

TEXTE

138/2025

Abschlussbericht

Verkehrswende und Konzept für einen leiseren Schienenverkehr bis 2030

von:

Prof. Dr. Kay Mitusch, Dr. David Sonnenberger und Anna-Katharina Stein
IGES Institut, Berlin

Prof. Dr. Markus Hecht, Luca Thomma und Thilo Hanisch
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge

Prof. Dr. Eckhard Pache und Oliver Back
Juristische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 138/2025

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3721 54 102 0
FB001646

Abschlussbericht

Verkehrswende und Konzept für einen leiseren Schienenverkehr bis 2030

von

Prof. Dr. Kay Mitusch, Dr. David Sonnenberger und Anna-Katharina Stein
IGES Institut, Berlin

Prof. Dr. Markus Hecht, Luca Thomma und Thilo Hanisch
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge

Prof. Dr. Eckhard Pache und Oliver Back
Juristische Fakultät, Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

IGES Institut GmbH
Friedrichstraße 180
10117 Berlin

Abschlussdatum:

November 2024

Redaktion:

Fachgebiet I 2.3 Lärminderung im Verkehr
Detlef Gebauer
Percy Appel

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7618>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, November 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Verkehrswende und Konzept für einen leiseren Schienenverkehr bis 2030

Die Verkehrswende rückt die Schiene als nachhaltiges Verkehrsmittel in den Mittelpunkt der Bemühungen um eine CO₂-ärmere Zukunft. Gleichzeitig birgt der Ausbau des Schienennetzes ein erhöhtes Risiko für politischen und gesellschaftlichen Widerstand, insbesondere durch eine Zunahme der Lärmbelastung. Lärminderungsmaßnahmen sind daher von entscheidender Bedeutung, um die Akzeptanz des Schienenverkehrs zu sichern und die Bevölkerung vor gesundheitsschädlichen Lärmeinwirkungen zu schützen.

Das vorliegende Gutachten präsentiert ein umfassendes Konzept zur Reduktion des Schienenverkehrslärms bis 2030. Auf Basis einer Analyse der bisherigen Lärmpolitik werden Maßnahmen und Instrumente zur Verbesserung des Lärmschutzes im Schienenverkehr identifiziert. Folgende Bereiche werden berücksichtigt:

- ▶ Schieneninfrastruktur
- ▶ Triebfahrzeuge
- ▶ Schienenpersonennah- und Schienenpersonenfernverkehr
- ▶ Schienengüterverkehr
- ▶ Abstellanlagen

Im Rahmen der Analyse werden sowohl technische Maßnahmen zur Lärminderung an der Quelle unter Berücksichtigung von Kostengesichtspunkten als auch Vorschläge für eine Reform des rechtlichen und institutionellen Rahmens präsentiert. Dabei wird beschrieben, wie eine Ausweitung des Lärm-Immissionsschutzes auf Abstellanlagen und Bestandsstrecken gestaltet und umgesetzt werden kann.

Abstract: Transport transition and concept for quieter rail transport by 2030

The transport transition puts rail as a sustainable means of transport at the centre of efforts to achieve a future with reduced CO₂ emissions. At the same time, the expansion of the rail network carries an increased risk of political and social resistance, particularly due to an increase in noise pollution. Noise reduction measures are therefore of crucial importance in order to ensure the acceptance of rail transport and to protect the population from the harmful effects of noise.

This report presents a comprehensive concept for reducing rail transport noise by 2030. Based on an analysis of existing noise policy, measures and instruments for improving noise protection in rail transport are identified. The following areas are considered:

- ▶ Rail infrastructure
- ▶ Traction units
- ▶ Local and long-distance passenger rail transport
- ▶ Rail freight transport
- ▶ Stabling facilities

The analysis presents both technical measures for noise reduction at source, taking cost aspects into account, and proposals for a reform of the legal and institutional framework. It describes how an extension of noise immission control to stabling facilities and existing lines can be designed and implemented.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis	16
Zusammenfassung.....	18
Summary	19
Auftrag und Überblick	20
1 Einleitung.....	22
1.1 Handlungsbedarf.....	22
1.2 Zusammenhang von Verkehrswende- und Lärminderungszielen	24
1.3 Die bisherige Lärmschutzpolitik: Erfolge und Probleme	26
1.3.1 Darstellung und Erfolge der bisherigen Lärmschutzpolitik.....	26
1.3.2 Defizite der bisherigen Lärmschutzpolitik	27
1.3.3 Strukturelle Probleme der Lärmschutzpolitik im europäischen Kontext.....	29
1.3.4 Beispiel für eine nationale Politik zur Lärminderung an den Fahrzeugen: die Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen.....	31
1.3.5 Exkurs: Zur Problematik von Schallschutzwänden und von Tunneln und Geschwindigkeitsbeschränkungen als Maßnahmen der Lärminderung	33
1.4 Ziel des Gutachtens.....	37
2 Grundlagen zu Lärm und Lärminderung beim Schienenverkehr	39
2.1 Objektive Größen der Akustik.....	39
2.2 Subjektive Faktoren der Akustik	44
2.2.1 Einflussfaktoren auf die subjektive Wahrnehmung.....	45
2.2.1.1 Akustische Faktoren.....	45
2.2.1.2 Nicht-akustische Faktoren	47
2.2.1.3 Schlussfolgerungen für die Praxis	51
2.3 Schallquellen und Maßnahmen der Lärminderung im Schienenverkehr	51
2.3.1 Das Rollgeräusch	54
2.3.1.1 Entstehungsprozess des Rollgeräuschs	54
2.3.1.2 Minderung des Rollgeräuschs.....	56
2.3.2 Angriffspunkte für schallmindernde Maßnahmen im Schienenverkehr	57
2.4 Überblick über die politisch-rechtlichen Instrumente der Lärminderung.....	58
3 Vorgehensweisen für die Einzelbereiche des Bahnsystems	63
3.1 Überblick	63

