sicherung von Beschäftigung und Stabilität in Deutschland vom 02.03.2009 wurde u. a. ein Sondervermögen des Bundes mit der Bezeichnung „Investitions- und Tilgungsfonds“ errichtet. Aus diesem Sondervermögen von insgesamt 4 Mrd. EUR wurden der DB Netz AG vom BMVBS 100 Mio. EUR für die Erprobung innovativer Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg bereitgestellt.

Neben der übergeordneten Zielstellung des Konjunkturprogramms, mit konjunkturwirksamen Impulsen zur Stärkung von Wachstum und Beschäftigung beizutragen, stützen die mit diesen Mitteln zur Erprobung vorgesehenen Maßnahmen die im Nationalen Verkehrslärmschutzpaket II formulierten Ziele des BMVBS. Im Fokus steht hierbei die Sicherung der Mobilität als Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg Europas, indem die negativen Auswirkungen der Mobilität, wie die damit verbundenen Verkehrsgeräusche, „auf ein vernünftiges Maß zu begrenzen sind“¹. Im Schienenverkehr wurden im Teilprojekt 6.1 „Innovative Techniken am Fahrweg zur Lärm- und Erschütterungsminderung“ vorrangig Maßnahmen zur Reduzierung der Immissionen bereits an oder in unmittelbarer Nähe der Quelle erprobt, um technische Lösungen zu finden, die sich zum einen besser in urbane Umgebungen einfügen lassen und auch in Bezug auf ihre Wirkung und Wirtschaftlichkeit effizienter sind als die herkömmlichen Schallschutzwände. Die Mittel des Konjunkturprogramms werden dabei zusätzlich zu den vom Bund jährlich bereitgestellten Mittel von 100 Mio. EUR für die Lärmsanierung an bestehenden Strecken der Eisenbahn des Bundes² zur Verfügung gestellt.

BMVBS und Deutsche Bahn AG verfolgen gemeinsam das Ziel, den vom Schienenverkehr ausgehenden Lärm bis zum Jahre 2020 zu halbieren. Dieses Reduktionsziel, das wachstumsbedingte Lärmzunahmen einschließt, bedeutet eine Absenkung des Lärmpegels um 10 dB. Mit den innovativen Maßnahmen wird, soweit sie sich im Rahmen der Erprobung bewähren, ein wichtiger Zielbeitrag geleistet, weil sie direkt oder nahe an der Quelle ansetzen und, je nach Technologie, additiv zu anderen Schallschutzmaßnahmen eingesetzt werden können. Die Anwendung von Technologien, die für sich betrachtet, wegen eines Minderungsbeitrags von bis zu 3 dB nur im direkten Vergleich zu einer spürbaren Minderung führen, kön-

¹ Nationales Verkehrslärmschutzpaket, Bundesministerium für Verkehr Bau Stadtentwicklung, 27. August 2009

² Haushaltstitel 891 05

nen im Zusammenwirken mit anderen Technologien eine deutlich hörbare Absenkung des Lärmpegels von mehr als 3 dB bewirken.

Bei Lärmvorsorge- und Lärmsanierungsmaßnahmen kann hiermit beispielsweise in örtlichen Situationen, in denen Schallschutzwände aus städtebaulichen Gründen nicht eingesetzt werden können, ein verbesserter Schutz des Außenbereichs bewirkt werden. Durch die innovativen Maßnahmen kann die Lärminderung, die durch die Umrüstung von Bestandsgüterwagen auf lärmarme Verbundstoffbremssohlen (sog. Flüsterbremse) erfolgt, nochmals verstärkt werden.

Bisher fehlte ein wirksames Verfahren, mit dem die Entwickler ihre Produkte zur Anerkennung als Voraussetzung für eine Vermarktung führen konnten. Mit der Praxiseinführung der erprobten Technologien, für die ein Emissionsminderungsbeitrag nachgewiesen und anerkannt³ wurde, werden auch Innovationsanreize für Industrie und Wissenschaft geschaffen. Der Nachweisführung für die innovativen Technologien wurde bereits das Verfahren der Schall 03 [2012] zugrunde gelegt, das künftig die Grundlage für die Anerkennung von Innovationen sein wird. Nach der Anerkennung sind die rechtlichen Voraussetzungen erfüllt, um die Technologien für die Lärmschutzplanungen bei Investitionsprojekten in die Schienenwege und bei Lärmsanierungsprojekten planerisch zu berücksichtigen. Die Anwendungsentcheidung ergibt sich dann aus der projektbezogenen Schutzfalluntersuchung unter Berücksichtigung des Verhältnisses von Kosten und Wirkung und des Vorrangs der Lärmvermeidung⁴.

Neben der Minderung der Lärmemissionen wurden auch technische Lösungen zur Reduktion von Erschütterungsemissionen erprobt. Dieses Thema gewinnt zunehmend an Bedeutung, nicht zuletzt auch wegen des Phänomens der verstärkten Wahrnehmung von Erschütterungsemissionen und sekundärem Luftschall nach einer erfolgten Lärmsanierung. Wirtschaftlich vertretbare technische Lösungen zur Minderung der Erschütterungswirkung des Schienenverkehrs an bestehenden oberirdischen Schienenwegen stehen derzeit nur begrenzt zur Verfügung.

³ Anerkennung innovativer Technologie wird in Schall 03 [2012] festgelegt

⁴ siehe „Hinweise zur Erstellung Schalltechnischer Untersuchungen in der eisenbahnrechtlichen Planfeststellung von Neu- oder Ausbaumaßnahmen von Schienenwegen“ des Eisenbahn-Bundesamtes vom 15.06.2009

2.2. Vorgehen und Umsetzung

2.2.1. Grundlagen

Zur Umsetzung der Maßnahmen zur Lärm- und Erschütterungsminderung am Fahrweg der Eisenbahnen des Bundes wurde im September 2009 zwischen dem BMVBS und der Deutschen Bahn AG eine Finanzierungsvereinbarung geschlossen. Entsprechend der Zielsetzung des Konjunkturprogramms wurde festgelegt, dass die zu finanzierenden Einzelmaßnahmen bis zum 31.12.2010 begonnen sein müssen und Mittel hierfür nur bis zum 31.12.2011 in Anspruch genommen werden können. Es sollten perspektivisch vorwiegend solche Lärm-minderungstechnologien, die die vom Schienenverkehr ausgehenden Emissionen direkt oder nahe an der Quelle reduzieren, erprobt und ihre Wirkung nachgewiesen werden. Gleichzeitig sollten Anwohner, die hohen Lärmbelastungen ausgesetzt sind, durch die Maßnahmen entlastet werden.

Die Auswahl der Erprobungsstandorte orientierte sich an den in Bild 2 genannten Kriterien.



Bild 2: Kriterien zur Standortauswahl

Bei der konkreten Auswahl geeigneter Standorte musste dabei ein Kompromiss gefunden werden zwischen dem Ziel der Entlastung eines möglichst großen Kreises von Anwohnern, die nahe am Schienenweg leben, und der Anforderung, örtliche Bedingungen zu finden, die einen normgerechten messtechnischen Nachweis der Minderungseffekte erlauben.

Die Anlage 1 der Sammelvereinbarung 34 (SV 34) enthielt ursprünglich 44 Maßnahmen. Im weiteren Verlauf der Umsetzung wurde die Maßnahmenliste fortgeschrieben und auf insgesamt letztendlich 82 realisierte Maßnahmen erweitert. Eine weitere planerische Übersteue-

rung mit weiteren, über den Ansatz von 100 Mio. EUR hinausgehenden Maßnahmen war aus zeitlichen Gründen nicht möglich.

Bei den Maßnahmen waren folgende 14 Technologien, teilweise auch in Kombination, zur Erprobung vorgesehen.

- Schienenstegdämpfer (SSD) / Schienenabschirmung (SSA)
- Schienenschmiereinrichtungen (SSE)
- Verschäumter Schotter
- Brückenentdröhnung
- Reibmodifikator für Gleisbremsen
- Niedrige Schallschutzwände (nSSW)
- Aufsatz auf Beugungskanten von Schallschutzwänden
- High speed Grinding (HSG) (Hochgeschwindigkeitsschleifen)
- Unterschottermatten
- Besohlte Schwellen
- Gabionenwände
- Beschichtete Schienen
- Fotovoltaik (FV) auf Schallschutzwänden
- C-Förmige Schallschutzwand (nicht realisiert)

Im Planungsverlauf zeigte sich, dass die Technologie der C-förmigen Schallschutzwand, die durch ihre Formgebung eine Reflektion des Schalls in das absorbierende Schotterbett bewirken sollte, aufgrund des nicht ausgereiften Entwicklungsstandes im zeitlichen Rahmen des Programms bis 31.12.2011 nicht umgesetzt werden konnte.

Für die Technologie Schienenschmiereinrichtungen konnte wegen zunächst fehlender Voraussetzungen die technische Zulassung von zwei der drei zur Erprobung eingeplanten Herstellerprodukte erst im 1. Quartal 2012 ausgesprochen werden. Die DB-interne generelle Zulassung zur Anwendung der Schmiermittel für die Schienenkopfschmierung konnte erst im Dezember 2011 erfolgen.

Die ausführliche Beschreibung der Wirkmechanismen der Technologien ist den Kapiteln 3.1 bis 3.13 zu entnehmen.

2.2.2. Planungs- und FreigabeprocEDURE

Die Planung der Maßnahmen folgte der bei Bauprojekten üblichen Planungslogik in den Phasen der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure).

Zwangspunkte ergaben sich aus den baubetrieblichen Randbedingungen. Abweichend von den zwingend vorgegebenen Regelungen, wonach Baumaßnahmen, die Auswirkung auf die Fahrpläne der Eisenbahn-Verkehrsunternehmen haben, mit einem deutlich längeren zeitlichen Vorlauf geplant werden müssen, mussten die Maßnahmen des Konjunkturprogramms zeitnah zur Umsetzung eingeplant und nach Möglichkeit im Zusammenhang mit bereits geplanten Streckensperrungen für andere Baustellen auf der jeweiligen Strecken eingetaktet werden.

Jede Einzelmaßnahme und jede Änderung bei der Ausführung sowie Kostenerhöhung >15% wurde vor Baubeginn dem BMVBS zur Prüfung der zweckbestimmten Verwendung von Bundesmitteln zur Genehmigung vorgelegt. Das BMVBS hat mit der Prüfung und Steuerung der Maßnahmen einen Projektträger beauftragt. Im Anschluss an die Prüfung des BMVBS erfolgte die formale Freigabe durch das Eisenbahn-Bundesamt (EBA). Zur Beschleunigung der Umsetzung konnten in den Jahren 2009 und 2010 die im Rahmen des Konjunkturprogramms II beschlossenen Vergabeerleichterungen angewendet werden. Für alle Maßnahmen besteht für die DB Netz AG eine Vorhaltepflcht, die sich nach der bilanziellen Nutzungsdauer der Anlagen, auf die die Einzelmaßnahmen aktiviert wurden, richtet. Dies gilt nicht für Maßnahmen, bei denen keine Wirksamkeit nachgewiesen werden konnte.

2.2.3. Zulassung und Anerkennung

Alle technischen Komponenten, die sich auf einen ungehinderten und sicheren Eisenbahnbetrieb auswirken können, bedürfen der Zulassung durch das EBA. Die Zulassung erfolgt uneingeschränkt, befristet, als Zulassung im Einzelfall oder als Zulassung zur Betriebserprobung. Für die im Rahmen der SV 34 eingesetzten innovativen Technologien lagen zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses noch keine technischen EBA-Zulassungen vor oder bestehende Zulassungen mussten, wie die für hochelastische Schienenbefestigung auf Brücken von 130 km/h auf 160 km/h, erweitert werden. Für die niedrigen Schallschutzwände, die nahe zum Gleis angeordnet werden müssen, war die Zustimmung des BMVBS einzuholen, weil sie in einen Bereich des Regellichtraums nach Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) einragen, der grundsätzlich von baulichen Anlagen freizuhalten ist. Hierzu wurden intensive Abstimmungen mit der Eisenbahn-Unfallkasse geführt, um die Belange des Arbeitsschutzes planerisch zu berücksichtigen.

Eingesetzte Technologien und Produkte wurden im Konjunkturprogramm neben ihrer akustischen Wirkung auch unter den Bedingungen und Anforderungen des täglichen Eisenbahnbetriebes im Hinblick auf ihre Praxistauglichkeit und in Bezug auf die ggf. von ihnen hervorgerufenen Erschwernisse bei der Instandhaltung des Schienenweges bewertet. Da zum Zeitpunkt der Berichtserstattung noch keine belastbaren Erfahrungswerte vorlagen, erfolgte bei Schienenstegdämpfern und -abschirmungen, aufgrund ihres hohen Anteils an den umgesetzten Maßnahmen, eine Einschätzung auf der Basis von Expertenwissen. Die Ergebnisse hierzu sind im Kapitel 3 aufgezeigt.

Um die im Rahmen des Programms für die jeweiligen Technologien nachgewiesenen Lärm-minderungswirkungen in Planfeststellungsverfahren als Beitrag zur Erreichung der in der 16. BImSchV bestimmten Immissionsgrenzwerte anwenden zu können, muss die Maßnahme in der Schall 03 [2012] verankert sein. Zur Ermittlung der Minderung wurden umfangreiche Messungen durchgeführt und für einzelne Technologien auch Befragungen der Anwohner durchgeführt.

2.2.4. Umsetzung

Es wurden 82 Maßnahmen mit 5 Ergänzungsmaßnahmen (Rheintal, Elbtal, Leipzig Wald-bahn, Emmerich-Oberhausen und Fotovoltaik Duisburg Ruhrort-Hafen) umgesetzt. 76 Maß-nahmen wurden zum 31.12.2011 oder früher baulich fertig gestellt; 6 Maßnahmen (Winter-hausen, Heidingsfeld, Möhrenbach, Oberwesel, Osterspai und Rhöndorf) werden aus baube-trieblichen oder technischen Gründen erst 2012 abgeschlossen. Die Liste der Maßnahmen ist als Anlage 1 beigelegt.

Weitere ursprünglich vorgesehene 5 Maßnahmen konnten nicht umgesetzt werden:

- die Erprobung von Schienenstegdämpfern auf Hochgeschwindigkeitsstrecken auf-grund noch nicht gekläarter sicherheitstechnischer Fragen,
- die Erprobung von Schienenstegdämpfern in Ingolstadt wegen eines formalen Ver-stoßes gegen die Förderrichtlinien,
- die C-förmige Schallschutzwand in Berlin Albrechtshof Seegefeld und
- die C-förmige Schallschutzwand in Neuss-Evelkum,
- die Arbeiten zur Schienenbeschichtung auf der Braunauer Brücke in München wur-den aus witterungsbedingten Gründen unterbrochen. Da erste Messergebnisse bei dieser Maßnahme keinen Erfolg versprachen, wurde die Maßnahme nicht fortgeführt und als Ersatz hierfür eine Beschichtung der Schienen im Versuchsfeld Gau-Algesheim 2012 außerhalb des Programms von der DB Netz AG eingeplant.

Insgesamt wurden rd. 78 Mio. EUR für die Erprobung innovativer Maßnahmen zur Lärm- und Erschütterungsminderung am Fahrweg eingesetzt. Hierfür konnten von den bereitgestellten Bundesmitteln bis zum 31.12.2011 Mittel des Konjunkturprogramms II Lärm in Höhe von 71,6 Mio. EUR in Anspruch genommen werden, zzgl. 6,4 Mio. EUR aus Mitteln der DB Netz AG.

Im Rahmen der durchgeführten Ausschreibungen der Einzelmaßnahmen haben sich gegenüber den Planungsansätzen insbesondere 2010 Wettbewerbseffekte eingestellt, die zu einer Reduzierung des Gesamtwertumfanges von rd. 12 Mio. EUR geführt haben. Wegen der erforderlichen zeitlichen Vorläufe konnten diese Mittel nicht mehr in anderen Maßnahmen umgesetzt werden.

Die 2012 anfallenden Arbeiten werden von der DB Netz AG finanziert.

2.3. Grundlagen akustische Bewertung der Technologien

2.3.1. Prüfspezifikation

Im Juli 2010 wurde das Dokument „Grundlegende Anforderungen an Nachweismessungen zur quantitativen Bewertung von infrastrukturbasierten Innovationen zur Minderung des Schienenlärms (08-P-6835-TTZ112)“⁵ eingeführt. Dieses Dokument der DB AG beinhaltet eine allgemeine Prüfspezifikation mit Grundsätzen zur Durchführung und Auswertung der Messungen sowie zur Ergebnisdokumentation der Einzelmaßnahmen des Programms. Es richtet sich an die Maßnahmenverantwortlichen sowie an die mit den maßnahmenbezogenen Nachweismessungen beauftragten externen Institutionen. Mit dieser mit dem Eisenbahn-Bundesamt und dem Umweltbundesamt abgestimmten Prüfspezifikation wurde die normgerechte (Normen siehe Grundlagenverzeichnis) Durchführung der Messungen zu allen im Programm erprobten Lärm-minderungsmaßnahmen sichergestellt. Das Grundprinzip der Nachweisführung ist in Bild 3 dargestellt.

Das Dokument ist in der Anlage 2 diesem Bericht beigelegt.

⁵ „Grundlegende Anforderungen an Nachweismessungen zur quantitativen Bewertung von infrastrukturbasierten Innovationen zur Minderung des Schienenlärms“ (08-P-6835-TTZ112)

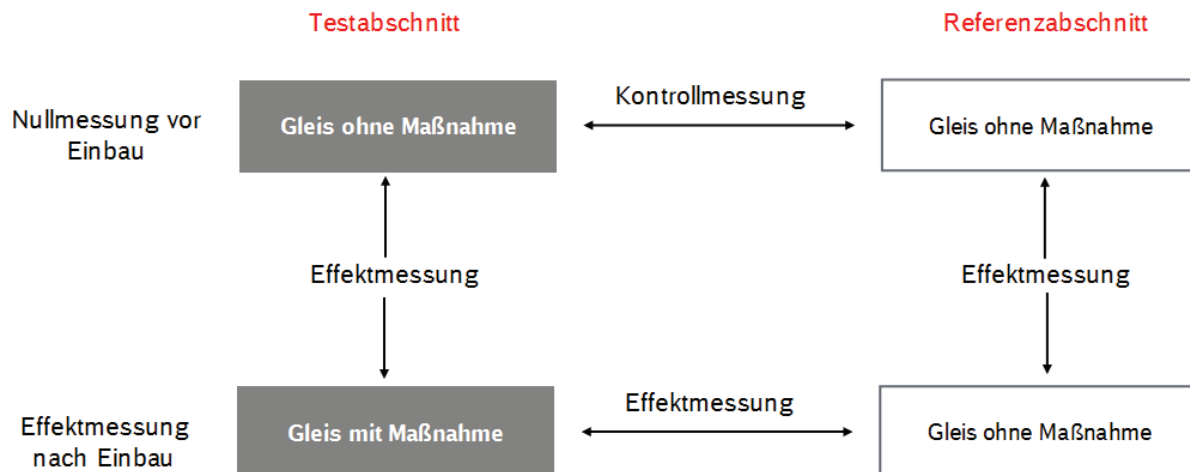


Bild 3: Grundprinzip der Nachweisführung

Zu jeder Einzelmaßnahme wurde auf der Grundlage der Prüfspezifikation ein maßnahmenbezogenes Messkonzept erstellt, das die Vorgaben, die jeweilige Messumgebung und die realen Einbaubedingungen berücksichtigt. Für einige Technologien musste das Messkonzept in Abstimmung mit dem EBA und dem Umweltbundesamt (UBA) weiterentwickelt werden. Die hohe Anzahl der Messpunkte und die ursprünglich vorgesehene kurze Messdauer wurden dabei teilweise durch automatische Messstationen mit geringerer Messpunktzahl, aber 1-monatigem Einsatzzeitraum bei Vor- und Nachmessung ersetzt. Bei Schienenstegdämpfern (SSD) und Schienenstegabschirmungen (SSA) wurde das ursprüngliche Messkonzept wegen der großen Anzahl der Einzelmaßnahmen, ebenfalls in Abstimmung mit EBA und UBA, angepasst, um mit einem vereinfachten Verfahren die Wirkung der Maßnahme mit geringerem Messaufwand zu bewerten. Als Messarten wurden definiert:

- M1 – vereinfachte Messung
Messpunktwahl liegt gemäß den örtlich gegebenen Schallausbreitungsbedingungen im Abstand ca. 7,5 m +/- 3 m von der Gleisachse und der Höhe 1,2 m über Schienenoberkante. Die sonstigen Anforderungen entsprechen der Normmessung.
- M2 – Minimalmessung
Basis dieser reproduzierbaren Messung mit geringerem Aufwand ist bei SSD die Track Decay Rate (TDR)⁶, die entweder vor und nach Einbau der SSD oder am Einbauort der SSD und einem vergleichbaren Referenzabschnitt in der Nachbarschaft zu

⁶ Die Gleisabklingrate („Track Decay Rate“ TDR) mit der Einheit dB/m beschreibt die Abnahme der Schwingungsenergie (in dB) in der Schiene als Funktion des Abstandes (in m) vom Anregungspunkt.

messen ist. Bei SSA besteht die Minimalmessung aus einer Luftschall- + Schienenrauheitsmessung an Test- und Referenzabschnitt nach Einbau der Maßnahme.

- **M3 – Normessung**

Alle Vorgaben der einschlägigen Normen⁷ sind erfüllt. Zu messen sind Luftschall und TDR vor und nach Einbau der Maßnahme sowie die Schienenrauheit vor oder nach Einbau an Test- und Referenzabschnitt.

Um aufgrund der örtlichen Situation notwendige Modifikationen des Messkonzeptes vornehmen zu können und die gewonnen Messergebnisse zu interpretieren und zu bewerten, wurde eine Expertengruppe (Arbeitsgruppe Messsteuerung) eingerichtet, der Vertreter des BMVBS, des UBA, des EBA, der Bahn und eines sachverständigen Ingenieurbüros angehörten.

2.3.2. Durchführung der Messungen

In dem maßnahmenbezogenen Messkonzept ist der Leistungsumfang für die Ausschreibung der Messleistungen beschrieben. Die Festlegung der Messquerschnitte musste sich an die örtliche Umgebung und der Situation der Bahnstrecke am Einbauort ausrichten. Die Ausschreibung der Messleistung erfolgte durch die regionalen Maßnahmenverantwortlichen.

2.3.3. Qualitätssicherung

Die Auftragnehmer der Messungen mussten ihre Qualifikation durch Vorlage einer Akkreditierungsurkunde nach DIN EN ISO/IEC 17025 oder eines äquivalenten Nachweises belegen. Aufgrund der zahlreichen Messaufträge konnte diese Forderung zunächst nicht in allen Fällen erfüllt werden. In diesen Fällen wurde die Messdurchführung durch die DB AG in nachstehenden Punkten eng begleitet:

- Beratung bei der Erstellung der Prüfspezifikation durch den Auftragnehmer
- Eignung der eingesetzten Messtechnik und der richtigen Anwendung der zugehörigen Auswerteverfahren
- Vorgaben zur Darstellung der Messergebnisse

Alle vom Auftragnehmer vorgelegten Messberichte wurden auf die Durchführung der geforderten Messungen, die Einhaltung der Vorgaben des Messkonzeptes und der Prüfspezifikation sowie auf das Vorhandensein und Plausibilität der geforderten digitalen Daten und Ergebnisdarstellungen überprüft. Die Auswertung und Zusammenfassung der Messergebnisse

⁷ siehe Literaturverzeichnis

wurden ebenfalls überprüft. Eine Beschreibung der Auswertung der Messergebnisse und der Methodik der technologie-/maßnahmenbezogenen Bewertung der Minderungseffekte ist in Anlage 3 „Methode zur Auswertung der Messergebnisse und Bewertung der Minderungsbeiträge der Technologien“ beschrieben.

3. Ergebnisse und Bewertung der Technologien

In den Kapiteln 3.1 bis 3.13 werden die erprobten 13 Technologien in Bezug auf ihre Wirkung, ihre Kosten und ihre Integrationsfähigkeit in das technische und betriebliche System des Fahrweges beschrieben und bewertet. In Kap 3.14 sind örtlich zusammenfallende Kombinationen mehrerer Technologien behandelt. Nachstehend sind die der Bewertung zugrundeliegenden Daten erläutert.

- Bei einzelnen Technologien wurden die jeweiligen „Kombinationsmaßnahmen“ mit ausgewertet und ihr anteiliger Beitrag an Mengen, Kosten und den Ergebnissen der Lärminderungsmessung in Bezug auf die jeweilige Technologie mit berücksichtigt. Dies gilt wegen der Spezifika und der nicht gegebenen Vergleichbarkeit nicht für Brückenentdröhnungsmaßnahmen. Diese Maßnahmen werden in Kapitel 3.4 geschlossen behandelt.
- In die Kosten-Wirksamkeit-Abwägung sind für alle Maßnahmen einer Technologie (außer Brückenentdröhnung) die zur Erstellung bis zur Inbetriebnahme erforderlichen Mittel des Programms und die etwaigen Finanzierungsanteile der DB einbezogen worden. Planungskosten, Messkosten sowie ggf. Betriebsstoffe sind nicht Bestandteil der Erstellungskosten.
- Unter den separat aufgeführten Betriebskosten einer Technologie sind relevante Jahreskosten berücksichtigt, die wiederkehrend anfallen. Im Wesentlichen sind dies die Kosten für die Beschaffung, Lagerung und Befüllung von Anlagen mit Schmiermittel. Die Energiekosten für den Betrieb der Anlagen sind nicht berücksichtigt.
- Die Instandhaltungskosten der Technologie werden, soweit abschätzbar, aufgezeigt, aber nicht einbezogen, weil überwiegend belastbare Erfahrungswerte seit Einbau der Technologie fehlen. Ein kalkulatorischer Ansatz von 1-2 % der Erstellungskosten würde zu verzerrten Ergebnissen führen.
- Die Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie resultieren aus einem höheren Aufwand bei den regulären Instandhaltungsarbeiten des Gleises. Sie fallen im Wesentlichen bei Schienenstegdämpfern und Schienenabschirmungen an.
- Da es sich bei den größtenteils erstmals zum Einsatz gebrachten Technologien der SV 34 um innovative Maßnahmen ohne Kenntnisse über die tatsächliche technische Nutzungsdauer handelt, wird für die Betrachtung von Jahreskosten die mit dem BMVBS abgestimmte bilanzielle Nutzungsdauer zu Grunde gelegt. Diese Nutzungsdauern sind insofern sachgerecht, als sich die Abschreibungen auf diese Fristen be-

ziehen. Kosten für eventuell vor Ablauf der vertragsgemäßen Vorhaltedauer entstehende Ersatzinvestitionen sind nicht betrachtet.

- Die bei der DB Netz AG angefallenen und anfallenden Kosten aus den Zulassungsverfahren beispielweise für Zusatzinspektionen und Messungen der Standsicherheit sind nicht einbezogen.
- Die im Rahmen des Programms angefallenen Kosten sind nicht auf künftige Projekte 1:1 übertragbar, weil es sich bei einigen Maßnahmen um Pilotierungen mit Entwicklungskostenanteilen handelte.
- Aufgrund der zum Berichtszeitpunkt kurzen Nutzungszeiten konnten keine Lebenszykluskosten (LCC) betrachtet werden.

3.1. Schienenstegdämpfer (SSD) und Schienenstegabschirmung (SSA)

Bei den Ausschreibungen zum Einbau der für SSD eingeplanten Maßnahmen des Programms wurden unterschiedliche Techniken angeboten. Der Wirkweise entsprechend handelt es sich einerseits um Masse-Feder basierte Dämpfungssysteme und andererseits um Abschirmungstechniken für die lärmabstrahlenden Flächen am Schienensteg und -fuß.

3.1.1. Schienenstegdämpfer

3.1.1.1. Technik

Beim Schienenstegdämpfer erfolgt eine Dämpfung der Schwingungen der Schiene durch Masse-Feder-Systeme, die als breitbandig abgestimmte Schwingungstilger beidseitig an jedem Schienensteg und, je nach Produkt, auch am Schienenfuß kraftschlüssig befestigt werden. Die Ausführung des Masse-Feder-Systems ist dabei herstellerabhängig sehr unterschiedlich. Die verschiedenen Systeme sind beispielsweise als Stahlblech-Sandwichelement mit zwischenliegendem Dämpfungsmaterial, als Stahlprofile mit frequenzabgestimmter Masse, eingebettet in eine Elastomer-Matrix, oder als Kunststoffblock ausgebildet.

Charakterisierend für Schienenstegdämpfer gegenüber der in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Schienenstegabschirmung ist, dass der Dämpfer die Schienenschwingung unmittelbar reduziert und damit den von diesen abgestrahlten Luftschall mindert; dies zeigt sich in der erhöhten Gleisabklingrate (Track Decay Rate) in dem Frequenzbereich, in dem die Schiene signifikant zur Schallabstrahlung beiträgt.



Bild 4: Beispielfoto für die Technologie Schienenstegdämpfer

Quelle: DB Netz AG, Schmidt

Schienenstegdämpfer wurden in 29 Maßnahmen eingebaut. Hierbei wurden fünf Produkte von vier verschiedenen Herstellern eingesetzt (Typ 1 bis Typ 5).

Nr .	Ort	Gleislänge [km]
20	Böblingen-Renningen	0,350
21	Mannheim-Neuostheim	0,650
22	Berlin-Ringbahn	2,322
24	St. Goar	1,700
25	Oberwesel	2,750
26	Bingen	1,100
27	Kaub	3,200
28	St. Goarshausen	7,200
29	Osterspai	3,000
37	Garßen bei Celle	4,400
39	Bonn-Bad Godesberg	3,610
40	Bad Honnef	0,600
41	Augsburg-Ulm	0,200
68	Leipzig Güterring, Wahren - Engelsdorf	4,543
70	Leipzig Güterring, Wahren - Viadukt, Dortmunder- Str. - Beuthstraße	2,200

Nr .	Ort	Gleislänge [km]
73	Elbtal (Stadt Wehlen, Rathen, Königstein)	10,760
74	Schallstadt Leutersberg	1,610
86	Emmerich - Oberhausen	14,380
87	Koblenz-Ehrenbreitstein	0,600
88	Gau-Algesheim	0,400
91	Hamburg Poppenbüttel	3,200
92	Bremen, Roonstraße	1,560
93	Rhens	1,400
94	Braubach	1,790
95	Kaub	4,200
100	Schkeuditz	3,039
101	Königs-Wusterhausen	5,200
102	Filsen	1,640
103	Lorch-Lorchhausen	4,800

Gesamtlänge	92,404 km
-------------	-----------

Tab. 1: Übersicht der 29 Maßnahmen mit SSD

3.1.1.2. Akustische Wirkung

Die durch die Messungen ermittelte Reduktion des Luftschallpegels bezieht sich auf das Gesamtgeräusch der Zugvorbeifahrten mit Anteilen aus Rollgeräusch, Antriebsgeräusch, Aggregate und aerodynamischem Geräusch. Die Schienenstegdämpfer wirken nur auf den Rollgeräuschanteil von Schiene und Schwelle pegelmindernd. Da die Messungen jedoch bei allen Zugarten in einem Geschwindigkeitsbereich stattfanden, in dem das Rollgeräusch dominiert (ab 50 km/h bis 200 km/h), ist davon auszugehen, dass die Messergebnisse die Pegelminderung der Rollgeräusche infolge des SSD-Effekts widerspiegeln. Für die Wahrnehmung des Rollgeräuschs sind die Frequenzen von 500 bis 2.000 Hz maßgebend. Einzelne Messungen, die bei geringeren Geschwindigkeiten stattfanden, wurden bei der Ermittlung der Wirksamkeit eines Dämpfertyps aufgrund der o.g. Geräuschanteile nicht berücksichtigt.

Unterschiede an den Radsätzen z.B. Güterzüge mit Klotzbremsen, ICE mit Scheibenbremsen und Raddämpfern oder Elektrotriebwagen mit Radscheibenbremsen können sich auf den Effekt der Dämpfer auswirken.

Die Oberflächenrauheiten von Rad und Schiene haben keinen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit der Dämpfer; diese bestimmen zwar, wie stark Rad und Schiene zu Schwingungen angeregt werden, aber nicht wie stark diese Schwingungen abklingen.

Die Pegelminderungen D_{SSD} für die 5 unterschiedlichen Typen von Dämpfern sind entsprechend der Methodik der Berechnungsvorschrift Schall 03 [2012] jeweils in Oktaven und zum Vergleich mit der Schall 03 [1990] Systematik als A - bewerteter Summenpegel in den folgenden Tabellen dargestellt. Positive Werte geben eine Pegelminderung an, negative Werte eine Pegelerhöhung.

Schienenstegdämpfer Typ 1										
	Frequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summenpegel
Zugart		Pegelminderung D_{SSD} [dB]								
ICE		0	0	0	1	2	3	2	3	2
IC		1	1	0	0	1	2	1	4	1
NV		0	0	1	1	1	2	1	2	1
ET_S		1	0	2	2	3	3	2	3	3
GZ		0	0	0	1	1	1	0	1	1
Mittelwert		0	0	1	1	2	2	1	3	2

Tab. 2: Messergebnisse Schienenstegdämpfer Typ 1

Schienenstegdämpfer Typ 2										
	Frequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summenpegel
Zugart		Pegelminderung D_{SSD} [dB]								
ICE		-1	-1	-1	0	2	2	1	2	1
IC		0	0	1	0	1	2	1	1	1
NV		0	0	0	1	2	2	1	0	2
ET_S		-	-	-	-	-	-	-	-	-
GZ		0	0	0	1	2	2	1	0	2
Mittelwert		0	0	0	1	2	2	1	1	2

Tab. 3: Messergebnisse Schienenstegdämpfer Typ 2

Schienenstegdämpfer Typ 3										
	Frequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summenpegel
Zugart		Pegelminderung D_{SSD} [dB]								
ICE		1	0	1	1	3	3	2	2	2
IC		0	0	0	1	4	2	1	0	2
NV		0	0	0	0	2	2	1	1	2
ET_S		-1	0	1	1	0	1	0	-2	1
GZ		0	0	0	1	3	2	2	2	3
Mittelwert		0	0	0	1	2	2	1	1	2

Tab. 4: Messergebnisse Schienenstegdämpfer Typ 3

Schienenstegdämpfer Typ 4										
	Frequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summenpegel
Zugart		Pegelminderung D_{SSD} [dB]								
ICE		-	-	-	-	-	-	-	-	-
IC		0	0	0	2	2	0	1	2	1
NV		0	0	0	1	2	1	0	1	1
ET_S		0	0	-1	1	2	1	0	-1	1
GZ		1	0	1	2	3	1	1	1	2
Mittelwert		0	0	0	2	2	1	1	1	1

Tab. 5: Messergebnisse Schienenstegdämpfer Typ 4

Schienenstegdämpfer Typ 5										
	Frequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summenpegel
Zugart		Pegelminderung D_{SSD} [dB]								
ICE		-	-	-	-	-	-	-	-	-
IC		0	0	0	-2	-1	0	-1	-2	-1
NV		1	1	1	-1	0	1	0	-1	0
ET_S		1	1	1	-1	1	2	0	-1	1
GZ		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert		1	1	1	-1	0	1	0	-1	0

Tab. 6: Messergebnisse Schienenstegdämpfer Typ 5

Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass die Pegelminderungen in dem Frequenzbereich von etwa 500 Hz bis 2.000 Hz am stärksten ausgeprägt sind. In diesem Frequenzbereich dominiert die Abstrahlung der Schiene gegenüber der Schwelle oder dem Rad. In den tiefen und sehr hohen Frequenzen ist die Streuung der Vorbeifahrtpegel sehr groß, damit wird die Standard-Messunsicherheit der Messergebnisse ebenfalls so groß, dass die Signifikanz der Messergebnisse nicht mehr als gegeben angesehen werden kann. Aus der Theorie zur Wirkungsweise der Schienenstegdämpfer lässt sich in diesem Frequenzbereich kein Effekt ableiten. Daher werden diese mit den o.g. Unsicherheiten behafteten Werte nicht weiter bewertet und berücksichtigt.

Weiter zeigt sich, dass eine unterschiedliche Wirksamkeit je nach Dämpfertyp festgestellt wurde. Als gut wirksam erweisen sich der Typ 1 und der Typ 3 (Weiterentwicklung von Typ 2). Die Messergebnisse beziehen sich ausnahmslos auf Geschwindigkeiten ≤ 200 km/h und Schwellengleise im Schotterbett. Die Zusammenstellung der Pegelminderung im Summenpegel verdeutlicht noch einmal folgende Tabelle:

Schienenstegdämpfer Typ 1-5						
	Frequenz [Hz]	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5
Zugart		Pegelminderung D_{SSD} [dB] im Summenpegel				
ICE		2	1	2		
IC		1	1	2	1	-1
NV		1	2	2	1	0
ET_S		3		1	1	1
GZ		1	2	3	2	
Mittelwert		2	2	2	1	0

Tab. 7: Überblick über Pegelminderung D_{SSD} für fünf verschiedene Typen von Schienenstegdämpfern im Summenpegel

Bei drei von fünf Typen ergibt sich somit eine über die Zugarten gemittelte Pegelminderung im A - bewerteten Summenpegel von 2 dB. SSD des Typs 5 wurden nur in einer Maßnahme eingebaut.

Maßnahmen an Strecken mit Hochgeschwindigkeitsverkehr oder auf Fester Fahrbahn wurden nicht erprobt. Ergebnisse hierzu liegen auch aus keinem anderen Projekt vor. Es ist jedoch anzunehmen, dass besonders in Bereichen mit Fester Fahrbahn mindestens dieselbe Wirksamkeit erzielt werden kann. Die bei Festen Fahrbahnen erforderlichen elastischen Schienenbefestigungen führen zur Erhöhung der Schallabstrahlung der Schienen. Bei einem höheren Anteil der Abstrahlung der Schienen kann eine Reduzierung der Schienenschwingungen zu einem größeren Effekt in der Gesamtgeräuschemission führen.

3.1.1.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Ein Einbau der SSD ist nicht möglich auf Brücken mit offener Fahrbahn (siehe Kapitel 3.4), im Bereich von Schienenauszügen, Weichen, Isolierstößen, Gleisschaltmitteln, sowie im Bereich von Achszählern und Linienzugbeeinflussung.⁸

3.1.1.4. Kostenbetrachtung

Die Leistungen über Lieferung und Einbau der SSD wurden im Wettbewerb vergeben.

Erstellungskosten

Insgesamt beliefen sich die Erstellungskosten für die SSD Maßnahmen, inklusive den Maßnahmen, bei denen die SSD in Kombination mit anderen Technologien eingebaut wurden, auf 20,9 Mio. EUR. Die Einbaulänge betrug 92,4 km Gleis. Als Durchschnittswert ergeben sich somit spezifische Kosten von jährlich 17,4 TEUR / km bei einer kalkulierten Nutzungsdauer (bilanziell) von 13 Jahren.

Betriebskosten

Für die Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Während der Erprobung sind bei einem Produkt Instandsetzungsarbeiten angefallen, weil sich die Befestigungselemente der SSD bei Typ 3 gelöst haben und neu angebracht werden mussten. Da dieser Instandhaltungsaufwand bisher nur für ein Produkt angefallen ist und bei technischer Optimierung vermieden werden kann, werden diese Kosten in die Wirksamkeit-

⁸ Zulassungsbescheid zur befristeten Betriebserprobung des EBA vom 21.04.2010

Bewertung nicht einbezogen. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung können Instandhaltungskosten für die Technologie nicht beziffert werden.

Da zurzeit noch keine vollmechanisierten Montage- und Demontageverfahren auf dem Markt sind, müssen die Instandhaltungsbezirke spezielle Montagewerkzeuge beschaffen und vorhalten.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

In Gleisen, die mit SSD ausgerüstet sind, treten bei Instandhaltungsmaßnahmen Folgekosten auf, die sich im Mittel auf 10,70 TEUR je km und Jahr belaufen. Diese Folgekosten beziehen sich auf durchschnittlich pro Jahr anfallende Instandhaltungsmaßnahmen

- bei der maschinellen Durcharbeitung der Gleise, da nur Maschinen mit geringer Arbeitsgeschwindigkeit eingesetzt werden können,
- bei Schienenwechseln, bei Gleiserneuerungen und beim Anbringen von festen Absperrungen im Nachbargleis aus Arbeitsschutzgründen sowie beim Anbringen von Erdungsklemmen müssen die SSD aus- und wieder eingebaut werden und
- bei zusätzlichen Maßnahmen zur Sicherung des üblicherweise auf dem Schienenfuß verlegten Kabels während der IH-Maßnahmen.

3.1.1.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtgleislänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. Kosten pro km (Erstellungskosten)	Järl. IH-Kosten pro km	Järl. IH-Erschwernisse pro km	Järl. Gesamtkosten pro km	Minderungsbeitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
Schienenstegdämpfer (SSD)	92,4	20.902,1	226,2	13	17,4	z. Zt. keine Erkenntnisse	10,7	28,1	2

Tab. 8: Kosten-Wirksamkeit-Abwägung der Technologie SSD

Die Technologie SSD mindert den Lärm bereits bei der Entstehung (Maßnahme an der Quelle). Aktive Maßnahmen haben Vorrang vor Maßnahmen auf dem Ausbreitungswege und diese wiederum Vorrang vor passiven Maßnahmen an Gebäuden. Die Wirkung ist in allen topografischen Lagen (Damm, Einschnitt und Ebene) unabhängig von der Lage des Immissionsortes gegeben. Die Minderungswirkung im Summenpegel beträgt 2 dB. Der angestrebte Minderungseffekt von 3 dB wird bei der jetzigen Auslegung der Dämpfer nicht erreicht.

3.1.1.6. Anwendungsentscheidung

Die DB Netz AG wird die SSD einsetzen, wenn eine Wirksamkeit von 3 dB bei verbesserter Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Nach erfolgreicher Optimierung der SSD und einer anerkannten Wirkung ≥ 3 dB kann sie in Projekten im Wettbewerb mit anderen vergleichbaren Technologien berücksichtigt werden. Die projektbezogene Anwendungsentscheidung ergibt sich aus der Schutzfalluntersuchung, bei der planerisch zu prüfen ist, mit welchen Maßnahmen die meisten Schutzfälle bei optimalen Kosten je Schutzfall gelöst werden.

Entwicklungspotenzial wird auf der Kostenseite hinsichtlich der Erstellungskosten und der Instandhaltungerschwernisse gesehen. Eine Verbesserung der akustischen Eigenschaften ist insbesondere bei der Wirkung auf Güterzüge erforderlich.

In weiteren Projekten sollten SSD auf Fester Fahrbahn und im Hochgeschwindigkeitsbereich erprobt werden.

3.1.2. Schienenstegabschirmung

3.1.2.1. Technik

Die Schienenstegabschirmung mindert nicht die Schwingungsenergie der Schiene, sondern ihre Abstrahlung von Luftschall. Charakterisierend für die Schienenstegabschirmung ist u. a. die geringe Masse der Elemente. Die Schwingungsenergie der Schiene wird ungemindert als Luftschall abgestrahlt. Die Abstrahlung in die Umgebung wird jedoch durch eine innen mit Kunstharz beschichtete Stahlblechummantelung des Schienensteges und -fußes reduziert. Diese Technologie reduziert daher nicht den sich in der Schiene ausbreitenden Körperschall, sondern verhindert die Luftschallabstrahlung des Schienensteges und -fußes. Der Wirkmechanismus ähnelt dem eines „Minischallschirms“.

Dementsprechend wird hier die Gleisabklingrate (Track Decay Rate) nicht beeinflusst.



Bild 5: SSA eingebaut

Quelle: DB Netz AG, LeDosquet

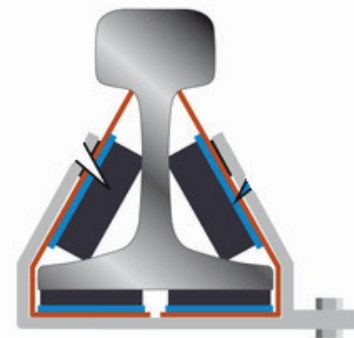


Bild 6: Querschnitt SSA

Quelle: Sekisui

Schienenstegabschirmungen wurden in 12 Maßnahmen eingebaut.

Nr.	Ort	Gleislänge [km]
31	Hamburg Harburg	2,600
32	Hamburg Hausbruch	9,600
33	Hamburg Rahlstedt	2,600
34	Hamburg Rahlstedt/Tonndorf	5,200
35	Hamburg Tonndorf	7,600
36	Hamburg Mariental	2,800
68	Leipzig Güterring	1,800
70 /71	Leipzig Güterring (gemeinsamer Antrag 70 & 71)	1,800
86	Emmerich -Oberhausen	3,680
88	Gau-Algesheim	0,200
92	Bremen	0,740
98	Löf	1,200
Summe		39,820

Tab. 9: Übersicht Einbauorte SSA in den Maßnahmen

3.1.2.2. Akustische Wirkung

Die durch die Messungen ermittelte Reduktion des Luftschallpegels bezieht sich auf das Gesamtgeräusch der Zugvorbeifahrten mit Anteilen aus Rollgeräusch, Antriebsgeräusch, Aggregatgeräusch und aerodynamischem Geräusch. Die Schienenstegabschirmungen wirken nur auf den Rollgeräuschanteil der Schiene pegelmindernd. Da die Messungen jedoch bei allen Zuggattungen in einem Geschwindigkeitsbereich stattfanden, in dem das Rollgeräusch dominiert (50 km/h bis 160 km/h), ist davon auszugehen, dass die Messergebnisse die Pegelminderung der Rollgeräusche gut widerspiegeln. Einzelne Messungen, die bei geringeren Geschwindigkeiten stattfanden, wurden bei der Ermittlung der Wirksamkeit nicht berücksichtigt.

Die Pegelminderungen für die Schienenstegabschirmung sind unterschieden nach Zuggattung in Oktaven und als Mittelungspegel in folgender Tabelle dargestellt:

Schienenstegabschirmung										
	Frequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Summenpegel
Zugart		Pegelminderung D_{SSA} [dB]								
ICE		-	-	-	-	-	-	-	-	-
IC		2	3	2	2	2	2	2	2	2
NV		1	2	0	1	3	3	1	0	3
ET_S		2	4	4	4	4	4	4	3	4
GZ		0	0	0	0	1	1	1	0	1
Mittelwert		1	2	2	2	3	3	2	1	3

Tab. 10: Pegelminderung D_{SSA} für die Schienenstegabschirmung; (positive Werte geben eine Pegelminderung an, negative Werte eine Pegelerhöhung)

Es zeigt sich, dass die Pegelminderungen in einem Frequenzbereich von etwa 1.000 Hz bis 2.000 Hz am ausgeprägtesten sind. Dieser Frequenzbereich erfasst den von der Schiene abgestrahlten pegelbestimmenden Frequenzbereich. In den tiefen und sehr hohen Frequenzen ist die Streuung der Vorbeifahrtpegel sehr groß, damit wird die Standard-Messunsicherheit der Messergebnisse ebenfalls so groß, dass die Signifikanz der Messergebnisse nicht mehr als gegeben angesehen werden kann. Aus der Theorie zur Wirkungsweise der Schienenstegabschirmung lässt sich in diesem Frequenzbereich kein Effekt ableiten. Daher werden mit den o.g. Unsicherheiten behafteten Werte nicht weiter bewertet und berücksichtigt.

Die Messergebnisse beziehen sich hierbei ausnahmslos auf Geschwindigkeiten ≤ 160 km/h und Schwellengleis im Schotterbett. Es ergibt sich eine über die Zugarten gemittelte Pegelminderung im A - bewerteten Summenpegel von 3 dB, die bei einer Anerkennung der Tech-

nologie SSA zu Grunde gelegt werden kann. Messergebnisse für den Hochgeschwindigkeitsverkehr oder den Einsatz auf Fester Fahrbahn liegen derzeit nicht vor. Es ist jedoch zu vermuten, dass besonders in Bereichen mit Fester Fahrbahn, wo eine erhöhte Schallabstrahlung der Schiene vorliegt, mindestens dieselbe Wirksamkeit oder eine bessere erzielt werden kann. Bei einem höheren Anteil der Luftschallabstrahlung der Schienen führt deren Reduzierung zu einer größeren Minderung in der Gesamtgeräuschemission.

3.1.2.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Ein Einbau der SSA ist nicht möglich auf Brücken mit offener Fahrbahn (siehe Kapitel 3.4), im Bereich von Schienenauszügen, Weichen, Isolierstößen, Gleisschaltmitteln, sowie im Bereich von Achszählern und Linienzugbeeinflussung.

3.1.2.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Leistungen über Lieferung und Einbau wurden im Wettbewerb mit SSD vergeben. Insgesamt beliefen sich die Erstellungskosten für die SSA Maßnahmen auf 6,5 Mio. EUR. Die Einbaulänge betrug 39,8 km Gleis. Als Durchschnittswert ergeben sich somit spezifische Kosten von jährlich 12,6 TEUR / km bei einer kalkulierten Nutzungsdauer (bilanziell) von 13 Jahren.

Betriebskosten

Für die Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Zum Zeitpunkt der Berichterstellung sind Instandhaltungskosten für die Technologie nicht bezifferbar.

Instandhaltungserschwerisse durch die Technologie

In Gleisen, die mit SSA ausgerüstet sind, treten Folgekosten bei Instandhaltungsmaßnahmen auf, die sich im Mittel auf 11,70 TEUR je km und Jahr belaufen:

- bei der maschinellen Durcharbeitung der Gleise, weil nur Maschinen mit geringer Arbeitsgeschwindigkeit eingesetzt werden können
- durch Ein- und Ausbau der Abschirmung bei Schienenwechseln, bei Gleiserneuerungen und dem Anbringen von festen Absperrungen im Nachbargleis aus Arbeitsschutzgründen sowie beim Anbringen von Erdungsklemmen und
- durch zusätzliche Maßnahmen zur Sicherung des üblicherweise auf dem Schienenfuß verlegten Kabels während der IH-Maßnahmen.

Da zurzeit noch keine vollmechanisierten Montage- und Demontageverfahren auf dem Markt sind, müssen die Instandhaltungsbezirke spezielle Montagewerkzeuge beschaffen und vorhalten.

3.1.2.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Die Technologie SSA ist eine Maßnahme, die Lärmanteile auf dem Ausbreitungswege, in unmittelbarer Nähe zur Quelle mindert. Die Wirkung ist in allen topografischen Lagen (Damm, Einschnitt und Ebene) unabhängig von der Lage der Immissionsorte gegeben. SSA sind in Weichenbereichen nicht einsetzbar.

Die bilanzielle Nutzungsdauer der SSA beträgt 13 Jahre.

Bezeichnung	Gesamtleislänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. Kosten pro km (Erstellungskosten)	Järl. IH-Kosten pro km	Järl. IH-Erschwer-nisse pro km	Järl. Gesamtkosten pro km	Minde-rungs-beitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
Schienenstegabschirmung	39,8	6.516,0	163,7	13	12,6	z. Zt. keine Erkenntnisse	11,7	24,3	3

Tab. 11: Übersicht Kosten-Wirksamkeit der Technologie SSA

3.1.2.6. Weitergehende Potenziale und Anwendungsentscheidung

Die gute Minderungswirkung von 3 dB entspricht der eines Besonders überwachten Gleises (BüG).

Die Technologie SSA soll nach Schall 03 [2012] anerkannt werden. SSA sollen in Projekten auch in Kombination mit anderen technischen Lärmschutzmaßnahmen angewendet werden. Die projektbezogene Anwendungsentscheidung ergibt sich aus der Schutzfalluntersuchung, bei der planerisch zu prüfen ist, mit welchen Maßnahmen die meisten Schutzfälle bei optimalen Kosten je Schutzfall gelöst werden.

Entwicklungspotenzial wird auf der Kostenseite hinsichtlich derstellungs- und Instandhaltungskosten gesehen. Verbesserungspotenzial der akustischen Eigenschaften wurde im Rahmen der Erprobung nicht erkannt. Der Einsatz auf Fester Fahrbahn sollte in weiteren Projekten erprobt werden.

3.2. Schienenschmiereinrichtungen (SSE)

3.2.1. Technik

Beim Befahren eines Gleisbogens durch Schienenfahrzeuge entstehen Querkräfte, die auf das Fahrzeug zur Bogenaußenseite hin wirken. Gleichzeitig entstehen Spurführungskräfte am Spurkranz. Diese Kräfte bewirken ein Spurkranzanlaufen an der bogenäußeren Schiene und Schlupfvorgänge der Räder quer zur Fahrtrichtung. Weiter tritt Schlupf in Längsrichtung auf, der bei Starrachsen wegen des bei Bogenfahrten unterschiedlich langen Weges der Räder auf Innen- und Außenschiene entsteht. Das Spurkranzanlaufen und die Schlupfvorgänge können hochfrequente Quietschgeräusche hervorrufen, die vorwiegend von den Rädern abgestrahlt werden.

Die Technologie Schienenschmierung sieht vor, dass Schmiermittel zwischen Spurkranz und Fahrflanke der bogenäußeren Schiene und auf den Schienenkopf der bogeninneren Schiene aufgebracht werden. Das Rad nimmt die Mittel auf, wälzt sie auf der Schienenflanke und Schienenoberfläche wieder ab und sorgt so für die Verteilung in die relevanten Zonen.

Gemäß Schall 03 [1990] und auch nach Schall 03 [2012] sind für Radien < 500 m Pegelzuschläge für die erhöhte Lästigkeit im Falle des Quietschens anzusetzen. Für Radien < 300 m beträgt der Zuschlag 8 dB, für Radien < 500 m 3 dB und für Kurvenfahrten in Rangier- und Umschlagbahnhöfen 6 dB für Radien ≤ 300 m. Falls nachgewiesen werden kann, dass Kurvenquietschen in Gleisbögen, die mit SSE ausgestattet sind, nicht auftritt, kann der Zuschlag entfallen.

Bei den Ausschreibungen zur Vergabe der Bauleistung für die SSE haben sich drei Hersteller mit ihren Produkten beworben, die alle eingesetzt wurden.

Einbauorte der SSE inklusive der drei in Kombinationsmaßnahmen eingesetzten SSE in den Maßnahmen Nr.:

Nr.	Ort	Technik	Wirksame Gleislänge ⁹ [km]	Radius < 300m	Radius 300-500 m
9	Rüdesheim / Assmannshausen	Typ 1	0,680		x
19	Stuttgart Bad Cannstatt	Typ 2	10,000		x
20	Böblingen Renningen	Typ 2	0,980		x
22	Berliner Ringbahn	Typ 1	1,320		x
23	Bischofsheim	Typ 2	0,670		x
54	Eltville	Typ 2	0,800		x
55	Oestrich-Winkel	Typ 2	0,320		x
56	Rüdesheim	Typ 2	0,840		x
69	Wendlingen-Kirchheim	Typ 2	0,350	x	
102	Filsen	Typ 3	0,930		x
Summe: 10 Maßnahmen Kosten: 923,6TEUR			Wirksame Gleislänge: 16,9 km		

Tab. 12: Übersicht der Einbauorte der SSE-Maßnahmen

3.2.2. Akustische Wirkung

Die Maßnahmen mit SSE konnten bislang noch nicht vollständig bewertet werden, weil bei vier Maßnahmen Bauart Typ 2 konstruktionsbedingte Fehler aufgetreten sind, die eine Neuzulassung erfordern. Die Darstellung der akustischen Wirksamkeit der Schienenschmiereinrichtungen erfolgt zunächst anhand der Maßnahmen Berliner Ringbahn, Assmannshausen und Wendlingen.

Es wurden akustische Messungen vor Einbau und nach Einbau und Aktivierung der Maßnahme durchgeführt.

Zur Erfassung des Quietschgeräuschs wurden die folgenden Nachweisverfahren und Messungen durchgeführt:

Berliner Ringbahn

Luftschallmessungen mit je 10 beidseitig, längs des Gleisbogens verteilten Mikrofonen über einen Messzeitraum von 2 – 3 Tagen.

Assmannshausen

Luftschallmessungen mit einer automatischen Messstation über einen Zeitraum von 1 Monat je vor und nach dem Aktivieren der SSE.

⁹ Bogenlänge x Anzahl Gleise

Wendlingen

Luftschallmessungen mit einer automatischen Messstation wie für Assmannshausen, zusätzliche Bewertungen anhand einer Fragebogenaktion mit Vor- und Nachbefragung.

Für die Auswertung der Messungen an der Berliner Ringbahn wurde ein Frequenzfilter zwischen 2.000 Hz und 10.000 Hz eingesetzt, um nur die für das Quietschen typischen hohen Frequenzen zu berücksichtigen. Die weiteren Nachweismessungen wurden ungefiltert ausgewertet.

Maßgebliche Messgröße war der Maximalpegel, da dieser das Auftreten von Quietschgeräuschen am besten repräsentiert. Zur Darstellung eignet sich eine Häufigkeitsverteilung (Histogramm) der maximalen Schalldruckpegel L_{pAFmax} , in der die gemessenen Maximalpegel in 1 dB-breite Häufigkeitsklassen eingeteilt werden.

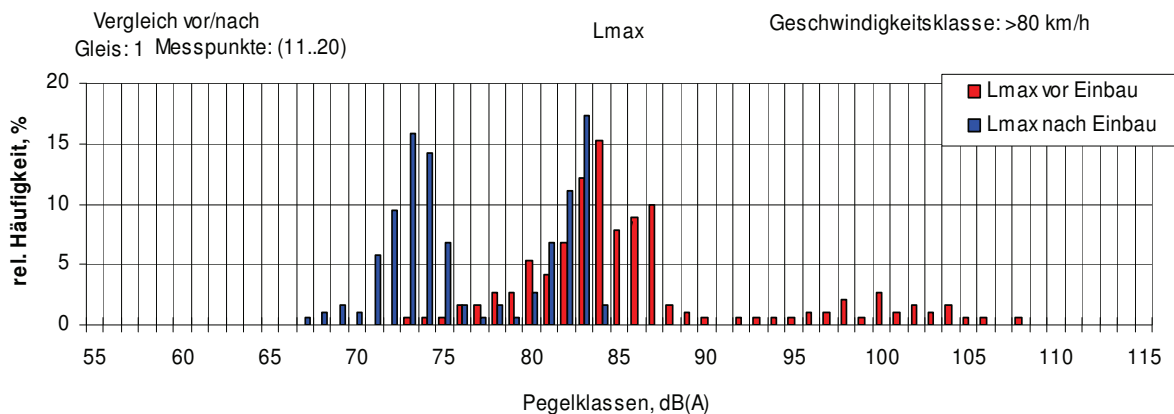


Bild 7: Pegel-Häufigkeitsverteilung vor- und nach der Maßnahme gegen das Kurvenquietschen auf der Berliner Ringbahn für Geschwindigkeiten größer 80 km/h für den Frequenzbereich 2 kHz bis 10 kHz

Quelle: Müller-BBM

Bild 7 zeigt, dass nach Einbau und Aktivierung der Schmiereinrichtung die sehr hohen Pegel mit den Quietschgeräuschen nicht mehr auftreten.

Aus der folgenden Darstellung der Summenhäufigkeit in Bild 8 lässt sich ablesen, dass nach Einbau der Maßnahme keine Maximalpegel über 87 dB auftreten, während vor Einbau der Maßnahme noch etwa 20 % der Maximalpegel bei Vorbeifahrten über diesem Wert lagen und sogar bis etwa 108 dB erreichten.

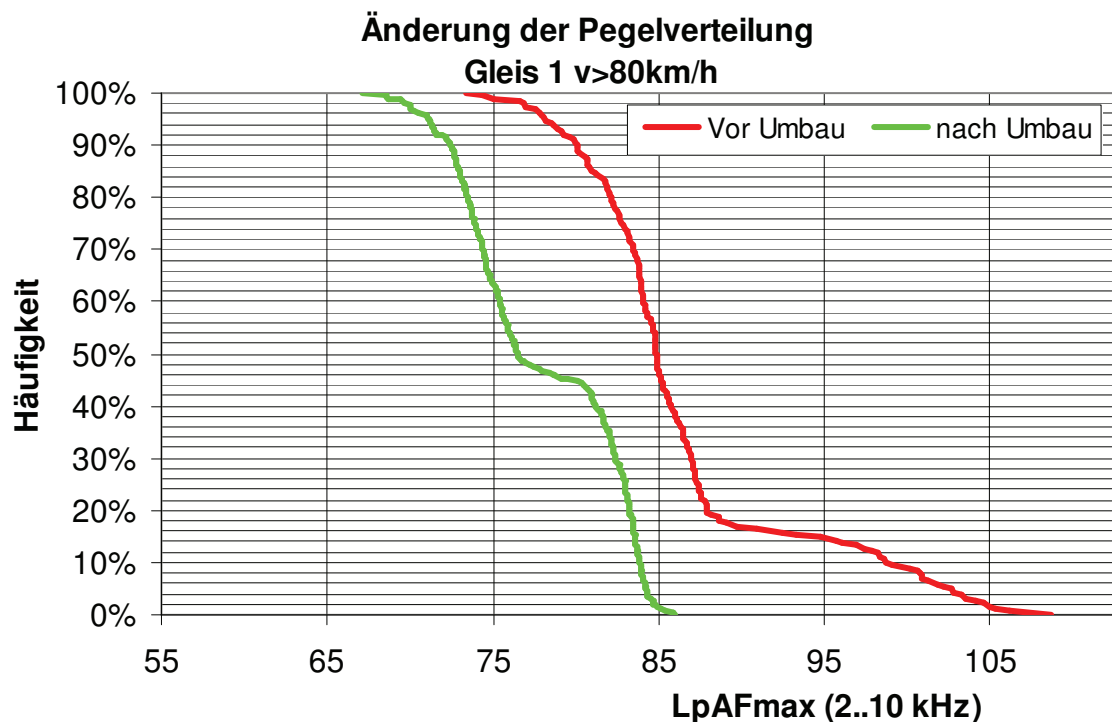


Bild 8: Kumulierte Pegel-Häufigkeitsverteilung vor- und nach der Maßnahme gegen das Kurvenquietschen auf der Berliner Ringbahn für Geschwindigkeiten größer gleich 80 km/h

Quelle: Müller-BBM

Es zeigt sich für die Maßnahme Berliner Ringbahn, dass durch Aktivierung der Schienenschmiereinrichtung die hohen und hochfrequenten Maximalpegel, die für das Quietschgeräusch typisch sind, nicht mehr auftreten. Damit ist die Grundlage für den Entfall des Lästigkeitszuschlags K_L für Kurvenquietschen nach Schall 03 [2012] bei aktiver SSE gegeben.

Bei der Maßnahme Assmannshausen wurden auf Gleis 1 auf der Innenschiene ausgeprägte Schlupfwellen nachgewiesen und bei der Vor- und der Nachmessung nur ein geringes Kurvenquietschen. Aufgrund der Schlupfwellen war der Lärmpegel je nach Zugart deutlich erhöht. Auf Gleis 2 waren keine Schlupfwellen festzustellen. Bei Vor- und Nachmessung trat ebenfalls ein eher seltenes Kurvenquietschen auf. Der Perzentilpegel L_{10} , ist aussagekräftig, um die Quietschminderung zu beschreiben: L_{10} nahm durch die Maßnahme für Gleis 1 und Gleis 2 im Mittel um 1 bis 2 dB ab. Das Kurvenquietschen wurde durch die Maßnahme weiter vermindert.

In Wendlingen ergab eine Ortsbegehung, dass das Kurvenquietschen durch die SSE-Maßnahme verhindert wurde. Es wurde jedoch festgestellt, dass sich auf dem kurz vor dem Einbau der SSE geschliffenen Schiene erneut Schlupfwellen gebildet hatten. Es war deshalb zu erwarten, dass die Schlupfwellen das Ergebnis der automatischen Luftschall-Messstation und die Anwohnerbefragung beeinflussen. Entsprechend ergaben erste Auswertungen der Aufzeichnungen der automatischen Messstation eine Zunahme der Perzentilpegel L_{10} , L_{50} und L_{80} nach dem Aktivieren der SSE. Die Auswertung ist noch nicht abgeschlossen.

Die bisher vorliegenden Rückläufe aus der Anwohnerbefragung lassen noch keine verlässliche Aussage zu Veränderungen im Lästigkeitsempfinden der Anwohner zu. Es zeigt sich aber die Tendenz, dass die Anwohner eher eine Lästigkeitszunahme des Schienenlärms angeben. Das bisherige Ergebnis wird zusammenfassend in Bild 9 dargestellt.

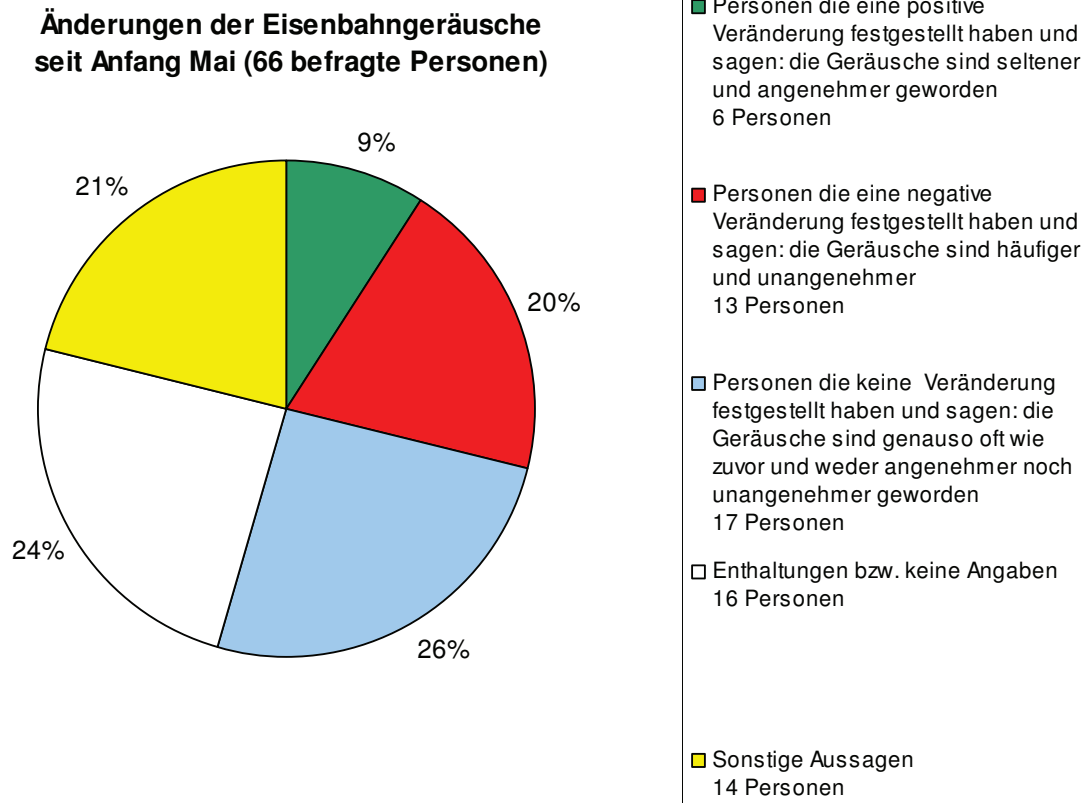


Bild 9: Auswertung der Nachbefragung der Fragebogenaktion mit Darstellung der von den Befragten festgestellten Veränderung der Eisenbahngeräusche

Quelle: Möhler + Partner Ingenieure AG

3.2.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Innerhalb des Prozesses der technischen Freigabe für Schienenschmiereinrichtungen und den beim Betrieb dieser Anlagen verwendeten Schmiermitteln wurden Bremsversuche mit unterschiedlichen Mitteln durchgeführt. Ziel war es, mögliche Auswirkungen der Mittel insbesondere bei der Konditionierung des Schienenkopfes auf das Bremsverhalten von Schienenfahrzeugen zu ermitteln. Im Ergebnis dieser Versuche wurde in der fachtechnischen Bewertung für zwei der verwendeten Mittel festgestellt, dass es beim Einsatz der Schienenkonditioniermittel zu keinen unzulässigen Bremswegverlängerungen kommt.

Die Verträglichkeit der eingesetzten Mittel mit den signaltechnischen Einrichtungen im Gleis ist bei Achszählern und niederfrequenten Gleisstromkreisen im Projektverlauf untersucht und bestätigt worden.

Im Bereich von Bahnübergängen ist aus Gründen der Sicherheit des Straßenverkehrs ein Abstand zum Kreuzungsbereich einzuhalten.

3.2.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Insgesamt beliefen sich die Erstellungskosten für die SSE Maßnahmen auf 0,9 Mio. EUR. Die wirksame Länge beträgt 16,9 km Gleis. Als Durchschnittswert ergeben sich somit spezifische Kosten von jährlich 4,2 TEUR / km wirksamer Länge bei einer kalkulierten Nutzungsdauer (bilanziell) von 13 Jahren.

Betriebskosten

Für Justierung, und Befüllung der Anlagen fallen jährlich Kosten in Höhe von 5,0 TEUR je Pumpstation an¹⁰. Insgesamt wurden 35 Pumpstationen errichtet. Somit sind jährlich 175 TEUR Betriebskosten anzusetzen, die als Jahreskosten mit 10,4 TEUR / km zu bewerten sind.

Instandhaltungskosten durch die Technologie

Die Kosten für die Justierung der Anlagen, die üblicher Weise der Instandhaltung zuzurechnen sind, sind in den Betriebskosten berücksichtigt.

Instandhaltungserschwerisse der Technologie

Bei Instandhaltungsmaßnahmen durch Ein- und Ausbau der Schmiervorrichtungen bei Gleiserneuerungen und Schienenwechsel treten Folgekosten auf.

¹⁰ Kosten lt. Rahmenvertrag zur Wartung der Anlage

3.2.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Wirksame Länge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km Wirklänge	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. kosten pro km Wirklänge (Erstellungskosten)	Järl. Betriebs und IH-kosten pro km Wirklänge	Järl. IH-Erschwer-nisse pro km	Järl. Gesamtkosten pro km	Minde-rungs-beitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
Schienen-schmier-einrich-tung	16,9	923,6	54,7	13	4,2	10,4	Nicht bewertet	14,6	3*

*Für Radien > 300 m

Tab. 13: Übersicht Kosten-Wirksamkeit der Technologie SSE

3.2.6. Anwendungsentscheidung

Bei den bisher vorliegenden Messergebnissen haben sich für die Fernbahngleise der Berliner Ringbahn die in Bild 7 und 8 gezeigten Pegelminderungen ergeben. Für die Maßnahme in Assmannshausen wurde, wegen des nur selten stattfindenden Quietschens nur eine geringe Minderung des Perzentilpegels L_{10} um im Mittel 1 bis 2 dB ermittelt. In Wendlingen ergab die Begehung, dass sich das Kurverquietschen durch SSE vermeiden lässt. In engen Radien liegen oftmals Schlupfwellen vor, die den Luftschallpegel bei Zugüberfahrt signifikant anheben. Es sind noch weitere Untersuchungen erforderlich, um festzustellen inwieweit die Schlupfwellenbildung durch SSE verzögert / verhindert wird. Soweit die noch abzuschließenden Messungen Quietschminderungseffekte bestätigen, wird die Anerkennung der SSE verfolgt.

3.3. Verschäumter Schotter

3.3.1. Technik

Der verschäumte Schotteroberbau basiert auf dem konventionellen Regel-Gleisoberbau. Bei der Schotterverschäumung wird ein Einbauverfahren verwendet, das in die Hohlräume des Schottergerüsts ein Polyurethan-Schaumstoff einbringt. Hierdurch entsteht ein formelastischer Verbund zwischen Bettung und Schwellen, der bewirkt, dass die Druckverteilung im verschäumten Schotteroberbau im Vergleich zum konventionellen Schotteroberbau gleichmäßiger verläuft und Schotterdruckspitzen reduziert und glättet. Ziel bei der Entwicklung des Verfahrens war es, die Langzeitlagestabilität des Schotteroberbaus durch die Verschäumung zu verbessern und ihm Eigenschaften vergleichbar der Festen Fahrbahn zu geben. Hierdurch sollen die Instandhaltungskosten, bezogen auf die Liegezeit, deutlich gesenkt werden. Es war zu prüfen, ob die Verschäumung Lärm- und Erschütterungsemissionen mindert oder ob bei einer instandhaltungsbegründeten Anwendung eine Erhöhung der Schallemissionen auftritt, welche für den verschäumten Schotter die Ansetzung eines Zuschlags für die Fahrbahnart von +3 dB gegenüber dem Schotteroberbau mit Betonschwellen erforderlich macht (vergleichbar der Festen Fahrbahn, nach Schall 03 [1990] und auch nach Schall 03 [2012]). Verschäumter Schotter wurde in Kombination mit nSSW, Besohlten Schwellen und Unterschottermatten eingesetzt.

In der Maßnahme Köln-Kalk wurde auf 1,1 km Gleislänge eine Verschäumung des Schotteroberbaues durchgeführt. Zur Erprobung wurden verfahrensbedingt zusätzlich Unterschottermatten und höhenjustierbare Schwellen eingebaut.

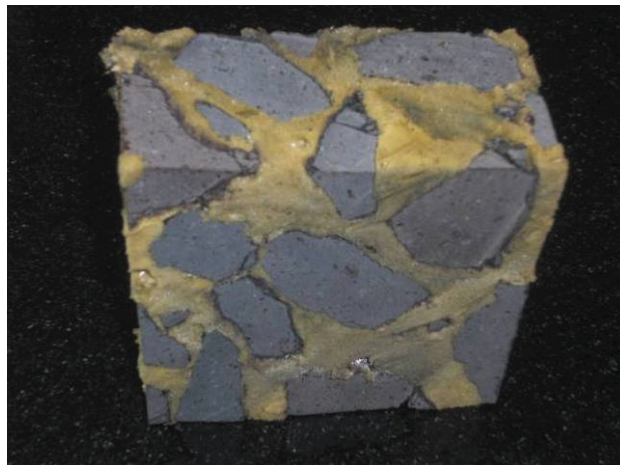


Bild 10: Verschäumter Schotter (Probewürfel)

Quelle: DB Netz AG, Herold

3.3.2. Ermittelte Akustische Wirkung

Die Schotterverschäumung kann sich durch die Stabilisierung der Schotterstruktur und den verfahrenstechnisch notwendigen Einbau der Unterschottermatten einerseits potenziell mindernd auf die Körperschall- / Erschütterungsausbreitung in der Umgebung der Strecke auswirken. Andererseits kann die Schallabsorption des Schotters wegen der geringen Hohlräume im Schotterbett reduziert sein, was sich pegelerhöhend auf die Luftschallabstrahlung der Strecke auswirken würde.

Die Ergebnisse der Nachweismessungen zeigen, dass die Schotterverschäumung für den Körperschall keine signifikante Veränderung der Einfügungsdämmung mit oder ohne Schotterverschäumung bewirkt.

Für die Luftschallemission der Strecke wurden geringfügige spektrale Veränderungen festgestellt, die jedoch weder eine signifikante Pegelminderung noch eine signifikante Pegelerhöhung aufwiesen.

Körperschall								
Pegelminderung in Oktavbändern [dB]	Oktave	4	8	16	32	64	125	250
		1	-1	0	0	0	-3	-1
Luftschall seitlich der Strecke								
Pegelminderung in Oktavbändern [dB]	Oktave	63	125	250	500	1000	2000	4000
		2	1	1	1	-1	1	1
Pegelminderung im Summenpegel [dB]	0							

Tab. 14: Messergebnisse Verschäumter Schotter

Es hat sich gezeigt, dass das Absorptionsvermögen des hohlraumhaltigen herkömmlichen Oberbaus durch eine Verschäumung nicht verbessert wird.

Damit tritt keine Pegelminderung auf, die für eine Anerkennung als innovative Schallschutzmaßnahme nach Schall 03 [2012] ausreichen würde. Jedoch wurde gezeigt, dass kein Pegelzuschlag für eine andere Fahrbahnart notwendig ist, weil ein verschäumtes Schotterbett akustisch dem Schotteroberbau mit Betonschwellen entspricht.

3.3.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Verschäumter Schotter wurde neben dem Erprobungsstandort Köln-Kalk an einem weiteren Standort außerhalb des Programms zu Testzwecken eingebaut. Aussagen über die Effekte der Schotterbeschäumung sind aufgrund der kurzen Liegezeit noch nicht möglich

3.3.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Erstellungskosten für Verschäumung des Schotters der Unterschottermatten und der höhenverstellbaren Besohlenen Schwellen betrugen insgesamt 3.1 Mio. EUR , der Anteil der Schotterverschäumung betrug 2,0 Mio. EUR.

Betriebskosten

Betriebskosten fallen während der Liegezeit eines verschäumten Schotteroberbaus nicht an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Zu möglichen Instandhaltungskosten, z.B. für das Nachjustieren der Höhenlagen der Schwellen, die beim konventionellen Schotteroberbau durch das Stopfen korrigiert werden, liegen keine Erfahrungen vor.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

Instandhaltungerschwernisse sind nicht erkennbar. Einsparungen sind bei der Vegetationskontrolle und der Korrektur der Gleisgeometrie im Gleis zu erwarten, die jedoch nicht monetär bewertet werden. Beim Ausbau des verschäumten Abschnitts werden erhöhte Entsorgungskosten anfallen.

3.3.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Jährlich. Kosten pro km (Erstellungskosten)	Jährlich. IH-Kosten pro km	Jährlich. IH-Erschwernisse pro km	Jährlich. Gesamtkosten pro km	Minde-rungsbeitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
Ver-schäumter Schotter	1,1	2.035,3	1.850,3	26	71,2	z. Zt. keine Erfahrungswerte	Nicht be-zifferbare positive Effekte	71,2	0

Tab. 15: Übersicht Kosten-Wirksamkeit der Technologie Verschäumter Schotter

3.3.6. Anwendungsentscheidung

Eine Anwendungsentscheidung ergibt sich ausschließlich aus technisch-wirtschaftlichen Erwägungen. Der Einbau des verschäumten Schotteroberbaus aus Gründen der Minimierung

von Lärm- und Erschütterungsemissionen kommt nicht in Betracht. Allerdings wurde nachgewiesen, dass der verschäumte Schotteroberbau dem herkömmlichen Schotteroberbau akustisch gleichwertig ist und ein Zuschlag von 3 dB, wie er bei einem Wechsel der Fahrbahnart auf Feste Fahrbahn anzusetzen ist, nicht angewendet werden muss.

3.4. Brückenentdröhnung

3.4.1. Technik

Der Luftschall, der während der Überfahrt eines Zuges über eine Eisenbahnbrücke von der Brückenkonstruktion abgestrahlt wird, wird als Brückendröhnen bezeichnet. Diese zusätzlich zum Rollgeräusch auftretende Lärmkomponente ist vor allem bei niedrigen Frequenzen ausgeprägt und kann zu einer starken Belästigung der Anwohner führen. Bild 11 zeigt schematisch die Entstehung des Brückendröhnens und an einem Beispiel die Ergebnisse von Luftschallmessungen neben einer Brücke und der angrenzenden freien Strecke.

Da gerade an belasteten Strecken die vorhandenen Stahlbrücken als sog. „Hot spots“ wirken, werden nachträglich einsetzbare Maßnahmen zur Reduktion des Brückendröhnens dringend benötigt. Dabei wurden im Rahmen des Konjunkturprogramms II die in der Tabelle 16 angeführten Technologien getestet.

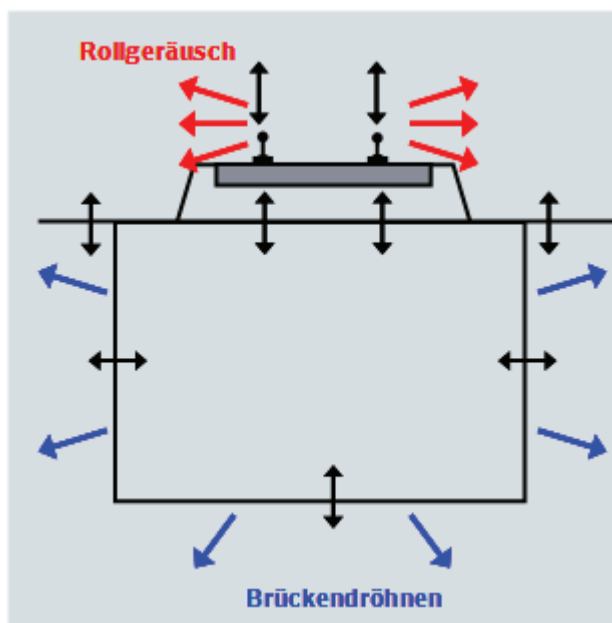


Bild 11: Schematische Darstellung des Brückendröhnens am Beispiel einer stählernen Hohlkastenbrücke.

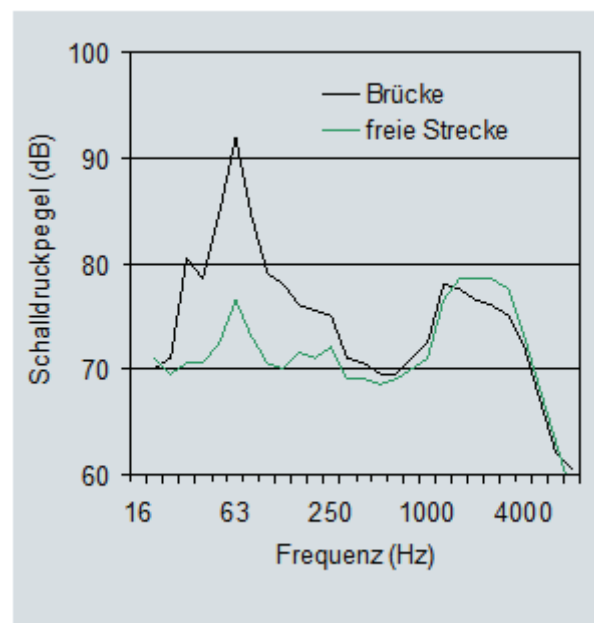


Bild 12: Gemessene Luftschall-Spektren neben einer Brücke und der angrenzenden Strecke. Die Unterschiede in den Spektren sind durch das Brückendröhnen bedingt

	Maßnahme zur Reduzierung des Brückendröh- nens				Maßnahmen zur Reduktion des Rollgeräusches auf der Brücke	
	Hochelas- tische Schie- nenbefes- tigungen	Besohlte Schwel- len	Brücken- dämpfer	Feste Fahr- bahn	Schienen- steg- dämpfer	Geländerausbil- dung als Schall- schutzwand
Direkt befah- rene Stahl- brücke	X*		X**	X	X	X
Stahlbrücke mit Schotter- oberbau		X	X		X	
* teilweise auch in Kombination mit elastisch gelagerten Abdeckplatten ** Ergebnisse der Brückendämpfer an direkt befahrenen Stahlbrücken liegen nur in Kombination mit Schienenstegdämpfern und Kunststoffabdeckungen vor						

Tab. 16: Matrix der zur Brückenentdröhnung eingesetzten Technologien

Hochelastische Schienenbefestigungen und „Besohlte Schwellen“ wirken über eine dynamische Entkopplung der Schienen von der Brückenkonstruktion. Die im Rad-Schiene-Kontakt generierten Schwingungen können daher nicht auf die Brückenkonstruktion übertragen werden, als Folge reduziert sich die Schallabstrahlung der Brücke. Vorliegende Untersuchungen zeigen, dass beide Maßnahmen in der heute eingesetzten Variante vor allem oberhalb von 63-80 Hz und damit oberhalb der Resonanzfrequenzen der Systeme wirken. Um eine weitere Absenkung dieser Resonanzfrequenz zu erhalten, wurden im Rahmen des Konjunkturprogramms II geringere Steifigkeiten der elastischen Materialien getestet. Bei der Untersuchung sollte ferner geprüft werden, ob sich durch den Einsatz elastischer Elemente das Rollgeräusch der Züge erhöht. Dazu wurden auch der Körperschall an der Schiene bzw. den Schwellen vor und nach Einbau der Maßnahme gemessen.

Brückendämpfer werden an vorab bestimmten Stellen der Brückenkonstruktion angebracht und reduzieren die Schallabstrahlung durch Umwandlung von Schwingungsenergie in Wärmeenergie. Im Rahmen des Konjunkturprogramms II wurden Brückendämpfer mit unterschiedlichen Wirkungsbereichen und Anordnungen an der Brücke erprobt.



Bild 13: Direkt befahrene Stahlbrücke, Bsp. EÜ Lahnstein

Quelle: DB Netz AG, LeDosquet

Der Einbau einer Festen Fahrbahn mit elastisch gelagerten Schienen auf eine direkt befahrene Stahlbrücke führt zu einer erhöhten Eingangsimpedanz sowie einer dynamischen Entkopplung. Dabei wurden an der Brücke in Winterhausen die vorhandenen, direkt befahrenen Stahlüberbauten durch Betonüberbauten mit eingegossenen Schienen ersetzt. An der Brücke über die Lahn wurde dagegen der Stahlüberbau beibehalten und eine Betonfahrbahn mit elastischen Schienenbefestigungen eingebaut.

Bei einem Teil der direkt befahrenen Stahlbrücken wurden ferner die vorhandenen stählerne Abdeckbleche bzw. -gitter durch elastisch gelagerte Abdeckungen ersetzt. Dadurch entfallen Geräuschanteile, die durch klappernde Bleche bedingt sind. Um hier eine spürbare Wirkung zu erhalten, muss die Maßnahme aber mit einer Minderungsmaßnahme für das Brückendröhnen (wie z. B. hochelastische Schienenbefestigungen oder Brückendämpfer) kombiniert werden.

Weitere Maßnahmen wie die Ausfachung der Brückengeländer als Schallschutzwand und der Einsatz von Schienenstegdämpfern wurden zur Reduktion des Rollgeräusches auf der Brücke eingesetzt. Auch hier wurde die Maßnahme mit einer weiteren Maßnahme zur Reduktion des Brückendröhnens (wie z. B. hochelastische Schienenbefestigungen, besohlte Schwellen, Brückendämpfer oder Feste Fahrbahn) kombiniert.

Brückenentdröhnungsmaßnahmen wurden an folgenden Standorten durchgeführt:

Nr.	Ort	Direkt befahren (j/n)	Technik
1	Wintershausen	ja	Elastische Lager auf Massivüberbauten; Feste Fahrbahn, SSW, SSD
2	Würzburg-Heidingsfeld	ja	Elast. Schienenbef. + Abdeckplatten
3	Treuchtlingen-Möhren	ja	Elastische Schienenbefestigungen
4	Passau	ja	Elastische Schienenbef., SSW, SSD
10	Lahnstein	ja	Elastische Schienenbefestigung auf Fester Fahrbahn
11	Hamburg Salomon-Heine-Weg	nein	Brückendämpfer + Besohlte Schwelle
12	Hamburg Alsterkanal	nein	Besohlte Schwellen
13	Hamburg Alsterdorfer Strasse	nein	Brückendämpfer + Besohlte Schwelle
14	Hamburg Güterumgehungsbahn Kellerbleek	nein	Brückendämpfer + Besohlte Schwelle
16	Peine	nein	Brückendämpfer + Besohlte Schwelle
17	Herzogenrath Kleikstrasse	ja	Elast. Schienenbef., SSD, SSW, Brückendämpfer
45	Berlin-Stadtbahn Fasanenstrasse	nein	Brückendämpfer + SSD
46	Berlin-Stadtbahn Uhlandstrasse	nein	Brückendämpfer + SSD
47	Berlin-Stadtbahn Grolmannstrasse	nein	Brückendämpfer + SSD
48	Berlin-Stadtbahn Knesebeckstrasse	nein	Brückendämpfer + SSD
49	Berlin-Stadtbahn Bleibtreustrasse	nein	Brückendämpfer + SSD
50	Berlin Stadtbahn Schlüterstrasse	nein	Brückendämpfer + SSD
51	Berlin-Stadtbahn Wielandstrasse	nein	Brückendämpfer + SSD
52	Leipzig-Schönefeld Dortmunderstrasse	nein	Brückendämpfer, Besohlte Schwelle, SSD
67	Leipzig -Wahren Pittler- und Linkelstrasse	nein	Brückendämpfer, Besohlte Schwelle, SSD
99	Stuttgart-Ehningen	ja	Elast. Schienenbef. + Abdeckplatten

Tab. 17: Übersicht der 21 Brückenentdröhnungsmaßnahmen

3.4.2. Akustische Wirkung

3.4.2.1. Ergebnisse für die direkt befahrenen Stahlbrücken

An insgesamt fünf direkt befahrenen Stahlbrücken wurden hochelastische Schienenbefestigungen mit Stützpunktsteifigkeiten von 10 bzw. 17 kN/mm eingebaut. Parallel dazu wurden bei einem Teil der Brücken auch die vorhandenen Abdeckbleche elastisch gelagert. Die Bewertung erfolgte anhand der Messungen an vier der Brücken, da für die Brücke in Herzogenrath aufgrund von Hintergrundgeräuschen nur die Körperschall-Messungen verwertbar waren. Damit wurden zwei Brücken für die Bewertung der hochelastischen Schienenbefestigungen mit einer Stützpunktsteifigkeit von 17 kN/mm und zwei mit einer Stützpunktsteifigkeit von 10 kN/mm herangezogen. Letztere können allerdings noch nicht abschließend beurteilt

werden, da die auf der Brücke vorhandenen Schienenauszüge noch nicht elastisch gelagert wurden.

Insgesamt zeigte sich eine sehr gute Wirkung der hochelastischen Schienenbefestigungen bereits oberhalb einer Frequenz von 40 bis 50 Hz und damit unterhalb der bisher gemessenen 80 Hz. Damit können diese hochelastischen Schienenbefestigungen auch eingesetzt werden, wenn das Brückendröhnen bei niedrigen Frequenzen ausgeprägt ist.

Im Mittel wurde in den untersuchten Fällen ein Korrekturwert von $K_{LM}=4$ dB erreicht, wobei in allen Fällen die Brückenzuschläge K_{BR} nach Einbau der Maßnahme deutlich unter dem in der Schall 03 [2012] für direkt befahrene Stahlbrücken mit elastischen Schienenbefestigungen angesetzten Brückenzuschlag von $K_{BR}=6$ dB lagen. Auch bei den beiden Brücken, bei denen die hochelastischen Schienenbefestigungen mit 10 kN/mm auf der Brücke eingesetzt wurden, ergaben sich noch Reduktionen im Mittel von über $K_{LM}=3$ dB auf einen mittleren Brückenzuschlag von $K_{BR}=4$ dB. Der Körperschall an Schiene und Schwelle hat sich in keinem der Fälle erhöht, daher muss auch nicht von einem erhöhten Rollgeräusch aufgrund der hochelastischen Schienenbefestigungen ausgegangen werden.