3.2	Lärmminderung bei der Infrastruktur	64
3.2.1	Handlungsbedarf bei der Infrastruktur	64
3.2.2	Maßnahmen zur Minderung der Schienenrauheit	66
3.2.2.1	Techniken der Messung und Überwachung der Schienenrauheit	69
3.2.2.2	Techniken und Strategien der Schienenbearbeitung	72
3.2.2.3	Beseitigung von Unregelmäßigkeiten des Fahrwegs.....	75
3.2.3	Maßnahmen zur Steigerung der Gleisabklingrate	76
3.2.3.1	Zwischenlagen	77
3.2.3.2	Einsatz von Schwellenbesohlung	83
3.2.4	Weitere streckenseitige Maßnahmen	85
3.2.5	Empfehlungen zu den technischen Maßnahmen	87
3.2.6	Rechtliche Gestaltung einer Verpflichtung für einen akustisch ordnungsgemäßen Zustand der Eisenbahninfrastruktur	89
3.2.7	Empfehlungen.....	92
3.3	Lärmminderung bei Triebfahrzeugen	97
3.3.1	Handlungsbedarf bei Triebfahrzeugen	97
3.3.2	Technische Maßnahmen der Lärmminderung.....	99
3.3.3	Empfehlungen.....	105
3.4	Lärmminderung beim Schienenpersonenfernverkehr.....	109
3.4.1	Handlungsbedarf beim SPFV.....	109
3.4.2	Technische Maßnahmen beim SPFV.....	112
3.4.2.1	Aerodynamische Geräusche und Rollgeräusch des Hochgeschwindigkeitsverkehrs.	112
3.4.2.2	Lokbespannte Reisezüge	115
3.4.3	Empfehlungen.....	115
3.5	Lärmminderung beim Schienenpersonennahverkehr	116
3.5.1	Handlungsbedarf beim SPNV	116
3.5.2	Fahrzeugempfehlungen des Bundesverband SchienenNahverkehr.....	119
3.5.3	Technische Maßnahmen der Lärmminderung.....	121
3.5.4	Politische Instrumente zur Lärmminderung	121
3.5.4.1	Grundidee einer koordinierten Vorgehensweise der Länder.....	121
3.5.4.2	Rechtliche Erwägungen zu den Möglichkeiten einer koordinierten, nationalen Vorgehensweise.....	124
3.5.4.3	Argumentation gegenüber der EU zur Zulässigkeit einer nationalen Vorgehensweise.....	128
3.5.5	Empfehlungen.....	130

3.6	Lärminderung beim Schienengüterverkehr	134
3.6.1	Handlungsbedarf beim SGV	134
3.6.2	Lärminderungsmaßnahmen bei Güterwagen.....	136
3.6.2.1	Bremssysteme.....	136
3.6.2.2	Vermeiden von Flachstellen und Ausbröckelungen an den Rädern durch Gleitschutz	145
3.6.2.3	Radschallabsorber	150
3.6.2.4	Schallschürzen	153
3.6.2.5	Akustisch optimierte Drehgestelle	157
3.6.2.6	Vermeidung von Lärmquellen an den Wagenaufbauten	163
3.6.2.7	Zusammenfassung zu den Maßnahmen bei Güterwagen	164
3.6.3	Lärminderung bei den Güterwagen im Kontext von Verkehrswende und Digitalisierung	166
3.6.3.1	Auswirkungen der DAK und weiterer Systementwicklungen	167
3.6.3.2	Limitierte Lärminderungspotenziale bei Güterwagen vor Einführung der DAK.....	170
3.6.3.3	Der moderne, lärmarme Güterwagen der Zukunft	172
3.6.3.4	Risiken im Zusammenhang mit der DAK.....	174
3.6.4	Politisch-rechtliche Instrumente zur Lärminderung bei Güterwagen	174
3.6.4.1	Wirtschaftspolitische Möglichkeiten zur Lärminderung bei Güterwagen.....	174
3.6.4.2	Rechtliche Möglichkeiten zur Förderung der Lärminderung bei Güterwagen.....	179
3.6.5	Empfehlungen.....	186
3.7	Lärminderung bei Abstellanlagen	189
3.7.1	Handlungsbedarf bei Abstellanlagen.....	189
3.7.2	Technische und betriebliche Maßnahmen zur Lärminderung bei der Abstellung von Fahrzeugen insb. des SPNV	190
3.7.3	Empfehlungen zu Grenzwerten und lärmindernden Maßnahmen	194
3.7.4	Rechtliche Gestaltung des Immissionsschutzes bei der Abstellung	196
3.7.4.1	Rechtliche Ausgangssituation	196
3.7.4.2	Rechtliche Ausgestaltungsoptionen	198
3.7.5	Empfehlungen.....	199
4	Umfassender Immissionsschutz bei Neu- und Bestandsstrecken.....	201
4.1	Handlungsbedarf.....	201
4.2	Rechtliche Gestaltung einer Ausweitung des Immissionsschutzes	202
4.2.1	Aufnahme von schallmindernden Maßnahmen in die Schall 03	204
4.2.1.1	Änderung der 16. BImSchV im Verordnungsweg	204