Die Ergebnisse der Körperschall-Messungen an der Fachwerkkonstruktion der Brücke in Herzogenrath, auf der hochelastische Schienenbefestigungen mit einer Stützpunktsteifigkeit von 10 kN/mm eingebaut wurden und bei der keine Schienenauszüge vorhanden waren, stimmen mit einer mittleren Reduktion um 4 dB mit den angeführten Ergebnissen überein.

Nr.	Brücke	Stützpunktsteifigkeit	Brückenzuschlag K_{BR} vorher [dB]	Brückenzuschlag K_{BR} nachher [dB]	Differenz Brückenzuschlag K_{LM} [dB]	Anmerkung
2	EÜ Heidingsfeld, Gleis Richtung Würzburg	10 kN/mm	8,4	5,6	2,8	Keine elastische Lagerung des auf der Brücke vorhandenen Schienenausuges
2	EÜ Heidingsfeld, Gleis Richtung Treuchtlingen	10 kN/mm	6,4	2,9	3,6	Keine elastische Lagerung des auf der Brücke vorhandenen Schienenausuges
3	EÜ Möhren	10 kN/mm	7,9	4,1	3,8	Keine elastische Lagerung des auf der Brücke vorhandenen Schienenausuges, Zusätzlich: elastische Lagerung der Abdeckplatten
4	EÜ Passau, Gleis Richtung Passau	17 kN/mm	7,6	3,6	4,0	Schiene UIC 60
4	EÜ Passau, Gleis Richtung Linz	17 kN/mm	8,0	3,1	4,9	Schiene S 54
99	EÜ Ehningen	17 kN/mm	8,0	1,1	6,9	Zusätzlich: Elastische Lagerung der Abdeckplatten
Mittelwert (Nr. 2-3)		10 kN/mm	7,6	4,2	3,4	Weiteres Potenzial bei elastischer Lagerung der Schienenauszüge
Mittelwert (Nr. 4, 99)		17 kN/mm	7,8	2,6	5,3	
Mittelwert (Nr. 2-4, 99)		alle	7,7	3,4	4,3	

Tab. 18: Ergebnis der hochelastischen Schienenbefestigungen auf direkt befahrenen Stahlbrücken

An der Brücke über den Inn in Passau erfolgte nach dem Einbau hochelastischer Schienenbefestigungen die Ausfachung der Brückengeländer als Schallschutzwand. Der Umbau wurde sowohl an der direkt befahrenen Stahlbrücke als auch an der anschließenden Gewölbebrücke durchgeführt. Dabei zeigte sich eine weitere Reduktion des Brückenzuschlages, die durch eine Reduktion des Rollgeräusches bewirkt wurde.

Nr.	Brücke	Differenz Luftschall ohne / mit Ausfa- chung an der Stahl- brücke [dB]	Differenz Luftschall ohne / mit Ausfuchung an der Gewölbebrücke [dB]
4	EÜ Passau, Gleis Richtung Passau	1,4	1,9
4	EÜ Passau, Gleis Richtung Linz	0,9	1,8
Mittelwert		1,2	1,9

Tab. 19: Ergebnis der Ausfuchung des Brückengeländers als Schallschutzwand an direkt befahrenen Stahlbrücken

Der an der Brücke in Passau anschließend an den Einbau hochelastischer Schienenbefestigungen und einer Schallschutzwand durchgeführte Einbau von Schienenstegdämpfern führte zu einer weiteren Reduktion im Brückenzuschlag von über 1 dB. Da auch die Körperschallpegel in vergleichbarem Maße zurückgingen, ist bei dem eingebauten Produkt nicht nur von einer Reduktion des Rollgeräusches, sondern auch des Brückendröhnens auszugehen. Die relativ gesehen geringe Wirkung der Maßnahme resultiert daraus, dass durch die beiden zunächst im Konjunkturprogramm II durchgeführten Maßnahmen das Brückendröhnen vor Einsatz der Maßnahme bereits sehr gering war.

Nr.	Brücke	Differenz Körperschall [dB]	Differenz Brückenzu- schlag K_{LM} [dB]
4	EÜ Passau, Gleis Richtung Passau	0,2	1,2
4	EÜ Passau, Gleis Richtung Linz	2,7	1,3
Mittelwert		1,4	1,2

Tab. 20: Ergebnis der Schienenstegdämpfer an direkt befahrenen Stahlbrücken

Die an der Brücke in Herzogenrath weiterhin eingesetzten Schienen- und Brückendämpfern sowie der Austausch vorhandener Abdeckbleche gegen Kunststoff-Abdeckungen führen im Mittel zu einer Zunahme des Körperschall-Pegels an der Brückenkonstruktion um 1 dB. Dieses Ergebnis kann jedoch nicht einer einzelnen Maßnahme zugeordnet werden.

Weiterhin wurden an zwei direkt befahrenen Stahlbrücken Feste Fahrbahnen eingebaut. Dabei zeigte sich an der Brücke in Winterhausen, dass die eingesetzten Betonüberbauten in Kombination mit einer eingegossenen Schiene zu einem Brückenzuschlag von unter $K_{BR}=4$ dB führen. Nach der zusätzlichen Ausfuchung der Brückengeländer als Schallschutzwand ergab sich ein Wert von knapp über 1 dB. Für die Brücke in Lahnstein, bei der eine Betonfahrbahn mit elastischen Schienenbefestigungen eingebaut wurde, ergab sich in der Nachmessung ein Wert von knapp über 4 dB, der sich in der Nachhaltigkeitsmessung noch einmal leicht erhöht hat. Allerdings zeigte die bei der Nachhaltigkeitsmessung ebenfalls

durchgeführte Messung der Schienenrauheit eine erhöhte Schienenrauheit an der Brücke, so dass der gemessene Brückenzuschlag tendenziell etwas zu hoch ist.

Nr.	Brücke	Maßnahme	Brücken- zuschlag K_{Br} vor Umbau [dB]	Brücken- zuschlag K_{Br} nach Umbau [dB]	Differenz Brücken- zuschlag K_{LM} [dB]	Anmerkung
1	EÜ Winter- hausen, Gleis Richtung Würzburg	Modulbrü- ckensystem SLEP mit Schienenbe- festigung ERS	10,7	3,4	7,3	Befragung der Anwohner: Re- duzierung der Schallbelästi- gung um ca. 40%
1	EÜ Winter- hausen, Gleis Richtung Treuchtlingen	Modulbrü- ckensystem SLEP mit Schienenbe- festigung ERS und Schall- schutzwand	9,7	1,2	8,5*	Befragung der Anwohner: Re- duzierung der Schallbelästi- gung um ca. 40%
10	EÜ Lahnstein	Beton- Fahrbahn mit elastischer Schienenbe- festigung	3,1	4,3 bzw. 4,5	-1,2 bzw. -1,4	Vor- und Nach- bzw. Nachhaltig- keitsmessung, Unsicherheit wegen erhöhter Schienenrauheit auf der Brücke, Brückenzu- schlag daher tendenziell hö- her als real
*Schallschutzwand wird im Brückenzuschlag nicht berücksichtigt.						

Tab. 21: Ergebnis des Einbaus Fester Fahrbahnen an direkt befahrenen Stahlbrücken

3.4.2.2. Ergebnisse für die Brücken mit Schotteroberbau

An insgesamt acht Stahlbrücken mit Schotteroberbau wurden „Besohlte Schwellen“ eingesetzt. Die Ergebnisse an der Brücke über die Dortmunder Strasse in Leipzig wurden aufgrund eines parallel durchgeführten Austauschs der Schiene bzw. eines Schleifens der Schiene nicht verwendet. Für die Brücke über den Kellerbleek zeigte sich bei der Plausibilitätsuntersuchung, dass der Oberbau zur Zeit der Zwischenmessung noch nicht konsolidiert war und daher Effekte der „Besohnten Schwellen“ und der Brückendämpfer nicht ausreichend getrennt werden konnten. Daher gingen diese Ergebnisse auch nicht in die Bewertung der „Besohnten Schwellen“ ein. Für die Auswertung der „Besohnten Schwellen“ muss zwischen dem Schwellentypen (B 70 bzw. B 93) sowie den statischen Bettungsmodulen der Schwellensohlen ($0,10 \text{ N/mm}^3$, $0,15 \text{ N/mm}^3$ und $0,22 \text{ N/mm}^3$) unterschieden werden. Mit Ausnahme des Materials mit einem Bettungsmodul von $0,22 \text{ N/mm}^3$ zeigte sich eine deutliche Wirkung

der Schwellensohle auf das Brückendröhnen, die im Mittel bei Frequenzen oberhalb von 63 Hz einsetzt. Besitzt die Brücke ursprünglich ein Brückendröhnen, das im hochfrequenten Frequenzbereich (> 100 Hz) ausgeprägt ist, ergibt sich daher eine gute Wirkung der „Besohlenen Schwellen“. Ist das Brückendröhnen vor Einbau der Lärminderungsmaßnahme bei niedrigen Frequenzen ausgeprägt, zeigt der Einbau „Besohlter Schwellen“ nur eine geringe oder keine Wirkung. Weiterhin weisen die erhöhten Körperschallpegel an der Schwelle auch auf ein im Frequenzbereich von 200 bis 250 Hz erhöhtes Rollgeräusch hin. Bei einer Übertragung der überwiegend aus Körperschallmessungen bestimmten Einfügedämmungen in einen Korrekturwert ergab sich ein mittlerer Wert von 1 dB. Damit können die im Rahmen des Konjunkturprogramms II getesteten „Besohlenen Schwellen“ nicht als gleichwertig zur bisher überwiegend eingesetzten Unterschottermatte angesehen werden.

Nr.	Brücke	Brückentyp	Schwelle / Schwellensohle [dB]	Differenz Körperschall [dB]	Differenz Brückenzuschlag K_{LM} [dB]	Anmerkung
11	EÜ Salomon-Heine-Weg	Vollwandträger Trog	B 70 / 0,22 N/mm ³	-0,4		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar
12	EÜ Alsterkanal	Vollwandträger Trog	B 93 / 0,10 N/mm ³	2,9		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar
13	EÜ Alsterdorfer Strasse	Vollwandträger Hut	B 93 / 0,10 N/mm ³	1,9		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar
16	EÜ Peine	Vollwandträger Trog	B 70 / 0,15 N/mm ³	3,0	0,5	
67	EÜ Pittler Strasse	Zweigelenk-Bogenträger	B 70 / 0,15 N/mm ³	7,3		Brückenzuschlag zeigt untypischen Verlauf und kann daher nicht verwendet werden.
67	EÜ Linkelstrasse	Zweigelenk-Bogenträger	B 70 / 0,15 N/mm ³	9,5	4,4	
Mittelwert (Nr. 12-13, 16,67)		alle	Alle (0,10 - 0,15 N/mm ³)	4,9	2,5	

Tab. 22: Ergebnis der „Besohlenen Schwellen“ auf Stahlbrücken mit Schotteroberbau

An insgesamt 14 Stahlbrücken mit Schotteroberbau wurden Brückendämpfer mit unterschiedlichen Wirkungsbereichen und Anordnungen an der Brücke eingebaut. Aus den be-

reits vorher genannten Gründen wurde die Bewertung der Brückendämpfer für die Brücke über den Kellerbleek herausgenommen, allerdings werden die Daten später zur Bewertung der kombinierten Wirkung „Besohlter Schwellen“ und Brückendämpfer verwendet. Als Ergebnis ist zunächst zu erwähnen, dass der Einbau der Brückendämpfer am Querträger der Fahrbahn, wie an der Brücke in Peine sowie den Brücken über die Pittler Straße und die Linkelstraße in Leipzig eingesetzt, keine ausreichende Wirkung zeigt. Auch der Einsatz am Längsträger, wie an der EÜ Dortmunder Straße eingesetzt, führt nicht zu einer spürbaren Reduktion des Brückendröhnens. Bei den übrigen Vollwandträgerbrücken, bei denen die Brückendämpfer an den nicht mit dem Schotter in Kontakt stehenden und damit weitgehend ungedämpften Stegblechen angebracht wurden, zeigte sich dagegen eine sehr gute Wirkung; ist der Wirkungsbereich der Brückendämpfer mit den Frequenzen des Brückendröhnens abgestimmt, ergibt sich im Mittel eine Reduktion im Brückenzuschlag von über 3 dB.

Nr.	Brücke	Brückentyp	Befestigungsort	Differenz Körperschall [dB]	Differenz Brückenzuschlag K_{LM} [dB]	Anmerkung
11	EÜ Salomon-Heine-Weg	Vollwandträger Trog	Stegblech	3,0		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar*
13	EÜ Alsterdorfer Strasse	Vollwandträger Hut	Stegblech	6,3	3,7	
16	EÜ Peine	Vollwandträger Trog	Querträger der Fahrbahn	0,6	0,2	
45	EÜ Fasanenstr.	Vollwandträger Trog	Stegblech	1,4		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar*
46	EÜ Uhlandstr.	Vollwandträger Trog	Stegblech	6,0	3,1	
47	EÜ Grolmannstr.	Vollwandträger Trog	Stegblech	1,4		Wirkungsbereich der Dämpfer nicht ausreichend mit Brückendröhnen abgestimmt
48	EÜ Knesebeckstr.	Vollwandträger Trog	Stegblech	3,0		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar*
49	EÜ Bleibtreustr.	Vollwandträger Trog	Stegblech	7,5		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar*
50	EÜ Schlüterstr.	Vollwandträger Trog	Stegblech	4,9		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar*

51	EÜ Wie-landstr.	Vollwand-träger Hut	Steg-blech	11,0		Effekte nur aus Kör-perschallmessungen ableitbar*
52	EÜ Dort-munder Straße	Vollwand-träger Trog	Längs-träger	0,1	0,9	
67	EÜ Pittler Straße	Zweige-lenk-Bogen-träger	Querträ-ger		-0,7	
67	EÜ Linkel-straße	Zweige-lenk-Bogen-träger	Querträ-ger	-1	0	
Mittelwert (Nr. 11,13,45-51)		Vollwand-träger	Steg-blech	4,9	3,4	
* Begründung: Das teilweise gering ausgeprägte Brückendröhnen vor Einbau der Maßnahme sowie die teilweise deutlichen Hintergrundgeräusche führen dazu, dass eine Bewertung der Maßnahme über die Luftschall-Messungen nicht möglich war.						

Tab. 23: Ergebnis für die Brückendämpfer an Stahlbrücken mit Schotteroberbau

Die Kombination „Besohlte Schwellen“ und Brückendämpfer, wobei die Brückendämpfer den niedrigeren Frequenzbereich und die „Besohnten Schwellen“ den höheren Frequenzbereich abdecken, erzielte in beiden untersuchten Fällen, in denen die Schwellensole eine Steifigkeit von $0,10 \text{ N/mm}^3$ besitzt und die Brückendämpfer an den Stegblechen angebracht wurden, eine Reduktion um 3 dB. Damit konnte eine Gleichwertigkeit mit der Wirkung einer Unterschottermatte erreicht werden.

Nr.	Brücke	Brücken-typ	Befesti-gungsort Brücken-dämpfer	Schwelle / Schwellen-sole [dB]	Differenz Köperschall [dB]	Differenz Brücken-zuschlag K_{LM} [dB]
13	EÜ Alster-dorfer Strasse	Vollwand-träger Hut	Stegblech	B 93 / $0,10 \text{ N/mm}^3$	8,3	3,0
14	EÜ Kelerbleek	Vollwand-träger Trog	Stegblech	B 93 / $0,10 \text{ N/mm}^3$	6,2	4,6

Tab. 24: Ergebnis für die Kombination „Besohlte Schwellen“ und Brückendämpfer an Stahlbrücken mit Schotteroberbau

Die speziell auf niedrige Frequenzen angepassten Schienenstegdämpfer, die an den Berliner Stahlbrücken mit Schotteroberbau eingesetzt wurden, führen zwar selbst bei Zuggeschwindigkeiten unter 60 km/h zu einer leichten Reduktion im Rollgeräusch der Züge, im Mittel aber nicht zu einer Minderung des Brückendröhnens. Über alle Brücken gemittelt ergab sich im Körperschall der Brücke eine Reduktion um deutlich weniger als 1 dB, wenn sowohl die Stahlbrücken als auch die freie Strecke mit Schienenstegdämpfern ausgerüstet werden.

Nr.	Brücke	Differenz Körperschall [dB]	Differenz Brückenzuschlag K_{LM} [dB]	Anmerkung
45	EÜ Fasanenstr.	0,2		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar *
46	EÜ Uhlandstr.	0,0	-0,8	
47	EÜ Grolmannstr.	4,3	1,9	
48	EÜ Knesebeckstr.	0,2		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar *
49	EÜ Bleibtreststr.	2,3		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar *
50	EÜ Schlüterstr.	-0,7		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar *
51	EÜ Wielandstr.	-2,2		Effekte nur aus Körperschallmessungen ableitbar *
Mittelwert		0,6	0,6	
* Begründung: Das teilweise gering ausgeprägte Brückendröhnen vor Einbau der Maßnahme sowie die teilweise deutlichen Hintergrundgeräusche führen dazu, dass eine Bewertung der Maßnahme über die Luftschall-Messungen nicht möglich war.				

Tab. 25: Ergebnis für die Schienenstegdämpfer an Stahlbrücken mit Schotteroberbau:

3.4.2.3. Fazit

Folgende Ergebnisse können als Resultat der Untersuchungen an den direkt befahrenen Stahlbrücken zusammengefasst werden:

- Die durchgeführten Untersuchungen mit hochelastischen Schienenbefestigungen der Stützpunktsteifigkeit von 10 und 17 kN/mm zeigen erstmals auch eine Wirkung im sehr niederfrequenten Bereich. Die zusätzlich zu den hochelastischen Schienenbefestigungen eingesetzten Maßnahmen wie den elastisch gelagerten Abdeckungen, die Ausfachung der Brückengeländer als Schallschutzwand und der Einsatz der Schienenstegdämpfer auf der Brücke reduzieren den Brückenzuschlag weiter und führen im besten Fall dazu, dass während der Vorbeifahrt eines Zuges der Luftschall neben der Brücke vergleichbar mit dem an der freien Strecke ist. Für die Kombination von Maßnahmen sollte ein weiterer Korrekturwert für die direkt befahrenen Stahlbrücken von $K_{LM}=9$ dB eingeführt werden.
- Die getesteten Varianten der Festen Fahrbahnen führen dazu, dass die umgebauten Brücken aus akustischer Sicht in die Kategorie „Brücken mit Fester Fahrbahn“ mit einem mittleren Brückenzuschlag von $K_{BR}=4$ dB eingeordnet werden können.

Für die Stahlbrücken mit Schotteroberbau sind folgende Resultate zu benennen:

- Die Untersuchungen zum Einsatz „Besohlter Schwellen“ zeigen, dass die eingesetzten Materialien nicht zu einer ausreichenden Wirkung im niederfrequenten Bereich führen. Ferner erhöhte sich das Rollgeräusch im Frequenzbereich zwischen 200 und 250 Hz. Damit kann generell nur ein Korrekturwert K_{LM} von 1 dB angesetzt werden, so dass keine Vergleichbarkeit mit dem Einsatz von Unterschottermatten besteht. Sollen trotzdem „Besohlte Schwellen“ eingebaut werden, muss vorab der spektrale Brückenzuschlag bestimmt werden. War das Brückendröhnen ausreichend hochfrequent, wurden Wirkungen auf den Brückenzuschlag von über 4 dB gemessen.
- Brückendämpfer führen an Stahlbrücken mit Schotteroberbau zu einem Korrekturwert von 3 dB, wenn sie an die nicht mit dem Schotter in Kontakt stehenden und damit weitgehend ungedämpften Stegblechen von Vollwandträgerbrücken angebracht werden. Allerdings müssen die Brückendämpfer in ihrem Wirkungsbereich und ihrer Anordnung speziell an die jeweilige Brücke angepasst werden. Daher sollte ein Korrekturwert $K_{LM}=3$ dB nur angesetzt werden können, wenn er durch Vor- und Nachmessungen nachgewiesen wurde.
- Die Kombination „Besohlte Schwellen“ und Brückendämpfer, wobei die Brückendämpfer den niedrigen Frequenzbereich und die „Besohlten Schwellen“ den höheren Frequenzbereich abdecken, führt bei Vollwandträgerbrücken auch ohne vorherige Anpassung der Brückendämpfer zu einem Korrekturwert K_{LM} von 3 dB. Dies sollte auch ohne Vor- und Nachmessung anerkannt werden.
- Schienenstegdämpfer haben auf das Brückendröhnen der Stahlbrücken mit Schotteroberbau eine Wirkung von unter 1 dB.

3.4.2.4. Ergebnis der ergänzenden Anwohnerbefragung

An der Maßnahme Nr. 1 Winterhausen wurde begleitend zu den Schallmessungen anhand von Befragungen der Anwohner (telefonische oder postalische Befragung) vor und nach dem Austausch der Brückenüberbauten die Änderung in der subjektiv empfundenen Lautheit und Belästigung ermittelt. Anlass für die ergänzenden Befragungen war die Vermutung, dass trotz der im Mittelungspegel rechnerisch geringen Wirksamkeit der Maßnahme im Bezug zur umgebenden Wohnbebauung eine deutliche Entlastung der Störwirkung zu erwarten ist, da neben der physikalisch messbaren Schallbelastung auch die auffällige Lästigkeit der Brückengeräusche reduziert wurde. An der Vorher-Befragung nahmen insgesamt 95 Haushalte, an der Nachher-Befragung nach der Brückenentdröhnung insgesamt 52 Haushalte teil.

Die Ergebnisse der Vorher-Nachher-Befragungen zeigen, dass die störenden Lärmwirkungen der Eisenbahnbrücke durch die Entdröhnungsmaßnahme signifikant gesenkt werden konnten. Die Mehrheit der Befragten geben an, dass sich einerseits die Gesamtlärmsituation durch die Eisenbahn verbessert hat und andererseits die Eisenbahnbrücken spezifischen Lärmfaktoren deutlich entschärft werden konnten.

Während 70% der Befragten sich vor der Entdröhnung der Brücke mittelmäßig bis äußerst stark durch den Eisenbahnlärm im Allgemeinen gestört gefühlt haben, sinkt dieser Anteil auf ca. 40% nach der Entdröhnung.

Wird die Fragestellung auf die Störwirkung der Eisenbahnbrücke konkretisiert, zeigt sich, dass vor der Brückenentdröhnung ca. 70 % aller Befragten sich tagsüber bzw. nachts durch die Eisenbahnbrücke mittelmäßig bis äußerst stark gestört gefühlt haben. Dieser Wert sinkt deutlich nach der Entdröhnung der Eisenbahnbrücke auf unter 20%.

Die Ergebnisse der Befragung bestätigen die Ergebnisse der durchgeführten Messungen an der Brücke. Auch wenn rechnerisch eine im Mittelungspegel des Schienenverkehrs vergleichsweise geringe und lokal begrenzte Wirksamkeit der Entdröhnungsmaßnahme ermittelt wurde, zeigen die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung, dass die Wirksamkeit in der Wahrnehmung der Maßnahme weite Teile der Nachbarschaft erreicht hat.

3.4.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Es liegen keine Anwendungserfahrungen vor.

3.4.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Erstellungskosten für alle Brücken betrugen 17,1 Mio. EUR.

Betriebskosten

Für die Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Instandhaltungskosten für die eingebauten Komponenten sind zurzeit nicht bezifferbar.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

Bei Verwendung von Schienestegdämpfern entstehen bei Schienenwechseln Mehrkosten durch Ein- und Ausbau der Dämpfer.

3.4.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

In Abhängigkeit von der Fahrbahnart auf der Brücke haben Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen eine deutliche Reduktion des Luftschalls und des Brückendröhnens gezeigt und damit einen Beitrag zur Entschärfung der sog. „Hot spots“ gebracht. Als besonders effektiv hat sich die Kombination von „Besohnten Schwellen“ mit Brückendämpfern auf Stahlbrücken mit Schotteroberbau erwiesen.

Brücken- typ	Maßnahme zur Reduzierung des Brückendröhnens				Maßnahmen zur Reduktion des Rollgeräusches auf der Brücke	
	Hochelas- tische Schie- nenbefes- tigungen	Besohlte Schwel- len	Brü- cken- dämpfer	Feste Fahrbahn	Schienen- steg- dämpfer	Geländeraus- fachung als Schall- schutzwand
Direkt befah- rene Stahl- brücke	4,3 dB	./.	./.	-1,2-7,3 dB	1,2 dB	1,2 dB
Stahlbrücke mit Schotter- oberbau	./.	a.) 2,5 dB b.) 4,9 dB	a) 3,4 dB b) 4,9 dB	./.	0,6 dB	./.
Kombination	./.	a) 3,0 bis 4,6 b) 6,2 bis 8,3		./.	./.	./.
a) Wirkung Brückenzuschlag b) Wirkung Körperschall						

Tab. 26: Zusammenstellung der Minderungspotenziale von Brückenmaßnahmen

Eine vergleichende Kosten-Wirksamkeit-Abwägung der erprobten Minderungsmaßnahmen auf Basis der Erstellungskosten kann wegen der nicht vergleichbaren Kostenanteile nicht aussagekräftig vorgenommen werden. Es zeigt sich, dass bei direkt befahrenen Stahlbrücken der Einbau hochelastischer Schienenbefestigungen, ggf. in Kombination mit einer elastischen Lagerung der Brückenabdeckung, und bei Stahlbrücken mit Schotteroberbau die Kombination von „Besohnten Schwellen“ mit Brückendämpfern eine wahrnehmbare Minderung ergeben. Bei korrekter Anpassung können aber auch die Brückendämpfer allein eine deutliche Reduktion des Brückendröhnens Verhältnis ergeben.

3.4.6. Anwendungsentscheidung

Für direkt befahrene Stahlbrücken wird eine Anerkennung hochelastischer Schienenbefestigungen und die lärmarme Brückenabdeckung nach Schall 03 [2012] verfolgt. Bei Stahlbrücken mit Schotteroberbau sollen die „Besohnten Schwellen“ und Brückendämpfer anerkannt werden. In beiden Fällen ist die Wirkung auf den Luftschall/Brückenzuschlag relevant.

Inwiefern der Korrekturwert zukünftig auf einen Wert höher als 6 dB angesetzt werden kann, kann erst nach dem vollständigen Umbau der Brücken (d. h. auch der elastischen Lagerung der Schienenauszüge) bestimmt werden.

3.5. Reibmodifikator für Gleisbremsen

3.5.1. Technik und Funktionsweisen

Bei der Zugbildung in Rangierbahnhöfen werden Güterwagen über einen Ablaufberg abgedrückt und in ihre verschiedenen Richtungsgleise geleitet. Dabei wird die Geschwindigkeit der ablaufenden Wagen durch sogenannte Balkengleisbremsen, die auf den Radkranz der ablaufenden Wagen wirken, so herabgesetzt, dass beim Auflaufen auf die bereits im Richtungsgleis stehenden Wagen kein Schaden entstehen kann. Zum Angleichen der unterschiedlichen Wagengeschwindigkeiten beim Einlauf in die einzelnen Richtungsgleise dient am Ablaufberg des Rbf. Nürnberg eine insgesamt durchzulaufende Bremsstaffel aus Berg-, Tal- und Richtungsgleisbremse. Ein Ablaufsteuerrechner steuert diese hydraulisch betriebenen Backengleisbremsen anhand der Ablaufdaten jeweils so, dass durch die Bremse die errechnete Soll-Ablaufgeschwindigkeit eingeregelt wird.

Beim Bremsvorgang entstehen hochfrequente Quietschgeräusche, die am Ablaufberg Spitzenwerte von über 120 dB erreichen können und auch von entfernter wohnenden Anliegern als besonders lästig empfunden werden.

Mit Hilfe eines neuartigen Systems wird jeder fünfte Radkranz der durchlaufenden Wagen mit einem als „Friction Modifier“ wirkenden Schmiermittel versehen und damit das Reibverhalten zwischen Rad und Gleisbremse so verändert, dass eine für den Menschen deutlich hörbare Verminderung des Quietschgeräusches erreicht wird.

Der Zuschlag auf den Mittelungspegel für Gleisbremsen in Ablaufbergen beträgt nach Schall 03 [2012] je nach Bauart der Gleisbremse 3 bzw. 8 dB für die Lästigkeit.

Im Rahmen der Erprobung wurden insgesamt 14 Anlagen zum Aufbringen des Reibmittels (Friction-Modifier) vor den Berg-, Tal- und Richtungsgleisbremsen am Ablaufberg eingebaut.



Bild 14: Gleisharfe Rbf Nürnberg

Quelle: maps.google.de

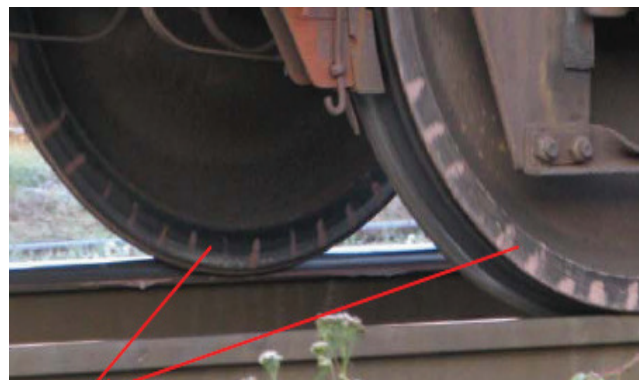


Bild 15: Reibmittel auf Innen- und Außenseite des Radkranzes

Quelle: DB Netz AG, LeDosquet



Bild 16: An den Rbf herangewachsene Bebauung
Quelle: DB Netz AG



Bild 17: Konditioniereinrichtung Rbf Nürnberg
Quelle: DB Netz AG, LeDosquet

3.5.2. Akustische Wirkung

Die akustische Wirkung der Maßnahme wurde für die Bergbremse und die Talbremse nachgewiesen. Bei Berg- und Talbremse lagen bei Vor- und Nachmessungen gleiche Ein- und Ausfahrtgeschwindigkeiten vor, d. h. die Gleisbremsanlage war auch mit Schmierung auf den normalen Betriebszustand eingestellt.

	Anzahl der gemessenen Ereignisse	Mittlere Einlaufgeschwindigkeit	Mittlere Auslaufgeschwindigkeit	Spitzenpegel p_{AFmax} 7,5 m im Abstand von 7,5 m	Mittelungspegel	Quietschhäufigkeit	Minderung Differenz der Mittelungspegel
Bergbremse	Anzahl	m/s	m/s	dB	dB	%	dB
Vormessung	461	7,3	6,8	129,9	74,4	15	3,1
Effektmessung	696	7,3	6,7	130,4	71,3	5	
Talbremse	Anzahl	m/s	m/s	dB	dB	%	dB
Vormessung	423	7,4	5,1	129,4	84,1	50	8,0
Effektmessung	789	7,4	5	132,1	76,1	10	

Tab. 27: Zusammenfassung der Messergebnisse der Nachweismessung zu Einzelmaßnahme Nr. 42.

Die Spitzenpegel der Quietschereignisse betragen 7,5 m seitlich etwa 130 dB. Für die Bergbremse mit weniger Quietschereignissen wurde der Anteil von 15 % auf 5 %, der Mittelungspegel um 3,1 dB reduziert. Für die Talbremse wurden die Quietschereignisse von 50 % auf 10 %, der Mittelungspegel um 8,0 dB reduziert.

Bilder 18 und 19 zeigen beispielhaft Histogramme mit der Max-Pegelverteilung zu den Ergebnissen der Vor- und Nachmessung für die Talbremse. Der Effekt der Minderungsmaßnahme ist deutlich erkennbar: die Anzahl der Spitzenpegel > 100 dB ist bei der Nachmessung im Vergleich zu der Vormessung ohne Schmierung der Talbremse deutlich geringer. Die Quietschhäufigkeit wurde von 50 % der Einzelereignisse auf 10 %, d. h. 1 von 10 Bremsvorgängen reduziert.

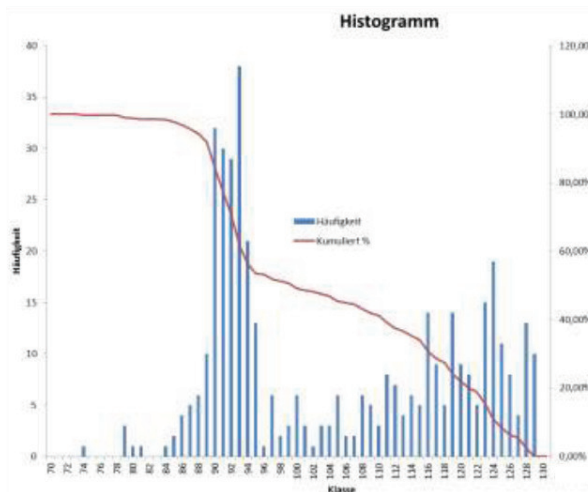


Bild 18: Histogramm (blau) und kumulierte Häufigkeitsverteilung der max-Pegel vor Einbau des Reibmodifikators

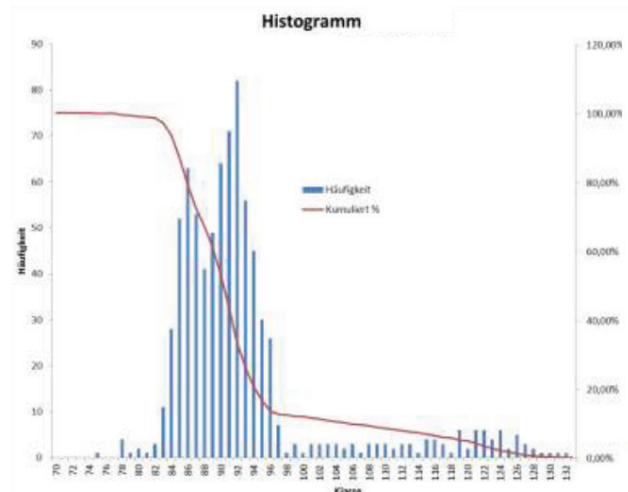


Bild 19: Histogramm (blau) und kumulierte Häufigkeitsverteilung der max-Pegel nach aktivieren des Reibmodifikators für die Gleisbremsen

3.5.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Die seit Einbauzeitpunkt Sept./Okt. 2011 an allen Gleisbremsen am Ablaufberg eingebauten 14 Anlagen zeigen eine durchgängige Zuverlässigkeit ohne Ausfallerscheinungen. Das Temperaturspektrum einschl. einer durchgängigen Frostperiode innerhalb der vergangenen 6 Monate wurde von den Anlagen problemlos bewältigt.

Für die Außendienstmitarbeiter einschließlich Rangierer sind keine zusätzlichen Arbeitsanweisungen zum Arbeitsschutz erforderlich. Die Standorte der Konditionierungsbehälter sind durch Signalbänder kenntlich gemacht.

Die Konditionieranlagen haben keinen Einfluss auf die Signalanlagen.

Reaktionen Bevölkerung

Seitens der Anwohner und dem lokalen politischen Umfeld wurde der Einbau der 14 Konditionieranlagen begrüßt.

3.5.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Erstellungskosten betrugen 2.1 Mio. EUR. Insgesamt wurden 14 Bremseinheiten im Rbf (Rangierbahnhof) Nürnberg bestückt. Als Durchschnittswert ergeben sich somit spezifische Kosten von 14,9 TEUR / Bremseinheit und Jahr bei einer kalkulierten Nutzungsdauer (bilanziell) von 10 Jahren.

Betriebskosten

Für 14 Anlagen fallen Betriebs- und Instandhaltungskosten in Höhe von 100 TEUR jährlich an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Siehe Absatz zu Betriebskosten.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

Bei dem in Ablaufanlagen häufiger vorkommenden Wechsel von Schienen und Schwellen müssen betroffenen Anlagen ausgebaut und wieder eingebaut werden.

3.5.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Anzahl der Anlagen	Erstellungskosten	Erstellungskosten je Anlage	Bilanz. Nutzungsdauer	Jähl. kosten pro Anlage (Erstellungskosten)	Jähl. Betriebs und IH-kosten pro Anlage	Jähl. IH-Erschwernisse pro km	Jähl. Gesamtkosten pro km	Minde-rungs-beitrag
	Anzahl	[TEUR]	[TEUR / Anlage]	[Jahre]	[TEUR / Anlage]	[TEUR / Anlage a]	[TEUR / Anlage a]	[TEUR / Anlage a]	[dB]
Reib-modi-fikator	14	2.091,0	149,4	10	14,9	7,1	Nicht bewertet	22,0	8

Tab. 28: Übersicht Kosten-Wirksamkeit der Technologie Reibmodifikator an Gleisbremsen

3.5.6. Anwendungsentscheidung

Die Technologie Reibmodifikation ist anwendungsreif, die Anerkennung soll mit dem Ziel beantragt werden, bei schalltechnischen Untersuchungen keine Zuschläge für das Bremsenquietschen in Ansatz zu bringen. Hierdurch werden die Kosten für Lärmschutzmaßnahmen beim Neubau und wesentlicher Änderung gesenkt und Bebauungsmöglichkeiten in der Umgebung von Ablaufanlagen verbessert. Weiter wird auch ein Beitrag zum Arbeitsschutz für die Beschäftigten in Rangieranlagen geleistet, die entsprechend geringeren Lärmimmissionen am Arbeitsplatz ausgesetzt sind.

3.6. Niedrige Schallschutzwände (nSSW)

3.6.1. Technik

Bei niedrigen Schallschutzwänden (nSSW) handelt es sich um Schallschutzwände in einer Höhe von 55 cm bzw. 74 cm über Schienenoberkante¹¹, die aufgrund ihrer Höhe in einem Abstand von 1,75 m zur Gleisachse angeordnet werden können. Die nSSW nutzen den Regellichtraum nach EBO, um durch die größere Nähe zur Emissionsquelle eine bessere Wirkung zu erzielen als gleich hohe Wände im Regelabstand. Transporte mit überbreiten Gütern (Transporte mit Lademaßüberschreitungen) sind bei nSSW mit einer Höhe von 55 cm über SO nur eingeschränkt, bei einer Höhe von 74 cm über SO nicht mehr möglich. Deshalb wurden auch klapp- oder schwenkbare Konstruktionen entwickelt und erprobt.

Niedrige Schallschutzwände können dennoch künftig ein wichtiger Baustein des Schallschutzes werden und dort zum Einsatz kommen, wo heute aus städtebaulichen und Denkmalschutzgründen oder wegen des Landschaftsbildes und ihre Zerschneidungseffekte keine hohen Schallschutzwände errichtet werden dürfen. Die nSSW tragen an diesen Stellen zu einem bislang nicht möglichen Schutz des Außenbereichs der anliegenden Bebauung bei, auch wenn sie die Wirkung hoher Wände nicht erreichen.

Da für die Bauart nSSW keine Standardlösungen vorlagen, wurde ein Präqualifikationsverfahren der Ausschreibung vorgeschaltet, um unterschiedliche konstruktive Lösungen in die in situ-Erprobung einzubeziehen. Hierbei wurden aus 14 Angeboten folgende 7 unterschiedliche Ausführungen für 9 Standorte entwickelt.

¹¹ Alle Höhenangaben im Unterkapitel 3.6 beziehen sich auf die Schienenoberkante

Nr.	Ort	Technik	Länge [km]	Höhe [cm]
30	Ludwigshafen BASF Terminal	Gabione mit rutschfestem Belag	1,235	74
53	Mannheim-Neuostheim	Konkaves Lärmschutzelement an Stahlkonstruktion auf Rammpfahl und Kragarm	0,500	55
58	Oberwesel	Geneigte Stahlkassette auf Stahlbetonfundament	0,340	55
59	Bingen	Betonfertigteil (Z-bloc) mit zusätzl. Absorberflächen auf Feldseite	0,300	55
62	Osterspai	Geneigte Stahlkassette auf Stahlbetonfundament und Kragarm	0,580	55
63	Garßen	Betonfertigteil (Z-bloc) mit zusätzl. Absorberflächen auf Feldseite	0,300	74
64	Bonn - Südstadt (Bad Godesberg)	Gabionentechnik, mit rutschfestem Belag	0,536	55
65	Rhöndorf	Stahlkonstruktion, kippbar	0,300	55
66	Köln-Kalk	Stahlkonstruktion, schwenkbar	0,446	74
Gesamtlänge			4,537	

Tab. 29: Maßnahmenübersicht der Technologie nSSW



Bild 20: nSSW in Oberwesel

Quelle: DB Netz AG LeDosquet



Bild 21: nSSW Bonn Südstadt

Quelle: DB Netz AG LeDosquet



Bild 22: nSSW in Mannheim Neuostheim

Quelle: DB Netz AG LeDosquet



Bild 23: nSSW in Ludwigshafen

Quelle: LeDosquet



Bild 24: nSSW in Köln-Kalk

Quelle: DB Netz AG LeDosquet



Bild 25: nSSW in Bingen

Quelle: LeDosquet



Bild 26: nSSW in Garßen

Quelle: DB Netz AG LeDosquet



Bild 27: nSSW Osterspai

Quelle: DB Netz AG LeDosquet

Von den 9 Maßnahmen wurden bis zum 31.12.2011 6 fertig gestellt, Oberwesel, Rhöndorf und Osterspai wurden im 1. Halbjahr 2012 realisiert.

3.6.2. Ermittelte Akustische Wirkung

An allen Messorten wurden Messungen zur akustischen Wirksamkeit durchgeführt. Diese sind i.d.R. vergleichende Vorher- und Nachhermessungen zur Ermittlung der Einfügungsdämmung der nSSW. Bei der Maßnahme Ludwigshafen – BASF konnte aufgrund der günstigen Lage und der Eingleisigkeit der Strecke ein direkter Vergleich an einem einseitig mit der nSSW versehenen Querschnitt der Seite mit nSSW zur gegenüberliegenden Seite ohne nSSW stattfinden.

Da die nSSW an allen Messquerschnitten einseitig eingebaut wurden, konnte an den Messorten an mehrgleisigen Strecken die Wirksamkeit für ein wandnahe Gleis und ein wandfernes Gleis unterschieden werden.

Es lagen bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung die Ergebnisse von 8 Messorten vor. Das noch ausstehende Messergebnis der Maßnahme in Rhöndorf wird die durchschnittlichen Pegelminderungen nicht mehr beeinflussen.

Die durchschnittliche Pegelminderung durch die nSSW beträgt an den unterschiedlichen Mikrofonpositionen für das wandnahe Gleis:

Messpunkt (Immissionsort) Abstand [m]	25	25	25
Messpunkt (Immissionsort) Höhe über Schienenoberkante [m]	3,5	6,3	9,1
nSSW mit Wandhöhe 74 cm (wandnahe Gleis)			
Pegelminderung NV/IC/ICE [dB]	7	6	5
Pegelminderung GZ [dB]	5	4	3
nSSW mit Wandhöhe 74 cm (wandfernes Gleis)			
Pegelminderung NV/IC/ICE [dB]	4	1	0
Pegelminderung GZ [dB]	4	1	0

Tab. 30: Pegelminderung nSSW h = 74 cm

Messpunkt (Immissionsort) Abstand [m]	25	25	25
Messpunkt (Immissionsort) Höhe über Schienenoberkante [m]	3,5	6,3	9,1
nSSW mit Wandhöhe 55 cm (wandnahes Gleis)			
Pegelminderung NV/IC/ICE [dB]	2	2	2
Pegelminderung GZ [dB]	3	2	2
nSSW mit Wandhöhe 55 cm (wandfernes Gleis)			
Pegelminderung NV/IC/ICE [dB]	2	1	0
Pegelminderung GZ [dB]	1	0	0

Tab. 31: Pegelminderung nSSW h = 55 cm

Die spektrale Betrachtung zeigt wie auch bei einer herkömmlichen SSW eine zunehmende Abschirmung mit höheren Frequenzen. Unterschiede durch konstruktiv unterschiedliche Ausführungen der einzelnen Bauarten, z.B. durch die absorbierende Gestaltung auf der gleiszugewandten Seite oder bei Mannheim Neuostheim die spezielle Ausformung zur Lenkung von Reflexionen ins Schotterbett, konnten nicht signifikant festgestellt werden.

Lediglich bei den Maßnahmen Mannheim Neuostheim, Köln-Kalk, Oberwesel und Osterspai treten konstruktionsbedingte Undichtheiten an Elementanschlüssen und an der Abdichtung zum Schotterbett auf. Die bisherigen Messergebnisse lassen hierzu jedoch keine eindeutige Interpretation hinsichtlich einer verminderten Wirksamkeit aufgrund dieser Anschlüsse zu.

Bei einer zweigleisigen Strecke ist in der Summe der Geräuscheinwirkungen aus beiden Gleisen eine geringere Wirksamkeit erzielbar als an einer eingleisigen Strecke. Durch eine Anordnung der nSSW zwischen den einzelnen Gleisen kann bei Neubaumaßnahmen die Minderungswirkung „wandnahes Gleis“ genutzt werden kann. Hierfür muss ggf. in der Planung auf ausreichenden Gleisabstand respektive das freizuhaltende Lichtraumprofil geachtet werden.

Theoretisch kann aber bei einer zweigleisigen Strecke durch eine beidseitige Anordnung der nSSW beidseitig die gleiche Wirksamkeit erzielt werden. Bei einer zusätzlichen nSSW-Mittelwand erhöht sich die Wirkung um 2 dB.