4.2.1.2	Anerkennung als abweichende Bahntechnik oder schalltechnische Innovation	205
4.2.1.3	Priorisierung der Maßnahmen.....	206
4.2.2	Normatives und administratives Vorgehen bei der Erstreckung des Immissionsschutzrechts auf Bestandsstrecken	207
4.2.2.1	Verkündung und Inkrafttreten der Neuregelung	208
4.2.2.2	Stufung der Immissionsschutzgrenzwerte oder Stufung der Anwendung	209
4.2.2.3	Administrative Umsetzung und Verwaltungsverfahren	212
4.3	Empfehlungen.....	213
5	Zusammenfassung und zentrale Pfeiler der Lärmschutzpolitik	216
5.1	Zusammenfassung und zeitliche Wirkungsperspektive.....	216
5.1.1	Instrumente und Maßnahmen bei den Fahrzeugen.....	216
5.1.2	Instrumente und Maßnahmen bei der Infrastruktur und Ausweitung des Immissionsschutzes	221
5.2	Auswirkungen der empfohlenen Instrumente und Maßnahmen.....	226
5.2.1	Die zeitliche Wirkungsperspektive.....	226
5.2.2	Auswirkungen auf die Zahl der Belasteten und volkswirtschaftlicher Nutzen	228
5.3	Zentrale Pfeiler der Lärmschutzpolitik zum Schienenverkehr	229
6	Abschätzung des Lärminderungspotenzials der empfohlenen Maßnahmen	233
6.1	Prognosen des Eisenbahnverkehrs	234
6.1.1	Schienenpersonenfernverkehr	236
6.1.1.1	Trendprognose.....	236
6.1.1.2	Verkehrswendeprognose.....	238
6.1.1.3	Zusammenfassung Verkehrsprognosen SPFV.....	240
6.1.2	Schienenpersonennahverkehr	240
6.1.2.1	Trendprognose.....	240
6.1.2.2	Verkehrswendeprognose.....	242
6.1.2.3	Zusammenfassung Verkehrsprognosen	244
6.1.3	Schienengüterverkehr.....	244
6.1.3.1	Trendprognose.....	244
6.1.3.2	Verkehrswendeprognose.....	246
6.1.3.3	Zusammenfassung Verkehrsprognose SGV	247
6.1.4	Zusammenfassung Schienenverkehrsprognosen	248
6.2	Wirkung der empfohlenen Maßnahmen	250
6.2.1	Infrastruktur.....	251
6.2.2	Schienenpersonenfernverkehr	252

6.2.3	Schienenpersonennahverkehr	253
6.2.4	Schienengüterverkehr	254
6.3	Prognoserechnungen der Belasteten	255
6.3.1	Methodische Vorbemerkungen	255
6.3.2	Interpolation der Belastetenzahlen und Vorgehensweise zur Lärmimmissionsprognose	259
6.3.3	Gesamtprognosen der Zahl hochbelasteter Personen	261
6.3.4	Belastungsprognosen unter Berücksichtigung von Struktureffekten in Teilgebieten	264
6.3.4.1	Vorgehen und Bestimmung von Ein-Weg-Gemeinden.....	265
6.3.4.2	CNOSSOS-Tool zur Bestimmung der Lärmbelastung bei Mischverkehren	268
6.3.4.3	Berücksichtigung der Maßnahmen an der Infrastruktur	269
6.3.4.4	Ergebnisse	269
	Quellenverzeichnis	273
	Allgemeine Quellen	273
	Gesetze und Rechtsvorschriften	290
	Gerichtliche Urteile	291
	Normen und Regelwerke	292
A	Anhang	293
A.1	Verkehrsaufkommen auf den Haupteisenbahnstrecken von SPfV, SPNV und SGV	293
A.2	Erläuterung zu Boxplots	296
A.3	Kosten und Nutzen der Maßnahmen.....	297
A.3.1	Kosten des akustisch ordnungsgemäßen Zustandes der Eisenbahninfrastruktur.....	297
A.3.2	Ausstattung und Einsatzlenkung von lärmarmen Güterwagen	298
A.3.3	Volkswirtschaftlicher Nutzen der Maßnahmen	300

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Pegelkorrektur des Schalldruckpegels für die A-Bewertungskurve über der Frequenz.....	40
Abbildung 2:	Exemplarische Darstellung einer Zugvorbeifahrt und der Zeitauswahl für Vorbeifahrt- und Mittelungspegel.....	41
Abbildung 3:	Exemplarische Darstellung verschiedener Geräusche und möglicher dazugehöriger Schalldruckpegel.....	42
Abbildung 4:	Darstellung eines exemplarischen Pegels für einen Zug, zwei Züge und zehn Züge.....	43
Abbildung 5:	Darstellung der Belastungsreduktion in Abhängigkeit der Akzeptanz	45
Abbildung 6:	Auswirkungen von Schallschutzwand und Schienenstegdämpfer auf den Schalldruckpegel	46
Abbildung 7:	Veranschaulichung der Schall-Ausbreitungsmechanismen von Schienenfahrzeugen	52
Abbildung 8:	Beispielhafte Beiträge verschiedener Quellen zum Gesamtschalldruckpegel in Abhängigkeit der Zuggeschwindigkeit	53
Abbildung 9:	Visualisierung der Entstehung des Rollgeräuschs	54
Abbildung 10:	Vereinfachter Mechanismus der Entstehung des Rollgeräusches.....	55
Abbildung 11:	A-bewertete Schalldruckpegel für verschiedene Schallkomponenten.....	56
Abbildung 12:	Darstellung der Rad- und Schienenrauheiten nach CNOSSOS-DE	67
Abbildung 13:	Häufigkeitsverteilung der im ersten Halbjahr 2016 vom Schallmesswagen gemessenen Pegel außerhalb von „büg“-Strecken	69
Abbildung 14:	Graphische Darstellung der Messwerte des Schallmesswagens über die Zeit beim "büG"	74
Abbildung 15:	Konzeptskizze für die direkte Nachkontrolle des Schleifvorgangs hinsichtlich der zu erzielenden Schienenrauheit.....	75
Abbildung 16:	Mögliche Anordnung elastischer Komponenten im Schotteroberbau.....	77
Abbildung 17:	Vertikale und horizontale (auch: laterale) Gleisabklingrate verschiedener Zwischenlagen	80
Abbildung 18:	Vertikale und horizontale (auch: laterale) Gleisabklingrate der elastischen Zwischenlage	81
Abbildung 19:	Schwellenbesohlung (rot) an Betonschwellen auf Schotter	84
Abbildung 20:	Schienenstegdämpfer an der Schiene	87
Abbildung 21:	Schienenstegabschirmung an der Schiene	87