Messpunkt (Immissionsort) Abstand in [m]	25	25	25
Messpunkt (Immissionsort) Höhe über Gleisoberkante [m]	3,5	6,3	9,1
nSSW, 74 cm			
Pegelminderung GZ und PZ wandnahes Gleis [dB]	6	5	4
Pegelminderung GZ und PZ wandnahes und wandfernes Gleis [dB]	5	2	2
nSSW, 55 cm			
Pegelminderung GZ wandnahes Gleis [dB]	3	2	2
Pegelminderung GZ wandnahes und wandfernes Gleis [dB]	2	2	1
SSW, 200 cm (Referenzwand)			
Pegelminderung GZ wandnahes Gleis [dB]	10	9	7
Pegelminderung GZ wandnahes und wandfernes Gleis [dB]	8	7	5

Tab. 32: Vergleich der Wirkung von nSSW und SSW auf den Mittelungspegel für wandnahe Gleise und in der Gesamtbewertung bei zweigleisigen Strecken

Neben der Anwendung der nSSW als alleinige aktive Schallschutzmaßnahme kommt die nSSW sowohl in Kombination mit anderen innovativen Maßnahmen als auch in Kombination mit einer herkömmlichen SSW,, z.B. bei mehrgleisigen Strecken als Mittelwand, in Betracht.

3.6.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Aus Gründen der Arbeitssicherheit sind Gleisbegehungen nur unter Sperrung der Strecke möglich.

3.6.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Für die zum Berichtszeitpunkt noch nicht abgeschlossenen Baumaßnahmen werden im Folgenden die prognostizierten Erstellungskosten bewertet.

Als Erstellungskosten werden für nSSW mit einer Höhe

- von 55 cm über SO = 3,4 Mio. EUR und
- von 74 cm über SO = 2,4 Mio. EUR

in Ansatz gebracht. Die Gesamtsumme beträgt somit 5,8 Mio. EUR.

Kosten Betriebserprobung

Für alle Bauarten der nSSW fallen nachlaufende Kosten aus EBA-Auflagen für Sonderinspektionen, Bauteilversuche, Druck-/Sogmessungen und Messungen zur Lagestabilität an. Die Kosten hierfür werden bis Ende 2014 insgesamt etwa 800 TEUR betragen. Da sie der Entwicklung der Technologie zu zurechnen sind und im Regelbetrieb nicht mehr anfallen werden, gehen diese Kosten nicht in die Kosten-Wirksamkeit-Abwägung ein.

Instandhaltungskosten der Technologie

Die Instandhaltungskosten für nSSW sind noch nicht ermittelt.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

Bei IH-Maßnahmen, wie Gleiserneuerungen, Bettungsreinigungen, Gleisstopf- und -richtarbeiten, Schienenbearbeitung, Schienenwechsel und Schwellenwechsel treten wegen eingeschränkter Arbeitsräume verfahrensbezogene Einschränkungen auf, die zu zusätzlichen vorbereitenden Arbeiten oder geringerem Arbeitsfortschritt führen und Erschwernissen etwa beim Ein- und Ausfädeln der Umbauzüge mit sich bringen. Es fallen somit zusätzliche Kosten an, zu denen noch keine Erfahrungswerte vorliegen.

Bei Inspektionen wie Gleisbegehung oder Handarbeiten in Gleisen ist mit erhöhtem Aufwand wegen längerer Räumzeiten zu rechnen.

3.6.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Wandhöhe	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. Kosten pro km (Erstellungskosten)	Gesamtfläche	Järl. Kosten pro m²	Minde-rungs-beitrag wandnah
	[km]	[m]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[m²]	[TEUR / m² a]	[dB]
(nSSW)	2,3	0,55	2.821,0	1.226,5	25	49,1	1.265	0,09	3

Tab. 33: Kosten-Wirksamkeit-Abwägung nSSW (ohne kippbare), Höhe: 55 cm über SO

Bezeichnung	Gesamtlänge	Wandhöhe	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. Kosten pro km (Erstellungskosten)	Gesamtfläche	Järl. Kosten pro m²	Minde-rungs-beitrag wandnah
	[km]	[m]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[m²]	[TEUR / m² a]	[dB]
(nSSW)	1,5	0,74	1.728,0	1.152,0	25	46,1	1.110	0,06	6

Tab. 34: Kosten-Wirksamkeit-Abwägung nSSW (ohne schwenkbare), Höhe: 74 cm über SO

Bezeichnung	Gesamtlänge	Wandhöhe	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. Kosten pro km (Erstellungskosten)	Gesamtfläche	Järl. Kosten pro m²	Minde-rungs-beitrag wandnah
	[km]	[m]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[m²]	[TEUR / m² a]	[dB]
(nSSW)	0,3	0,55	570,0	1.900,0	25	76,0	165	0,14	3

Tab. 35: Kosten-Wirksamkeit-Abwägung kippbare nSSW, Höhe: 55 cm über SO

Bezeichnung	Gesamtlänge	Wandhöhe	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. Kosten pro km (Erstellungskosten)	Gesamtfläche	Järl. Kosten pro m²	Minde-rungs-beitrag wandnah
	[km]	[m]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[m²]	[TEUR / m² a]	[dB]
(nSSW)	0,4	0,74	660,5	1.651,3	25	66,1	296	0,08	6

Tab. 36: Kosten-Wirksamkeit-Abwägung schwenkbare nSSW, Höhe: 74 cm über SO

Die dargestellten spezifischen Kostenunterschiede sind durch die unterschiedlichen Konstruktionen der nSSW begründet. Bei den nSSW als Z-bloc ergaben sich Kosten in Höhe von 1.793,3 TEUR / km für die 74 cm hohe und von 1.626,7 TEUR für die 55 cm hohe Wand.

3.6.6. Anwendungsentscheidung

Ziel der Entwicklung von nSSW-Systemen war es, an den Stellen, an denen aus Denkmal- und Landschaftsschutzgründen sowie wegen der städtebaulichen und topographischen Situation keine herkömmlichen Schallschutzwände errichtet werden können, einen Beitrag zum Schutz des Außenbereichs zu leisten. Beim Neubau oder wesentlichen Änderung des Schienenweges können nSSW, auch in Kombination mit anderen Maßnahmen an der Quelle (SSD, SSA und HSG), eine nennenswerte Lärminderung ergeben. Auch in Kombination mit herkömmlichen SSW kommen nSSW in Betracht, wenn zwischen den Gleisen Platz für eine Mittelwand geschaffen werden kann. Die Maßnahme nSSW wirkt insbesondere, wenn das emittierende Gleis in Dammlage und damit oberhalb der zu schützenden Objekte liegt.

Einige der erprobten Bauarten sind in Bezug auf ihre Schutzwirkung noch verbesserungsfähig. Weiter besteht Optimierungsbedarf für nSSW an Strecken, auf denen häufiger Transporte mit Lademaßüberschreitungen durchgeführt werden. Die nSSW werden in das Regelwerk überführt.

3.7. High speed Grinding (HSG) (Hochgeschwindigkeitsschleifen)

3.7.1. Technik

High Speed Grinding ist ein seit 2008 bei der DB Netz AG eingesetztes Schienenschleifverfahren zur präventiven Schieneninstandhaltung. Die mit diesem Verfahren erreichbare hohe Arbeitsgeschwindigkeit zwischen 70 und 80 km/h erlaubt den Einsatz des Schleifzuges im Rahmen eines regulären Fahrplans als Zugfahrt ohne Sperrung der Gleise, was bei den herkömmlichen Verfahren erforderlich ist.

Bedingt durch die hohe Arbeitsgeschwindigkeit wird bei jeder Behandlung ein Abrieb von etwa 0,1 mm erreicht. Je Behandlung werden in der Regel 3 Überfahrten durchgeführt. Der geringe Abtrag bedeutet, dass eine verfahrensbedingte Behandlung der Gleise zwischen 2- und 3mal im Jahr erfolgen muss, wodurch eine ständige glatte Fahrfläche gewährleistet ist. Unebenheiten auf der Fahrfläche wie Riffeln können nicht entstehen.

Der Zustand der Schienenfahrfläche hat erheblichen Einfluss auf die Schallabstrahlung des Fahrweges. Bei Berechnung der Lärmimmissionen nach Schall 03 [1990] wird von einem durchschnittlichen „Betriebszustand“ des Gleises ausgegangen, der durch den sogenannten Grundwert von 51 dB beschrieben ist. Dieser Grundwert wird über die Zeitachse als der im Mittel auftretende Gleiszustand betrachtet. Mit dem Verfahren „Besonders überwachtes Gleis (BüG)“ wird nach Verfügung des Eisenbahn-Bundesamtes vom 16.03.1998 -Pr 1110 Rap/Rau 98 - die Möglichkeit eröffnet, bei schalltechnischen Berechnungen einen Abschlag von 3 dB als Korrekturwert anzuwenden. Bedingung hierbei ist, dass der betreffende Gleisabschnitt nach einem in dieser Verfügung beschriebenen Verfahren mit dem Schallmesswagen (SMW) überwacht und bei Erreichen des Grundwertes mit einem festgelegten Schleifverfahren behandelt wird, um den akustischen Schienenzustand mit dem Grundwert inkl. Korrektur Fahrflächenzustand von 48 dB im zeitlichen Durchschnitt dauerhaft sicherzustellen. Das bedeutet, dass sich der Fahrflächenzustand im Verlauf einer Periode zwischen zwei Schleifmaßnahmen von einem unteren Wert von 45 dB bis zum oberen Wert von 51 dB entwickelt (siehe Bild 28). Das vorgeschriebene Schleifverfahren wird am Markt nur von einem Anbieter vorgehalten.

Ziel der Erprobungsmaßnahme Nr. 41 war es, nachzuweisen, dass die dem BüG entsprechende akustische Schienenfahrflächenqualität mit dem HSG im zeitlichen Mittel dauerhaft gewährleistet werden kann.

Prinzipskizze High Speed Grinding- und BüG-Schwankungsbereiche

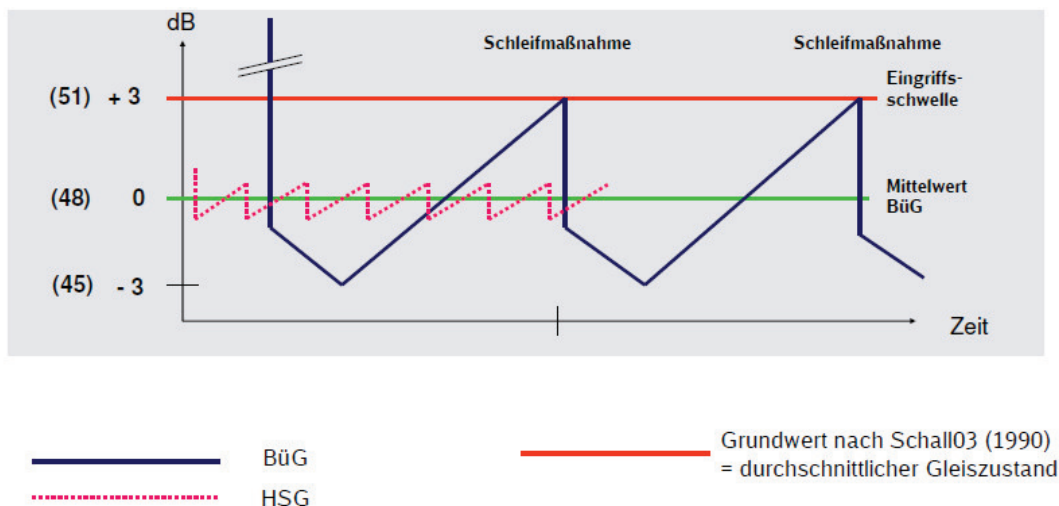


Bild 28: HSG Prinzipskizze

Im Erfolgsfall wird hiermit eine nachhaltige Lärminderung um 3 dB auf allen damit behandelten Strecken erzielt, wobei der Schwankungsbereich auf rund 49 dB als oberer Wert begrenzt ist.

Für Berechnungen nach Schall 03 [2012] ist für das Verfahren BüG ein frequenzabhängiger Abschlag für die Schienenfahrflächenqualität festgelegt. Bei den Fahrzeugarten sind die einzelnen Teilschallquellen unterschiedlich gewichtet. Dadurch wirkt sich der Abschlag für die Schienenfahrflächenqualität auf Züge mit Scheibenbremsen oder Verbundstoff-Bremssohlen stärker aus als auf Züge mit Grauguss-Bremssohlen.

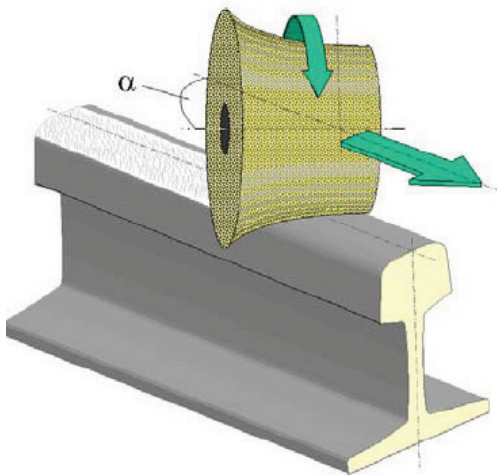


Bild 29: Wirkprinzip HSG

Quelle: Vossloh Rail Service



Bild 30: Schleifzug HSG

Quelle: Vossloh Rail Service

Zwischen Ulm und Augsburg wurden drei Versuchsabschnitte mit zusammenhängenden Teilabschnitten eingerichtet. Die Versuchabschnitte haben eine Gesamtlänge von 12,7 km. Das Arbeitsprogramm umfasste 4 Schleif- und Messzyklen. Bei jedem Schleifzyklus fanden 3 zusammenhängende Schleiffahrten auf den Versuchsstreckenabschnitten statt. Für die Schleifzyklen 1, 2 und 4 wurden auf den Schleifkörper mit der Körnung „grob-mittelfein-mittelfein“ und für Schleifzyklus 3 die Körnung „mittelfein-mittelfein-sehr fein“ eingesetzt.

3.7.2. Akustische Wirkung

Die akustische Wirkung des HSG wurde mit dem Schallmesswagen mehrfach innerhalb einer Zeitspanne von 1,5 Jahren messtechnisch geprüft. Hiermit ist direkt nachweisbar, ob die geforderte Fahrflächenqualität auf den Erprobungsstreckenabschnitten dauerhaft eingehalten wird.

Mit der für die Instandhaltung notwendigen Kombination der Schleifkörper grob-mittelfein-mittelfein wurde gemittelt über die Versuchsabschnitte ein Grundwert inkl. Korrektur Fahrflächenzustand von 49 dB direkt nach dem Schleifen und bis 46 dB nach einer Einfahrzeit von mehreren Wochen gemessen. Damit ist im zeitlichen Mittel ein Grundwert von 48 dB wie beim BüG, aber mit geringerer Schwankungsbreite zwischen dem oberen und unteren Werten erreicht. Es wurde gezeigt, dass das HSG dem Verfahren BüG akustisch mindestens gleichzusetzen ist.

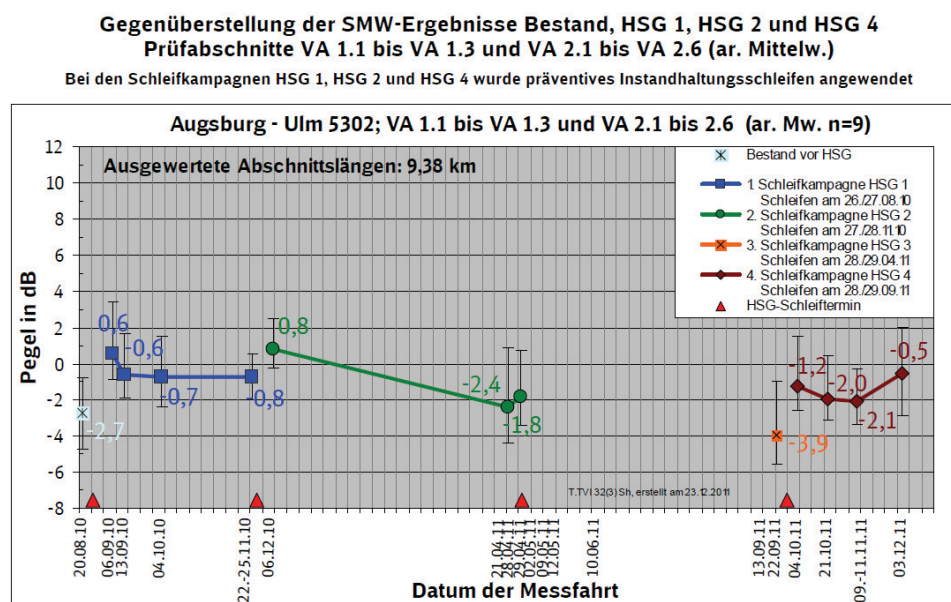


Bild 31: SMW-Werte gemittelt über die Versuchsabschnitte mit präventivem Instandhaltungsschleifen in der Körnung grob-mittelfein-mittelfein“. (0 dB entspricht einem Grundwert von 48 dB)

Gegenüberstellung aller SMW-Ergebnisse der Schleifkampagne HSG 3
vom 29.04.2011 bis 22.09.2011;
Prüfabschnitte VA 1.1 bis VA 1.3, VA 2.1 bis VA 2.6 und VA 3.1 bis VA 3.2 (ar. Mittelw.)
Bei der HSG Schleifkampagne HSG 3 eingesetzte Schleifkörper: mittelfein, mittelfein und sehr fein

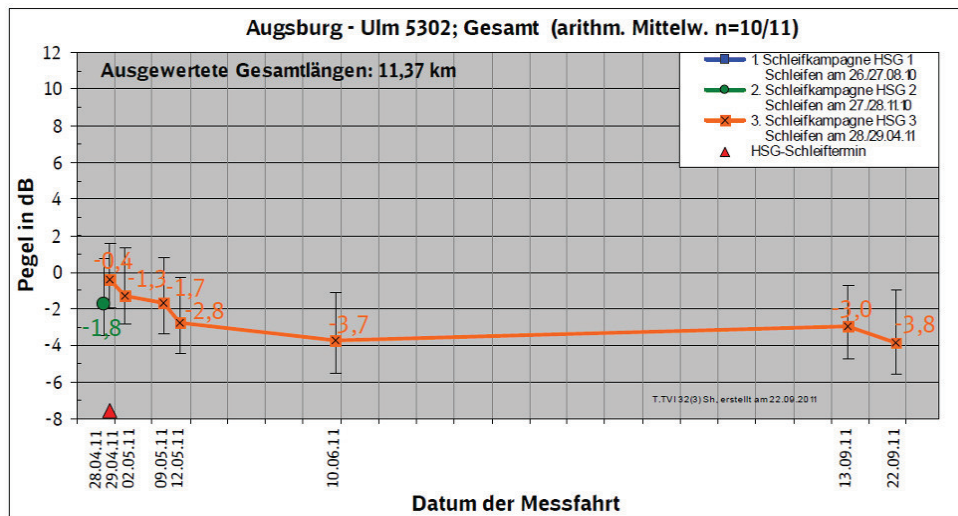


Bild 32: SMW-Werte gemittelt über die Versuchsabschnitte mit präventivem Instandhaltungsschleifen in der Körnung „mittelfein-mittelfein-sehr fein“

Bei einer Anwendung der Schleifkörper in der Kombination mittelfein-mittelfein-fein sind weitere Minderungseffekte bis auf einen Grundwert inkl. Korrektur Fahrflächenzustand von 44 dB zu erreichen.

Eine grundsätzliche Anerkennung des Verfahrens HSG in den Berechnungen nach Schall 03 [1990] und Schall 03 [2012] ist möglich. Die Verfahrensregeln bspw. zur Überwachung sind noch festzulegen.

3.7.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Das Verfahren High Speed Grinding ist ein Verfahren der präventiven Instandhaltung. Die damit verbunden positiven akustischen Effekte sind als „Zusatznutzen“ nachgewiesen.

3.7.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Erstellungskosten betrugen insgesamt 251 TEUR. In diesen Kosten sind die maßnahmenbedingten Erprobungskosten für das HSG und Begleitarbeiten enthalten. Jährlich sind in der Regel 3 Behandlungen erforderlich. Bezogen auf die 4 erfolgten Bearbeitungen ergibt sich ein Betrag von 4,9 TEUR pro km und Bearbeitung.

Betriebskosten

Bei dieser Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Zusätzliche Instandhaltungskosten infolge des HSG fallen nicht an. Durch den präventiven Charakter der IH-Maßnahme HSG ergeben sich vielmehr positive wirtschaftliche Vorteile, die hier nicht monetär bewertet werden. Eine zusätzliche Bearbeitung der Schienen beispielsweise zur Reprofilierung von Fahrkanten und Schienenkopfgeometrie ist jedoch auch bei Anwendung des HSG erforderlich.

Instandhaltungserschwernisse durch die Technologie

Instandhaltungserschwernisse sind nicht vorhanden.

3.7.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Anzahl der Bearbeitungen	Kosten pro Bearbeitung je km	Jährliche Betriebskosten pro km	Järl. IH-Erschwer-nisse pro km	Järl. Kosten pro km	Minde-rungs-beitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	Anzahl	[TEUR / km / Bearbeitung]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
High-Speed-Grinding	12,7	251,0	19,8	4	4,9	keine	Positive Effekte	14,8*	3
*Jahreskosten bei 3 Bearbeitungen jährlich									

Tab. 37: Kosten-Wirksamkeit-Abwägung der Technologie HSG

In der Regelanwendung betragen die Kosten je Bearbeitung 1,03 TEUR / km, was zu jährlichen Kosten von 3,09 TEUR / km führt.

3.7.6. Anwendungsentscheidung

Für das HSG soll eine Anerkennung als aktive Maßnahme des Lärmschutzes ausgesprochen werden, die auch auf allen bereits „BÜG-planfestgestellten Abschnitten“ gleichwertig zu dem in der o.g. EBA-Verfügung genannten Verfahren eingesetzt werden kann. Die HSG - Anwendung kommt bei Lärmvorsorge und bei Lärmsanierung in Betracht.

3.8. Unterschottermatten

3.8.1. Technik

Unterschottermatten (USM) werden in der Regel auf Brücken, Trogbauwerken, Tunneln u.s.w. unterhalb des Schotterbettes eingebaut, um die Schwingungs- und Lastübertragung auf den Untergrund zu minimieren. USM werden unter anderem in innerstädtischen Tunnelbauwerken zum Schutz von Gebäuden mit erhöhten Schutzanforderungen (z.B. schwingempfindliche Produktionsstätten, Labore, historische Bauwerke, Konzertsäle) eingesetzt. Zu USM auf Erdbauwerken liegen hinsichtlich ihres Einflusses auf Erschütterungsübertragungen keine Erkenntnisse vor.

Eine USM stellt eine dynamische Entkopplung der Schwingungen vom Schotterbett zum Untergrund dar. Auf einem Untergrund mit ähnlichen statischen und dynamischen Steifigkeiten wie die der USM werden die Schwingungen ungedämmt an den Untergrund, weitergeleitet. Wichtiger Einflussparameter ist deshalb der Untergrund auf dem die USM liegt; nur auf vergleichsweise steifem Untergrund wird eine gute Wirkung der USM erzielt. Kennzeichnende Parameter von Unterschottermatten sind die statische und dynamische Steifigkeit und das verwendete Material. Die verwendeten Materialien sind durch die statische Steifigkeit d. h. dem statischen Bettungsmodul c_{stat} und der Materialbezeichnung beschrieben.

Bei Anwendungen in Gleisen mit Schotterbett muss dafür gesorgt werden, dass der Schotter aufgrund der Schwingungen der USM bei der Zugüberfahrten nicht seitlich wegfließen kann. Anwendungen von USM sind deshalb bisher an oberirdischen Strecken auf die Verwendung in Betontrögen begrenzt. Die Kombination mit einer beidseitigen nSSW aus einer Gabione und im zweiten Fall die Kombination mit dem verschäumten Schotter vermeidet das Auseinanderfließen des Schotters.

Nr.	Ort	Gleislänge [km]	Kombination mit
30	Ludwigshafen BASF Terminal	0,1	nSSW Gabione
66	Köln-Kalk*	1,1 (2 Gleise)	Verschäumter Schotter und nSSW, „Besohlte Schwellen“
*war im Rahmen der Schotterbeschäumung erforderlich			

Tab. 38: Maßnahmenübersicht Unterschottermatten

Nr. 30: Es wurde eine weiche USM mit der statischen Steifigkeit $c_{\text{stat}}=0,03 \text{ N/mm}^3$ Material Polyurethan auf neu erstellter Planumsschutzschicht (PSS) eingebaut.

Nr. 66: Es wurde eine harte Unterschottermatte mit der statischen Steifigkeit $c_{\text{stat}}=0,12 \text{ N/mm}^3$ (Gummigranulat) zusammen mit verschäumtem Schotter und der Schwelle B320 eingesetzt.

3.8.2. Akustische Wirkung

Nr. 30: Die Wirkung der USM wurde im Vergleich mit einem Referenzgleisabschnitt bei Zugvorbeifahrten gemessen. Gleisbeschaffenheit, Geländeprofil und Untergrund waren im Referenz- und Testabschnitt ähnlich, so dass die Einfügedämmung der USM durch Erschütterungsmessungen an Test- und Referenzabschnitt bestimmt werden konnte.

Nr. 66: Der Einbau einer USM war verfahrensbedingt für die Erprobung des verschäumten Schotterbettes erforderlich. Ein Nachweis der Einfügedämmung der Unterschottermatte war nicht möglich, da der im Zusammenhang mit dem Gleisumbau erfolgte Wechsel der Schwelle B70 (287 kg) gegen die breitere Schwelle B320 (375 kg) ebenfalls Einfluss auf die Erschütterungen hat. Deshalb konnte hier nur der Einfluss der Schotterverschäumung auf die Erschütterungen durch eine Vorher/Nachher - Messung bestimmt werden. Dies wird in Kapitel 3.3 behandelt und an dieser Stelle nicht weiterverfolgt.

Die akustische Wirkung der Unterschottermatte ist ihre sogenannte Einfügedämmung für die vertikale Schwingungskomponente, die im Frequenzbereich 4 Hz bis 200 Hz in 9,5 m und 16 m seitlich des Gleises bei der Maßnahme 30 gemessen wurde (s. Bild 33).

Einfügedämmung der Unterschottermatte: Pegeldifferenz Referenz - Testabschnitt

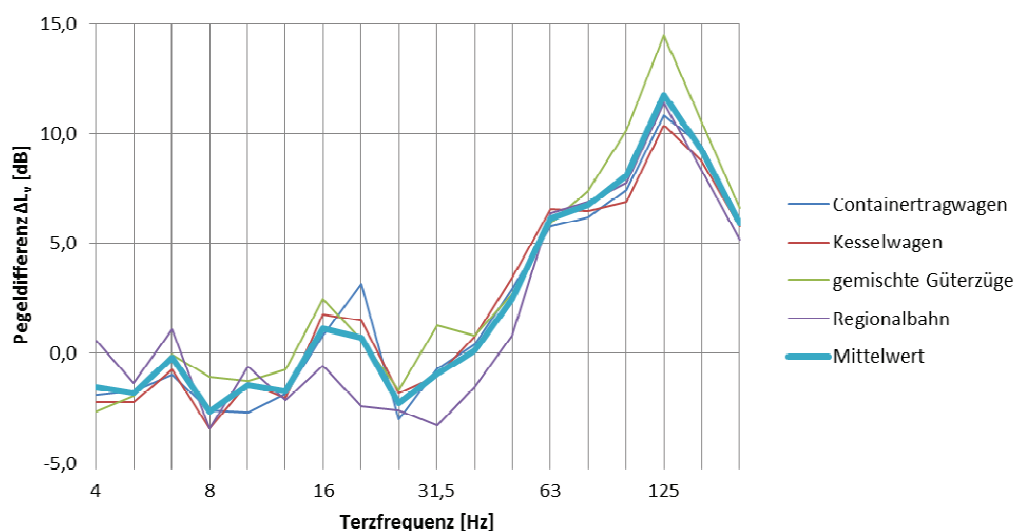


Bild 33: Einfügedämmung der Unterschottermatte im Frequenzbereich 4 Hz bis 200 Hz, gemessen in 9,5 m seitlich Gleismitte. Positive Werte bedeuten eine Erschütterungsminderung, negative Werte eine Zunahme der Erschütterungen.

Quelle: Messbericht Deltarail/12/110521/003. Effektmessung zu der Einzelmaßnahme Nr. 30.

Gemäß Bild 33 nehmen die Erschütterungen bei den gemessenen Zugarten beim Einsatz dieser USM für Frequenzen größer 40 Hz ab da die Einfügungsdämmung über den Wert 0 steigt. Für Frequenzen kleiner 40 Hz ist die Erschütterungsminderung bei den gemessenen Zugarten nicht einheitlich. Mit Ausnahme der Frequenzen 16 und 20 Hz (Schwellenfrequenz) nehmen die Erschütterungen eher zu. In diesem Fall ergibt sich eine gute Wirksamkeit der USM für den sekundären Luftschall (≥ 40 Hz), während sich für die Erschütterungen (< 40 Hz) eher eine Erhöhungen ergeben kann.

3.8.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

USM bewirken ein Verlängern des Intervalls von Gleis- und Weichendurcharbeitung.

3.8.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Erstellungskosten für die Maßnahme 30 betragen 141 TEUR. Hiermit sind nur die Kosten für das Ausbringen der USM erfasst, da die Maßnahme im Zusammenhang mit der anstehenden Oberbauerneuerung durchgeführt wurde. Für die Maßnahme 66 sind die Kosten in die der Schotterverschäumung eingerechnet.

Betriebskosten

Für die Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Für die Technologie sind keine Instandhaltungskosten bekannt.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

Höherer Aufwand bei Bettungsreinigungen möglich, ansonsten positive Effekte durch Verlängerung von Instandhaltungsintervallen.

3.8.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Jähr. kosten pro km (Erstellungskosten)	Jähr. IH-Kosten pro km	Jähr. IH-Erschwer-nisse pro km	Jähr. Gesamtkosten pro km	Minde-rungs-beitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
Unter-schotter-matte Maßn. 30	0,1	141,0	1.410,0	26	54,2	Keine	Positive Effekte erwartet	54,2	Ja (Körperschall)

Tab. 39: Kosten-Wirksamkeit-Abwägung der Technologie USM

3.8.6. Anwendungsentscheidung

Für eine Anwendung von USM zur Minderung von Erschütterungen liegen zurzeit keine hinreichend abgesicherten Erkenntnisse vor. Bei der Konstellation an den Erprobungsorten war eine relevante Wirksamkeit im für den sekundären Luftschall relevanten Frequenzbereich festzustellen. Bei genauer Kenntnis der dynamischen Steifigkeit des Untergrundes und entsprechender Abstimmung der USM kann möglicherweise eine verbesserte Einfügungsdämmung erreicht werden. Da für die Bewertung von Körperschallemissionen kein Regelwerk analog der Schall 03 vorliegt, können die Minderungseffekte jedoch nur projektbezogen im konkreten Einzelfall bewertet werden.

3.9. Besohlte Schwellen

3.9.1. Technik

Die Besohlung einer Betonschwelle besteht aus einem Kunststoffmaterial, das mit der Unterseite der Schwelle fest verbunden ist. Die Besohlungstypen unterscheiden sich durch Material und Steifigkeit. Die Steifigkeit der Besohlung wird als Bettungsmodul gemäß DIN 45673-1 angegeben.

„Besohlte Schwellen“ bewirken eine Reduzierung des Kontaktdrucks zwischen Schwelle und Schotter durch eine Vervielfachung der Auflagerpunkte. Dadurch verbessert sich die Lastverteilung und reduziert die Schotterbeanspruchung. Die Elastizität des Oberbaues wird insgesamt erhöht, die Standzeit des Schottergerüsts verlängert.

Akustisch betrachtet wird die Krafteinleitung aus den Lastwechseln, die von den Achsen der Züge bei einer Zugpassage erzeugt werden, reduziert und damit die Körperschallübertragung auf den Untergrund und die Erzeugung von sekundärem Luftschall in den angrenzenden Gebäuden gemindert.

Einsatzbereiche der „Besohnten Schwelle“ sind aus oberbautechnischer Sicht:

- Reduzierung der Schlupfwellenbildung in Gleisbögen,
- Verlängerung der Standzeit der Schotterbettung und
- Kompensation bei verminderter Schotterbettdicke.

In den Maßnahmen wurden ein harter und ein mittelweicher Besohlungstyp, d.h. eine Schwellenbesohlung mit einem höheren bzw. niedrigeren statischen und dynamischen Bettungsmodul verwendet. Die entsprechenden Veränderungen der eingeleiteten Schwingungsenergie vor bzw. nach dem Einbau der Maßnahme, d.h. das Einfügungsdämmmaß wurde jeweils spektral gemessen.

Nr.	Ort	Gleislänge [km]	Bemerkung
66	Köln-Kalk	1,8	Versch. Abschnitte
78	Berlin-Cottbus	14,9	Verschiedene Gleisabschnitte

Tab. 40: Maßnahmenübersicht „Besohlte Schwellen“

Einzelmaßnahmen sind Nr. 66: Einsatz einer harten Besohlung mit dem statischen Bettungsmodul $c_{\text{stat}}=0,25 \pm 0,03 \text{ N/mm}^3$ und Nr. 78¹²: Einsatz einer mittelsteifen Besohlung mit dem statischen Bettungsmodul $c_{\text{stat}}=0,15 \text{ bis } 0,18 \text{ N/mm}^3$.

3.9.2. Akustische Wirkung

In Köln-Kalk wurde das Einfügedämmmaß durch eine Fallschlaganregung vor- bzw. nach Einbau und einer 9-monatigen Konsolidierung der „Besohnten Schwellen“ durch den Eisenbahnbetrieb gemessen. Zusätzlich wurden die Erschütterungseinwirkungen vor bzw. nach Einbau der besohnten Schwellen bei Zugüberfahrten gemessen.

An der Strecke Berlin - Cottbus wurden Messungen an einem Test- und Referenzabschnitt nach Einbau und nach 4-monatiger Konsolidierungsphase mit den synthetischen Anregungen Fallschlag- und Rüttlerapparat sowie mit Anregung durch Zugvorbeifahrten durchgeführt.

Zu beiden Maßnahmen fand die synthetische Anregung über die Schiene statt. In diesem Anregungsfällen befindet sich die Schwellenbesohlung auf dem Ausbreitungsweg. Um den Einfluss des Oberbaues zu bestimmen, wurde zusätzlich der Schotter angeregt. In diesem Fall befindet sich die Besohlung nicht auf dem Ausbreitungsweg.

Durch die Anregung über die Ausbreitungswege Schiene-Schwelle-Schotter-Untergrund zum einen und Schotter-Untergrund zum anderen konnten Unterschiede im Schotter und Untergrund eliminiert werden. Der Einfluss Schiene-Schwelle war dadurch mit Ausnahme der Besohlung bei Vor- und Nachmessung gleich. Damit konnte die Wirkung der Besohlung bestimmt werden.

Vergleiche der Anregungen „Rüttler“ und „Fallschlagapparat“ liegen für die Maßnahme Nr. 78 vor. Die Anregung mit der Fallschlagapparat für den Messabschnitt mit der Schwellenbesohlung bei Maßnahme Nr. 66 ist vergleichbar mit den Messergebnissen zur Maßnahme 78 Strecke Berlin - Cottbus.

Ergebnisse der Messungen der Zugüberfahrten waren nur für Nr. 78 aussagekräftig, da hier an Test- und Referenzabschnitt gemessen werden konnte. Für Nr. 66 wurden Vor- und Nachmessung durchgeführt. Die aber durch veränderte Anregungen in Folge des späteren Gleisumbaus nicht vergleichbar waren. Messungen der Zugüberfahrten liefern deshalb nur Aussagen über die Höhe der Erschütterungspegel.

¹² Einbau erfolgt im Rahmen einer Bedarfsplanmaßnahme

Einzelmaßnahme Nr. 66 Köln-Kalk mit der harten Besohlung $c_{\text{stat}}=0,25 \pm 0,03 \text{ N/mm}^3$

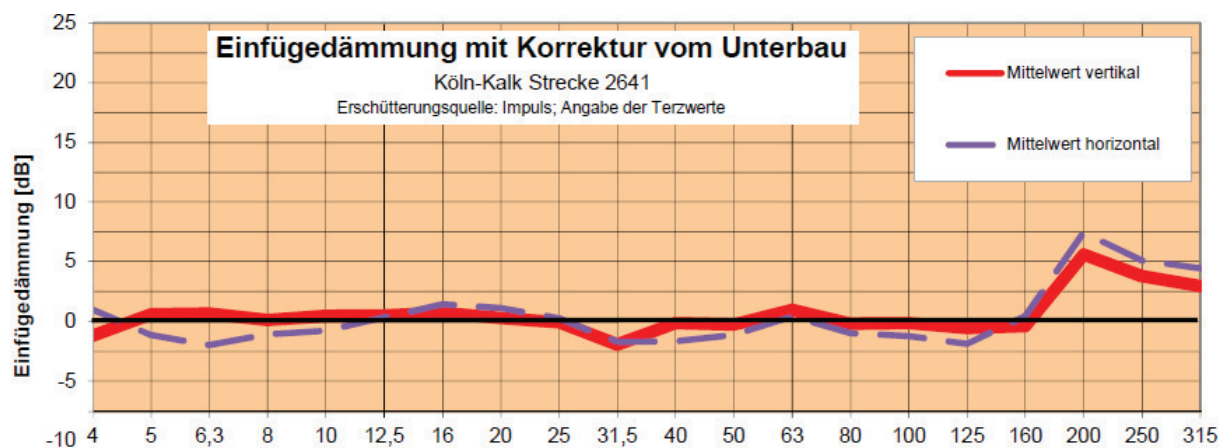


Bild 34: Einfügedämmung (in dB re $\%E-(\text{m/s})$ der harten Besohlung ($c_{\text{stat}}=0,25 \pm 0,03 \text{ N/mm}^3$) in vertikaler und lateraler Schwingrichtung zum Gleis im Frequenzbereich 4 Hz bis 315 Hz.

Quelle: Ing.-Büro Dr. Heiland,

In Bild 34 ist die Einfügedämmung der harten Besohlung, ermittelt mit der Anregungsmethode „Fallschlagapparatur“, dargestellt. Im Frequenzbereich von 4 Hz bis 160 Hz, also auch im erschütterungsrelevanten Frequenzbereich, ist der Einfluss der harten Schwellenbesohlung wirkungslos. Anregungsbedingt konnte bei dieser Messung der Einfluss der Schwellenfachfrequenz nicht ermittelt werden.

Einzelmaßnahme Nr. 78 Strecke Berlin - Cottbus mit der mittelweichen Besohlung $c_{\text{stat}}=0,15$ bis $0,18 \text{ N/mm}^3$

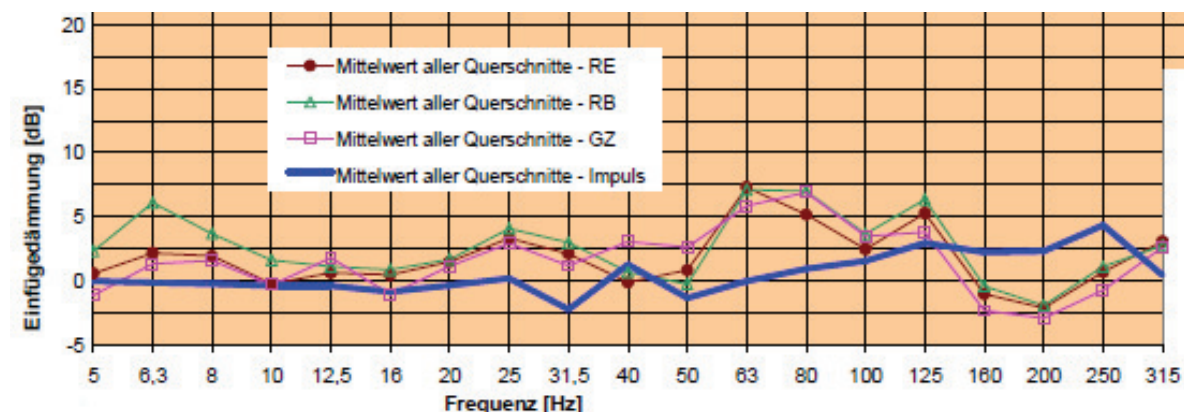


Bild 35: Einfügedämmung in dB re $5E-8 \text{ m/s}$ der mittelweichen Besohlung $c_{\text{stat}}=0,15$ bis $0,18 \text{ N/mm}^3$ in vertikaler Schwingrichtung zum Gleis im Frequenzbereich 4 Hz bis 315 Hz.

Quelle: Ing.-Büro Dr. Heiland

In Bild 35 ist die Einfügedämmung der mittelweichen Besohlung, ermittelt mit den künstlichen Anregungen „Fallschlagapparatur“ bzw. „Rüttler“ (blaue Kurve), und Zugüberfahrten (RE, RB und GZ, dünn linierte Kurven), dargestellt. Die künstliche Anregung führt in den Terzmittenfrequenzen ab ca. 80 Hz zu einer Minderung der Schwingungseinleitung zwischen ca. 2,5 dB

und 5 dB. Eine weichere Schwellenbesohlung führt bereits zu einer Minderungswirkung bei tieferen Frequenzen.

Die Messergebnisse zu den Zugüberfahrten weisen im Frequenzbereich 6,3 Hz bis 125 Hz Minderungswirkungen zwischen 2 dB und 7 dB nach; somit kann durch den Einsatz einer mittelweichen Besohlung von einer Reduzierung der Einwirkungen durch Erschütterungen und durch sekundären Luftschall ausgegangen werden. Die in den Gleiskörper dynamisch eingeleitete Schwingungsenergie kann damit durch die Schwellenbesohlung vermindert werden.

3.9.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

„Besohlte Schwellen“ sollen zu einer reduzierten Beanspruchung des Oberbaus führen.

3.9.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Erstellungskosten für die Maßnahmen 66 und 78 beliefen sich auf insgesamt 1,2 Mio. EUR. In der Maßnahme 78 (Berlin - Cottbus) sind nur die Kosten der Messungen enthalten. Der Einsatz von „Besohnten Schwellen“ im Regelbetrieb führt im Vergleich zu herkömmlichen Betonschwellen zu Mehrkosten in Höhe von 41,6 TEUR / km.

Betriebskosten

Für die Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Für die Technologie fallen keine Instandhaltungskosten an. Positive Effekte werden erwartet, weil die Bildung von Schlupfwellen vermindert werden soll.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

Für „Besohnten Schwellen“ sind keine Instandhaltungerschwernisse bekannt.

3.9.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. kosten pro km (Erstellungskosten)	Järl. IH-Kosten pro km	Järl. IH-Erschwer-nisse pro km	Järl. Gesamtkosten pro km	Minde-rungs-beitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
Besohlte Schwellen Maßn. 66	1,75	1090,2	623,0	26	24,0	Keine	Positive Effekte erwartet	24,0	Ja (Körperschall)

Tab. 41: Übersicht Kosten-Wirksamkeit-Abwägung der Technologie „Besohlte Schwellen“

3.9.6. Anwendungsentscheidung

Für eine Anwendung von besohnten Schwellen zur Minderung von Erschütterungen liegen zurzeit keine hinreichenden Erkenntnisse vor. Die Ergebnisse mit künstlicher Anregung führen für Frequenzen größer gleich 80 Hz zu einer gesicherten Körperschallminderung und damit einer Reduzierung des sekundären Luftschalls. Bei der Maßnahme 78 wurden für Zugüberfahrten mit einer mittelweichen Besohlung bereits bei niedrigen Frequenzen (ab 6,3 Hz) Minderungswirkungen von bis zu 7 dB gemessen. Besohlte Schwellen können, falls sich die Minderungseffekte bestätigen, bei Gleisumbauten in urbanen, erschütterungs-sensiblen Bereichen als Maßnahme zur Anwendung kommen.

Weitere Erkenntnisse über erschütterungsmindernde Maßnahmen werden aus dem im 7. Rahmenprogramm der EU finanzierten Projekt RIVAS (railway induced vibrations abatement solutions) erwartet.

Da für die Prognose und Bewertung von Körperschallemissionen kein Regelwerk analog der Schall 03 vorliegt, können die Minderungseffekte nur projektbezogen im konkreten Einzelfall bewertet werden.

3.10. Gabionenwände

3.10.1. Technik

Schallschutzwände an Schienenwegen bestehen heute in der Regel aus Aluminium oder aus Betonelementen. Diesen Bauarten ist gemeinsam, dass sie, in Abhängigkeit von Topographie und Bauhöhe, das städtebauliche Erscheinungsbild beeinträchtigen können – insbesondere im Fall von Graffiti vandalismus. Unter anderem wegen dieser Nachteile sind die Anwendungsmöglichkeiten eingeschränkt und die Akzeptanz bei Bürgern und Gemeinden für herkömmliche Schallschutzwände ist rückläufig.

Gabionenwände - mit Gestein befüllte Metallkörbe - sind im Landschaftsbau weit verbreitet und können durch entsprechende Auswahl der landschaftstypischen Gesteinsart und -körnung gut an das Landschaftsbild angepasst werden. Die Gabione besteht aus einem mittig angeordneten Betonkern und einer Absorbermatte ggf. auch in Kombination mit einer speziellen Lavaschüttung und der beidseitigen Steinfüllung. Ziel ist es, nachzuweisen, dass Gabionenwände gegenüber Schienenverkehrslärm die gleiche Abschirmwirkung haben wie herkömmliche Schallschutzwände, um ansprechendere und das Erscheinungsbild weniger störende Gestaltungsmöglichkeiten für die auch künftig unverzichtbaren Schallschutzwände zu haben. Neben den gestalterischen Vorteilen der Gabionenwände erfüllen diese zusätzlich auch eine naturschutzfachliche Funktion: sie stellen einen von den Naturschutzbehörden anerkannten Lebensraum für geschützte Arten, wie Reptilien dar, so dass sie naturschutzfachlich als Kompensationsmaßnahme angerechnet werden können, was die Akzeptanz dieser Bauart von SSW weiter verbessert.