Abbildung 22:	Schalldruckpegelmessung eines Güterzuges mit Grauguss- und Verbundstoff-Bremsklotzsohlen.....	98
Abbildung 23:	Schallquellen einer Mehrsystem-Lokomotive höherer Leistungsklasse	100
Abbildung 24:	Vorbeifahrtexpositionspegel an der Messstation Telgte, aufgeschlüsselt nach Nahverkehrs- und Fernverkehrs-Fahrzeugtypen und Gleis	111
Abbildung 25:	Schallquellenverteilung einer ICE 3 Vorbeifahrt	113
Abbildung 26:	Vorbeifahrtpegel verschiedener Hochgeschwindigkeitszüge	114
Abbildung 27:	Vorbeifahrtexpositionspegel an der Messstation Elmshorn, aufgeschlüsselt nach Nahverkehrs- und Fernverkehrs-Fahrzeugtypen und Gleis	118
Abbildung 28:	Verteilung der Verkehrsarten an den Lärm-Monitoring-Stationen	135
Abbildung 29:	Mittelungspegel nach Verkehrsart an den Lärm-Monitoring-Stationen	136
Abbildung 30:	Schallpegelverteilung der Güterwagen nach Bremsausstattung in Deutschland, 2022	139
Abbildung 31:	Emissionswerte von Güterwagen in Abhängigkeit der Bremsbauart für die Messstation in Wichtrach (Schweiz), 2018	140
Abbildung 32:	Darstellung der laufleistungsabhängigen Lebenszykluskosten für einen neuen Güterwagen mit Scheibenbremse oder K-Sohle	142
Abbildung 33:	Beispiel einer Martensit-Insel an einem Güterwagen der Hupac AG	143
Abbildung 34:	Darstellung von Umfangs- und Translationsgeschwindigkeit	146
Abbildung 35:	Kraftschluss-Schlupf-Gesetz nach Kalker.....	147
Abbildung 36:	Wirkprinzip des Gleitschutzes	149
Abbildung 37:	Am Radsatz montierte Radschallabsorber	151
Abbildung 38:	Schallschürzen am Drehgestell.....	154
Abbildung 39:	Schallschürzen an Radsätzen.....	154
Abbildung 40:	Darstellung des DRRS 25LD Drehgestells	158
Abbildung 41:	Darstellung des Drehgestells RC25NT	161
Abbildung 42:	Zeitpfad der lärmindernden Maßnahmen	226
Abbildung 43:	Darstellung der Gemeinsamen Verkehrswege in der Gemeinde Coburg	266
Abbildung 44:	Darstellung der Gemeinsamen Verkehrswege in der Gemeinde Dessau-Roßlau	267
Abbildung 45:	Verkehrsaufkommen des SPFV auf den Haupteisenbahnstrecken.....	293
Abbildung 46:	Verkehrsaufkommen des SPNV auf den Haupteisenbahnstrecken.....	294

Abbildung 47:	Verkehrsaufkommen des SGV auf den Haupteisenbahnstrecken	295
Abbildung 48:	Beispielhafte Darstellung eines Boxplots mit Beschriftung der Merkmale.	296

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Technische Daten von Zwischenlagen mit Stand von 05/2014	78
Tabelle 2:	Relevante Lärmquellen einer Güterzuglokomotive in Abhängigkeit des Betriebszustandes.....	99
Tabelle 3:	Entwicklung der TSI Noise Grenzwerte bei Elektrotriebzügen	107
Tabelle 4:	Empfehlung der Gutachter*innen für TSI Noise Werte für Elektrolokomotiven	108
Tabelle 5:	Grenzwerte nach den Empfehlungen des BSN für verschiedene Geräuscharten	120
Tabelle 6:	Auswertung der Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2014	160
Tabelle 7:	Auswertung der Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2011	160
Tabelle 8:	Auswertung der Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2014, für die Positionen TSI Noise, Bogenfahrt und Bahnhof	162
Tabelle 9:	Empfohlene Grenzwerte der EuroSpec für verschiedene Schallquellen in verschiedenen Betriebsphasen	195
Tabelle 10:	Trend- und Verkehrswendeprognosen für den Schienenpersonenfernverkehr	240
Tabelle 11:	Trend- und Verkehrswendeprognosen für den Schienenpersonennahverkehr	244
Tabelle 12:	Trend- und Verkehrsprognosen für den Schienengüterverkehr	247
Tabelle 13:	Trend- und Verkehrswendeprognosen für alle Schienenverkehrsarten: Prognosen der Verkehrsleistungen in Mio. Pkm bzw. tkm	248
Tabelle 14:	Trend- und Verkehrswendeprognosen für alle Schienenverkehrsarten: Prognosen der Betriebsleistungen in Mio. Zug-km.....	249
Tabelle 15:	Belastete Personen für den Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{DEN} in 5-dB(A)-Pegelklassen	260
Tabelle 16:	Belastete Personen für den Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{DEN} in 1-dB(A)-Pegelklassen	260
Tabelle 17:	Anzunehmende effektive Minderung nach Umsetzungsgrad und Verkehrsart sowie der Einzelwerte für die Gesamtmissionsprognose	262
Tabelle 18:	Ergebnisse der Gesamtmissionsprognose für die Trendprognose der Betriebsleistungen (Zuwachs um 18,7 %) ohne und mit Berücksichtigung der Lärmsanierung	263
Tabelle 19:	Ergebnisse der Gesamtmissionsprognose für die Verkehrswendeprognose der Betriebsleistungen (Zuwachs um 69,5 %) ohne und mit Berücksichtigung der Lärmsanierung	264
Tabelle 20:	Übersicht über den Zuwachs der Betriebsleistung der einzelnen Verkehrsarten für Trend- und Verkehrswendeprognose	270

Tabelle 21:	Übersicht über den Effekt der Lärminderungsmaßnahmen der einzelnen Verkehrsarten in Abhängigkeit vom Umsetzungsgrad	270
Tabelle 22:	Übersicht über den prozentualen Anteil der Gemeinden in Abhängigkeit des Umsetzungsgrades der streckenseitigen Maßnahmen	270
Tabelle 23:	Ergebnisse der Teilimmissionsprognose für die Trendprognose der Betriebsleistungen ohne und mit Berücksichtigung der Lärmsanierung	271
Tabelle 24:	Ergebnisse der Teilimmissionsprognose für die Verkehrswendeprognose der Betriebsleistungen ohne und mit Berücksichtigung der Lärmsanierung	271

Abkürzungsverzeichnis

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
APL	Achsen pro Länge
ARRoW	Acoustic Rail Recording on Wheels (Akustische Schienenüberwachung auf Rädern)
AVV	Allgemeiner Verwendungsvertrag
BAFU	Bundesamt für Umwelt (Schweizerische Eidgenossenschaft)
BAV	Bundesamt für Verkehr (Schweizerische Eidgenossenschaft)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (früherer Name des BMDV)
BSN	Bundesverband SchienenNahverkehr e.V.
büG	Besonders überwachtes Gleis
BUWAL	Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
CAGR	Compound Annual Growth Rate (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate)
CEF	Connecting Europe Facility
CFCB	Compact Brakes for Freight Cars (kompakte Klotzbremseinheit)
CNOSSOS	Common Noise Assessment Methods (Übliche Methoden der Lärmbewertung)
DAK	Digitales Automatisches Kupplungssystem
DB	Deutsche Bahn
DoSto	Doppelstockwagen
DZSF	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EP-Bremse	Elektropneumatische Bremse
ETCS	European Train Control System (Europäisches Zugkontrollsystem)
ETZ	Elektrische Triebzüge
EU	Europäische Union
EuGH	Europäischer Gerichtshof
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FlugLärmG	Fluglärmgesetz
GG	Grundgesetz
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr

HSG	High Speed Grinding (Hochgeschwindigkeitsschleifen)
HSRCA	High Speed Rail Corrugation Analyzer (Hochgeschwindigkeitsanalyse von Schienenverriffelung)
I-LENA	Initiative Lärmschutzerprobung neu und anwendungsorientiert
IGBT	Insulated-gate bipolar transistor (Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode)
K-Sohlen	Kompositbremssohlen
LaTPS	Lärmabhängiges Trassenpreissystem
LCC	Life-Cycling-Costs (Lebenszykluskosten)
LL-Sohlen	low noise, low friction-Bremssohlen (Geräuscharme und reibungsarme Bremssohlen)
LZarG	Leiser Zug auf realem Gleis
nSSW	Niedrige Schallschutzwände
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkm	Personenkilometer
RL	Richtlinie
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
Schall 03	Anlage 2 zu (§ 4) der 16. BImSchV: "Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege"
SchLärmSchG	Schienenlärmschutzgesetz
SGV	Schienengüterverkehr
SMW	Schallmesswagen
SO	Schienenoberkante
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SSW	Schallschutzwände
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
tkm	Tonnenkilometer
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität
TSI PRM	Technische Spezifikation für die Interoperabilität – Eingeschränkt mobile Personen
TSI SRT	Technische Spezifikation für die Interoperabilität – Sicherheit in Eisenbahntunneln
TSI WAG	Technische Spezifikation für die Interoperabilität - Güterwagen
UBA	Umweltbundesamt
UIC	Union internationale des chemins de fer (Internationaler Eisenbahnverband)
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VO	Verordnung
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)

Zusammenfassung

Ziel des Gutachtens ist die Entwicklung eines umfassenden Lärmschutzkonzeptes für den Schienenverkehr angesichts steigender Verkehrsleistungen der Bahn, insb. wenn Verkehrswendeziele erreicht werden. Dazu werden alle Verkehrsarten auf der Schiene und die Infrastruktur betrachtet. Mit dem Ziel, kostengünstige Lärminderungen an der Quelle zu stärken, werden für alle Bereiche technische und betriebliche Maßnahmen sowie politische Instrumente der Lärminderung aufgezeigt und deren rechtliche Umsetzungsbedingungen ausgelotet. Die Handlungsempfehlungen zielen sowohl auf eine Reform des allgemeinen rechtlichen und institutionellen Rahmens der Lärmpolitik als auch auf konkrete Instrumente, die auf die Umsetzung bestimmter Arten von Maßnahmen zugeschnitten sind.