Im Rahmen des Programms werden Gabionen bei den folgenden Maßnahmen eingesetzt:

- Gestufte Gabionenwand in Duisburg-Ruhrort Hafen auf einer Länge von 0,5 km (Maßnahme 18 in den Höhen 4 m und 5 m).
- Gabionenwand auf einer Länge von 0,3 km mit einer Höhe von 2 m mit dem Zusatznutzen der Einfriedung des Bahnkörpers gegen unbefugtes Betreten in Viersen - Dülken (Maßnahme 105).



Bild 36: Gabionenwand Duisburg Ruhrort-Hafen

Quelle: Foto. DB Netz AG, LeDosquet



Bild 37: Gabionenwand Dülken

Quelle: Foto: DB Netz AG, Gewehr

3.10.2. Akustische Wirkung

An den beiden Erprobungsorten wurden akustische Messungen vor Einbau und nach Einbau der Maßnahmen durchgeführt.

In Duisburg finden aufgrund der Lage am Rangierbahnhof bei der Vorher- und Nachhermessung keine vergleichbaren Zugvorbeifahrten statt. Die Messergebnisse lassen dennoch darauf schließen, dass die Abschirmung der Gabionenwand einer herkömmlichen SSW vergleichbar ist.

Bestätigt wird dies aus den Ergebnissen der Messungen in Dülken, wo „normaler“ Zugverkehr herrscht. Hier ist aus dem Vergleich von Vorher- zu Nachhermessung eine Abschirmung der Wand wie bei einer herkömmlichen Wand gleicher Höhe ableitbar.

Bei einer Regelanwendung von Gabionenwänden ist für die jeweilige Bauart der Nachweis der akustischen Anforderungen nach der Richtlinie 804.5501 „Lärmschutzanlagen an Eisenbahnen“ bezüglich Schalldämmung und Schallabsorption zu erbringen.

3.10.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Der Betonkern der Gabionenwand dient statisch nicht der Standsicherheit der Gabionenwand, sondern ausschließlich zur Minderung des Schalldurchgangs. Erste Reaktionen von Anwohnern und Medien zeigen eine hohe Akzeptanz für diese Bauweise

3.10.4. Kostenbetrachtungen

Erstellungskosten

Die Erstellungskosten für beide Wände betrugen 2,5 Mio. EUR., Die 1,00 m breite Gabionenwand in Duisburg musste auf einen durchlaufenden Kopfbalken, der abschnittsweise auf bis zu 10 m tiefen Bohrpfählen gegründet ist, errichtet werden. Die Anwendung im Böschungsbereich in Duisburg wurde bewusst ausgewählt, um auch für solche Situationen ein

Gründungsverfahren für den Einsatz einer Gabionenwand verfügbar zu haben. In den künftigen Anwendungsfällen kann auch bei reduzierten Platzverhältnissen im Böschungsbereich der Bau einer Gabionenwand erfolgen.

Betriebskosten

Für die Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Es kann davon ausgegangen werden, dass Gabionenwände eine lange Standzeit ohne Instandhaltungsbedarf erreichen. Begrünungen sind in der Regel nicht üblich, da sie der zusätzlichen Pflege bedürfen.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

Es sind keine bauartbedingten Erschwernisse zu erwarten.

3.10.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Wandhöhe	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. kosten pro km (Erstellungskosten)	Gesamtfläche	Järl. Kosten pro m ²	Minde-rungs-beitrag
	[km]	[m]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[m ²]	[TEUR / m ² a]	[dB]
Gabionen SSW Duisburg	0,5	4-5	2.091,0	4.182	25	167,3	2.298,0	0,04	Wie herkömmliche SSW
Gabionen SSW Dülken	0,3	2,0	449,0	1.496,7	25	59,9	600,0	0,03	Wie herkömmliche SSW

Tab. 42: Übersicht Kosten-Wirksamkeit der Technologie Gabionenwände

Nach den internen Kalkulationsgrundlagen der Bahn und den Kosten für die im Rahmen der Lärmsanierung erstellten Lärmschutzwände betragen die Kosten für eine 2,0 m hohe Schallschutzwand aus Aluminium bei einfachen betrieblichen Verhältnissen 650,- EUR/m². Für Wände mit einer Höhe von = 4,0 m über SO liegt der Preis bei 440 EUR/m² bei gleicher Nutzungsdauer.

Die Erstellungskosten der Gabionenwand in Duisburg liegen bezogen auf einen m² deutlich über denen in Dülken. In Duisburg schlagen die an dieser Stelle notwendigen Gründungsarbeiten zu Buche, so dass die Kosten/m² nicht vergleichbar sind.

In Anbetracht der zu erwartenden signifikant längeren Standzeiten gegenüber der angesetzten kalkulatorischen Nutzungsdauer und auch der gegenüber einer herkömmlichen Schallschutzwänden erwarteten längeren Standzeit sowie der während der Standzeit zu vernachlässigenden Instandhaltungsaufwendungen wird die Gabionenbauweise, wenn sie als Regelbauart etabliert ist, wirtschaftlich mit herkömmlichen Bauweisen konkurrenzfähig sein können.

3.10.6. Anwendungsentscheidung

Die Gabionenbauweise wird in das Technische Regelwerk der DB AG, Richtlinie 804.5501 - Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken - aufgenommen.

3.11. Beschichtete Schienen

3.11.1. Technik

3.11.1.1. Beschichtete Schienen in Gleisen

Durch einen einseitig bzw. zweiseitig beschichteten Schienensteg sollen die durch Zugüberfahrten angeregten Schienenschwingungen analog zur Technologie der Schienenstegdämpfer- / abschirmung gemindert werden, aber Vorteile in der Handhabung und bei Instandhaltungsprozessen gegenüber den SSD bieten.



Bild 38: Beschichtetes Schienenstück

Quelle: DB Netz AG, LeDosquet

3.11.1.2. Beschichtete Schienen in Weichen

Durch die Beschichtung der Schienenstege in der Weiche im Bereich des Herzstücks und der Isolierstöße sollen die Schallabstrahlung reduziert werden.

Nr.	Ort	Technik	Gleislänge [km]	Bemerkungen
79	Bremen Hemelingen	Weiche	0,2	
72	Leipzig Waldbahn	Schienensteg	2,1	
88	Gau-Algesheim	Schienensteg	0,2	Noch nicht realisiert
Summe			2,5	

Tab. 43: Maßnahmenübersicht der Technologie Beschichtete Schiene

3.11.2. Akustische Wirkung

Die akustischen Nachweismessungen fanden vor dem Einbau und nach dem Einbau der Maßnahme an dem Testabschnitt und einem unverändertem Referenzabschnitt statt. Die Minderungswirkung wird als Pegeldifferenz der Summenpegel bestimmt.

3.11.2.1. Beschichtete Schienen in Gleisen

Die Minderungswirkung der Maßnahme 72 beträgt für die verkehrenden Güterzüge 0,8 dB.

Zusätzlich wurde an diesem Messort auch eine Messung bei nur einseitiger Beschichtung der Schiene durchgeführt. Die Minderungswirkung beträgt hierbei 0,1 dB.

Die gemessene Minderungswirkung ist damit nicht größer als die Standard-Messunsicherheit aus Vorbeifahrtmessungen. Die Schienenstegbeschichtung hat also keinen signifikanten Einfluss auf die Schallemission des Gleises.

3.11.2.2. Beschichtete Schienen in Weichen

Die Minderungswirkung der Maßnahme 79 bestimmt aus den Schalldruck-Summenpegeln beträgt für die Zugarten

- - IC/EC -0,1 dB
- - RE 0,3 dB
- - GZ -0,1 dB

Gemittelt über die angegeben Zugarten hat die Schienenstegbeschichtung keinen signifikanten Einfluss auf die Schallemission der Weiche. Ein signifikanter Einfluss auf das Impulsgeräusch beim Überfahren des Herzstücks ist ebenfalls nicht erkennbar.

3.11.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Bislang keine Erkenntnisse vorliegend.

3.11.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Erstellungskosten für die Beschäumung betrugen 1,5 Mio. EUR.

Betriebskosten

Für die Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Mehrkosten entstehen für die Entfernung und Entsorgung der Beschichtungsmaterialien beim Ausbau der beschäumten Schienen. Bei Schienenwechseln muss eine erneute Beschäumung vorgenommen werden.

Instandhaltungserschwer-nisse der Technologie

Die Sichtprüfung der Schiene im Rahmen der Inspektion ist erschwert.

3.11.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Jährlich. Kosten pro km (Erstellungskosten)	Jährlich. IH-Kosten pro km	Jährlich. IH-Erschwer-nisse pro km	Jährlich. Gesamtkosten pro km	Minde-rungs-beitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
Beschichtete Schienen	2,1	1.274,0	606,7	13	46,6	Nicht bewertet		46,6	0
Beschichtete Weichen	0,2	249,0	1.245	13	95,8	Nicht bewertet		95,8	0

Tab. 44: Übersicht Kosten-Wirksamkeit der Technologie Beschichtete Schiene

3.11.6. Anwendungsentscheidung

Eine Anerkennung und Anwendung der Technologie in den Projekten der Lärmvorsorge und -sanierung wird auf Grund der bisher ermittelten geringen Wirksamkeit nicht verfolgt. Dies steht jedoch unter dem Vorbehalt der noch ausstehenden Messergebnisse in Gau-Algesheim.

3.12. Fotovoltaik (FV) auf Schallschutzwänden

3.12.1. Technik

Mit der Kombination von Fotovoltaik und Schallschutzwänden sollten Erfahrungen gewonnen werden, ob bei Schallschutzwänden entlang von Bahnstrecken ein Zusatznutzen durch Energieerzeugung erzielt werden kann und ob bei der Errichtung von Schallschutzwänden die Lärminderungswirkung durch die FV-Elemente beeinflusst wird (z. B. durch Reflektionen). Die FV-Elemente wurden auch bezüglich ihrer elektromagnetischen Verträglichkeit erprobt.

Ein signifikanter Beitrag zur Lärminderung kann im Rahmen der Erprobung von den ausschließlich auf die Energiegewinnung konzipierten FV-Paneelen der derzeitigen Generation nicht erwartet werden, weil die ausgeführten Konstruktionen die akustisch wirksame Höhe der Lärmschutzwand nicht wesentlich verändern.

Beispielhafte Bauarten von Fotovoltaikelementen auf Schallschutzwänden:

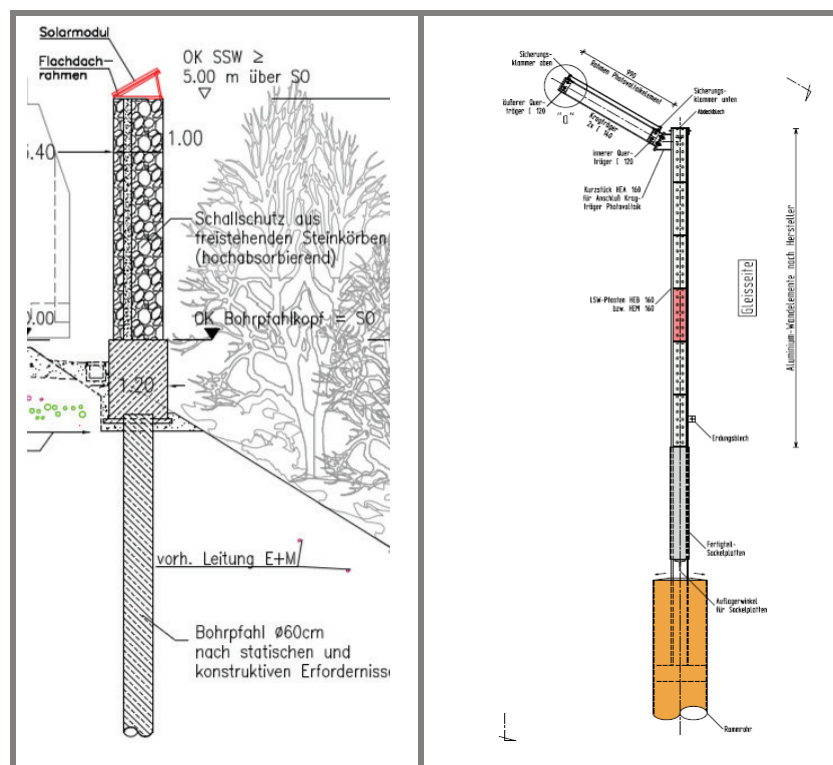


Bild 39: Fotovoltaik auf Gabionen (Bauart 1)

Quelle: Bung AG

Bild 40: Fotovoltaik auf SSW (Bauart 2)

Quelle: Steinbacher Consult

Nr. .	Ort	Länge [km]	Bauart	Fläche [m²]	Erwartete Ausbeute [kWh]
75	Nürnberg Rbf	1,3	2: FV auf Alu-SSW	1.159	141.193
84	Duisburg Ruhrort-Hafen	0,492	1: FV auf Gabionen-SSW	488	59.840
85	Duisburg Ruhrort-Hafen	0,783	2: FV auf Alu-SSW	776	94.210
Summe:		2,575		2.423	295.243

Tab. 45: Maßnahmenübersicht Technologie FV auf Schallschutzwänden

Rbf. Nürnberg

Der Einbau und die Erprobung von Fotovoltaikanlagen erfolgten auf Lärmschutzwänden, die im Rahmen des Lärmsanierungsprogramms errichtet wurden.

Rbf. Duisburg Ruhrort-Hafen (KV-Drehscheibe)

Die FV-Elemente 1.956 mm x 992 x 50mm wurden auf einer Gabionenwand mit Wandhöhen von 4,00 m bzw. 5,00 m aufgesetzt. Zusätzlich wurden FV-Elemente auf einer vorhandenen SSW aus Aluminium angebracht. Die Gabionen haben eine Breite von 1 m.



Bild 41: Gabionen-SSW mit FV in Duisburg

Quelle: DB Netz AG, LeDosquet



Bild 42: SSW mit FV in Nürnberg

Quelle: Möhler +Partner Ingenieure AG

3.12.2. Wirkung

Akustisch

Die Messungen zur akustischen Wirkung wurden bei der Maßnahme Nr. 75 in Nürnberg durchgeführt, da die dort verwendete Konstruktion des Fotovoltaikaufsatzes auf der Schallschutzwand am ehesten einen akustischen Effekt erwarten ließ.

Die Messergebnisse zeigen, dass die zusätzliche Pegelminderung, je nach Anordnung der FV-Elemente, im Summenpegel in der Größenordnung von 0 dB bis 2 dB liegt. Die Wirkung ist darauf zurückzuführen, dass durch die Fotovoltaik Elemente die wirksame Schirmhöhe der Schallschutzwand zwar erhöht wird, der Effekt durch die nicht-fugendichte Anbindung der Fotovoltaik Elemente jedoch nur reduziert nachweisbar ist.

Aufgrund der Streuung der Vorbeifahrpegel ist die Standard-Messunsicherheit der Messergebnisse so groß, dass die Signifikanz der Messergebnisse nicht mehr als gegeben angesehen werden kann.

Eine erhöhte Reflexion durch die FV-Elemente wurde nicht festgestellt.

Energetische Daten für Duisburg Ruhrort-Hafen

Rbf. Duisburg Ruhrort-Hafen

- Stromertrag: ca. 154 MWh
- CO₂ Einsparung: ca. 136 t
- spezifischer Jahresertrag: 858,3 kWh/kWp.
- Gabionenwand: 69,72 kWp Stromertrag: ca. 59,84 MWh
- Aluminiumwand: 109,76 kWp Stromertrag: ca. 94,21 MWh

Elektromagnetische Verträglichkeit

Es konnte keine elektromagnetische Unverträglichkeit mit Signal-, Beleuchtungs- bzw. Fahrleitungsanlagen festgestellt werden.

3.12.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Bisher liegen noch keine Anwendungserfahrungen vor.

3.12.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten:

Insgesamt beliefen sich die Erstellungskosten für die FV-Anlagen auf 2,3 Mio. EUR.

Betriebskosten

Die Betriebskosten der FV-Anlage sind derzeit nicht bekannt.

Instandhaltungskosten der Technologie

Bisher liegen zu den IH-Kosten der FV-Elemente keine Erfahrungen vor.

Instandhaltungskosten durch die Technologie

Folgekosten bei Instandhaltungsmaßnahmen sind nicht zu erwarten.

3.12.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. kosten pro km (Erstellungskosten)	Järl. Betriebskosten pro km	Järl. Gesamtkosten pro km	Gesamt FV-Fläche	Järl. Gesamtkosten pro m²	Erwartete Energieausbeute
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[m²]	[TEUR / m² a]	[kWh]
FV auf SSW	2,6	2.305,0	886,5	25	35,5	Nicht bekannt	35,5	2.423,0	0,04	295.243

Tab. 46: Übersicht Kosten-Wirksamkeit der Technologie FV Anlagen auf SSW

3.12.6. Anwendungsentscheidung

Durch eine akustisch optimierte Konstruktion der Montagevorrichtung und der Paneele sind Minderungsbeiträge technisch möglich. Die Weiterentwicklung mit akustischem Minderungsbeitrag hängt von den zukünftigen technischen Lösungen auf dem Markt ab. Für einen für potenzielle Energieversorger wirtschaftlichen Betrieb werden größere zusammenhängende Flächen benötigt.

Der Ansatz, bei Schallschutzwänden Zusatznutzen zu generieren, ist weiterzuverfolgen. Dies betrifft nicht nur die Kombination mit FV-Anlagen, sondern auch Konstruktionen und Baustoffe, die Schadstoffe in Form von Luftpartikeln binden können.

3.13. Aufsatz auf Beugungskanten von Schallschutzwänden

3.13.1. Technik und Funktionsweise

Die Abschirmwirkung von Lärmschutzwänden soll verbessert werden, indem auf der oberen Kante der Wand (Beugungskante) ein Aufsatz (Absorberkörper in Scheibenform) mit anderen schallbeugenden Eigenschaften aufgesetzt wird, der die Lärmausbreitung über die Wand hinweg vermindern soll.

In Verbindung mit einer vom gleichen Hersteller vertriebenen hochabsorbierenden Schallschutzwand soll im Vergleich zu einer herkömmlichen Wand, mit gleicher Bauhöhe das Wandsystem mit Aufsatzelement eine deutlich verbesserte Wirkung erzielen.

Durch Schallmessungen sollte überprüft werden, ob durch die Eigenschaften des Aufsatzes eine zusätzliche Pegelminderung gegenüber einer herkömmlichen Wand gleicher Referenzhöhe erreicht wird.

Nr.	Ort	Technik	Gleislänge [km]
80	Rosenheim	SSW des Herstellers	0,4
80	Rosenheim	Beugekante	0,7

Tab. 47: Maßnahmenübersicht Beugekante SSW

Im Bereich der Erprobungsabschnitte ist die Bahnstrecke zweigleisig.



Bild 43: Muster Beugungskante

Quelle: Berger Bau GmbH



Bild 44: Beugekante als Aufsatzelement auf SSW

Quelle: DB Netz AG, Poschenrieder



Bild 45: Ansicht Schallschutzwand mit Aufsatz Gleisseite

Quelle: DB Netz AG, Poschenrieder



Bild 46: Ansicht Schallschutzwand mit Aufsatz Feldseite

Quelle: DB Netz AG, Poschenrieder

In einem Teilbereich wurden die neuen Wandelemente des Herstellers mit Aufsatzelement in einem anderen Erprobungsabschnitt nur das Aufsatzelement eingebaut.

3.13.2. Akustische Wirkung

Der direkte Vergleich der hochabsorbierenden Wandelemente des Herstellers mit den Wandelementen einer herkömmlichen Aluminium-Wand zeigt keinen signifikanten Unterschied. Damit wird die Wand hinsichtlich Schalldurchgang und Schallabsorption als gleichwertig mit herkömmlichen Schallschutzwänden bewertet.

Um die Wirkung des Aufsatzes ohne den Erhöhungseffekt zu messen, wurde die Erhöhung einer 2,5 m hohen Schallschutzwand um den Aufsatz in Höhe von 0,5 m mit der Erhöhung um ein Standard-Aluminium-Wandelement von 0,5 m verglichen.

Der Pegelminderungseffekt des Aufsatzes fällt gegenüber dem Pegelminderungseffekt einer Wanderhöhung um 0,5 m geringer aus. Während im Mittel die zusätzliche Pegelminderung des Lärmspoilers als Aufsatz 2 bis 4 dB beträgt, wird durch eine Wanderhöhung um 0,5 m eine zusätzliche Pegelminderung von 2 bis 6 dB erzielt. Dabei ist kein signifikanter Unterschied feststellbar, ob sich der Lärmspoiler auf der Wand des Herstellers oder auf einer Standard-Aluminiumwand befindet.

Hauptursache für die geringere Abschirmwirkung dürfte der kammartige Aufbau des Aufsatzes sein. In Längsrichtung der Beugungskante wird der Lärmspoiler aus einer Abfolge gleich starker Aufsatzscheiben (jeweils 5 cm Stärke) aus 2 niedrigen Elementen, deren Oberkante bei etwa 2,85 m liegt, und einem hohen Element (Oberkante 3,0 m) aufgebaut. Es ist somit keine durchgehende Beugungskante bei 3,0 m vorhanden, sondern bei etwa 2,85 m, während bei der verglichenen Alu-Wand die Wanderhöhung eine durchgehende Beugungskante bei 3,0 m zur Folge hatte. Somit kann beim Lärmspoiler trotz der Absorption der scheiben-

förmigen Elemente bei senkrechtem Schalleinfall ein Durchgang durch die Lücken stattfinden, wodurch die Abschirmung verringert wird.

3.13.3. Bisherige Anwendungserfahrungen

Es liegen keine bewertbaren Erfahrungen vor.

3.13.4. Kostenbetrachtung

Erstellungskosten

Die Kosten für diese Maßnahme beliefen sich auf 0,5 Mio. EUR In den Erstellungskosten sind ausschließlich die Mehrkosten gegenüber den im Rahmen der Lärmsanierung des Bundes finanzierten Erstellungskosten der „klassischen“ Lärmschutzwand einschließlich der Kosten für Aus- und Wiedereinbau der Aluelemente enthalten.

Betriebskosten

Für die Technologie fallen keine Betriebskosten an.

Instandhaltungskosten der Technologie

Nach den zurzeit vorliegenden Versuchsergebnissen und dem Kenntnisstand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Dauerhaftigkeit des Absorbermaterials Polyolefin verbleibt ein Risiko hinsichtlich der Dauerhaftigkeit, weil keine Langzeiterfahrungen oder zeitäquivalente Laborversuche vorliegen.

Instandhaltungerschwernisse durch die Technologie

Für diese Technologie sind keine Instandhaltungerschwernisse bekannt.

3.13.5. Kosten-Wirksamkeit-Abwägung

Bezeichnung	Gesamtlänge	Erstellungskosten	Erstellungskosten pro km	Bilanz. Nutzungsdauer	Järl. kosten pro km (Erstellungskosten)	Järl. IH-Kosten pro km	Järl. IH-Erschwernisse pro km	Järl. Gesamtkosten pro km	Minderungsbeitrag
	[km]	[TEUR]	[TEUR / km]	[Jahre]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[TEUR / km a]	[dB]
Aufsatz Beugekante auf SSW	1,1	507,0	460,9	25	18,4	Nicht bewertet		18,4	0

Tab. 48: Übersicht Kosten-Wirksamkeit der Technologie Beugekante auf SSW

3.13.6. Anwendungsentscheidung

Eine Anerkennung und Anwendung der Technologie in den Projekten der Lärmvorsorge und -sanierung wird nicht verfolgt.

3.14. Technologiekombinationen (außer Brückenentdröhnung)

Im Rahmen der Maßnahmen des Programms wurde auch das Zusammenwirken innovativer Technologien erprobt. Hierdurch sollte festgestellt werden, wie sich die Wirkungen der Einzelmaßnahmen in der Kombination frequenzabhängig ergänzen und ob die Wirkung der Einzelmaßnahme additiv in den Projekten der Lärmvorsorge und -sanierung ansetzbar sind. Hierzu wurden folgende Technologiekombinationen umgesetzt:

Maßn. Nr	Einbauort	Effekt	
		Einzel [dB]	Gesamt [dB]
20	Böblingen Renningen	SSD: < 1 dB	
		SSE: noch keine Messung, wegen Streckensperrung 2012	
22	Berlin-Ringbahn	SSD: 1 dB	Auch In Kombination Minderungen wirksam Aufgrund unterschiedlicher Wirkungsbereiche im Frequenzspektrum (z.B. hohe Frequenzen beim Kurvenquietschen) und unterschiedlicher Beurteilungskriterien (Kurvenzuschlag) kann die additive Wirkung nicht beziffert werden
		SSE: Maximalpegel bis zu -15 dB	
30	Ludwigshafen BASF-Terminal	nSSW (h = 55 cm ü SO): 4 dB (25m Abstand/Höhe 3,5m bei Güterzügen)	Minderung in unterschiedlichen Wirkungsbereichen (Luft- / Körperschall) In Kombination keine additive Wirkung, aber auch keine gegenseitige Beeinträchtigung der Einzelwirkungen
		USM: Minderung Körperschall bis zu 10 dB (> 50 Hz)	
41	Augsburg-Ulm	HSG: 3 dB (Instandhaltungsschleifen),	additive Wirkung von 5 bis zu 6 dB im Mittelungspegel
		SSD: 2 dB	
66	Köln-Kalk	Verschäumter Schotter: 0 dB	verschäumter Schotter + nSSW keine additive Wirkung Besohlte Schwelle und nSSW: Minderung in unterschiedlichen Wirkungsbereichen Luftschall / Körperschall); in Kombination keine additive Wirkung, jedoch auch keine gegenseitige Beeinträchtigung der einzelnen Wirkungen
		nSSW (h = 74 cm): 3 dB (18,5m/2,6m, GZ)	
		Besohlte Schwelle: Körperschall bis zu 5 dB (> 160 Hz)	

Maßn. Nr	Einbauort	Effekt	
		Einzel [dB]	Gesamt [dB]
53	Mannheim-Neuostheim	SSD: 2 dB (Typ 1), 1 dB (Typ 5)	Additive Wirkung von 4,5 dB
		nSSW h = 55 cm ü SO: 2,5 dB (Abstand 25m Höhe 3,5 m Güterzüge)	
102	Filsen	SSD: 2 dB	In Kombination Minderungseffekt SSD + SSE wirksam; aufgrund unterschiedlicher Wirkungsbereiche im Frequenzspektrum (z.B. hohe Frequenzen beim Kurvenquietschen) und unterschiedlicher Beurteilungskriterien (Kurvenzuschlag) keine bezifferbare additive Wirkung
		SSE: noch keine Messung	
		Fräsen: nur Einfluss auf Oberflächenhärte	

Tab. 49: Maßnahmenübersicht und Effektübersicht Technologiekombinationen (außer Brückendröhnung)

4. Vergleichende Bewertung der Technologien

Im Folgenden werden die erprobten Lärminderungstechnologien bezüglich ihrer Wirkung und ihrer Kosten verglichen. Dieser Kosten-Wirkungs-Vergleich kann eine projektbezogenen Anwendungsentscheidung nicht ersetzen, aber dem Planer Hinweise zu wirtschaftlich/technischer Optimierung seiner Planung geben. Technologien, für die die Nachweismessungen keine Lärminderungseffekte ergeben haben, sind nicht einbezogen. Die Technologien zur Minderung von Körperschall werden im Folgenden ebenfalls nicht betrachtet.

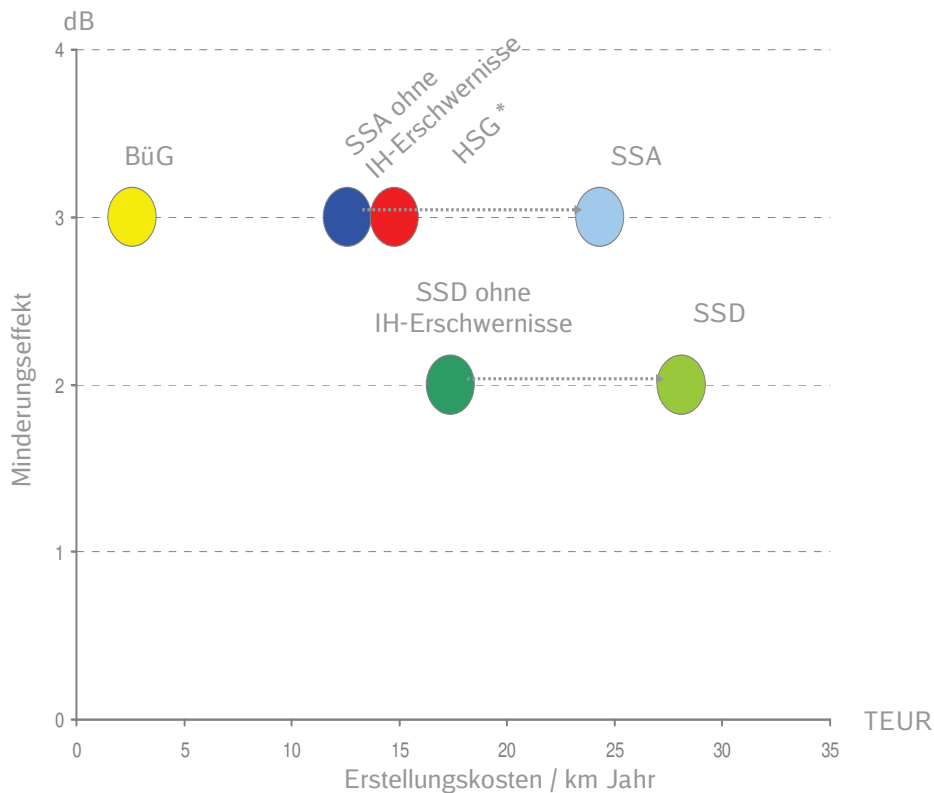
Der technologieübergreifende Vergleich ist auf der Grundlage der in den Kapiteln 3.1 bis 3.13 beschriebenen Erstellungskosten erfolgt. Diese Kosten liegen wegen der Entwicklungs- und Pilotierungskosten bei den meisten Technologien deutlich über den Kosten einer Regelanwendung. Soweit diese bereits bekannt sind, sind sie nachrichtlich aufgeführt.

Die erprobten Technologien lassen sich in folgende Wirkbereiche differenzieren.

- Lärminderungsmaßnahmen, die an der Lärmquelle ansetzen
- Lärminderungsmaßnahmen, die auf den Ausbreitungsweg zum Immissionsort ansetzen
- Lärminderungsmaßnahmen, die an lärmintensiveren Stellen (hot spots) eingesetzt werden können

4.1. Lärminderungsmaßnahmen an der Lärmquelle

Von den erprobten Technologien wirken die SSD und die SSA sowie das HSG mindernd auf die Emissionen aus dem Rollgeräusch. Diese Innovationen lassen sich aufgrund ihres ähnlichen Wirkansatzes gut mit dem bereits seit 1998 etablierten Verfahren „Besonders überwachtes Gleis“ (BüG) als Referenzverfahren vergleichen. Bild 47 zeigt die vier Technologien in Bezug auf ihre Minderungseffekte und die von ihnen ausgelösten Jahreskosten auf Basis der bilanziellen Nutzungsdauer gemäß SV 34. Beim BüG werden die vorliegenden Erfahrungswerte aus der Praxis in Bezug auf die durchschnittliche Standzeit eines BüG-geschliffenen Gleises von 6 Jahren zu Grunde gelegt.



* HSG-Kosten aus Maßnahme Nr. 41; Kosten Regelanwendung = 3,1 TEUR / km Jahr

Bild 47: Kosten-Wirkung-Vergleich der Lärminderungstechnologien an der Quelle, auf Grundlage der in den Einzelmaßnahmen angefallenen Kosten

Bezogen auf die Jahreskosten ist das Schleifen der Schienen ein - im Vergleich zu den SSD/SSA -Technologien - kostengünstiges Verfahren, insbesondere wenn man für das HSG die Kosten der Regelanwendung, von 3,1 EUR / km und Jahr zu Grunde legt. BüG und HSG erzeugen keine zusätzlichen Instandhaltungserschwerungskosten, sie führen zu positiven Effekten.

Aufgrund hoher Erstellungskosten und zusätzlichen jährlichen Erschwerniskosten bei Instandhaltungsprozessen sind SSD und SSA kostenintensive Maßnahmen. Auch unter der Erwartung, dass die Erschwerniskosten durch Weiterentwicklung der Produkte und der Prozesse noch deutlich gesenkt werden können, müssen die Erstellungskosten deutlich reduziert werden, wenn die Technologie in den Variantenuntersuchungen bei den operativen Lärmschutzmaßnahmenplanungen bestehen soll.

Die Wirkung von Schleifverfahren und SSA erreicht mit 3 dB jeweils die Schwelle, die als nennenswerter Minderungsbeitrag betrachtet wird. So ist beispielsweise die Erhöhung eines vorhandenen Pegels um 3 dB in Folge eines erheblichen baulichen Eingriffs als wesentliche

Änderung zu betrachten, die Lärmvorsorgeansprüche von betroffenen Anliegern auslösen können.

HSG / BüG und SSA können je nach örtlicher Situation, einzeln oder auch in Kombination mit anderen Technologien, Sprungkosten bei Schallschutzmaßnahmen, z. B. in Folge sehr hoher Schallschutzwände, vermeiden.

Die Wirkung der SSD hingegen ist mit derzeit nachgewiesenen 2 dB Minderung bezogen auf den Mittelungspegel für Strecken mit Mischverkehren unbefriedigend. Eine Wirkungsverbesserung ist unabdingbar und erscheint aufgrund der Messergebnisse möglich.

4.2. Lärmminderungsmaßnahmen auf den Ausbreitungsweg zum Immissionsort

Schallschutzwände werden auch in Zukunft ein unverzichtbares Werkzeug der Lärminderung auf dem Ausbreitungswege sein. Aus Gründen des Erscheinungsbildes und der Akzeptanz bei den Bürgern müssen Schallschutzwände gestalterisch weiterentwickelt werden, damit diese Bauwerke weniger „aufdringlich“ im städtebaulichen Erscheinungsbild wirken.

Betrachtet werden nSSW mit einer Höhe von 55 cm und 74 cm über SO sowie 2 Meter hohe Schallschutzwände in Gabionenbauweise. Als Referenzbauart wird eine herkömmliche SSW aus Aluminiumelementen herangezogen. Die nachstehenden Bilder zeigen den Vergleich der Erstellungskosten bezogen auf einen m^2 Wandfläche (Bild 48) und pro km (Bild 49).

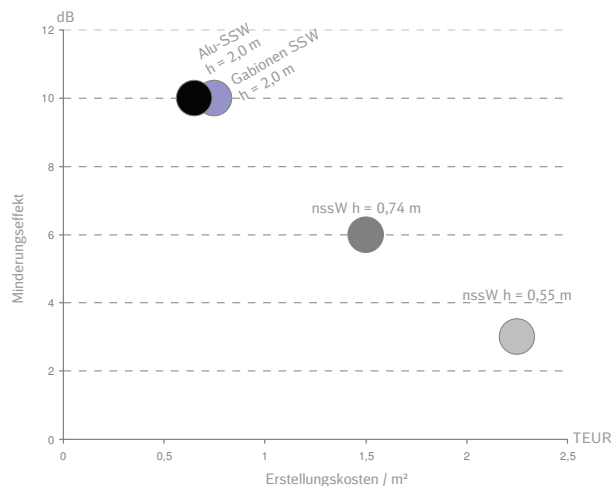


Bild 48: Kosten-Wirkungs-Vergleich der Lärminderungstechnologien auf dem Ausbreitungsweg auf Basis der Wandfläche

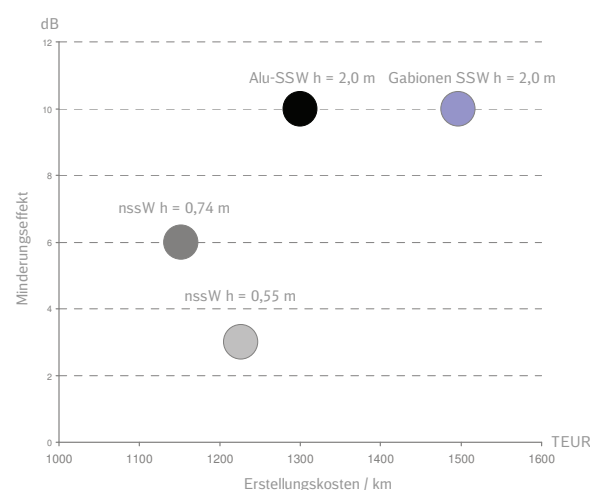


Bild 49: Kosten-Wirkungs-Vergleich der Lärminderungstechnologien auf dem Ausbreitungsweg auf Basis der Kosten pro km

Niedrigere Schallschutzwände sind bezogen auf die Wandfläche teurer als 2 m hohe Wände, weil sich Gründungskosten und die Kosten der Zusammenhangersarbeiten und Baustellensicherung auf die Erstellungskosten stärker niederschlagen. Bezogen auf Kosten je km (einseitig) ergibt sich ein Kostenvorteil für niedrige Schallschutzwände, dies aber bei einer in

etwa nur halb so hohen Wirkung. Die Kosten beziehen sich auf nSSW ohne mechanische Schwenk- oder Kippvorrichtungen. Der hier vorliegende Kostenvorteil der nSSW mit 74 cm Höhe gegenüber den 55 cm hohen Wänden ist im Wesentlichen bauartbedingt.

Nach Kalkulationsgrundlagen der Bahn und den im Rahmen der Lärmsanierung erstellten Lärmschutzwänden betragen die Kosten für eine 2,0 m hohe Schallschutzwand aus Aluminium bei einfachen betrieblichen Verhältnissen 650,- EUR / m². Für Wände mit einer Höhe von 4,0 m über SO liegt der Preis bei 440 EUR / m².

Die Gabionenwand in Dülken ist mit Herstellungskosten in Höhe von 750 EUR / m² um knapp 15 % teurer als die Referenzwand. Es ist zu erwarten, dass sich die Erstellungskosten für Gabionen mit zunehmender Anwendung und zunehmendem Wettbewerb reduzieren werden. Auch wird von der Gabionenwand eine längere Nutzungszeit erwartet. Der Vorteil der gestalterischen Möglichkeiten von Gabionenwänden und ihr Akzeptanzvorteil können monetär nicht bewertet werden.

Im Hinblick auf die Wirkung lässt sich bei nSSW mit einer Höhe von 55 cm eine Minderung von 2 dB für beide Gleise einer zweigleisigen Strecke und 3 dB für das wandnahe Gleis nachweisen. Für nSSW mit einer Höhe von 74 cm ergeben sich Minderungen von 5 dB für beide Gleise und 6 dB für das wandnahe Gleis. Eine herkömmliche Wand hat einen Minderungseffekt von rd. 10 dB für zwei Gleise (alle Werte im Abstand von 25 m in einer Höhe von 3,5 m).

Niedrige SSW mit einer Höhe von 55 cm haben höhere Erstellungskosten und geringere Minderungsbeiträge. Wände mit einer Höhe von 74 cm können in Kombination mit SSA und HSG/BüG, je nach Örtlichkeit, eine Wand mit einer Höhe von 2 m ersetzen.

4.3. Lärminderungsmaßnahmen an lärmintensiveren Stellen (hot spots)

Bauliche Besonderheiten und Einrichtungen der Infrastruktur erzeugen Lärm, der über das normale Rollgeräusch der freien Strecke hinausgeht. Für diese Besonderheiten sind bei schalltechnischen Berechnungen Zuschläge (nach Schall 03 [1990] und [2012]) anzusetzen. Im Rahmen des Programms wurden Technologien erprobt, die die zusätzlichen Lärmemissionen mindern oder vermeiden sollen.

- Einbau von Schienenschmiereinrichtungen zur Vermeidung des Quietschens in engen Gleisbögen
- Maßnahmenkombination auf und an direkt befahrenen Stahlbrücken und Stahlbrücken mit durchgehendem Schotterbett gegen das Brückendröhnen

- Einsatz von Reibmodifikatoren zur Vermeidung der Quietschgeräusche an den Balkengleisbremsen in Rbf

Brückenentdröhnung			
Brückentyp	Effekte min.	Effekte max.	Kosten [TEUR / (km x Jahr)] bei Reibmod. je Anlage
Direkt befahrene Brücke	6,5	7,2	657,6
Brücke mit Schotteroberbau	6,2	8,3	14,6
Schienenschmiereinrichtung			
SSE mit Betriebskosten	3	Erwartet 8	14,6
Reibmodifikator			
Reibmodifikator mit Betriebskosten	8	8	22,0

Tab. 50: Kosten-Wirkungs-Übersicht für Lärminderungsmaßnahmen an hot spots

Die höheren Kosten der Maßnahmen der Brückenentdröhnung an direkt befahrenen Stahlbrücken sind im Wesentlichen durch den Einbau hochelastischen Schienenbefestigung begründet. Die Entdröhnung von Stahlbrücken mit Schotteroberbau stellt sich bei vergleichbaren Minderungseffekten deutlich günstiger dar. Für direkt befahrene Stahlbrücken ist die Kombination hochelastischer Schienenbefestigung und Brückendämpfer einschließlich der Auswechslung der Brückenabdeckungen für direkt befahrene Stahlbrücken, ohne die Überbauerneuerung in Wintershausen, dargestellt. Für Stahlbrücken mit Schotteroberbau wird der Einbau besohlter Schwellen und von Brückendämpfern betrachtet.

4.4. Zusammenfassende Darstellung von Lärminderungskosten

Bild 50 soll nur eine zusammenfassende Orientierung über die spezifischen Lärminderungskosten der Technologien liefern. Diese Darstellung kann nicht als Planungsgrundlage sondern eher als Rahmen für weitere innovative Entwicklungen dienen.

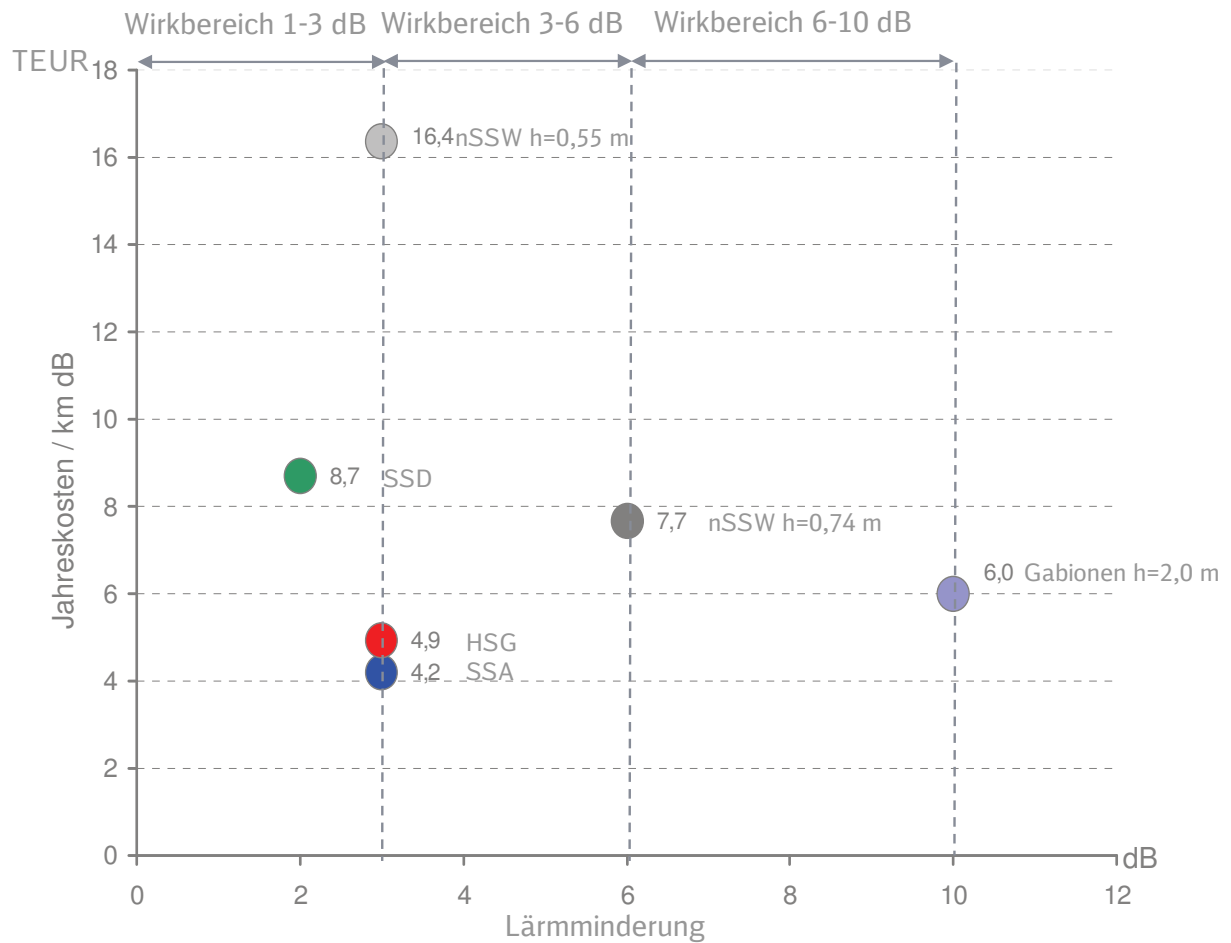


Bild 50: Kostenvergleich der erprobten Lärminderungstechnologien in TEUR pro dB, km und Jahr

Bezieht man Jahreskosten der erprobten Lärminderungstechnologien auf 1 dB erzielbare Wirkung, zeigt sich, dass die quellenbezogenen Maßnahmen HSG, SSA die günstigste Kosten-Wirkungs-Kennzahl ergeben. Die Wirkungshöhe ist jedoch begrenzt auf 3 dB, additiv 6 dB. Ziel der weiteren Aktivitäten muss neben einer Optimierung und Ergänzung des Portfolios eine verbesserte Kosteneffizienz der Technologien in der Regelanwendung sein.