Für die Infrastruktur wird in bewohnten Gebieten die Einhaltung der Anforderungen bei der Fahrzeugzulassung hinsichtlich Schienenrauheit und Gleisabklingrate gefordert. Dies erfordert regelmäßiges Messen und Schleifen und den Einsatz hochdämpfender Zwischenlagen. Dafür ist eine rechtliche Verpflichtung zu schaffen.

Für alle Triebfahrzeuge und den SPFV insgesamt wird der Bundesregierung empfohlen, im Rahmen einer EU-Initiative auf eine signifikante Absenkung der Grenzwerte der TSI Noise hinzuwirken. Bei Neufahrzeugen gibt es eine Vielzahl kostengünstiger technischer Maßnahmen, um dies umzusetzen.

Der SPNV ist neben dem SGV ein Hauptverursacher von Schienenverkehrslärm. Zur Minderung sollten bei neuen Verkehrsverträgen die Fahrzeugempfehlungen des Bundesverband Schienen-Nahverkehr (BSN) eingehalten werden, auch bei Gebrauchtfahrzeugen. Auch die Emissionen bei der Fahrzeugabstellung, die vor allem nachts besonders relevant ist, sollten reduziert werden. Zur Koordination der Bestellpolitiken wird eine Bund-Länder-Agenda vorgeschlagen.

Für den SGV wird ein „moderner, lärmarmen Güterwagen der Zukunft“ empfohlen. Er vereint Scheibenbremsen, Räder mit geradem Radsteg, Gleitschutz und andere Innovationen wie akustisch optimierte Drehgestelle. Ein lärmabhängiges Trassenpreissystem würde zielgerichtet die größten Anreize bei den am meisten bewegten Wagen des kombinierten Verkehrs erreichen.

Hinsichtlich der Abstellanlagen des SPNV wird empfohlen, den verkehrsbezogenen Immissionsschutz auf alle Aspekte der Abstellung auszuweiten und zu stärken. Im Gutachten wird zudem empfohlen, sobald die Lärminderung an der Quelle greift, den gesetzlichen Anspruch auf Lärmimmissionsschutz auf die Bestandsstrecken auszuweiten, um Gesetzeslücken zu schließen und der Lärmpolitik Nachdruck zu verleihen. Die Umsetzungsschritte zur Ausweitung des Immissionsschutzes werden ausführlich erörtert.

Die empfohlene EU-Initiative der Bundesregierung zielt auch auf die Zulässigkeit der Bund-Länder-Agenda für den SPNV und der lärmabhängigen Trassenpreise für den SGV.

Zur Abschätzung des Lärminderungspotenzials wurden Verkehrsprognosen der Betriebsleistungen (Trend- und Verkehrswendeprognosen), Prognosen der Umsetzung der lärmmin-dernden Maßnahmen in unterschiedlichen Umsetzungsgraden, Wirkungsprognosen der Maßnahmen und im Ergebnis Immissionsprognosen unterschiedlicher Granularität zur Veränderung der Zahl der belasteten Menschen vorgenommen. Ohne die empfohlenen Maßnahmen wird die Zahl der Belasteten aufgrund der Verkehrsentwicklung ansteigen, mit den Maßnahmen wird sie je nach Umsetzungsgrad sinken. Überschlägig konnten positive Nutzen-Kosten-Relationen der Maßnahmen ermittelt werden.

Summary

The aim of the report is to develop a comprehensive noise protection concept for rail traffic in view of increasing rail traffic volumes, especially if mobility transition targets are achieved. To this end, all types of rail traffic and the infrastructure are considered. With the aim of strengthening cost-effective noise reduction at source, technical and operational measures as well as political instruments for noise reduction are identified for all areas, and their legal implementation and requirements are explored. The recommendations for action are aimed both at a reform of the general legal and institutional framework of noise policy and at specific instruments tailored to the implementation of certain types of measures.

For infrastructure, compliance with the requirements for vehicle approval with regard to rail roughness and track decay rate is recommended for populated areas. This requires regular measuring and grinding and the use of so-called high damping rail pads. For this end, a legal obligation must be introduced.

For all traction units and for long-distance passenger rail transport as a whole, the Federal Government is recommended to work towards a significant reduction of the limit values of the TSI Noise as part of an EU initiative. There are a number of cost-effective technical measures that can be implemented for new vehicles.

Besides rail freight, local / regional rail transport is a major source of rail traffic noise. To reduce noise, the vehicle recommendations of the Bundesverband Schienen-Nahverkehr (BSN, association of the 27 regional passenger rail authorities in Germany) should be adhered to in new transport contracts, also for used rolling stock. Emissions during vehicle parking, which are particularly relevant at night, should also be reduced. A Federal-State agenda is proposed to coordinate tendering policies.

A “modern, low-noise freight wagon of the future” is recommended for rail freight transport. It combines disc brakes, wheels with a straight wheel web, wheel-slide protection and other innovations like optimized bogies. A noise-dependent track access charge system would set the strongest incentives for wagons used in combined transport, due to their very high mileages.

Regarding the parking facilities of local passenger rail transport, it is recommended to extend and strengthen the legal rules of traffic-related noise protection to cover all aspects of parking. The report also recommends that, as soon as noise reduction at source takes effect, the legal entitlement to noise immission control should be extended to existing routes in order to close legal gaps and to lend greater emphasis to noise policy. The implementation steps for extending immission control are discussed in detail.

The recommended EU initiative of the Federal Government is also aimed at the admissibility of the Federal-State agenda for local passenger rail transport and at the noise-dependent track access charges for rail freight transport.

To estimate the noise reduction potential, traffic forecasts of operating performance (trend and mobility transition forecasts), forecasts of the implementation of the noise-reducing measures in different degrees of implementation, impact forecasts of the measures and, as a result, immission forecasts of different granularity for the change in the number of people exposed to noise were carried out. Without the recommended measures, the number of people affected will increase due to traffic development; with the measures, it will decrease depending on the degree of implementation. Rough estimates indicated positive benefit-cost ratios for the measures.

Auftrag und Überblick

Das IGES Institut, Berlin, zusammen mit dem Fachgebiet Schienenfahrzeuge der TU Berlin und Prof. Dr. Eckhard Pache von der Juristischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg wurden vom Umweltbundesamt beauftragt, das Projekt „Verkehrswende und Konzept für einen leiseren Schienenverkehr bis 2030“ zu bearbeiten. Es handelt sich um ein ReFoPlan-Projekt mit Laufzeit vom 12.05.2021 bis 26.11.2024 und Forschungskennzahl 3721 54 1020. Die Gutachter*innen¹ sind Prof. Dr. Kay Mitusch, Dr. David Sonnenberger und Anna-Katharina Stein vom IGES Institut, Prof. Dr. Markus Hecht, Thilo Hanisch (bis Juni 2023) und Luca Thomma (ab September 2023) vom Fachgebiet Schienenfahrzeuge der TU Berlin sowie Prof. Dr. Eckhard Pache und Oliver Back von der Juristischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg.²

Das Ziel des Projektes besteht in der Entwicklung eines umfassenden Lärmschutzkonzeptes für den Schienenverkehr zur Flankierung und Sicherstellung einer erfolgreichen Verkehrswende hin zum Schienenverkehr durch einen zukünftig umfassenderen Lärmschutz. Mit dem Vorhaben sollen Wege aufgezeigt werden, wie bei einer gesteigerten Verkehrsleistung auf der Schiene der Lärmschutz weiter verbessert werden kann.

Dazu wird wie folgt vorgegangen. Im einleitenden Kapitel 1 werden der allgemeine Handlungsbedarf, das Verhältnis der Ziele Verkehrswende und Lärminderung und die bisherige Lärmschutzpolitik beschrieben, bevor die Zielsetzung dieses Gutachtens genauer dargestellt wird. In Kapitel 2 werden Grundlagen aus der Akustik, zu den verschiedenen Geräuschquellen des Schienenverkehrs und zu den politisch-rechtlichen Instrumenten der Lärminderung dargestellt.

In dem umfangreichen Kapitel 3 werden die Vorgehensweisen für die Einzelbereiche des Bahnsystems abgeleitet. Nach einem Überblick werden zunächst Ansätze zur Lärminderung bei der Infrastruktur und bei den Triebfahrzeugen herausgearbeitet. Unter Einbeziehung dieser beiden Querschnittsthemen werden daran anschließend Ansätze zur Lärminderung beim Schienenpersonenfernverkehr (SPFV), Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und Schienengüterverkehr (SGV) betrachtet. Das Kapitel endet mit einer Betrachtung von Ansätzen zur Lärminderung bei Abstellanlagen insbesondere des SPNV. In allen Bereichen beziehen sich die Ansätze sowohl auf die technisch-betrieblichen Maßnahmen als auch auf die politisch-rechtlichen Instrumente der Lärminderung.³ Nach einer Darstellung und Diskussion der Möglichkeiten werden für jeden Einzelbereich Empfehlungen ausgesprochen.

Kapitel 4 schlägt als alle Bereiche des Eisenbahnverkehrs betreffendes Instrument die umfassende Normierung von Immissionsgrenzwerten zum Schutz der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen vor. Solche Immissionsgrenzwerte sind bisher für Schienenwege der Eisenbahnen lediglich für deren Bau oder für wesentliche Änderungen gesetzlich vorgegeben. In diesem Gutachten wird eine Ausweitung des gesetzlichen Immissionsschutzes auch auf die Bestandsstrecken des Netzes vorgeschlagen, die mit einer Einbeziehung der in den anderen Kapiteln vorgeschlagenen technischen Maßnahmen an Infrastruktur und

¹ Die Projektbearbeiter*innen werden im Folgenden als *Gutachter*innen* und der vorliegende Bericht als *Gutachten* bezeichnet, um sie von zitierten Autor*innen anderer Studien oder Projektberichte zu unterscheiden.

² Die Gutachter*innen danken außerdem für die Unterstützung durch die studentischen Hilfskräfte Jurek Wim zum Hebel beim IGES Institut und Anastasia Ullrich, Marco Gillwald und Marius Schütte bei der TU Berlin, sowie dem wissenschaftlichen Mitarbeiter der TU Berlin Claudio Colao.