5. Literaturverzeichnis

- [1] DB Systemtechnik, Bericht „Mindestanforderungen an Nachweismessungen zur quantitativen Bewertung von infrastrukturbasierten Innovationen zur Minderung des Schienenlärms“, 2010
- [2] DIN EN ISO 3095, Bahnanwendungen – Akustik – Messung der Geräuschemissionen von spurgebundenen Fahrzeugen, November 2005
- [3] DIN V EN V 13005, Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Juni 1999
- [4] DIN EN15461, Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtgeräuschemessungen, Januar 2011
- [5] EN 15610 Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch, August 2009
- [6] DIN EN ISO/IEC 17025, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, August 2005
- [7] DIN 45641, Mittelung von Schallpegeln, Juni 1990
- [8] DIN45642: Messung von Verkehrsgeräuschen, Juni 2004
- [9] DIN 45672-1, Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen, Teil 1 Messverfahren, Dezember 2009
- [10] DIN 45672-2, Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen, Teil 2 Auswerteverfahren, Juli 1995
- [11] DIN 45673-1, Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen - Teil 1: Ermittlung statischer und dynamischer Kennwerte im Labor, Mai 2000
- [12] DIN EN 60942, Schallkalibratoren, Mai 2003
- [13] Grundlegende Anforderungen an Nachweismessungen zur quantitativen Bewertung von infrastrukturbasierten Innovationen zur Minderung des Schienenlärms (08-P-6835-TTZ112)
- [14] Bundeshaushalt Kapitel 1222 „Eisenbahn des Bundes“, Titel 891 05 „Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahn des Bundes“
- [15] „Hinweise zur Erstellung Schalltechnischer Untersuchungen in der eisenbahnrechtlichen Planfeststellung von Neu- oder Ausbaumaßnahmen von Schienenwegen“ des Eisenbahn-Bundesamtes vom 15.06.2009
- [16] Nationales Verkehrslärmschutzpaket, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 27. August 2009
- [17] DB Netz AG Richtlinie 804.5501: Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken
- [18] SCHALL 03 [1990] - Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Eisenbahnen und Straßenbahnen

- [19] Schall 03 [2012] - Entwurf zur Überarbeitung der Richtlinie zur Berechnung von Schallimmissionen von Schienenwegen
- [20] Verfügung des Eisenbahn-Bundesamtes vom 16.03.1998 -Pr 1110 Rap/Rau 98 zum Besonders überwachtes Gleis (BüG)“
- [21] Zulassungsbescheid zur befristeten Betreiberprobung des EBA vom 21.04.2010 für SSA

6. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langname
BSchwAG	Bundesschienenwegeausbaugesetz
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BüG	besonders überwachtes Gleis
dB	Dezibel (Schalldruck)
DB AG	Deutsche Bahn AG
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EC	Eurocity
EBO	Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung
ET_S	Elektrotriebzug S-Bahn
EÜ	Eisenbahnüberführung
FV	Fotovoltaik
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GZ	Güterzug
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
HSG	High Speed Grinding (Hochgeschwindigkeitsschleifen)
Hz	Hertz (Maßeinheit für die Frequenz)
IC	Intercity
ICE	Intercity-Express
IH	Instandhaltung
KP	Konjunkturprogramm
LCC	Life Cycle Costs
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LÜ	Lademaßüberschreitung
LZB	Linienzugbeeinflussung
nSSW	Niedrige Schallschutzwand

NV	.....	Nahverkehrszug
M1	.....	vereinfachte Messung
M2	.....	Minimalmessung
M3	.....	Normmessung
PSS	.....	Planumsschutzschicht
RB	.....	Regionalbahn
Rbf	.....	Rangierbahnhof
RE	.....	Regionalexpress
RIVAS	.....	railway induced vibrations abatement solutions
Schall 03 [1990]	.....	Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Eisenbahnen und Straßenbahnen
Schall 03 [2012]	.....	Entwurf zur Überarbeitung der Richtlinie zur Berechnung von Schallimmissionen von Schienenwegen
SMW	.....	Schallmesswagen
SO	.....	Schienenoberkante
SSA	.....	Schienenabschirmung
SSD	.....	Schienenstegdämpfer
SSE	.....	Schienenschmiereinrichtung
SSW	.....	Schallschutzwand
SV34	.....	Sammelvereinbarung Nr. 34
TDR	.....	Track Decay Rate (Gleisabklingrate)
UBA	.....	Umweltbundesamt
USM	.....	Unterschottermatte

DB Netz AG
Theodor-Heuss-Allee 7
60486 Frankfurt am Main
www.dbnetze.com

Anzahl realisierter Maßnahmen	Maßn.-Nr.	Z-Nr.	Vorhabenbezeichnung	Eingesetzte Technologie(n) / Produkte
1	1	26	Winterhausen	Elastische Lager auf Massivüberbauten, Feste Fahrbahn, Schallschutzwand, Schienenstegdämpfer
2	2	27	Würzburg-Heidingsfeld	Elastische Schienenbefestigung, Abdeckplatten
3	3	28	Treuchtlingen-Möhren	Elastische Schienenbefestigung
4	4	29	Passau	Elastische Schienenbefestigung, Schallschutzwand, Schienenstegdämpfer
5	9	34	Rüdesheim/Assmannshausen	Schienenschmiereinrichtung
6	10	35	Lahnstein	Elastische Schienenbefestigung, Feste Fahrbahn
7	11	37	Hamburg Salomon-Heine-Weg	Besohlte Schwelle, Brückendämpfer
8	12	38	Hamburg Alsterkanal	Besohlte Schwelle
9	13	39	Hamburg Alsterdorfer Straße	Brückendämpfer, Besohlte Schwelle
10	14	36	Hamburg Güterumgebungsbahn Kellerbleek	Brückendämpfer, Besohlte Schwelle
11	16	40	Peine	Brückendämpfer, Besohlte Schwelle
12	17	41	Herzogenrath Kleikstrasse	Brückendämpfer, Elastische Schienenbefestigung, Schienenstegdämpfer, Schallschutzwand
13	18	2	Duisburg	Gabionen
14	19	3	Stuttgart Bad Cannstatt	Schienenschmiereinrichtung
15	20	4	Böblingen-Renningen	Schienenstegdämpfer, Schienenschmiereinrichtung
16	21	5	Mannheim Neuostheim	Schienenstegdämpfer
17	22	6	Berliner-Ringbahn	Schienenstegdämpfer, Schienenschmiereinrichtung
18	23	7	Bischofsheim	Schienenschmiereinrichtung
19	24	8	St. Goar	Schienenstegdämpfer
20	25	9	Oberwesel	Schienenstegdämpfer
21	26	10	Bingen	Schienenstegdämpfer
22	27	11	Kaub	Schienenstegdämpfer
23	28	12	St. Goarshausen	Schienenstegdämpfer
24	29	13	Osterspai	Schienenstegdämpfer
25	30	14	Ludwigshafen BASF Terminal	Niedrige Schallschutzwand, Unterschottermatte
26	31	15	Hamburg Harburg	Schienenstegabschirmung
27	32	16	Hamburg Hausbruch	Schienenstegabschirmung
28	33	17	Hamburg Rahlstedt	Schienenstegabschirmung
29	34	18	Hamburg Rahlstedt/Tonndorf	Schienenstegabschirmung
30	35	19	Hamburg Tonndorf	Schienenstegabschirmung
31	36	20	Hamburg Marienthal	Schienenstegabschirmung
32	37	21	Garßen bei Celle	Schienenstegdämpfer
33	39	23	Bonn-Bad Godesberg	Schienenstegdämpfer
34	40	24	Bad Honnef	Schienenstegdämpfer
35	41	25	Augsburg - Ulm	Schienenstegdämpfer, High Speed Grinding
36	42	42	Nürnberg Rbf	Reibmodifikator Gleisbremsen
37	45	130	Berlin Stadtbahn Fasanenstrasse	Brückendämpfer, Schienenstegdämpfer
38	46	230	Berlin Stadtbahn Uhlandstrasse	Brückendämpfer, Schienenstegdämpfer
39	47	330	Berlin Stadtbahn Grolmannstrasse	Brückendämpfer, Schienenstegdämpfer

Anlage 1 zum Schlussbericht "Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg"

Anzahl realisierter Maßnahmen	Maßn.-Nr.	Z-Nr.	Vorhabenbezeichnung	Eingesetzte Technologie(n) / Produkte
40	48	430	Berlin Stadtbahn Knesebeckstrasse	Brückendämpfer, Schienenstegdämpfer
41	49	530	Berlin Stadtbahn Bleibtreustrasse	Brückendämpfer, Schienenstegdämpfer
42	50	630	Berlin Stadtbahn Schlüterstrasse	Brückendämpfer, Schienenstegdämpfer
43	51	730	Berlin Stadtbahn Wielandstrasse	Brückendämpfer, Schienenstegdämpfer
44	52	432	Leipzig-Schönefeld Dortmunder Straße	Brückendämpfer, Besohlte Schwelle, Schienenstegdämpfer
45	53	5	Mannheim Neuostheim	Niedrige Schallschutzwand
46	54	107	Eltville	Schienenschmiereinrichtung
47	55	207	Östlich-Winkel	Schienenschmiereinrichtung
48	56	307	Rüdesheim	Schienenschmiereinrichtung
49	58	109	Oberwesel	Niedrige Schallschutzwand
50	59	110	Bingen	Niedrige Schallschutzwand
51	62	113	Osterspai	Niedrige Schallschutzwand
52	63	121	Garßen	Niedrige Schallschutzwand
53	64	123	Bonn-Südstadt (Bad Godesberg)	Niedrige Schallschutzwand
54	65	59	Rhöndorf	Niedrige Schallschutzwand
55	66	60	Köln-Kalk	Verschäumter Schotter, Niedrige Schallschutzwand, Besohlte Schwelle, Unterschottermatte
56	67	332	Leipzig-Wahren Pittler- und Linkelstrasse	Brückendämpfer, Besohlte Schwelle, Schienenstegdämpfer
57	68	32	Leipzig Güterring	Schienenstegdämpfer, Schienenstegabschirmung
58	69	1320	Wendlingen-Kirchheim	Schienenschmiereinrichtung
59	70	91	Leipzig Güterring, Wahrer Viadukt, Dortmunder-Str., Beuthstraße	Schienenstegdämpfer, Schienenstegabschirmung
60	72	73	Waldbahn	Beschichtete Schiene
61	73	74	Elbtal (Stadt Wehlen, Rathen, Königstein)	Schienenstegdämpfer
62	74	76	Schallstadt-Leutersberg	Schienenstegdämpfer
63	75	61	Nürnberg Rbf	Fotovoltaik auf Schallschutzwand
64	78	63	Berlin - Cottbus	Besohlte Schwelle
65	79	64	Bremen Hemelingen	Beschichtete Weiche
66	80	650	Rosenheim	Beugungskanten auf Schallschutzwand
67	84/85	69	Duisburg	Fotovoltaik auf Schallschutzwand
68	86	71	Emmerich - Oberhausen	Schienenstegdämpfer, Schienenstegabschirmung
69	87	72	Koblenz-Ehrenbreitstein	Schienenstegdämpfer
70	88	77	Gau-Algesheim	Schienenstegdämpfer, Schienenstegabschirmung, Beschichtete Schiene
71	91	930	Hamburg Poppenbüttel	Schienenstegdämpfer
72	92	940	Bremen Roonstraße	Schienenstegdämpfer, Schienenstegabschirmung
73	93	933	Rhens	Schienenstegdämpfer
74	94	944	Braubach	Schienenstegdämpfer
75	95	950	Kaub	Schienenstegdämpfer
76	98	910	Löf	Schienenstegabschirmung
77	99	920	Stuttgart-Ehningen	Elastische Schienenbefestigung, Abdeckplatten
78	100	310	Schkeuditz	Schienenstegdämpfer
79	101	100	Königswusterhausen	Schienenstegdämpfer
80	102	220	Filsen	Schienenstegdämpfer, Schienenschmiereinrichtung
81	103	1030	Lorch-Lorchhausen	Schienenstegdämpfer
82	105	1050	Dülken	Gabionen

Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg Anlage 2 zum Schlussbericht

Grundlegende Anforderungen an Nachweismessungen zur quantitati- ven Bewertung von infrastrukturbasierten Innovationen zur Minderung des Schienenlärms



Dokument: 08-P-6835-TTZ112

Datum: 22.07.2010

Fachabteilung: DB Systemtechnik
Akustik und Erschütterungen – TTZ 112
Völckerstraße 5
D-80939 München

Zertifizierter Bereich:
Technik/Beschaffung



Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Untersuchungsbericht beschriebenen Untersuchungsgegenstände. Dieser Untersuchungsbericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung der Fachabteilung.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Angaben zum Auftrag	7
2 Einleitung	8
3 Ziel der Nachweisführung	9
3.1 Maßnahmen am Fahrweg	9
3.2 Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg	10
3.3 Maßnahmen für Brücken	10
3.4 Maßnahmen gegen Quietschgeräusche in Kurven	11
3.5 Zusammenfassung	12
4 Prinzip der Nachweisführung	13
5 Auswahl von Versuchsabschnitten	14
6 Auftragnehmer und Prüfspezifikation	16
7 Messgrößen und Auswertung	17
7.1 Luftschall	18
7.1.1 Meteorologische Voraussetzungen	18
7.1.2 Messpositionen	18
7.1.3 Durchführung und Auswertung der Luftschallmessungen	18
7.1.4 Messgeräte	19
7.2 Schienenrauheit	19
7.3 Schallmesswagen	20
7.4 Abklingraten	20
8 Dokumentation	21
8.1 Allgemeine Angaben	21
8.2 Dokumentation von Messungen des Luftschallpegels	21
8.3 Dokumentation von Messungen der Schienenrauheit	22
9 Maßnahmen am Fahrweg - Bestimmung der Korrekturwerte D_{Fb} , c_1 und c_2	23
9.1 Korrektur der Pegeldifferenzen	23
9.2 Dokumentation	24
9.3 Gleispflegeverfahren	24
10 Maßnahmen am Ausbreitungsweg	25
10.1 Grundlegende Vorgehensweise	25
10.2 Auswahl eines Versuchsabschnitts	25
10.3 Positionen der Mikrofone	25
10.4 Durchführung und Auswertung der Messungen	26
10.5 Korrektur der Pegeldifferenzen	27
10.6 Berechnung von Stundenmittlungspegeln nach Schall 03	27
10.6.1 Beschreibung der Maßnahme durch eine Ersatzschallschutzwand	29
10.7 Dokumentation	30
10.8 Dokumentation der Berechnungsergebnisse nach Schall 03	30
11 Maßnahmen zur Minderung der Schallemissionen beim Überfahren von Brücken	31
11.1 Prinzip der Nachweisführung	31
11.2 Luftschallmessungen	32
11.2.1 Festlegung der Luftschall-Messpositionen an der Brücke	32

11.2.2 Auswahl des Referenzmesspunkts	32
11.2.3 Durchführung der Luftschall-Messungen	33
11.2.4 Auswertung der Luftschallmessungen	34
11.3 Dokumentation der Ergebnisse	35
11.4 Bestimmung der Brückenkorrekturen aus Körperschallmessungen	35
11.4.1 Positionen der Messpunkte	36
11.4.2 Durchführung und Auswertung der Messungen	36
12 Maßnahmen gegen Quietschgeräusche	37
12.1 Prinzip der Nachweisführung	37
12.2 Anforderungen an den Messort	37
12.3 Meteorologische Voraussetzungen	38
12.4 Messpositionen	38
12.5 Messgeräte	39
12.6 Durchführung und Auswertung der Luftschallmessungen	39
12.7 Dokumentation	40
13 Unterschriften	41

Verzeichnis der Abkürzungen

BlmSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
büG	Besonders überwachtes Gleis
DB AG	Deutsche Bahn AG
DIN	Deutsche Industrienorm
EG	Erdgeschoss
EN	Europäische Norm
ggf	gegebenenfalls
Gl	Gleichung
G-Zug	Güterzug
Hz	Hertz
IC	Intercity-Zug
ICE	Intercityexpress-Zug
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
Kap	Kapitel
m	Meter
OG	Obergeschoss
RE	Regionalexpress
Tab	Tabelle
TDR	Track Decay Rate (Gleisabklingrate)
TEL	Vorbeifahrtexpositionspegel
UIC	International Union of Railways
z.B.	zum Beispiel

Bezeichnungen

Testabschnitt	Gleisabschnitt, in dem eine Maßnahme zur Schallminderung eingebaut werden soll
Referenzabschnitt	Gleisabschnitt ohne Maßnahme in räumlicher Nähe zum Testabschnitt
Versuchsabschnitt	Oberbegriff für Test- und Referenzabschnitt
Vormessung	Messung vor dem Einbau einer Maßnahme auf dem Testabschnitt
Nachmessung	Messung nach dem Einbau einer Maßnahme auf dem Testabschnitt

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abbildung 4.1: Prinzip der Nachweisführung.	13
Abbildung 7.1: Anordnung von Test- und Referenzabschnitt	17
Abbildung 10.1: Schematische Darstellung der Mikrofonpositionen	26
Abbildung 11.1: Prinzip der Nachweisführung für Lärminderungsmaßnahmen an Brücken	32

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tabelle 1: Übersicht über die Korrekturwerte, die gemäß der Systematik der 16. BImSchV für Schallschutzmaßnahmen zu ermitteln sind.	11

Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis

- [1] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990
- [2] Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen – Schall 03 (Information Akustik 03 der Deutschen Bundesbahn). Bundesbahnzentralamt München, Ausgabe 1990
- [3] Überarbeitung der Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen – Schall 03; Entwurf Stand 2006
- [4] EN ISO 3095: 2005 Bahnanwendungen - Akustik - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen.
- [5] DIN 45641 Mittelung von Schallpegeln
- [6] EN 15610:2009 Bahnanwendungen - Geräuschemission - Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch
- [7] EN 15461:2008 Bahnanwendungen - Schallemission - Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten bei Vorbeifahrtgeräuschmessungen
- [8] DIN 45642: Juni 2004 Messung von Verkehrsgeräuschen
- [9] DIN EN ISO / IEC 17025: 2005 Allgemeine Anforderung an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- [10] EN 60942:2003-05 Elektroakustik – Schallkalibratoren
- [11] Richtlinie 804.5501 der DB AG “Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken”
- [12] UIC Project „Combating Curve Squeal“; Final Report (2005)
- [13] P. Dings, S. van Lier, *Measurement and presentation of wheel and rail roughness*, World Congress of Railway Research, Florenz, November 1997
- [14] DIN 45672-1: Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil1: Messverfahren
- [15] DIN 45672-2: Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil2: Auswerteverfahren

1 Angaben zum Auftrag

Aufgabenstellung:

Der Entwicklung und Zulassung innovativer Produkte zur Minderung des Schienenlärms kommt eine hohe Bedeutung im Rahmen der Anstrengungen der DB AG zur Minderung der Lärmbelastung aus dem Schienenverkehr zu. Um den Markteintritt neuer Produkte und Anbieter zu erleichtern sowie zur Bewertung der Wirksamkeit innovativer Konzepte zum Schallschutz ist es erforderlich, Grundsätze festzulegen, nach denen die Bewertung zu erfolgen hat. Das vorliegende Dokument legt allgemeine Vorgehensweisen zur messtechnischen Bestimmung der akustischen Wirkung von Maßnahmen an Fahrweg und Ausbreitungsweg als technische Grundlage für einen Nachweis im Sinne der 16. BImSchV fest. Es wurde mit dem Eisenbahn-Bundesamt und dem Umweltbundesamt abgestimmt.

Auftraggeber:

DB Netz AG
Theodor-Heuss Allee 7
60486 Frankfurt (Main)

Fachabteilung:

DB Systemtechnik
TTZ 112 Akustik und Erschütterungen
Völckerstraße 5
80939 München

Bericht bestehend aus 41 Seiten

2 Einleitung

Das vorliegende Dokument definiert Verfahren zur messtechnischen Bewertung von Innovationen, die der Verminderung des Schienenlärms dienen sollen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Maßnahmen zur Minderung des Rollgeräuschs. Diese Innovationen können Maßnahmen am Fahrweg oder auf dem Ausbreitungsweg sein. Letztere sollen sich jedoch auf gleisnahe Techniken (z.B. Aufsätze für Schallschutzwände) bis zu einem Abstand von 5 m von der Gleisachse beschränken. Nicht in den Geltungsbereich dieses Dokuments fallen Maßnahmen am Immissionsort sowie schallmindernde Maßnahmen an Fahrzeugen.

Ziel ist die Bestimmung von Korrekturwerten im Sinne der Anlage 2 zur 16. BImSchV [1] (Richtlinie Schall 03). Die momentan gültige Fassung der Anlage 2 aus dem Jahr 1990 [2] (im Folgenden „Schall 03-alt“ genannt), wurde in den vergangenen Jahren überarbeitet und an den Stand der Technik angepasst. Eine Entwurfsfassung liegt vor [3] (im Folgenden „Schall 03-neu“ genannt). Zum jetzigen Zeitpunkt (Juli 2010) ist unklar, wann die Schall 03-neu in Kraft treten wird. Daher müssen alle Messungen so geplant, durchgeführt und ausgewertet werden, dass die entsprechenden Korrekturwerte sowohl für die Schall 03-alt als auch für die Schall 03-neu ermittelt werden können.

Hinweis: Wird im Folgenden der Begriff „Schall 03“ ohne den Zusatz „alt“ bzw. „neu“ verwendet, so gelten die Aussagen für beide Versionen.

Dieses Dokument beschreibt die anzuwendenden Mess- und Auswerteverfahren und legt die Bedingungen fest, die einzuhalten sind, um repräsentative, nachvollziehbare und belastbare Ergebnisse zu erhalten. Durchführung und Auswertung von Messungen im konkreten Anwendungsfall müssen in Prüfspezifikationen festgelegt werden, die den Besonderheiten der zu prüfenden Maßnahme und den jeweiligen Örtlichkeiten, an denen die Untersuchungen stattfinden sollen, Rechnung tragen. Das vorliegende Dokument soll als Grundlage für die Erstellung der Prüfspezifikationen dienen.

Hinweis: Es gibt Erprobungssituationen, bei denen der Testabschnitt nicht unter vollständiger Berücksichtigung der hier beschriebenen Prüfspezifikationen ausgewählt werden kann bzw. aus anderen Gründen vorgegeben ist (z. B. Konjunkturprogramm zur Erprobung von Innovationen zur Lärminderung am Fahrweg). Hier sind im Einzelnen Kompromisse erforderlich, die im Rahmen der für die Erprobungsstrecke konkretisierten Prüfspezifikation beschrieben und mit der DB AG abgestimmt werden müssen.

3 Ziel der Nachweisführung

Nachweismessungen zur Wirksamkeit innovativer Schallschutzmaßnahmen sind grundsätzlich so zu führen, dass eine Berücksichtigung in der Schall 03 erfolgen kann. Daher sind Messungen so zu planen, durchzuführen und auszuwerten, dass die relevanten Korrekturfaktoren ermittelt werden können.

In der Systematik der Schall 03 ist zwischen Maßnahmen am Fahrweg und Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg zu unterscheiden.

3.1 Maßnahmen am Fahrweg

Maßnahmen am Fahrweg zur Reduktion des Rollgeräuschs können in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Verbesserung der Schienenfahrflächenqualität (z.B. durch Schienenschleifen),
2. Reduktion der Schwingungen von Schiene, Schwelle, Fahrbahnplatte (z.B. Dämpfer, Schienenlager, Formoptimierungen),
3. Absorption der abgestrahlten Schallwellen durch Einbauten im Gleis (z.B. Absorberplatten, Zusatzelemente an der Schiene).

Schall 03-alt:

Die Schallabstrahlung unterschiedlicher Fahrbahnen wird in der Tabelle C der Schall 03-alt durch Korrekturwerte D_{Fb} berücksichtigt. Referenz ist ein Gleis mit Holzschwelle. Weiterhin wird dort ausgeführt: *Für Fahrbahnen, bei denen aufgrund besonderer Vorkehrungen eine weitergehende dauerhafte Lärminderung nachgewiesen ist, können die der Lärminderung entsprechenden Korrekturwerte zusätzlich zu den Korrekturwerten D_{Fb} berücksichtigt werden.*

Schall 03-neu:

Als Referenz für die Berechnung der Schallabstrahlung wird ein Schwellengleis im Schotterbett verwendet, wobei es keine Unterscheidung zwischen Holz-, Beton- oder Stahlschwelle gibt. Fahrbahnarten mit davon abweichenden akustischen Kenngrößen werden über Pegelkorrekturen c_1 gemäß Tabelle 5.4 erfasst. Korrekturen für einen vom durchschnittlichen Zustand abweichenden Fahrflächenzustand (büG) werden über Pegelkorrekturen c_2 gemäß Tabelle 5.5. vorgenommen. c_1 und c_2 sind in Oktaven im Frequenzbereich von $f=63$ Hz bis $f=8000$ Hz anzugeben.

Für Maßnahmen, die in die oben genannten Kategorien 1. bis 3. fallen, sind die entsprechenden Korrekturwerte zu den D_{Fb} und die Pegelkorrekturen c_1 bzw. c_2 messtechnisch zu ermitteln.

3.2 Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg

Bei innovativen Schallschutzmaßnahmen auf dem Ausbreitungsweg ist grundsätzlich zu prüfen, ob eine Beschreibung als Hindernis im Schallweg entsprechend den Rechenvorschriften im Kap. 7 der Schall 03 die Wirksamkeit angemessen abbildet. Konventionelle Schallschutzwände, die der Richtlinie 804.5501 "Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken" [11] der DB AG entsprechen, werden bei Berechnungen von Beurteilungspegeln nach Schall 03 als Hindernis im Ausbreitungsweg entsprechend ihrer Geometrie abgebildet. Es ist absehbar, dass dieses Verfahren bei innovativen Lösungen wie z.B. Beugungskanten oder gleisnahen niedrigen Wandausführungen zu falschen Werten führen kann, die die Wirkung einer Maßnahme entweder über- oder unterschätzen. Gemäß Kap. 11.2.2.8 der Schall 03-neu sind in diesem Fall *„Abschirmeinrichtungen und ähnliche Maßnahmen ... in Zuordnung zu den bestehenden Regelungen zu beschreiben“* [3]. Unter Berücksichtigung dieser Maßgabe wird als Ziel der Nachweisführung festgelegt, die Höhe H_E einer Ersatzschallschutzwand zu bestimmen, die in einer Entfernung von 3,8 m von der Gleisachse aufgestellt ist und mindestens die gleiche Wirkung hat. Als „mindestens gleiche Wirkung“ wird festgelegt, dass durch Messungen nachgewiesen ist, dass die nach Schall 03-neu für das Prüfgleis berechneten Beurteilungspegel für Immissionsorte in einem Abstand von 25 m von der Gleisachse in Höhen von 1,2 m, 3,5 m, 6,3m, 9,1m über Schienenoberkante hinter der Ersatzschallschutzwand der Höhe H_E nicht überschritten werden. Die Höhen von 3,5 m, 6,3m und 9,1m können als repräsentativ für EG, 1. OG und 2. OG eines Gebäudes angesehen werden.

In der Schall 03-alt sind Abweichungen von dem dort in Kap. 7 festgelegten Verfahren für die Berücksichtigung einer Schallschutzmaßnahme auf dem Ausbreitungsweg nicht vorgesehen. Dennoch ist es sinnvoll, auch vor Inkrafttreten der Schall 03-neu und ohne die Möglichkeit einer Anerkennung der akustischen Wirksamkeit, die Höhe H_E einer Ersatzschallschutzwand auf Basis des Ausbreitungsmodells der Schall 03-alt zu berechnen. Dies ermöglicht die Beschreibung der Wirkung einer Maßnahme auf dem Ausbreitungsweg durch einen Einzahlwert auf klar definierter Grundlage und die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Maßnahmen. Weitere Einzelheiten sind in Kap. 10 festgelegt.

3.3 Maßnahmen für Brücken

Einen Spezialfall stellt die Schallabstrahlung bei der Überfahrt eines Zuges über eine Brücke dar, da zusätzlich zum normalen Rollgeräusch tieffrequente Geräuschanteile („Brückendröhnen“) hinzutreten. Abhängig vom Brückentyp kann die Pegelerhöhung im Vergleich zur freien Strecke bis zu 12 dB(A) betragen. Maßnahmen zur Minderung des Brückendröhns teilen sich auf in:

1. Maßnahmen am Gleis, insbesondere zur Entkopplung des Gleises von der Brückenkonstruktion (z.B. hochelastische Schienenlager, Schwellenbesohlungen, Unterschottermatten),
2. Maßnahmen zur Verminderung der Schwingungen der Brückenstruktur.

Schall 03-alt:

Die erhöhte Schallabstrahlung bei der Überfahrt eines Zuges über eine Brücke wird durch einen pauschalen Korrekturwert $D_{Br} = + 3\text{dB}$ berücksichtigt. Differenzierungen nach unterschiedlichen Brückentypen und eine Berücksichtigung von Lärminderungsmaßnahmen speziell für Brücken sind nicht vorgesehen. Daher sind für den Nachweis der lärmindernden Wirkung von Innovationen für Brücken nur die Korrekturen nach Schall 03 – neu zu ermitteln.

Schall 03-neu:

Die Berücksichtigung der erhöhten Schallabstrahlung im Bereich einer Brücke erfolgt über eine kombinierte Brücken- und Fahrbahnkorrektur K_{Br} , die neben der Schallabstrahlung der Brücke auch den Einfluss der Fahrbahnart auf der Brücke enthält. Vier Brückentypen werden unterschieden, deren K_{Br} zwischen +3 dB und +12 dB liegen. Maßnahmen zur Minderung der Schallabstrahlung einer Brücke werden durch einen separaten Korrekturwert K_{LM} berücksichtigt. K_{Br} und K_{LM} sind Summenpegel. Eine spektrale Betrachtung findet nicht statt.

3.4 Maßnahmen gegen Quietschgeräusche in Kurven

Quietschgeräusche beim Durchfahren von Weichen oder engen Gleisbögen entstehen durch Schlupfbewegungen zwischen Rad und Schiene, da das bogeninnere Rad nicht optimal abrollen kann. Wegen ihrer Tonhaltigkeit haben sie eine besonders hohe Belästigungswirkung. In der Schall 03 wird dies durch einen frequenzunabhängigen Zuschlag D_{Ra} (Schall 03-alt) bzw. K_L (Schall 03-neu) für Kurven mit Radien $R < 500\text{m}$ berücksichtigt:

$R < 300 \text{ m}:$	$D_{Ra}, K_L = 8 \text{ dB}$
$300 \text{ m} \leq R < 500 \text{ m}:$	$D_{Ra}, K_L = 3 \text{ dB}$

Ziel des Einsatzes innovativer Techniken ist die signifikante Reduzierung bzw. vollständige Vermeidung von Quietschgeräuschen.

3.5 Zusammenfassung

Tab. 1 gibt eine Übersicht über die möglichen Korrekturwerte, mit denen die Wirkung von Schallschutzmaßnahmen im Regelwerk der 16. BImSchV verankert werden kann.

Tab.1: Übersicht über die Korrekturwerte, die gemäß der Systematik der 16. BImSchV für Schallschutzmaßnahmen zu ermitteln sind.

	Schall 03 - alt	Schall 03 – neu
Maßnahmen am Fahrweg	D_{Fb}	c1, c2
Maßnahmen am Brückenkörper	-	K_{Br}
Maßnahmen am Fahrweg auf Brücken	-	K_{LM}
Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg	$H_E^{*)}$	H_E

^{*)} Die Höhe H_E der Ersatzschallschutzwand ermittelt auf Basis der Schall 03-alt dient der vergleichbaren Quantifizierung von Maßnahmen ohne die Möglichkeit einer Anerkennung der akustischen Wirkung.

4 Prinzip der Nachweisführung

Der akustische Effekt einer Maßnahme am Fahrweg oder am Ausbreitungsweg wird durch den Vergleich der Schallemissionen von Schienenfahrzeugen bei Vorbeifahrt ermittelt. Die Anforderungen der DIN 45642 [8] sind zu berücksichtigen. Die Nachweisführung soll grundsätzlich auf zwei Arten geschehen:

1. Es werden zwei räumlich benachbarte Versuchsabschnitte eingerichtet, die sich nur um die zu untersuchende Maßnahme unterscheiden. Wenn ein Schienenfahrzeug beide Versuchsabschnitte mit gleicher Geschwindigkeit durchfährt, entspricht die Differenz zwischen den an beiden Abschnitten ermittelten Schallemissionen des Fahrzeugs dem akustischen Effekt der Maßnahme für dieses Fahrzeug und diese Geschwindigkeit. Da der akustische Effekt abhängig von der Zugart, vom Zug (Betriebsbedingungen und Radrauheiten) und den Vorbeifahrtgeschwindigkeiten variieren kann, werden die Pegeldifferenzen für verschiedene Züge, Zugarten und Geschwindigkeiten ermittelt und statistisch ausgewertet.
2. Es wird eine Referenzmessung zeitnah vor Einbau der zu untersuchenden Maßnahme durchgeführt. Für verschiedene Züge, Zugarten und Geschwindigkeiten werden Beurteilungspegel ermittelt. Die Messung wird an gleichem Ort nach Einbau der Maßnahme wiederholt und aus den Pegeldifferenzen der akustische Effekt ermittelt.

In begründeten Ausnahmefällen kann die Nachweisführung auf eine der beiden Arten beschränkt werden. Die Gründe hierfür sind zu dokumentieren.

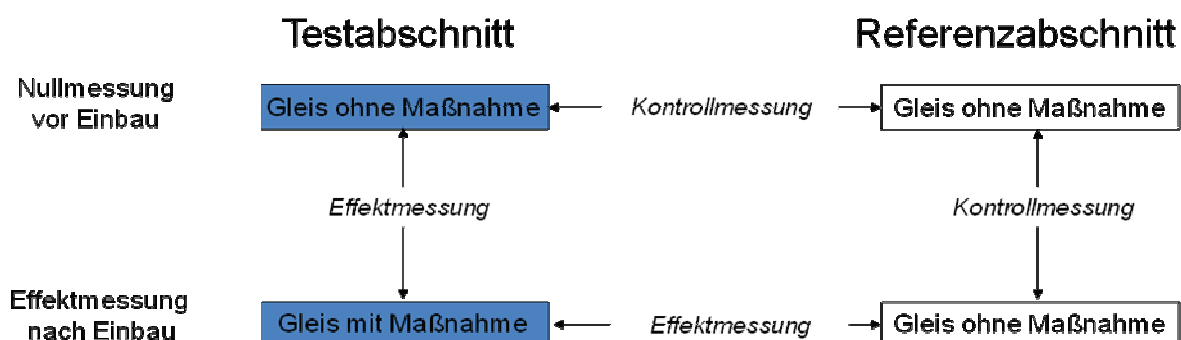


Abb. 4.1: *Prinzip der Nachweisführung: An einem Testabschnitt und einem benachbarten Referenzabschnitt werden vor und nach Einbau einer Maßnahme zum Schallschutz Messungen des Luftschalls durchgeführt.*

5 Auswahl von Versuchsabschnitten

Versuchsabschnitte müssen für akustische Messungen geeignet sein. Sie sollen sich in einem freien geraden Streckenabschnitt befinden. Ausgenommen hiervon sind Maßnahmen, die sich ausdrücklich auf bestimmte Gleislagen (z.B. Kurven, Brücken etc.) beziehen.

Es sind folgende wesentliche Anforderungen einzuhalten:

- Im Bereich des Dreiecks zwischen Gleis und Mikrofon, welches sich entlang des Gleises zu jeder Seite bis zum zweifachen Mikrofonabstand ausdehnt, muss der Messplatz so beschaffen sein, dass freie Schallausbreitung besteht. Der Bereich muss frei von schallabsorbierenden Gegenständen (z.B. Schneedecke, hoher Bewuchs) oder reflektierenden Oberflächen (z.B. Wasser, Eis, Asphalt oder Beton) sein.
- Der Kreis um jeden Mikrofonstandort mit einem Radius, der das Dreifache des Abstands Mikrofon-Gleisachse beträgt, muss frei von reflektierenden Gegenständen wie Schutzwänden, Hügeln, Felsen, Brücken oder Gebäuden sein.
- Es sollen die Zugarten ICE, IC, RE und Güterzug verkehren.
- Die Versuchsabschnitte mit bzw. ohne Maßnahme sollen vorzugsweise direkt nebeneinander liegen.
- Die Versuchsabschnitte müssen vor den Versuchen einen identischen und homogenen Oberbau besitzen. Hierzu sind die Versuchsabschnitte ggf. zu stopfen. Eine einheitliche Schienenfahrflächenqualität ist sicherzustellen und nachzuweisen. Der Rauheitspegel $L_{\lambda CA}$ [13] als Einzahlwert zur Bewertung der Schienenrauheit soll um nicht mehr als 1 dB auf den Versuchsabschnitten variieren ($L_{\lambda CA}$ ist für eine Geschwindigkeit zu ermitteln, die typisch für die Strecke bzw. das Zugmaterial ist). Ein Schienenschleifen (vorzugsweise ein BÜG-konformes Verfahren) vor Beginn der Versuche ist zu empfehlen.
- Im Bereich der Versuchsabschnitte dürfen sich keine Bahnübergänge befinden.

Die Versuchsabschnitte sollen zudem folgende Eigenschaften haben:

- Oberbau: Schotteroberbau mit Betonschwelle, Zwischenlage auf beiden Abschnitten einheitlich, lückenlos verschweißte Schiene (Ausnahme bei Maßnahmen, die sich auf bestimmte Fahrbahnarten wie z.B. Feste Fahrbahn beziehen).
- Das Gleis muss im Bereich der Messung ohne Stoßstellen, Laschen oder Isolierstöße und frei von sichtbaren Oberflächenbeschädigungen wie Brandstellen oder Narben sein, die durch die Kompression fremden Materials zwischen Rad und Schiene verursacht sind.
- Es dürfen keine hörbaren Stoßgeräusche infolge Schweißstellen oder lockerer Schwellen auftreten.

- Länge mindestens jeweils 200 m.
- Steigung/Gefälle $\leq 0,5 \text{ ‰}$.
- Der Kurvenradius R des Gleises muss betragen:
 - $R \geq 1000 \text{ m}$ für Prüfungen bei einer Zuggeschwindigkeit $v \leq 70 \text{ km/h}$.
 - $R \geq 3000 \text{ m}$ für Prüfungen bei einer Zuggeschwindigkeit $70 \text{ km/h} < v \leq 120 \text{ km/h}$.
 - $R \geq 5000 \text{ m}$ für Prüfungen bei einer Zuggeschwindigkeit $v > 120 \text{ km/h}$.
- Keine Überhöhung.
- Die Pegelminderung durch Boden- und Meteorologiedämpfung (D_{BM}) nach Schall 03 im Bereich der Messebenen soll möglichst gleich sein und im Bereich von $-1,0 \text{ dB}$ bis $+1,5 \text{ dB}$ liegen. Differenzen zwischen den D_{BM} -Werten der einzelnen Messebenen können bis zu $0,5 \text{ dB}$ zugelassen werden. Sie müssen in der Auswertung berücksichtigt werden.
- Im Bereich der Messebenen muss die Geschwindigkeit der Schienenfahrzeuge konstant sein. Darum sollte bei der Auswahl auch auf Signalstandorte geachtet werden.
- Der Messort ist so auszuwählen, dass das Hintergrundgeräusch während aller Vorbeifahrten der Fahrzeuge vernachlässigt werden kann. Der Höchstwert von $L_{pAeq,T}$ mit $T=20 \text{ s}$ des Fremdgeräuschs über alle Messpunkte muss mindestens 10 dB unter dem von $L_{pAeq,Tp}$ liegen, der während der Zugvorbeifahrt gemessen wird (diese Anforderung entspricht dem Entwurf prEN ISO 3095:2010, der als Ersatz für EN ISO 3095:2005 vorgesehen ist). Für die Frequenzanalyse muss diese Differenz mindestens 10 dB in jedem interessierenden Frequenzband liegen. Werden die Messungen bei Bedingungen durchgeführt, bei denen die Pegeldifferenz von 10 dB geringfügig unterschritten wird, so ist ein typisches A-bewertetes Terzspektrum des Hintergrundgeräuschs zu erstellen und zu dokumentieren, um die Gültigkeit der Messungen zu belegen.

6 Auftragnehmer und Prüfspezifikation

Der für die Durchführung und Auswertung der Messungen beauftragte Auftragnehmer soll als Prüflabor gemäß DIN EN ISO / IEC 17025 akkreditiert sein. Der Auftragnehmer erstellt eine Prüfspezifikation und legt sie der DB AG (Fachabteilung Akustik und Erschütterungen, DB Systemtechnik, TTZ 112) vor. Die Prüfspezifikation wird im Vorfeld der Messungen mit der zuständigen Genehmigungsbehörde bzw. einem durch diese benannten Sachverständigen abgestimmt.

Die Prüfspezifikation muss folgende wesentliche Punkte enthalten:

- Ziel der Nachweisführung
- Angaben zu geplanten Messorten und zum Zustand der Versuchsabschnitte
- Aussagen zur Übereinstimmung der Messbedingungen an den geplanten Messorten mit den Vorgaben aus Kapitel 5 und ggf. Begründung von Abweichungen
- Ablaufplan mit den durchzuführenden Messungen und der Anzahl der mindestens zu messenden Zugvorbeifahrten für jede Zuggattung einschließlich der erwarteten Geschwindigkeiten
- Aufstellung der voraussichtlich einzusetzenden Mess- und Datenerfassungsgeräte
- Zu erfassende Messgrößen und deren weitere Auswertung

7 Messgrößen und Auswertung

Der akustische Effekt einer Maßnahme wird aus der Differenz gemessener Luftschallpegel auf Versuchsabschnitten mit Maßnahme (Testabschnitt) und ohne Maßnahme (Referenzabschnitt) sowie aus der Differenz gemessener Luftschallpegel auf Testabschnitten nach und vor Einbau der Maßnahme ermittelt. Dazu sind grundsätzlich folgende messtechnischen Untersuchungen durchzuführen:

- Messungen des Schalldruckpegels mittels ortsfester Mikrofone seitlich vom Gleis während der Vorbeifahrt von Regelzügen oder von Versuchszügen,
- Messungen der Rauheit der Schienenfahrflächen in den Versuchsabschnitten.

Zusätzlich oder alternativ können im Einzelfall erforderlich sein:

- Rollgeräuschmessung mit dem Schallmesswagen als Ergänzung oder Ersatz für Messungen der Rauheit der Schienenfahrflächen,
- Messungen der dynamischen Eigenschaften des Oberbaus (Abklingraten, z.B. bei Maßnahmen, die das Schwingungsverhalten von Schiene und Schwelle verändern),
- Indirekte Messung der kombinierten Rad- und Schienenrauheit mittels Beschleunigungsaufnehmern am Schienenfuß.

In diesem Kapitel werden allgemeine Anforderungen an Durchführung und Auswertung von Messungen festgelegt. Diese werden in den Kapiteln 9 – 12 für die Anwendungsfälle „Maßnahmen am Fahrweg“, „Maßnahmen am Ausbreitungsweg“, „Brücken“ und „Maßnahmen gegen Quietschgeräusche“ weiter detailliert.

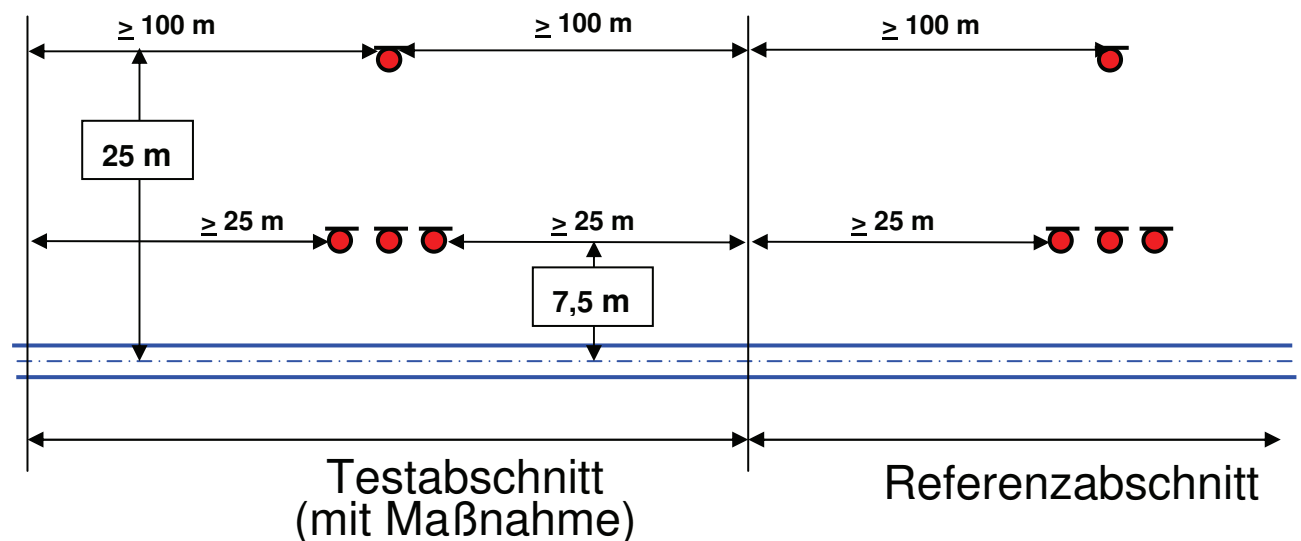


Abb. 7.1: Anordnung von Test- und Referenzabschnitt sowie der Mikrofonpositionen in jeweils drei Messebenen.

7.1 Luftschall

Grundsätzlich gelten die Anforderungen der DIN EN ISO 3095 [4]. Im Einzelfall erforderliche Abweichungen sind zu begründen.

7.1.1 Meteorologische Voraussetzungen

Messungen dürfen nur bei Witterungsbedingungen erfolgen, die zu keinem signifikanten Fremdgeräusch führen (siehe Anforderungen in Kap. 5). Die Fläche zwischen Mikrofonen und Gleis darf nicht mit Nässe gesättigt oder mit Schnee bedeckt sein. Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck und Windgeschwindigkeit und -richtung sind zu dokumentieren.

7.1.2 Messpositionen

An jedem Versuchsabschnitt sind drei Messebenen mit jeweils mindestens 100 m Abstand zum Ende des jeweiligen Versuchsabschnitts auszuwählen. Die Messebenen müssen untereinander mindestens 7,5 m Abstand haben.

In jeder Messebene wird ein Messpunkt in 7,5 m Entfernung zur Gleisachse und 1,2 m über Schienenoberkante gewählt.

In der mittleren Messebene wird zusätzlich ein Messpunkt in 25 m Entfernung zur Gleisachse und 3,5 m über Schienenoberkante gewählt

Die Messpunkte an den Versuchsabschnitten liegen auf der gleichen Seite des Gleises. Es soll nicht über andere Gleise hinweg gemessen werden. Zur Veranschaulichung siehe Abb. 7.1.

7.1.3 Durchführung und Auswertung der Luftschallmessungen

An allen Messpunkten wird für jede vermessene Vorbeifahrt der Vorbeifahrtexpositionspegel TEL nach DIN EN ISO 3095 [4] bestimmt. Sofern nicht explizit anders angegeben, ist im Frequenzbereich zwischen 63 Hz und 8000 Hz zu messen. Für Test- und Referenzabschnitt wird getrennt für den 7,5 m Messpunkt der TEL für die Vorbeifahrt des Zuges durch arithmetische Mittelung der Werte an den drei Messebenen berechnet. Ist die Pegeldifferenz zwischen den höchsten und niedrigsten Werten, die gemittelt werden sollen, größer als 0,5 dB, wird die Messung verworfen.

Systematische Differenzen zwischen den Messebenen durch unterschiedliche Einflüsse von Boden- und Meteorologiedämpfung sind durch entsprechende Korrekturwerte D_{BM} gemäß Schall 03 zu berücksichtigen.

Die Messwerte sind abhängig von der Zugklasse nach Geschwindigkeit zu klassifizieren. Für die Geschwindigkeitsklassen gilt folgende Festlegung:

- Für Geschwindigkeiten bis zu $v = 100$ km/h dürfen die Geschwindigkeiten innerhalb einer Klasse um höchstens ± 5 % vom Mittelwert abweichen.

- Für Geschwindigkeiten oberhalb von $v = 100$ km/h dürfen die Geschwindigkeiten innerhalb einer Klasse um höchstens ± 5 km/h vom Mittelwert abweichen.

Für die Mindestanzahl von gültigen Zugvorbeifahrten in jeder Geschwindigkeitsklasse gelten die Anforderungen der DIN 45642 [8].

Generell sollte die Geschwindigkeit jedes Zuges sowohl bei der Einfahrt in den Untersuchungsabschnitt als auch bei der Ausfahrt bestimmt werden. Bei Differenzen bis 5 % sind beide Werte arithmetisch zu mitteln. Bei Differenzen oberhalb von 5 % sind die Messwerte zu verwerfen.

Die weiteren Auswerteschritte sind in den Kap. 9 – 11 beschrieben.

7.1.4 Messgeräte

Das Prüfmittelmanagement soll den Vorgaben der Norm DIN EN ISO / IEC 17025 [9] entsprechen und die Messapparaturen die Anforderungen der EN ISO 3095:2005 [4] erfüllen. Die Mikrofone sollen horizontal und senkrecht zum Gleis ausgerichtet und mit einem geeigneten Windschirm ausgestattet werden. Die Kalibrierung der gesamten Messeinrichtungen, vor Beginn bzw. nach Beendigung einer Messreihe, soll mit einem Schallkalibrator der Klasse 1 nach EN 60942 [10] durchgeführt werden. Die Differenzen zwischen den Kalibrierungen vor Beginn bzw. nach Beendigung einer Messreihe dürfen 0,5 dB nicht überschreiten.

Die Zuggeschwindigkeit ist mit einer Messunsicherheit von weniger als 5% zu erfassen.

7.2 Schienenrauheit

Auf unterschiedlichen Abschnitten gemessene Luftschallpegel sind selbst bei identischen Zügen nur dann vergleichbar, wenn die akustischen Rauheiten der Schienen nahezu identisch sind. Da dies im Allgemeinen nicht vorausgesetzt werden kann, sind auf allen Versuchsabschnitten innerhalb einer Zeitspanne von maximal einem Monat zu den Luftschallmessungen die Schienenrauheiten zu messen.

Die Rauheitsmessungen erfolgen im Bereich der Messquerschnitte, die für Luftschallmessungen am Abschnitt mit Maßnahme und am Referenzabschnitt vorgesehen sind sowohl vor als auch nach Einbau der Maßnahme. Auf eine Wiederholung der Rauheitsmessung nach Einbau der Maßnahme kann in begründeten Fällen verzichtet werden, z.B. wenn zwischen Vor- und Nachmessung eine Zeitspanne von weniger als einem Monat liegt und zwischenzeitlich keine Arbeiten durchgeführt wurden, die einen signifikanten Einfluss auf die Schienenfahrfläche haben können (Schienentausch, Schleifen, Fräsen etc.). Die Gründe für den Verzicht sind zu dokumentieren. Zeigen sich signifikante Unterschiede bei den Schallpegelmessungen am Referenzabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme, so sind Rauheitsmessungen auch nach Einbau der Maßnahme durchzuführen. Die Messung der Schienenrauheit und die Auswertung der Messwerte erfolgen entsprechend den Vorgaben der EN 15610 [6]. Der Wellenlängenbereich muss mindestens die Wellenlängen

$0,003\text{m} \leq \lambda \leq 0,10\text{ m}$ bei Zuggeschwindigkeiten bis zu 200 km/h einschließen. Bei Zuggeschwindigkeiten oberhalb von 200 km/h ist der Wellenlängenbereich $0,003\text{m} \leq \lambda \leq 0,25\text{ m}$ zu erfassen.

7.3 Schallmesswagen

Mit dem Schallmesswagen der DB Systemtechnik steht ein Messfahrzeug zur Verfügung, mit dem die Fahrflächenqualität der Schienen auf längeren Abschnitten schnell und kostengünstig erfasst werden kann. Für bestimmte Anwendungsfälle (z.B. bei der akustischen Bewertung neuer Schleifverfahren) kann es daher sinnvoll sein, ergänzend Messfahrten mit dem Schallmesswagen durchzuführen. Dies ist mit der DB Netz AG (I.NVE 3) und der DB Systemtechnik (TTZ 112) abzustimmen.

7.4 Abklingraten

Beim Abrollen des Rades auf der Schiene werden Rad, Schiene und Schwelle zu Schwingungen angeregt, was wiederum zur Abstrahlung von Schallwellen führt. Daher ist die Dämpfung der Schiene ein entscheidender Parameter für den Beitrag der Schiene zum Rollgeräusch.

Bei Maßnahmen zur Minderung der Schallabstrahlung, welche das Schwingverhalten der Schiene beeinflussen (z.B. Schienendämpfer), besteht ein Zusammenhang zwischen der Veränderung der Gleisabklingraten („Track decay rates“ - TDR) und der Veränderung der Schallabstrahlung. Daher ist es erforderlich, zur Bewertung solcher Schallschutzmaßnahmen in Ergänzung zum Luftschall die Abklingraten der Schiene zu messen. Dies ermöglicht ggf. die Erfassung der Minderungswirkung einer Maßnahme unabhängig vom Zugkollektiv.

Es werden die Gleisabklingraten sowohl der vertikalen als auch der transversalen Biegewelle in der Schiene in Längsrichtung gemessen. Messung und Auswertung erfolgen gemäß den Vorgaben der Norm EN 15461 [7]. Die vertikalen und transversalen Gleisabklingraten sind an folgenden Positionen zu messen:

- im Testabschnitt vor Einbau der Maßnahme,
- im Referenzabschnitt vor Einbau der Maßnahme,
- im Testabschnitt nach Einbau der Maßnahme.

Die Ergebnisse sind in einem Prüfbericht entsprechend den Anforderungen der EN 15461 [7] zu dokumentieren. Für jede der beiden Schwingungsrichtungen „vertikal“ und „transversal“ sind die gemessenen Abklingraten im Testabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme in graphischer Form als Terzspektren in einem gemeinsamen Diagramm darzustellen. Für die Form der Darstellung gelten die Anforderungen aus Abschnitt 9.2 der EN 15461 [7].

8 Dokumentation

8.1 Allgemeine Angaben

Durchführung und Auswertung der Messungen sind in einem Prüfbericht zu dokumentieren. Der Prüfbericht muss unter Hinweis auf dieses Dokument und die anzuwendenden Normen alle wichtigen Einzelheiten (inklusive Skizzen und Fotos) zu folgenden Punkten enthalten:

- Art der Prüfung,
- Datum, Ort, Name und Anschrift der Messstelle,
- Messeinrichtung mit Datum der letzten Kalibrierung,
- Ort der Prüfung (Lageplan) und Position der Messpunkte,
- Beschreibung der Versuchsabschnitte (Oberbau, Vorbereitung der Abschnitte, Geländeprofile, Messpositionen, Fotos),
- Meteorologische Bedingungen (Umgebungstemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag),
- Störgeräuschpegel,
- Prüfablauf (Messprotokoll),
- Mess- und Ergebnisgrößen einschließlich der angewendeten Korrekturen und Auswertalgorithmen,
- Begründung für verworfene Messwerte,
- Ergebnis der Prüfung,

sowie alle weiteren Informationen, die zur Beurteilung der Prüfung und der Ergebnisse dienen können.

8.2 Dokumentation von Messungen des Luftschallpegels

Die Ergebnisse von Messungen des Luftschallpegels sind vollständig in tabellarischer Form zu dokumentieren. Für jede gemessene Vorbeifahrt und für jeden Immissionsort sind anzugeben:

- Zugart mit Baureihe des Triebfahrzeugs,
- Zuggeschwindigkeit,
- Bremsart,
- Vorbeifahrtexpositionspegel TEL mit den zugehörigen Zeitdauern T und T_p gemäß EN ISO 3095 [4],
- Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$,
- alle weiteren für die Beurteilung der Vorbeifahrt wichtigen Angaben.

Die Pegel sind jeweils als Terzspektrum und als Summenpegel zu dokumentieren. Alle Messergebnisse sind dauerhaft auf einem geeigneten Speichermedium zu sichern.

Weitere Anforderungen an die Dokumentation sind in den Kap. 9 – 12 enthalten.

8.3 Dokumentation von Messungen der Schienenrauheit

Die Ergebnisse der Rauheitsmessungen sind entsprechend den Vorgaben aus Kap. 9 und Kap. 10 der EN 15610 [6] zu dokumentieren.

Zusätzlich sind zu dokumentieren:

1. Für jede Messebene der Luftschallmessungen das gemittelte Rauheitsspektrum als Oktavspektrum für Vormessung und Nachmessung
2. Für jede Messebene der Luftschallmessungen der Rauheitspegel $L_{\lambda CA}$ [13] als Einzahlwert zur Bewertung der Schienenrauheit.

9 Maßnahmen am Fahrweg - Bestimmung der Korrekturwerte D_{Fb} , $c1$ und $c2$

Es gelten die allgemeinen Vorgaben aus Abschnitt 7.1.3. Die über die drei Messebenen (s. Abb. 7.1) gemittelten Vorbeifahrtexpositionspegel TEL sind für jeden Mikrofonabstand getrennt den Zugkategorien ICE, IC, RE und Güterzug sowie Geschwindigkeitsklassen zuzuordnen. Anschließend sind folgende Differenzen einschließlich ihrer Standardabweichungen zu bilden:

$$\Delta L_{j,k}^{N-V} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{j,k,n,Nach} - TEL_{j,k,n,Vor}) \quad (9.1.a)$$

$$\Delta L_{j,k}^{N-NR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{j,k,n,Nach} - TEL_{j,k,n,Nach,Ref}) \quad (9.1.b)$$

$$\Delta L_{j,k}^{V-VR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{j,k,n,Vor} - TEL_{j,k,n,Vor,Ref}) \quad (9.1.c)$$

$$\Delta L_{j,k}^{NR-VR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{j,k,n,Nach,Ref} - TEL_{j,k,n,Vor,Ref}) \quad (9.1.d)$$

Es bedeuten:

j	Zugkategorieindex (ICE, IC, RE, G-Zug)
k	Geschwindigkeitsklasse
n	Nr. der Zugvorbeifahrt
$N_{j,k}$	Zahl der Zugvorbeifahrten der Zugkategorie j in der Geschwindigkeitsklasse k
$TEL_{j,k,n,Vor}$	Vorbeifahrtexpositionspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k im Testabschnitt vor Einbau der Maßnahme
$TEL_{j,k,n,Nach}$	Vorbeifahrtexpositionspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k im Testabschnitt nach Einbau der Maßnahme
$TEL_{j,k,n,Vor,Ref}$	Vorbeifahrtexpositionspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k im Referenzabschnitt vor Einbau der Maßnahme
$TEL_{j,k,n,Nach,Ref}$	Vorbeifahrtexpositionspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k im Referenzabschnitt nach Einbau der Maßnahme

Die Differenzen aus Gl.(9.1) sind als Summenpegel, Terz- und Oktavspektren zu berechnen.

Die Differenzen $\Delta L_{j,k}^{N-V}$ und $\Delta L_{j,k}^{N-NR}$ bewerten den Effekt der Maßnahme, in dem sie die Messergebnisse am Testabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme vergleichen bzw. in dem sie die Messergebnisse an Test- und Referenzabschnitt vergleichen.

Die Differenzen $\Delta L_{j,k}^{V-VR}$ und $\Delta L_{j,k}^{NR-VR}$ dienen zur Korrektur der Ergebnisse, da Test- und Referenzabschnitt im Allgemeinen nicht exakt gleichwertig sind (z.B. auf Grund unterschiedlicher Schienenrauheiten) oder wo eine signifikante Veränderung des Gleises oder des Rollmaterials zwischen Vor- und Nachmessung statt gefunden hat.

9.1 Korrektur der Pegeldifferenzen

Im Allgemeinen sind die Beträge der Pegeldifferenzen $\Delta L_{j,k}^{V-VR}$ und $\Delta L_{j,k}^{NR-VR}$ der Kontrollmessungen ungleich Null. Daher sind die Differenzen $\Delta L_{j,k}^{N-V}$ und $\Delta L_{j,k}^{N-NR}$ entsprechend zu korrigieren:

$$\Delta L_{j,k,\text{korrr}}^{N-V} = \Delta L_{j,k}^{N-V} - \Delta L_{j,k}^{NR-VR} \quad (9.2.a)$$

$$\Delta L_{j,k,\text{korrr}}^{N-NR} = \Delta L_{j,k}^{N-NR} - \Delta L_{j,k}^{V-VR} \quad (9.2.b)$$

9.2 Dokumentation

Für die Dokumentation gelten die allgemeinen Vorgaben aus Kapitel 8. Weiterhin sind in tabellarischer Form zu dokumentieren:

- Die Mittelwerte der Pegel $TEL_{j,k,n,\text{Nach}}$, $TEL_{j,k,n,\text{Vor}}$, $TEL_{j,k,n,\text{Nach,Ref}}$, $TEL_{j,k,n,\text{Vor,Ref}}$ innerhalb jeder Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse jeweils für die beiden Abstände 7,5 m und 25m.
- Die Differenzen $\Delta L_{j,k}^{N-V}$, $\Delta L_{j,k}^{N-NR}$, $\Delta L_{j,k}^{V-VR}$, $\Delta L_{j,k}^{NR-VR}$, $\Delta L_{j,k,\text{korrr}}^{N-V}$, $\Delta L_{j,k,\text{korrr}}^{N-NR}$ separat für jede Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse jeweils für die beiden Abstände 7,5 m und 25m. Die Differenzen sind als Terzspektren, Oktavspektren und Summenpegel anzugeben.
- Die Zahl $N_{j,k}$ der ausgewerteten Zugvorbeifahrten in der Zugkategorie j und in der Geschwindigkeitsklasse k.
- Die mittlere Geschwindigkeit in jeder Geschwindigkeitsklasse.
- Pegelschriebe repräsentativerer Zugvorbeifahrten für jede Zugkategorie an Test- und Referenzabschnitt.

9.3 Gleispflegeverfahren

Maßnahmen zur akustischen Verbesserung des Fahrflächenzustands der Schienen können über einen Fahrbahnkorrekturwert D_{Fb} (Schall 03-alt) oder über Pegelkorrekturen c_2 (Schall 03-neu) berücksichtigt werden. Grundsätzlich soll die Nachweisführung durch Vergleich der Schallemissionen von Zugvorbeifahrten auf einem Testabschnitt mit denen eines Versuchsabschnitts, auf welchem das zu bewertende Verfahren angewendet wird, geschehen. In der Regel werden Test- und Referenzabschnitt Längen von deutlich mehr als 1 km haben, so dass die Nachweisführung bevorzugt mit Messfahrzeugen (z. B. Schallmesswagen, indirekte Rauheitsmessungen an Bord eines Messfahrzeugs) erfolgt, die durch punktuelle Messungen von Luftschall und Schienenrauheit ergänzt wird. Die Auswahl von Versuchsabschnitten soll die Anforderungen aus Kap. 5 soweit anwendbar berücksichtigen. Für Luftschall- und Rauheitsmessungen gelten die Anforderungen aus Kap. 7. Auswertung und Dokumentation der Luftschallmessungen soll unter sinngemäßer Anwendung der Vorgaben aus den Abschnitten 9.1 und 9.2 erfolgen.

Da der akustische Zustand der Fahrfläche der Schiene ständigen Veränderungen ausgesetzt ist, bilden die Korrekturwerte D_{Fb} und c_2 die mit der Maßnahme im zeitlichen Mittel erzielbaren Lärm-minderungen ab. Daher wird es im Rahmen der Nachweisführung in der Regel erforderlich sein, die Schallemissionen (oder damit korrelierte Messgrößen wie z.B. die Fahrflächenrauheit) von Test- und Referenzabschnitt über einen längeren Zeitraum zu messen, um daraus einen zeitlichen Mittelwert zu bestimmen. Weitere Einzelheiten (z.B. die Länge des Beobachtungszeitraums, der zeitliche Abstand der einzelnen Messungen, Einsatz des Schallmesswagens, Auswertung der Messungen und Bestimmung der Korrekturwerte etc.) sind im jeweiligen konkreten Anwendungsfall in Abstimmung mit der Fachabteilung Akustik und Erschütterungen, DB Systemtechnik, TTZ 112, festzulegen.

10 Maßnahmen am Ausbreitungsweg

10.1 Grundlegende Vorgehensweise

Bei Maßnahmen am Ausbreitungsweg, die nicht den Vorgaben der Richtlinie 804.5501 „Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken“ entsprechen (z.B. gleisnahe Schallschutzwände, Beugungskanten, Aufsätze für Solarzellen etc.) sind grundsätzlich zwei Möglichkeiten zu prüfen:

1. Die Maßnahme kann entsprechend ihrer tatsächlichen Geometrie als Hindernis im Ausbreitungsweg gemäß den Vorgaben von Schall 03-alt bzw. Schall 03-neu beschrieben werden.
2. Es wird die Höhe H_E einer Ersatzschallschutzwand gleicher Wirksamkeit bestimmt.

Dazu werden Messungen des Luftschalls mit in unterschiedlichen Abständen vom Gleis und in unterschiedlichen Höhen positionierten Mikrofonen am Versuchsabschnitt und einem geeignet gewählten Referenzabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme durchgeführt. Daraus wird durch Vergleich von Test- und Referenzabschnitt bzw. durch den Vergleich von Messungen am Testabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme die erzielte Pegelminderung ermittelt. Diese wird mit validierten Rechnungen auf Basis der Richtlinie Schall 03 verglichen, woraus ggf. die Höhe H_E bestimmt werden kann. Bezüglich der Berücksichtigung eines Parameters H_E im Rahmen der Schall 03-alt wird auf Kapitel 3.2 verwiesen.

10.2 Auswahl eines Versuchsabschnitts

Versuchsabschnitte müssen den Anforderungen aus Kap. 5 entsprechen. Sie müssen mindestens jeweils eine geeignete Messebene im Bereich der Maßnahme (Testabschnitt) und in einem benachbarten Referenzabschnitt ermöglichen.

10.3 Positionen der Mikrofone

Am Test- und am Referenzabschnitt ist jeweils ein Messquerschnitt auszuwählen. Der Abstand zum Ende des Testabschnitts soll jeweils mindestens 100 m betragen. Die Messpunkte an Test- und Referenzabschnitt liegen auf der gleichen Seite des Gleises. Es soll nicht über andere Gleise hinweg gemessen werden. Sowohl im Messquerschnitt am Referenzabschnitt als auch am Messquerschnitt an der Maßnahme sind folgende Mikrofonpositionen erforderlich, um die Richtwirkung der Maßnahme korrekt zu erfassen (s. Abb. 10.1):

- in 7,5 m Entfernung zur Gleisachse in Höhen von 1,2 m und 3,5 m,
- in 25 m Entfernung zur Gleisachse in Höhen von 1,2 m, 3,5 m, 6,3 m und 9,1 m über Schienenoberkante.

Die Höhen von 3,5 m, 6,3 m und 9,1 m können als Immissionsorte im EG, 1.OG und 2.OG eines fiktiven Gebäudes angenommen werden.

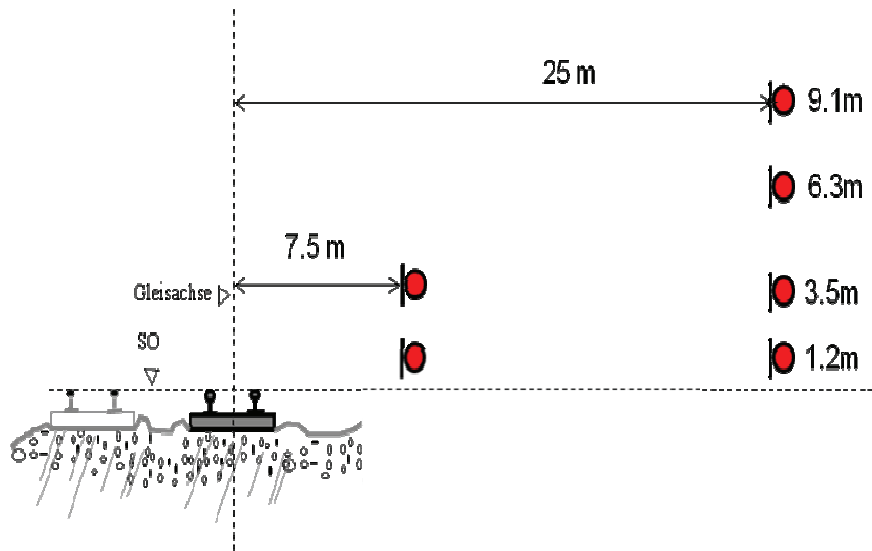


Abb. 10.1: Schematische Darstellung der Mikrofonpositionen am Testabschnitt bzw. Referenzabschnitt

10.4 Durchführung und Auswertung der Messungen

Es gelten die allgemeinen Anforderungen aus Abschnitt 7.1.3 mit der Ausnahme, dass eine Mittelwertbildung über unterschiedliche Mikrofonpositionen nicht erfolgt.

Für jede gemessene Zugvorbeifahrt sind der Vorbeifahrtexpositionspegel TEL und der Abwertete Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h}$ als Oktavspektrum zu ermitteln. Die einzelnen Spektren sind den Zugkategorien ICE, IC, RE und Güterzug sowie Geschwindigkeitsklassen zuzuordnen. Für die Geschwindigkeitsklassen gelten die Festlegungen aus Abschnitt 7.1.3.

Für jeden Immissionsort (Mikrofonposition) sind innerhalb einer Geschwindigkeitsklasse für jede Zugkategorie die Mittelwerte

$$(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-V} = (1/N_{j,k}) \sum_n (L_{Am,1h,j,k,n,Nach,MP} - L_{Am,1h,j,k,n,Vor,MP}) \quad (10.1.a)$$

$$(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-NR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (L_{Am,1h,j,k,n,Nach,MP} - L_{Am,1h,j,k,n,Nach,Ref,MP}) \quad (10.1.b)$$

$$(\Delta L_{j,k})_{MP}^{V-VR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (L_{Am,1h,j,k,n,Vor,MP} - L_{Am,1h,j,k,n,Vor,Ref,MP}) \quad (10.1.c)$$

$$(\Delta L_{j,k})_{MP}^{NR-VR} = (1/N_{j,k}) \sum_n (L_{Am,1h,j,k,n,Nach,Ref,MP} - L_{Am,1h,j,k,n,Vor,Ref,MP}) \quad (10.1.d)$$

zu berechnen. Es bedeuten:

j	Zugkategorieindex
k	Geschwindigkeitsklasse
n	Nr. der Zugvorbeifahrt
$N_{j,k}$	Zahl der Zugvorbeifahrten der Zugkategorie j in der Geschwindigkeitsklasse k
MP	Mikrofonposition (Immissionsort)

$L_{Am,1h,j,k,n,Vor,MP}$	A-bewerteter Stundenmittlungspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt MP im Testabschnitt vor Einbau der Maßnahme
$L_{Am,1h,j,k,n,Nach,MP}$	A-bewerteter Stundenmittlungspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt MP im Testabschnitt nach Einbau der Maßnahme
$L_{Am,1h,j,k,n,Vor,Ref,MP}$	A-bewerteter Stundenmittlungspegel der Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt MP im Referenzabschnitt vor Einbau der Maßnahme
$L_{Am,1h,j,k,n,Nach,Ref,MP}$	A-bewerteter Stundenmittlungspegel Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt MP im Referenzabschnitt nach Einbau der Maßnahme

Die Differenz $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-V}$ ergibt sich demnach aus dem direkten Vergleich der Messungen an den einzelnen Mikrofonpositionen vor und nach Einbau der Maßnahme.

Die Differenz $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-NR}$ beschreibt die Wirkung der Maßnahme durch den Vergleich der Schallpegel identischer Züge im Bereich der Maßnahme und am Referenzabschnitt.

Die Differenzen $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{V-VR}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{NR-VR}$ werden zur Korrektur verwendet (s. folgenden Abschnitt).

10.5 Korrektur der Pegeldifferenzen

Im Allgemeinen sind die Beträge der Pegeldifferenzen $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{V-VR}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{NR-VR}$ der Kontrollmessungen ungleich Null, da Test- und Referenzabschnitt aus akustischer Sicht in der Regel nicht absolut gleichwertig sind bzw. eine signifikante Veränderung des akustischen Zustands zwischen Vor- und Nachmessung stattgefunden hat. Die Differenzen sind $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-V}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-NR}$ sind daher entsprechend zu korrigieren:

$$(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-V} = (\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-V} - (\Delta L_{j,k})_{MP}^{NR-VR} \quad (10.2.a)$$

$$(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-NR} = (\Delta L_{j,k})_{MP}^{N-NR} - (\Delta L_{j,k})_{MP}^{V-VR} \quad (10.2.b)$$

Für die nachfolgenden Auswertungsschritte (Abschnitt 10.6) sind $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-V}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-NR}$ zu verwenden. Die Korrekturen gemäß Gl. (10.2) gehen von der Grundannahme aus, dass zeitliche Veränderungen der Schallemission z.B. wegen Zunahme der Schienenrauheit auf Test- und Referenzabschnitt gleich erfolgen. Diese Annahme ist auf Basis von Rauheitsmessungen zu überprüfen.

10.6 Berechnung von Stundenmittlungspegeln nach Schall 03

Die Differenzen $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-V}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-NR}$ werden mit den Ergebnissen einer Computersimulation auf der Basis des Ausbreitungsmodells der Schall 03 verglichen, um daraus ggf. die Höhe H_E bestimmen zu können.

Nach dem Stand von Mai 2010 existiert noch keine validierte Software für Berechnungen gemäß Schall 03-neu. Solange diese nicht zur Verfügung steht, sind ausschließlich Berechnungen auf Basis der Schall 03-alt durchzuführen (s. auch Kap. 3.2). Sobald zukünftig auch entsprechende Rechenprogramme nach Schall 03-neu verfügbar sind, sollen die im Folgenden beschriebenen Berechnungen auch für das Verfahren der Schall 03-neu erfolgen. Nach Inkrafttreten der Schall 03-neu ist nur noch nach dieser Vorschrift zu rechnen.

Folgende Schritte sind zu durchlaufen:

1. Es ist ein Computermode für die örtliche Situation von Test- und Referenzabschnitt mittels einer für Ausbreitungsrechnungen nach Schall 03 validierten Software zu erstellen.
2. Als Immissionsorte sind die Mikrofonpositionen an Test- und Referenzabschnitt zu wählen.
3. Die Schallschutzmaßnahme ist entsprechend ihrer Geometrie als Hindernis im Ausbreitungsweg zu modellieren.
4. Für jede Zugkategorie und jede Geschwindigkeitsklasse werden Stundenmittelungspegel als Oktavspektrum (nur bei Auswertung nach Schall 03 neu) und als Summenpegel berechnet. Als Zuglänge wird jeweils die mittlere Länge aller ausgewerteten Züge in der Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse angesetzt. Folgende Pegel sind zu berechnen:

$L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}$ A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für einen Immissionspunkt, der Messpunkt MP im Testabschnitt ohne Maßnahme entspricht

$L_{Am,1h,j,k,MP}^{MM}$ A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für einen Immissionspunkt, der Messpunkt MP im Testabschnitt mit Maßnahme entspricht

$L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF}$ A-bewerteter Stundenmittelungspegel der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für einen Immissionspunkt, der Messpunkt MP im Referenzabschnitt entspricht

Die Berechnungen sollen ohne Berücksichtigung des Schienenbonus S durchgeführt werden. Sofern zwischen Referenzabschnitt und Testabschnitt ohne Maßnahme keine Unterschiede bestehen, kann auf die Berechnung von $L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF}$ verzichtet werden (in diesem Fall identisch mit $L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}$).

5. Es sind für jeden Immissionsort die Differenzen

$$(\Delta L)_{MP,sim}^{N-V} = 1/(N_j N_k) \sum_{j,k} (L_{Am,1h,j,k,MP}^{MM} - L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}) \quad (10.3.a)$$

$$(\Delta L)_{MP,sim}^{N-NR} = 1/(N_j N_k) \sum_{j,k} (L_{Am,1h,j,k,MP}^{MM} - L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF}) \quad (10.3.b)$$

als Mittelwerte über alle Zugkategorien j und alle Geschwindigkeitsklasse k zu berechnen. N_j bezeichnet die Zahl der Zugkategorien und N_k die Zahl der Geschwindigkeitsklassen. Die Berechnung von Gl. (10.3b) entfällt, sofern $L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF} = L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}$.

6. Die auf Basis des Regelwerks Schall 03 berechneten Pegeldifferenzen $(\Delta L)_{MP,sim}^{N-V}$ und $(\Delta L)_{MP,sim}^{N-NR}$ sind mit den zugehörigen Messwerten $(\Delta L)_{MP,korr}^{N-V}$ und $(\Delta L)_{MP,korr}^{N-NR}$, die durch Mittelwertbildung bezüglich der Zugkategorien j und der Geschwindigkeitsklassen k aus den $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-V}$ und $(\Delta L_{j,k})_{MP,korr}^{N-NR}$ (s. Abschnitt 10.4) entstehen, zu vergleichen. Für jeden Messpunkt sind die folgenden Bedingungen zu prüfen (10.4b entfällt, sofern $L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF} = L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}$):

$$(\Delta L)_{MP,sim}^{N-V} \geq (\Delta L)_{MP,korr}^{N-V} \quad (10.4.a)$$

$$(\Delta L)_{MP,sim}^{N-NR} \geq (\Delta L)_{MP,korr}^{N-NR} \quad (10.4.b)$$

Sind die Bedingungen aus den Gl. (10.4) nicht erfüllt, so führt die Beschreibung der Maßnahme als Hindernis im Ausbreitungsweg zu einer Überschätzung ihrer Wirkung und ist damit ungeeignet für Ausbreitungsrechnungen gemäß der 16. BImSchV. In diesem Fall ist zu prüfen, ob die Beschreibung durch eine Ersatzschallschutzwand mit einer geeignet zu wählenden Höhe H_E möglich ist.

Sind die Bedingungen aus den Gl. (10.4) eingehalten, so ist sichergestellt, dass bei Berücksichtigung der Maßnahme bei Ausbreitungsrechnungen gemäß Schall 03 die berechneten Beurteilungspegel keine Benachteiligung von Immissionsorten verglichen mit konventionellen Schallschutzwänden, die der Richtlinie 804.5501 [11] entsprechen, auftritt. Allerdings verbleibt die Möglichkeit einer Unterschätzung der Wirksamkeit. Auch in diesem Falle ist zu prüfen, ob die Beschreibung durch eine Ersatzschallschutzwand mit einer geeignet zu wählenden Höhe H_E möglich ist.

Anmerkung: Erfolgt die Modellierung auf Grundlage der Schall 03-neu, so sind die Bedingungen der Gl. (10.4) für alle Oktaven im Frequenzbereich von 63 Hz bis 8 kHz einzuhalten.

10.6.1 Beschreibung der Maßnahme durch eine Ersatzschallschutzwand

Führt die Modellierung einer Schallschutzmaßnahme auf dem Ausbreitungsweg als Hindernis im Sinne der Schall 03 nicht zu befriedigenden Ergebnissen, weil z.B. die Wirkung unter- oder überschätzt wird, so ist alternativ zu prüfen, ob die Modellierung in Form einer Ersatzschallschutzwand möglich ist. Dazu sind die zuvor genannten Schritte 1. – 6. zu durchlaufen, wobei folgende Änderungen zu beachten sind:

- Schritt 3: An Stelle der tatsächlichen Geometrie der Maßnahme wird eine Schallschutzwand einer Höhe H im Abstand von 3,8 m von der Gleisachse im Modell angesetzt.
- Beginnend mit dem Anfangswert $H=0,1$ m ist H iterativ in Schritten von 0,1 m zu erhöhen und für jeden Wert von H ist die Einhaltung der Bedingungen aus Gl. (10.4) zu prüfen.

- Die Iteration wird beendet, sobald mindestens eine der Bedingungen aus Gl. (10.4) nicht mehr eingehalten ist
Erfolgt die Modellierung auf Grundlage der Schall 03-neu, so endet die Iteration, sobald mindestens eine der Bedingungen der Gl. (10.4) für mindestens eine Oktave im Frequenzbereich von 63 Hz bis 8 kHz nicht mehr eingehalten ist.

H_E ergibt sich aus der Höhe des letzten Iterationsschritts, bei dem die Bedingungen aus Gl. (10.4) noch eingehalten sind.

10.7 Dokumentation

Für die Dokumentation gelten die allgemeinen Vorgaben aus Kapitel 8. Weiterhin sind in tabellarischer Form zu dokumentieren:

- Die Mittelwerte der Pegel $L_{Am,1h,j,k,n,Nach,MP}$, $L_{Am,1h,j,k,n,Vor,MP}$, $L_{Am,1h,j,k,n,Nach,Ref,MP}$, $L_{Am,1h,j,k,n,Vor,Ref,MP}$ innerhalb jeder Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse für alle Messpunkte MP.
- Die Differenzen $(\Delta L)_{MP}^{N-V}$, $(\Delta L)_{MP}^{N-NR}$, $(\Delta L)_{MP}^{V-VR}$, $(\Delta L)_{MP}^{NR-VR}$, $(\Delta L)_{MP,korr}^{N-V}$, $(\Delta L)_{MP,korr}^{N-NR}$ separat für jede Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse für alle Messpunkte MP. Differenzen sind als Terzspektren, Oktavspektren und Summenpegel anzugeben.
- Die Zahl $N_{j,k}$ der ausgewerteten Zugvorbeifahrten in der Zugkategorie j und in der Geschwindigkeitsklasse k.
- Die mittlere Geschwindigkeit in jeder Geschwindigkeitsklasse.
- Pegelschriebe repräsentativerer Zugvorbeifahrten für jede Zugkategorie an Test- und Referenzabschnitt.

10.8 Dokumentation der Berechnungsergebnisse nach Schall 03

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen sind wie folgt zu dokumentieren:

- Verwendete Software mit Versionsnummer,
- Grundlagen der Modellerstellung (Herkunft und Genauigkeit der verwendeten Höhendaten etc.),
- Berechnete Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,j,k,MP}^{OM}$, $L_{Am,1h,j,k,MP}^{MM}$ und $L_{Am,1h,j,k,MP}^{REF}$ pro Mess- bzw. Immissionspunkt für jede Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse als Oktavpegel (nur Schall 03-neu) und Summenpegel,
- Differenzen entsprechend Gl. (10.2a) und Gl. (10.2b) in Kapitel 10.5,
- Bei Prüfung einer Ersatzschallschutzwand: Dokumentation der Ergebnisse aus der Iteration entsprechend Kapitel 10.6.1,
- Bei Differenzen zwischen Messungen und Simulation: Angabe möglicher Ursachen und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise.

11 Maßnahmen zur Minderung der Schallemissionen beim Überfahren von Brücken

Beim Befahren von Brücken treten zusätzliche Anteile im Luftschallspektrum zum normalen Rollgeräusch hinzu. Grund hierfür ist, dass Brücken in ihrer Struktur generell schwingungsfähige Systeme darstellen, die während einer Zugüberfahrt angeregt werden können. Die Anregungsfrequenzen werden hauptsächlich durch die Schwellenfachfrequenz bestimmt und liegen damit geschwindigkeitsabhängig im Bereich von 20 Hz bis 250 Hz. Ebenfalls zur Anregung beitragen können Polygonisierungen bzw. Unrundheiten von Rädern sowie langwellige Strukturen auf der Schienenoberfläche wie z.B. Schlupfwellen. Gerade bei großflächigen Strukturen mit schwacher Dämpfung, wie sie für Stahlbrücken typisch sind, kann es dadurch zu einem deutlichen Anstieg der Schallemission im Bereich tiefer Frequenzen kommen, der als „Brückendröhnen“ wahrgenommen wird. Maßnahmen zur Minderung des Brückendröhnens können solche am Fahrweg (Schwellensole, Unterschottermatten etc.) oder solche an der Brückenstruktur sein (Versteifungen der schwingenden Elemente, Anbau von Schwingungsdämpfern etc.).

11.1 Prinzip der Nachweisführung

Es gelten grundsätzlich die Vorgaben gemäß Kap. 4. Die Nachweisführung soll grundsätzlich auf drei Arten erfolgen (s. auch Abb. 11.1):

1. durch Messungen des Schallpegels identischer Zugvorbeifahrten auf der Brücke mit Maßnahme und an einem Referenzabschnitt an der freien Strecke in unmittelbarer Nachbarschaft zur Brücke. Dies liefert die gesamte Pegelerhöhung durch die Brücke einschließlich Maßnahme bezogen auf die freie Strecke und damit die Summe der Korrekturfaktoren K_{Br} und K_{LM} .
2. durch Vergleichsmessungen des Luftschalls vor und nach deren Einbau an identischen Messpositionen. Hieraus werden die Minderung der Schallemission durch die Maßnahme bezogen auf die Brücke ohne Maßnahme und damit direkt der Korrekturfaktor K_{LM} gemäß Tab. 1 bestimmt.
3. Durch Messung des Körperschalls an Brückenkörper und Schiene vor und nach Einbau einer Maßnahme.

Falls auf eine Art der Nachweisführung verzichtet wird, ist dies zu begründen.

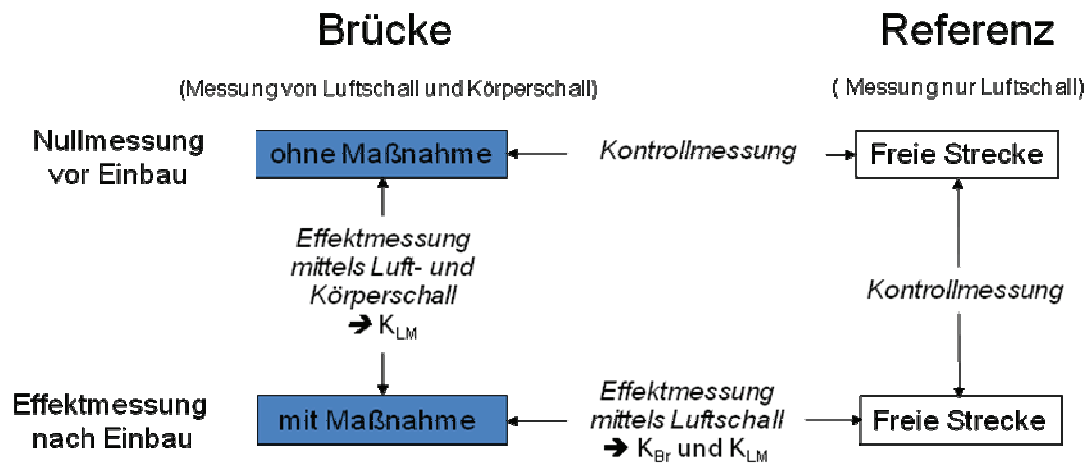


Abb. 11.1: Prinzip der Nachweisführung für Lärminderungsmaßnahmen an Brücken.

11.2 Luftschallmessungen

11.2.1 Festlegung der Luftschall-Messpositionen an der Brücke

Die Mikrofonpositionen für die Messungen vor und nach Realisierung der Maßnahme müssen identisch sein. Daher müssen Positionen vermieden werden, die ggf. nach Realisierung der Maßnahme nicht mehr verwendet werden können. Die Messebene soll zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$ der Spannweitenlänge der Brücke liegen. Die Mikrofone sollen in einem Abstand von 7,5 m von der Gleisachse und in einer Höhe von $1,2 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ über Schienenoberkante sowie in einem Abstand von 25 m von der Gleisachse und in einer Höhe von $3,5 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ über Schienenoberkante angeordnet werden. Zwischen dem zu vermessenden Überbau und der Mikrofonposition darf kein weiterer Überbau liegen. Gegebenenfalls muss auf beiden Seiten der Brücke gemessen werden. Ein weiterer Messpunkt ist unterhalb der Fahrbahn (Messebene zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$ der Spannweitenlänge der Brücke) in einer Höhe von 3 m unterhalb Schienenoberkante anzuordnen.

11.2.2 Auswahl des Referenzmesspunkts

Der Referenzmesspunkt soll an einem Abschnitt der an die Brücke angrenzenden freien Strecke gewählt werden. Der Abstand des zugehörigen Messquerschnitts vom Ende der Brücke gemessen entlang der Gleisachse soll mindestens 100 m betragen. Wird nur am 7,5 m-Punkt gemessen, so kann der Abstand auf 30 m reduziert werden. Es ist eine rechnerische Abschätzung durchzuführen für den Einfluss der erhöhten Schallabstrahlung aus dem Bereich der Brücke auf das Messsignal am Referenzmesspunkt.

Die Anforderungen an die akustische Umgebung gemäß Abschnitt 6.2.1 der EN ISO 3095 [1] sind einzuhalten.

Die Mikrofonpositionen sollen denen an der Brücke entsprechen, d.h. sie sollen in einem Abstand von 7,5 m von der Gleisachse und in einer Höhe von $1,2 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ über Schienenoberkante sowie in einem Abstand von 25 m von der Gleisachse und in einer Höhe von $3,5 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ über Schienenoberkante angeordnet werden.

11.2.3 Durchführung der Luftschall-Messungen

11.2.3.1 Meteorologische Voraussetzungen

Es gelten die Anforderungen gemäß Kapitel 7.1.2.

11.2.3.2 Messgeräte

Für die eingesetzten Messgeräte gelten die Anforderungen aus Kapitel 7.2

11.2.3.3 Störgeräusche

Es dürfen keine Störgeräusche wie z.B. durch vorbeifahrende Autos, kreuzende Züge etc. auftreten. Besonders das Luftschallspektrum vorbeifahrender Autos mit Geräuschanteilen sowohl im nieder- als auch im hochfrequenten Spektralbereich führt zu massiven Verfälschungen der Messergebnisse, die nachträglich nicht mehr korrigiert werden können. Der Höchstwert von $L_{pAeq,T}$ mit $T=20$ s des Fremdgeräuschs an den Messpositionen „Brücke“ und „Referenz“ muss mindestens 10 dB unter dem von $L_{pAeq,Tp}$ liegen, der während der Zugvorbeifahrt gemessen wird (diese Anforderung entspricht dem Entwurf prEN ISO 3095:2010, der als Ersatz für EN ISO 3095:2005 vorgesehen ist). Für die Frequenzanalyse muss diese Differenz mindestens 10 dB in jedem interessierenden Frequenzband liegen. Das Hintergrundgeräusch ist durch ein typisches Terzspektrum (sowohl unbewertet als auch A-bewertet) zu dokumentieren.

11.2.3.4 Messgrößen

Für jede Vorbeifahrt wird der zeitliche Verlauf des Schalldruckpegels und die Geschwindigkeit des Zuges gemessen. Generell sollte die Geschwindigkeit jedes Zuges gemessen werden, wenn die Spitze des Zuges den Anfang der Brücke erreicht und dann erneut, wenn der Zugschluss die Brücke wieder verlässt. Bei geringfügigen Differenzen bis 5 % sind beide Werte arithmetisch zu mitteln. Bei Differenzen oberhalb von 5 % sind die Messwerte zu verwerfen. Sinngemäß ist an der Referenzmessstelle zu verfahren.

Die einzelnen Spektren sind den Zugkategorien ICE, IC, RE und Güterzug sowie Geschwindigkeitsklassen zuzuordnen. Für die Geschwindigkeitsklassen gelten die Festlegungen aus Abschnitt 7.1.3. Es sind für jede Zugkategorie und jede Geschwindigkeitsklasse mindestens 10 Zugvorbeifahrten zu messen.

Die Schienenrauheit soll im Bereich der Brücke und an der Referenzmessstelle gemäß den Vorgaben aus Abschnitt 7.2 gemessen werden. Die Ergebnisse sind entsprechend den Vorgaben aus Kap. 9 und Kap. 10 der EN 15610 [5] zu dokumentieren. Die Schienenrauheit kann beim Auftreten tonaler Anteile in den Luftschallspektren wichtige Hinweise auf deren Ursache liefern und wird zur Bewertung der Vergleichbarkeit der Luftschallmessungen an der Brücke und am Referenzabschnitt benötigt. Wird im Einzelfall auf die Messung der Schienenrauheit verzichtet, so sind die Gründe anzugeben.

11.2.4 Auswertung der Luftschallmessungen

Für alle Messorte wird für jede Zugvorbeifahrt der „unbewertete Vorbeifahrtexpositionspegel TEL_u “ bestimmt. Als „unbewerteter Vorbeifahrtexpositionspegel TEL_u “ soll in diesem Dokument ein gemäß Gl. (8) der Norm EN ISO 3095: 2005 [4] berechneter Schallpegel bezeichnet werden, der jedoch auf Basis des unbewerteten momentanen Schalldrucks $p(t)$ anstatt des A-bewerteten momentanen Schalldrucks $p_A(t)$ ermittelt wird. Die Züge sind den Geschwindigkeitsklassen und den Zugkategorien ICE, IC, RE und Güterzug zuzuordnen. Im konkreten Anwendungsfall ist zu entscheiden, ob noch weitere Zugkategorien (z.B. S-Bahn) zu bilden sind.

11.2.4.1 Vergleichsmessungen Brücke/Referenz

Innerhalb einer Geschwindigkeitsklasse ist für jede Zugkategorie der Mittelwert

$$\Delta L_{j,k}^{BN-R} = (1/N_{j,k}) \sum_n (TEL_{u,j,k,n,Br,Nach} - TEL_{u,j,k,n,Ref}) \quad (11.1)$$

zu bilden. Es bedeuten:

j	Zugkategorieindex
k	Geschwindigkeitsklasse
n	Nr. der Zugvorbeifahrt
$N_{j,k}$	Zahl der Zugvorbeifahrten der Zugkategorie j in der Geschwindigkeitsklasse k
$TEL_{u,j,k,n,Br,Nach}$	Unbewerteter Vorbeifahrtexpositionspegel von Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt Brücke nach Realisierung der Maßnahme
$TEL_{u,j,k,n,Ref}$	Unbewerteter Vorbeifahrtexpositionspegel von Zugvorbeifahrt n der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Referenzmesspunkt

Der Mittelwert aller $\Delta L_{j,k}^{BN-R}$ ergibt dann die Summe der Korrekturen K_{Br} und K_{LM} :

$$K_{Br} + K_{LM} = 1/(N_j N_k) \sum_{j,k} \Delta L_{j,k}^{BN-R} \quad (11.2)$$

mit:

N_j	Zahl der Zugkategorien
N_k	Zahl der Geschwindigkeitsklassen

11.2.4.2 Vergleichsmessungen Brücke (Vormessung)/Brücke (Nachmessung)

Innerhalb einer Geschwindigkeitsklasse k sind für jede Zugkategorie j die Mittelwerte

$$L_{j,k,Vormessung} = (1/N_{j,k,Vor}) \sum_{nv} (TEL_{u,j,k,nv,Br,Vor}) \quad (11.3a)$$

und

$$L_{j,k,Nachmessung} = (1/N_{j,k,Nach}) \sum_{nn} (TEL_{u,j,k,nn,Br,Nach}) \quad (11.3b)$$

zu bilden. Es bedeuten:

j	Zugkategorieindex
k	Geschwindigkeitsklasse
nv	Nr. der Messung vor Einbau der Maßnahme
nn	Nr. der Messung nach Einbau der Maßnahme
$N_{j,k,Vor}$	Zahl der Zugvorbeifahrten der Zugkategorie j in der Geschwindigkeitsklasse k am Messpunkt Brücke vor Einbau der Maßnahme
$N_{j,k,Nach}$	Zahl der Zugvorbeifahrten der Zugkategorie j in der Geschwindigkeitsklasse k am Messpunkt Brücke nach Einbau der Maßnahme
$TEL_{u,j,k,nv,Br,Vor}$	Unbewerteter Vorbeifahrtexpositionspegel von Zugvorbeifahrt nv der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt Brücke vor Einbau der Maßnahme
$TEL_{u,j,k,nn,Br,Nach}$	Unbewerteter Vorbeifahrtexpositionspegel von Zugvorbeifahrt nn der Zugkategorie j und der Geschwindigkeitsklasse k für den Messpunkt Brücke nach Einbau der Maßnahme

Die zur Maßnahme gehörige Korrektur K_{LM} ergibt sich als Mittelwert über alle Zugkategorien und alle Geschwindigkeitsklassen der Differenzen von $L_{j,k,Nachmessung}$ und $L_{j,k,Vormessung}$

$$K_{LM} = 1/(N_j N_k) \sum_{j,k} (L_{j,k,Nachmessung} - L_{j,k,Vormessung}) \quad (11.4)$$

mit:

N_j	Zahl der Zugkategorien
N_k	Zahl der Geschwindigkeitsklassen

11.3 Dokumentation der Ergebnisse

Es gelten die allgemeinen Vorgaben aus Kapitel 8. Weiterhin sind zu dokumentieren:

- Die mittleren Pegel TEL_u für jede Zugklasse und jede Geschwindigkeitskategorie als Terzspektren an den Messpunkten „Brücke“ und „Referenz sowohl vor als auch nach Einbau der Maßnahme mit den zugehörigen Geschwindigkeiten und Zugkategorien
- Die Mittelwerte $L_{j,k,Vormessung}$ und $L_{j,k,Nachmessung}$ als Terzspektren
- Die Mittelwerte $\Delta L_{j,k}^{BN-R}$
- Der berechnete Korrekturfaktor K_{LM}

Die Luftschallspektren der einzelnen Vorbeifahrten sind als Terzspektren in digitaler Form zu liefern.

11.4 Bestimmung der Brückenkorrekturen aus Körperschallmessungen

Auf Grund der speziellen Anforderungen an Messungen zur erhöhten Schallabstrahlung an Brücken und der für die Durchführung der Messungen häufig stark eingeschränkten Eignung von

konkreten Einbauorten für Schallminderungsmaßnahmen wird empfohlen, die Wirksamkeit von Maßnahmen ergänzend auch über Körperschallmessungen nachzuweisen.

Die Körperschallmessungen sollen gemäß DIN 45672-1 [14] durchgeführt und gemäß DIN 45672-2 [15] ausgewertet werden. Sind Abweichungen von den in der Norm genannten Bedingungen erforderlich, so sind diese zu begründen, mit dem Auftraggeber abzustimmen und zu dokumentieren.

11.4.1 Positionen der Messpunkte

- Die Messebene soll zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$ der Spannweitenlänge der Brücke liegen.
- Mindestens zwei Körperschallmesspunkte an der Schiene zur Messung der vertikalen Schwingschnelle bei ca. $\frac{2}{3}$ der Länge eines Schwellenfachs.
- Mindestens ein Körperschallmesspunkt auf der Schwelle (Schwellenmitte) zur Messung der vertikalen Schwingschnelle.
- Mindestens drei Körperschallmesspunkte an der Unterseite der Fahrbahnplatte (unterhalb der Messpunkte an Schiene und Schwelle) zur Messung der vertikalen Schwingschnelle.
- Mindestens drei Körperschallmesspunkte am Stegblech (statistisch verteilt über ein Stegblech)

11.4.2 Durchführung und Auswertung der Messungen

Gemessen wird der Zeitverlauf der Schwingschnelle simultan an allen Messpunkten während Zugvorbeifahrten vor bzw. nach Realisierung der Maßnahme.

Das Zeitsignal wird auf die Dauer der geometrischen Vorbeifahrt begrenzt. Anschließend werden für jede Vorbeifahrt die über die Zeit energetisch gemittelten Körperschall-Terzfrequenzspektren $L_{lin,v}$ bestimmt. Die Zugfahrten werden in Geschwindigkeitsklassen gemäß den Vorgaben aus Abschnitt 7.1.3 eingeteilt und den Zugarten ICE, IC, RE und Güterzug zugeordnet. In jeder Kategorie erfolgt eine arithmetische Mittelung der Körperschallspektren. Anschließend werden für jede Kategorie die arithmetischen Mittelwerte über alle Messpositionen auf der Schiene, an der Fahrbahnplatte und am Stegblech gebildet. Die Wirksamkeit der Maßnahme folgt dann aus dem Vergleich der Mittelwerte vor und nach Realisierung der Maßnahme.

Die Dokumentation der Ergebnisse erfolgt analog zu den Vorgaben aus Abschnitt 11.3. Die Körperschallspektren der einzelnen Vorbeifahrten sind als Terzspektren in digitaler Form zu liefern.

12 Maßnahmen gegen Quietschgeräusche

Eine besondere Komponente der Schallemission aus dem Schienenverkehr sind Quietschgeräusche. Diese können beim Durchfahren von engen Bögen oder Weichen entstehen. Schallpegel von 100 dB(A) oder mehr in 10 m Entfernung vom Gleis in Kombination mit ausgeprägter Tonhaltigkeit und hohen Frequenzen (bis zu 10 kHz) führen zu hoher Belästigungswirkung. Das Auftreten von Quietschgeräuschen ist witterungsabhängig und stochastisch und somit schwer reproduzierbar. Daher erfordert der Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen gegen Quietschgeräusche eine separate Vorgehensweise. Die Nachweisführung erfolgt in Anlehnung an die Vorgaben, die im Rahmen des UIC-Projekts „Combating Curve Squeal“ [12] erarbeitet wurden.

12.1 Prinzip der Nachweisführung

Der akustische Effekt einer Maßnahme gegen Quietschgeräusche wird durch den Vergleich der Schallemissionen von Schienenfahrzeugen bei Vorbeifahrt ermittelt. Grundsätzlich ist zwischen zwei Arten von Maßnahmen zu unterscheiden:

1. Maßnahmen, die temporär zu- bzw. abgeschaltet werden können (z.B. Schienenschmiereinrichtungen, Sprinkleranlagen etc.)

Es wird eine Referenzmessung 1 im Zustand mit abgeschalteter Maßnahme durchgeführt. Nach Abschluss der Referenzmessung 1 erfolgt die Effektmessung mit zugeschalteter Maßnahme. Im Anschluss daran wird in einer Referenzmessung 2 nochmals der Zustand ohne Maßnahme gemessen werden. Es ist sicherzustellen, dass zwischen Abschalten der Anlage und Beginn der Referenzmessungen etwaige auf der Schiene vorhandene Rückstände von Reibmitteln etc. restlos entfernt wurden. Dies ist zu dokumentieren. Der akustische Effekt der Maßnahme wird aus dem Vergleich der gemessenen Schalldruckpegel mit zu- bzw. abgeschalteter Anlage ermittelt. In begründeten Ausnahmefällen kann eine der Referenzmessungen entfallen. Die Gründe hierfür sind zu dokumentieren.

2. Maßnahmen, die fest installiert sind (z.B. Dämpfer an der Schiene, spezielle Bauform der Schiene etc.)

Es wird eine Referenzmessung zeitnah vor Einbau der zu untersuchenden Maßnahme durchgeführt. Die Messung wird an gleichem Ort nach Einbau der Maßnahme wiederholt und aus dem Vergleich der gemessenen Schalldruckpegel der akustische Effekt ermittelt.

12.2 Anforderungen an den Messort

Der Ort muss für akustische Messungen geeignet sein. Er muss freies, ebenes Gelände auf beiden Seiten des Gleises aufweisen. Niedriger Bewuchs ist zugelassen. Die Schallausbreitung störende Hindernisse sind in der Umgebung des Immissionsortes bis zur dreifachen Messentfernung unzulässig.

Der Messort ist so auszuwählen, dass das Hintergrundgeräusch während aller Vorbeifahrten der Fahrzeuge vernachlässigt werden kann. Dafür muss der durch störende Schallquellen hervorgerufene A-bewertete Schalldruckpegel mindestens 10 dB(A) unterhalb des während einer Vorbeifahrt gemessenen A-bewerteten Maximalpegels liegen und ebenso müssen die für den Maximalpegel relevanten Terzpegel mindestens 10 dB(A) über denen des Hintergrundgeräuschs liegen. Werden die Messungen bei Bedingungen durchgeführt, bei denen die Pegeldifferenz von 10 dB(A) geringfügig unterschritten wird, so ist ein typisches A-bewertetes Terzspektrum des Hintergrundgeräuschs zu erstellen und zu dokumentieren, um die Gültigkeit der Messungen zu belegen.

12.3 Meteorologische Voraussetzungen

Es gelten die Anforderungen gemäß Kapitel 7.1.2. Die Schiene muss während der Messungen frei von Niederschlagsresten sein.

12.4 Messpositionen

Quietschgeräusche treten während des Durchfahrens einer Kurve als zeitlich sehr stark schwankendes Signal mit ausgeprägten Spitzen auf, wobei die Maxima selbst bei Vorbeifahrten identischer Züge im Allgemeinen an verschiedenen Stellen entlang einer Kurve liegen. Grund hierfür ist, dass das Auftreten von Quietschgeräuschen von der jeweiligen Lage des Rad-Schiene Kontakts und dem Anlaufwinkel der Achsen abhängt. Daher ist es erforderlich, mehrere Mikrofone entlang einer Kurve zu installieren.

Entlang einer Kurve mit der Länge l (gemessen entlang der Gleisachse) sind n äquidistante Messquerschnitte auszuwählen. In jedem Messquerschnitt wird auf jeder Seite des Gleises ein Messpunkt in 7,5 m Entfernung zur Gleisachse und 1,2 m über Schienenoberkante ausgewählt. Die Zahl der Messquerschnitte n ergibt sich dann aus der Beziehung

$$n = l / 15 \quad (12.1)$$

wobei l in m einzusetzen ist.

Beispiel: Eine Kurve habe einen Radius von $R = 200$ m und einen Öffnungswinkel von $\alpha = 30^\circ$. Daraus ergibt sich gemäß $l = \alpha R / 180^\circ$ eine Länge $l = 105$ m. Gemäß Gl. (12.1) sind damit 7 Messquerschnitte im Abstand von jeweils 14 m zu wählen. Insgesamt sind 14 Mikrofone erforderlich.

Ist es auf Grund örtlicher Gegebenheiten nicht möglich, die Mikrofone in 7,5 m Abstand von der Gleisachse zu positionieren, so darf ein alternativer Messpunktabstand d im Bereich zwischen 5,5 m und 9,5 m gewählt werden. Die Gründe hierfür sind zu dokumentieren.

Falls erforderlich kann insbesondere bei Kurven mit großem Öffnungswinkel die Zahl der Mikrofone reduziert werden, in dem nur ein Teil der Kurve abgedeckt wird. Ist die Zahl n der Mikrofone vorgegeben, so kann nach Gl. (12.1) die Länge l berechnet werden, die mit einer Messung abge-

deckt wird. Das Zeitintervall für die Messung einer Vorbeifahrt ist dann auf die geometrische Vorbeifahrt zu beschränken.

12.5 Messgeräte

Für die eingesetzten Messgeräte gelten die Anforderungen aus Kapitel 7.2

12.6 Durchführung und Auswertung der Luftschallmessungen

Gemessen werden die Schalldruckpegel von Regelzügen oder ggf. von Versuchszügen, die aus einem für den Regelbetrieb repräsentativen Fahrzeugpark bestehen, während des Durchfahrens der ganzen Kurve oder zumindest des mit Mikrofonen gemäß Kap. 12.4 abgedeckten Bereichs. Für jede Messung ist die Geschwindigkeit des Zuges zu messen und zu dokumentieren. Während einer Zugvorbeifahrt sollen keine Störgeräusche wie z.B. von Flachstellen auftreten. Werden Messungen verworfen, so ist dies zu begründen. Verworfenen Messungen sind zu dokumentieren.

Für jedes Mikrofon wird alle 125 ms der Maximalpegel L_{pFmax} (Zeitbewertung „fast“ mit einer Integrationszeitkonstanten von 125 ms) während der Durchfahrt eines Zuges durch die Kurve ermittelt. Für jedes dieser Zeitintervalle t_i mit der Länge $\Delta t = 125$ ms wird für jedes Terzband f der Maximalwert $L_{max}(f, t_i)$ aller Mikrofone j bestimmt:

$$L_{max}(f, t_i) = \max(L_{pmaxF}(f, t_i))_j \quad (12.2)$$

$L_{max}(f, t)$ ist in einer 3-D Darstellung als Funktion der Frequenz f und der Zeit t als „Wasserfall-Diagramm“ grafisch darzustellen.

Für jede Zugvorbeifahrt ist die Häufigkeitsverteilung aller Pegel L_{max} zu ermitteln und als Histogramm darzustellen. Diese Histogrammdarstellung ermöglicht in der Regel eine deutliche Abtrennung von Roll- und Quietschgeräusch. Ist dies im konkreten Fall noch nicht eindeutig, so sind zusätzlich die entsprechenden Histogramme für alle Terzen im Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 8000 Hz anzufertigen. Die Schrittweite in den Histogrammen beträgt 1 dB.

Aus den Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Zugvorbeifahrten ist eine gesamte Häufigkeitsverteilung zu erstellen, die alle gemessenen Vorbeifahrten umfasst. Verkehren die Fahrzeuge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, so sind die Gesamthäufigkeiten separat für folgende Geschwindigkeitsbereiche zu berechnen:

- 0 – 20 km/h
- > 20 – 40 km/h
- > 40 – 80 km/h
- > 80 km/h

Jeder relevante Geschwindigkeitsbereich soll mindestens 25 Vorbeifahrten enthalten. Für jeden Geschwindigkeitsbereich sind die Perzentilen L_{10} , L_{50} , und L_{80} , zu bestimmen (L_{10} gibt den Pegel an, der während 10 % der Vorbeifahrzeit überschritten wird).

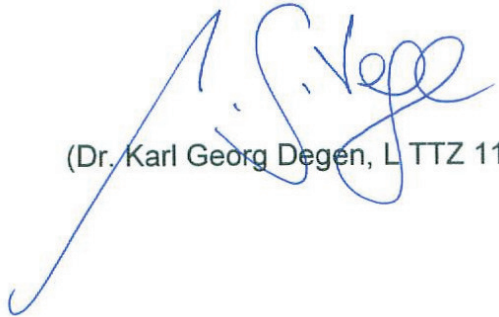
12.7 Dokumentation

Durchführung und Auswertung der Messungen sind in einem Prüfbericht zu dokumentieren. Der Prüfbericht muss die allgemeinen Angaben gemäß Kapitel 8.1 enthalten. Zusätzlich sind zu dokumentieren:

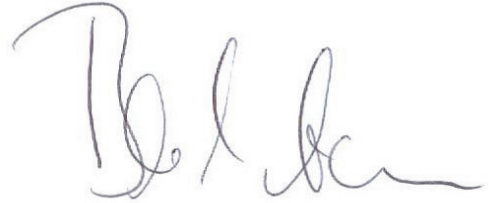
- Der Zustand der Schiene während der Messungen. Insbesondere ist zu dokumentieren, dass während der Referenzmessungen keine Reste von Schmiermittel o.Ä. vorhanden waren,
- Fahrzeugtyp, Achsabstand und Radbauart,
- Geometrie der Kurve,
- Wasserfall-Diagramme gemäß Kap. 12.6 für jede Vorbeifahrt,
- Histogramme gemäß Kap. 12.6 für jede Vorbeifahrt,
- Zusammenfassendes Histogramm gemäß Kap. 12.6 (ggf. separat für jeden Geschwindigkeitsbereich) für die Referenzmessungen,
- Zusammenfassendes Histogramm gemäß Kap. 12.6 (ggf. separat für jeden Geschwindigkeitsbereich) für die Messungen mit Maßnahme,
- Die Perzentilen L_{10} , L_{50} , und L_{80} für die Referenzmessungen,
- Die Perzentilen L_{10} , L_{50} , und L_{80} für die Messungen mit Maßnahme.

Ferner sind alle weiteren Angaben zu dokumentieren, die für die Beurteilung der Wirksamkeit einer Maßnahme nützlich sein können.

13 Unterschriften



(Dr. Karl Georg Degen, L TTZ 112)



(Dr. Bernd Asmussen, TTZ 112)

Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg

Anlage 3 zum Schlussbericht: **Methode zur Auswertung der Messergebnisse und Bewertung der Minderungsbeiträge der Technologien**



Wir bauen
Zukunft

Hier erprobt, gefördert durch die Bundesregierung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, die Deutsche Bahn AG eine innovative Schallschutztechnologie im Rahmen des Konjunkturprogramms II 2009 - 2011



Methode zur Auswertung der Messergebnisse und Bewertung der Minderungsbeiträge der Technologien

Die Methodik zur Zusammenfassung der Ergebnisse orientiert sich an der Schall 03 [2012]. Im Gegensatz zur Schall03 [1990], welche nur A-bewertete Summenpegel kennt, wird in der Schall 03 [2012] der Frequenzbereich in Oktavbändern zwischen 63 und 8.000 Hz betrachtet. Da die meisten Maßnahmen nicht im gesamten Frequenzbereich gleichmäßig wirken, wird dadurch eine genauere und differenziertere Aussage möglich. Da vorgesehen ist, die Ergebnisse ggf. in die Schall 03 [2012] zu überführen, ist die Bewertung entsprechend der Systematik der Schall 03 [2012] erfolgt.

Die Bewertung der Messergebnisse für die 82 Maßnahmen wird in den nachfolgenden Kapiteln detailliert aufgeführt

Differenzierung der unterschiedlichen Technologien

Für Technologien, die an mehreren Örtlichkeiten eingebaut wurden, mussten die jeweiligen Messergebnisse aus Gründen der Vergleichbarkeit auf eine einheitliche Geschwindigkeit umgerechnet und anschließend zusammengefasst werden. Dies betrifft die Technologien Schienenstegdämpfer / Schienenstegabschirmung und niedrige Schallschutzwände. Bei Technologien, die nur an einem Messquerschnitt umgesetzt wurden oder Technologien, bei denen individuelle, miteinander nicht vergleichbare Messkonzepte notwendig waren, musste von der im Folgenden dargestellten Vorgehensweise abgewichen werden. Für die Technologie Brückenentdröhnung wird das Vorgehen im Kapitel 3.4 dargestellt.

Wo es sich gezeigt hat, dass bei der Wirkung der Maßnahmen zugartspezifische Unterschiede auftreten, wurde die Aufteilung in einzelne Zugarten auch bei der Zusammenfassung der Ergebnisse beibehalten.

Zusammenfassung in Oktavbändern

Zunächst werden im Hinblick auf die spätere Anwendung der Schall 03 [2012] für jede Vorbeifahrt eines Zuges die in den Messprotokollen aufgeführten Pegelkennwerte in Terzbändern durch energetische Summenbildung von jeweils drei Terzbändern zu Oktaven zusammengefasst.

Geschwindigkeitskorrektur

Die Oktavpegel wurden auf die Bezugsgeschwindigkeit $v_0 = 100 \text{ km/h}$ umgerechnet. Die Umrechnung erfolgte entsprechend der Formel 4.1 nach Schall 03 [2012]

$$L_{v0} = L_{vZug} - b \cdot \lg\left(\frac{v_{Zug}}{100 \text{ km/h}}\right)$$

mit dem zugehörigen Geschwindigkeitsfaktor b für das jeweilige Oktavband nach Schall 03 [2012], in folgender Tabelle angegeben:

Spalte	A	B	C							
Zeile	Schallquellenart	Teilquellen m	Geschwindigkeitsfaktor b in der Oktavband-Mittenfrequenz, Hz							
1			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2	Rollgeräusche	1, 2, 3, 4	-5	-5	-5	0	10	25	25	25

Tab. 1: Geschwindigkeitsfaktoren b nach Schall 03 [2012]

Mittelwerte und Standardabweichungen der Vorbeifahrten

Im nächsten Schritt werden für den Testabschnitt (Gleisabschnitt mit Einbau der Maßnahme) und für den Referenzabschnitt (Gleisabschnitt ohne Einbau der Maßnahmen) die arithmetischen Mittelwerte der Pegel der Vorbeifahrten aus der Vormessung $\bar{L}_V$ und der Vorbeifahrten aus der Nachmessung $\bar{L}_N$ gebildet. Dazu werden die zugehörigen Standardunsicherheiten nach Gleichung 11 a der DIN V EN V 13005¹ s_V und s_N berechnet.

Differenz der Mittelwerte und Unsicherheit

Anschließend werden für den Testabschnitt und für den Referenzabschnitt die Differenz der Mittelwerte $\Delta\bar{L}_{V-N} = \bar{L}_V - \bar{L}_N$ in jeder Oktave gebildet und die kombinierte Standardunsicherheit

$$u = \sqrt{s_V^2 + s_N^2}$$

nach DIN V EN V 13005 berechnet.

Korrektur aus Referenzabschnitt

Die Differenzen zwischen Vor- und Nachmessung am Referenzabschnitt werden als Korrektur für Änderungen am Gleis im Zeitraum zwischen Vormessung und Nachmessung im Testabschnitt berücksichtigt. Damit wird einer akustisch wirksamen Änderung des Gleiszustands und akustisch wirksamer Unterschiede der gemessenen Zugkollektive in der Zeit zwischen den beiden Messzeiträumen Rechnung getragen, die den zu messenden Effekt durch die Maßnahme überlagern. Durch Abzug der Differenz am Referenzabschnitt, die diesen zeitlichen Effekt widerspiegelt, wird somit die Differenz am Testabschnitt auf den Effekt durch die Maßnahme reduziert. Diese korrigierte Differenz am Testabschnitt entspricht somit der Wirkung der Maßnahme an diesem Messor.

¹ DIN V EN V 13005

Mittelung der Messorte

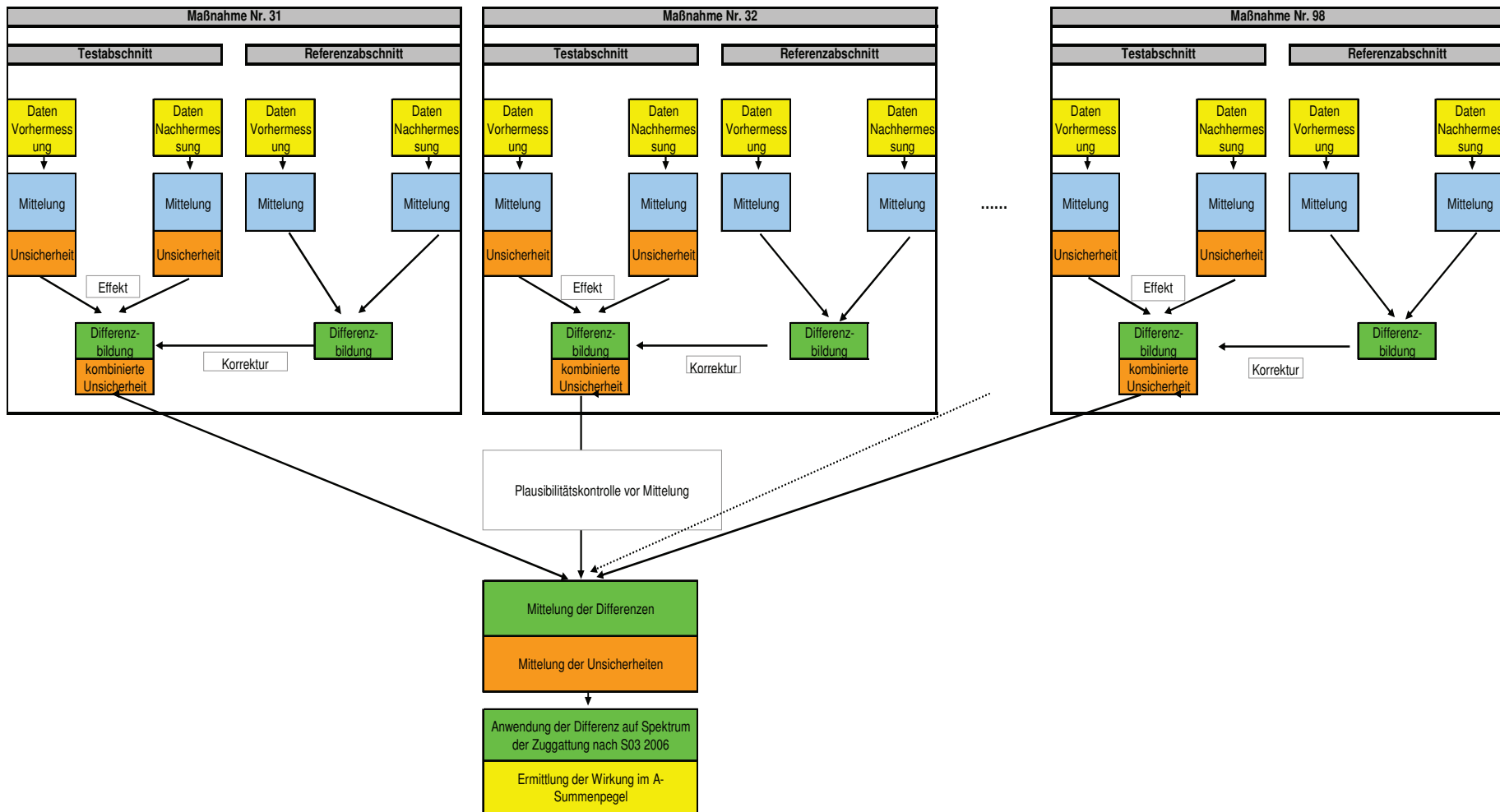
Nach einer eingehenden Plausibilitätskontrolle, mit Eliminierung von Ausreißern oder Messorten mit zu geringer Anzahl von Vorbeifahrten werden die ermittelten Effekte arithmetisch gemittelt und als Pegelminderung angegeben. Die dazugehörigen Unsicherheiten werden in Anlehnung an die DIN V EN V 13005 quadratisch gemittelt und informativ mit angegeben. Bei Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg, z.B. Technologie niedrige Schallschutzwände, ist die Wirkung an verschiedenen Messpositionen unterschiedlich. Daher wurde bei der Erstellung der Prüfspezifikationen darauf geachtet, möglichst die standardmäßigen Messpunkte / Immissionsorte in verschiedenen Höhen abzubilden.

Wirkung im A-bewerteten Summenpegel

Um zusätzlich einen Einzahlwert im A-bewerteten Summenpegel angeben zu können, wurde für jede Zugart die Wirkung der Maßnahme als Pegelminderung im Summenpegel ermittelt. Dazu wurden für jede Zugart Vorbeifahrtspektren bei 100 km/h aus der Schall 03 [2012] spektral ermittelt (siehe Tabelle 2) und die ermittelte Pegelminderung je Oktave abgezogen. Aus der Differenz des Summenpegels über alle Oktaven des originalen Schall 03 [2012] - Spektrums und des Spektrums mit Wirkung der Maßnahme ergibt sich eine der Systematik der Schall03 [1990] vergleichbare Aussage zur Wirkung im A-bewerteten Summenpegel.

Spalte	A	B	C							
Zeile	Zugart	Zugzusammensetzung	Schallleistungspegel $L_{W'A}$ in der Oktavband-Mittenfrequenz, dB, Hz							
1			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2	ICE	2 Tk + 12 Mittelwagen	35,6	44,5	58,2	67,1	71,2	68,4	63,1	46,4
3	IC	1 Lok (Scheibenbremse) + 8 Wagen (Wellenscheibenbremse)	37,7	45,8	58,1	69,1	73,8	71,0	65,9	48,5
4	NV	1 Lok (GG-Sohle-Klotzbremse) + 4 Wagen (Wellenscheibenbremse)	37,5	46,2	58,0	68,1	73,0	70,5	64,1	48,7
5	ET	1 Triebzug (Radscheibenbremse)	29,6	37,8	49,4	61,7	66,4	63,7	58,4	41,1
6	GZ	1 Lok (Scheibenbremse) + 34 Wagen (GG-Sohle-Klotzbremse), 700 m	47,6	57,2	65,9	79,2	84,8	82,5	74,4	61,0

Tab. 2: Referenzspektren für jede Zugart



..... = Auslassungspunkte, weil das Vorgehen innerhalb des Kastens für jeden betreffenden Messort gilt, n = 1, 2, ...

Bild 1: Schemaskizze zur Vorgehensweise bei der Zusammenfassung von Messdaten
 Quelle: Möhler + Partner Ingenieure AG

Track Decay Rate bei Schienenstegdämpfern

Der wesentliche Teil des Schienenverkehrslärms besteht aus dem Rollgeräusch mit den Luftschall abstrahlenden Komponenten Rad, Schiene und Schwelle. Die Gleisabklingrate („Track Decay Rate“ (TDR)) mit der Einheit dB/m beschreibt die Abnahme der Schwingungsenergie (in dB) in der Schiene als Funktion des Abstandes (in m) vom Anregungspunkt. Die Ausbreitung der Schwingungsenergie in der Schiene wird durch die Dämpfung des Oberbaus bestimmt. Somit ist die TDR ein Maß für die Dämpfung der Schwingungsenergie in der Schiene und abhängig davon, wie die Oberbaukomponente Schiene an die Schwelle angekoppelt ist. Eine steife Ankopplung bewirkt eine hohe Ableitung der Schwingungsenergie in die Schwelle und den Schotter. Die TDR ist frequenzabhängig. Schienenstegdämpfer (SSD) sind in der Lage, die Schwingungen der Schiene zu dämpfen und die Schwingungsenergie in Wärme umzuwandeln. SSD erhöhen damit die TDR des Gleises und bewirken eine Minderung der Luftschallabstrahlung der Schiene und der Schwelle.

Diese durch Schienenstegdämpfer hervorgerufene Erhöhung der TDR bietet die Möglichkeit, die Wirksamkeit der Dämpfer auch indirekt (ohne Luftschallmessungen) nachzuweisen.

Methode und Bewertung der Ergebnisse für Brückenentdröhnung

Zur Messung der Schallabstrahlung einer Brücke werden die unbewerteten Vorbeifahrtexpositionspegel „Total Exposure Level“ (TEL) neben der Brücke und der angrenzenden freien Strecke während der Vorbeifahrt eines Zuges bestimmt. Die Differenz der unbewerteten Vorbeifahrtexpositionspegel TEL an der Brücke und der freien Strecke ergibt den sogenannten Brückenzuschlag K_{BR} , ein Maß für das Brückendröhnen. Dieser hängt von den Konstruktionsdetails der jeweiligen Brücke ab und kann für verschiedene Bauwerke desselben Typs sehr unterschiedlich sein. Daher wurde in der Schall 03 [2012] Mittelwerte für vier Brückentypologien gebildet. So wurden z. B. direkt befahrene Stahlbrücken mit einem Brückenzuschlag $K_{BR}=12$ dB und Stahlbrücken mit Schotteroberbau mit $K_{BR}=6$ dB angesetzt.

Wird eine neue Lärminderungsmaßnahme entwickelt, ist zum Nachweis der Wirkung ein Korrekturwert K_{LM} zu bestimmen. Dieser wird als Differenz des Brückenzuschlages K_{BR} ohne und mit Maßnahme gebildet. Da der Korrekturwert K_{LM} von einer Vielzahl von Brücken- und Zugparametern abhängt und in der Regel stark schwankt, wurden für die Anwendung der Schall 03 [2012] wiederum Mittelwerte gebildet. So ergab sich für Unterschottermatten ein Korrekturfaktor $K_{LM}=3$ dB. Elastische Schienenbefestigungen werden an direkt befahrenen Stahlbrücken mit einem Korrekturwert $K_{LM}=6$ dB angesetzt, wobei bei den bisher eingesetzten Materialien die Wirkung erst oberhalb von 80 Hz einsetzt. Dies kann zu einer

reduzierten Wirkung führen, falls das Brückendröhnen bei niedrigen Frequenzen ausgeprägt ist.

Das genaue Verfahren zur Ermittlung von Korrekturfaktoren wird in Kapitel 11 des allgemeinen Messkonzeptes dargestellt [Anlage 2 zum Schlussbericht]. Dabei erfolgte der Nachweis der Wirkung von Lärminderungsmaßnahmen an Brücken in allen Fällen durch ausführliche Luftschall- und Körperschall-Messungen vor und nach dem Einbau der Maßnahme während der Vorbeifahrt von Regelzügen. Weiterhin wurden an einem Teil der Brücken auch Schienenrauheiten bestimmt. Im Folgenden wird das gewählte Vorgehen kurz zusammengefasst:

Für die Luftschall- und Körperschall-Messungen wurden die exakten Messpositionen auf Grundlage des allgemeinen Messkonzeptes durch das für die Messung beauftragte Ingenieurbüro und die DB Systemtechnik GmbH vorab bei einer Ortsbesichtigung festgelegt und in einer Prüfspezifikation dargestellt. Falls aufgrund der vorliegenden Situation vor Ort starke Abweichungen zu den Vorgaben erforderlich wurden, erfolgte vor der Durchführung der Messung eine Abstimmung der Prüfspezifikation mit Vertretern des Umwelt-Bundesamtes und des Eisenbahn-Bundesamtes.

Die Messungen und die Auswertungen der Daten wurden durch die beauftragten Ingenieurbüros eigenständig durchgeführt. Zur Auswertung wurden die Daten zunächst abhängig von Zugtyp und Zuggeschwindigkeit getrennt ausgewertet, wobei eine ausreichende Anzahl von Zugvorbeifahrten in die Auswertung eingehen musste. Korrekturen der Luftschall- und Körperschall-Messungen über die Geschwindigkeiten und die Schienenrauheiten erfolgten bei den Brückenmessungen nicht.

Anschließend erfolgten Plausibilitätsprüfungen, bei denen u. a. die gemessenen Luftschallspektren an der freien Strecke mit vorhandenen Daten abgeglichen wurden und die Veränderungen in den Luft- und Körperschall-Messungen miteinander verglichen wurden. Ferner wurde geprüft, ob die Luftschall-Messungen für eine Bewertung der Maßnahme aussagekräftig sind.

Waren die Luftschall-Messungen z. B. aufgrund zu hoher Hintergrundgeräusche oder eines zu geringen Ausgangsdröhns der Brücke nicht verwertbar, wurden für die Bewertung der Maßnahme die Körperschall-Messungen herangezogen. In diesem Fall erfolgte die Umrechnung der Ergebnisse in Korrekturwerte K_{LM} laut Schall 03 [2012] unter Betrachtung vorhandenen Brückenmessungen entsprechend dem Vorgehen in der Veröffentlichung [Stiebel, DAGA 2012]. Das Verfahren wurde vorab mit Vertretern des Eisenbahn-Bundesamtes und des Umwelt-Bundesamtes abgestimmt.

Zum Abschluss wurde die Wirkung der Maßnahme über die Differenzen der Brückenzuschläge ΔK_{BR} , die Differenzen der Luftschallpegel neben der Brücke ΔTEL bzw. die Differenzen der Körperschallpegel an der Brücke ΔL_v dargestellt. Abschließend erfolgte jeweils eine Mittelung, so dass unabhängig von der Zugart ein Korrekturfaktor vorlag. Informativ wurden zusätzlich noch die Oktavspektren der gemittelten Differenzspektren (Luftschall bzw. Körperschall) zwischen 32 und 4.000 Hz angegeben.

Die untersuchten Minderungsmaßnahmen für das Brückendröhnen wie hochelastische Schienenbefestigungen, besohlte Schwellen und Brückendämpfer sowie die erprobten Minderungsmaßnahmen für das Rollgeräusch wie Schienenstegdämpfer und die Ausgestaltung der Brückengeländer als Schallschutzwand können in der Schall 03 [2012] durch Korrekturwerte angesetzt werden. Bezüglich der Festen Fahrbahn mit elastisch gebetteter Schiene ist zu untersuchen, ob die Brücken nach der Sanierung aus akustischer Sicht in die Kategorie „Brücke mit Fester Fahrbahn“ eingeordnet werden können.

Dokumentation

Im Rahmen der Freigaben der Maßnahmen durch das Eisenbahn-Bundesamt wurden Nachweise der akustischen Wirksamkeit gefordert, die in der Regel durch akustische Messungen zu erbringen waren. Die Messungen wurden durch zertifizierte Messinstitute durchgeführt. Durchführung und Auswertung der Messung erfolgten anhand der für alle Institute verbindlichen allgemeinen Prüfspezifikation, die auch die Art und den Mindestumfang der Dokumentation festlegte. Die dementsprechend erstellten Messberichte und zu liefernden digitalen Daten wurden gesammelt, geprüft und zur Zusammenfassung der Ergebnisse mehrerer Messorte mit gleicher Technologie verwendet. Die zusammengefassten Ergebnisse jeder Technologie sind im Kapitel 3 dieses Berichts dargestellt.

Kriterien zur Interpretation der Ergebnisse

Signifikanz der ermittelten Wirkung

Ein wesentliches Kriterium ist die Signifikanz der ermittelten Wirkung der Maßnahmen. Bei einigen Technologien ist die gemessene Wirkung der eingebauten Maßnahmen im Bereich von 0 dB bis 2 dB.

Bei Feldmessungen an Eisenbahnstrecken liegt die Messunsicherheit aus Messgeräten, örtlichen Verhältnissen etc. im Allgemeinen bei günstigen Umgebungsbedingungen bei mindestens +/- 0,5 dB. Größeren Einfluss hat die Streuung der Messwerte der gemessenen Vorbeifahrten, da bei allen Messungen (außer Technologie High Speed Grinding) die Regelzüge gemessen wurden. Besonders Güterzüge streuen hier stark. Mit zunehmender

Verbreitung von Güterwagen mit K-Sohle nehmen hier auch die Schwankungen zwischen den Güterzugvorbeifahrten zu. Die resultierenden Schwankungen erreichen theoretisch bis zu 10 dB. Diese Schwankungen fließen in die Messergebnisse, die an Test- und Referenzabschnitt gemessen wurde, nur geringfügig ein, da stets die Differenzen zwischen Test- und Referenzabschnitt für denselben Zug zur Bestimmung des Messergebnisses verwendet wurde.

Bei den Technologien verschäumter Schotter, Unterschottermatten und „Besohlte Schwellen“, die auf ihre Wirkung zur Minderung des Körperschalls erprobt wurden, war die Wirkung der Maßnahme ausschließlich mittels Schwingungsmessungen nachweisbar. Ein direkter Vergleich zum Luftschall ist nicht möglich.

Bei der Technologie Brückenentdröhnung, war die Wirkung der Maßnahme ausschließlich oder zusätzlich mittels Körperschall Messungen nachweisbar. Wo dies möglich war, wurde die Wirkung im Luftschall aus Ergebnissen der Körperschallmessung.

Umsetzung in der Schall 03 [2012]

In der Schall 03 [2012] werden im Kapitel 11 das Verfahren und die Kriterien aufgeführt, die zur Anerkennung von Innovationen im Rahmen des Anwendungsbereiches der Schall 03 erforderlich sind. Für die Anerkennung wird in der Schall 03 [2012] als wichtigstes Kriterium genannt:

Es ist zu prüfen, ob der Antragsgegenstand von den schalltechnisch bereits enthaltenen Angaben dieser Richtlinie wesentlich abweicht. Eine wesentliche Abweichung liegt in der Regel vor, wenn für eine Teilquelle die Abweichung im A-bewerteten Gesamtpegel mehr als 2 dB oder in einzelnen Oktavbändern mehr als 4 dB beträgt. Für eine Schallschutzmaßnahme im Ausbreitungsweg liegt in der Regel eine wesentliche Abweichung von den Rechenvorschriften des Kapitels 7 der Schall 03 [2012] vor, wenn an einem maßgeblichen Immissionsort die Abweichung für das Rechenergebnis im A-bewerteten Gesamtpegel mehr als 2 dB oder in einzelnen Oktavbändern mehr als 4 dB beträgt.

Die Ergebnisse zur Wirkung der Technologien können nach Kapitel 11 der Schall 03 [2012] für die jeweilige Technologie oder direkt bei Neuverabschiedung in die Schall 03 eingebracht werden.

DB Netz AG
Theodor-Heuss-Allee 7
60486 Frankfurt am Main
www.dbnetze.com