³ Mit *Maßnahmen* sind in diesem Gutachten stets lärmmindernde Maßnahmen technischer oder betrieblicher Art gemeint, die von den Akteuren des Eisenbahnsektors, also den Eisenbahnverkehrs- oder Infrastrukturunternehmen, den Wagenhaltern oder auch der Bahnindustrie umgesetzt werden müssen. Als *Instrumente* werden alle Formen der politisch-rechtlichen Einwirkung auf diese Akteure bezeichnet, damit sie solche Maßnahmen umsetzen.

Fahrzeugen als abweichende Bahntechnik und schalltechnische Innovationen in die Schall 03 verbunden werden sollte, und geben hierzu Gestaltungsempfehlungen.

Kapitel 5 fasst die Empfehlungen des Gutachtens zusammen. Dabei werden die zentralen Pfeiler der empfohlenen Lärminderungspolitik im Zusammenwirken dargestellt und auch zeitliche Einordnungen der politischen Handlungsschritte und ihrer erhofften Wirkungen gegeben. Somit stellt dieses Kapitel in kompakter Form das umfassende Lärmschutzkonzept für den Schienenverkehr dar, dessen Ausarbeitung das Ziel dieses Gutachtens ist.

In Kapitel 6 werden quantitative Abschätzungen der Wirkung des Lärminderungspotenzials der empfohlenen Maßnahmen auf die Belasteten auf Basis der Lärmkartierung für Deutschland vorgenommen. Die Abschätzungen verbinden Verkehrsprognosen mit Wirkungsprognosen und Umsetzungsprognosen der empfohlenen Instrumente und Maßnahmen.

Eine Kurzfassung des Berichts ist als gesondertes Dokument „Verkehrswende und Konzept für einen leiseren Schienenverkehr bis 2030 – Kurzfassung“ beim Umweltbundesamt erhältlich. Dieses Dokument steht auch in englischer Sprache zur Verfügung.

1 Einleitung

Nach einer Darstellung des allgemeinen Handlungsbedarfs für Lärminderungen beim Schienenverkehr in Abschnitt 1.1 wird in Abschnitt 1.2 das Verhältnis der Ziele Verkehrswende und Lärminderung betrachtet und verdeutlicht, dass die Lärmschutzpolitik als integraler Bestandteil zur Erreichung der Verkehrswendeziele verstanden werden muss, auch wenn diese manchmal in einem Konkurrenzverhältnis um knappe finanzielle Mittel stehen.

In Abschnitt 1.3 wird die bisherige Lärmschutzpolitik dargestellt, gewürdigt und kritisch diskutiert, bevor vor diesem Hintergrund in Abschnitt 1.4 die Zielsetzung dieses Gutachtens ausführlich beschrieben wird.

1.1 Handlungsbedarf

Der Eisenbahnverkehr erzeugt einen relevanten Teil der verkehrsbedingten Lärmemissionen. Nach der aktuellen (vierten) Runde der Lärmkartierung, basierend auf dem Jahresfahrplan für 2021, waren 2,4 Millionen Menschen einer gewichteten Ganztagslärmbelastung (gemäß dem Tag-Abend-Nacht-Lärmindex) von 55 dB(A) oder mehr und 4,2 Millionen Menschen einer nächtlichen Lärmbelastung von 45 dB(A) oder mehr ausgesetzt.⁴ Da die Lärmkartierung nur die sogenannten Haupteisenbahnstrecken des Netzes umfasst, ist die Zahl der belasteten Menschen noch höher, denn auch an den übrigen Strecken treten Lärmbelastungen auf.

Nach Empfehlungen der WHO sollten Belastungen über 44 dB(A) in der Nacht vermieden werden, da sie den Schlaf beeinträchtigen, während die gewichtete Ganztagsbelastung 54 dB(A) nicht überschreiten sollte.⁵ In Deutschland wurden aus Gründen des Gesundheitsschutzes Immissionsgrenzwerte für Wohngebiete von 59 dB(A) tagsüber und 49 dB(A) in der Nacht festgesetzt, die bei Neubauten oder wesentlichen Änderungen von Eisenbahnstrecken einzuhalten sind.⁶ Bei vielen Bestandsstrecken werden diese Grenzwerte jedoch überschritten. An einigen Streckenabschnitten erreichen die gewichteten Ganztagsbelastungen sogar mehr als 75 dB(A), also mehr als 20 dB(A) über der gesundheitlich verträglichen Belastung nach WHO.

Die Belastung der Menschen variiert räumlich sehr stark. Im Rahmen der Lärmaktionsplanung wird für jede Gemeinde die Gesamtbelastung mit der Lärmkennziffer (LKZ) ausgedrückt, indem für jede Pegelklasse die Grenzwertüberschreitungen mit der Zahl der jeweils betroffenen Menschen multipliziert und aufsummiert werden. Die höchsten Werte zeigen sich in den Metropolen (insbesondere aufgrund der großen Bevölkerungszahl) und an den am stärksten ausgelasteten Strecken des deutschen Schienennetzes, speziell dem „Rhein-Alpin-Korridor“,⁷ was nicht nur an der großen Zahl der dort verkehrenden Züge liegt, sondern auch an den historisch und geographisch bedingten Streckenführungen in engen Tälern und mit engen Kurven, nahe der Wohnbebauung. An diesen „Hotspots“ der Lärmbelastung ist sowohl die gewichtete Ganztagsbelastung als auch die nächtliche Belastung hoch. Bei den verkehrsstarken Korridoren ist zudem das Kriterium der TSI Noise der EU erfüllt, wonach bei einer Strecke

⁴ EBA (2024): Lärmaktionsplan an Schienenwegen des Bundes Runde 4 (veröffentlicht 2024), S. 127 f. Die Abkürzung dB(A) steht für eine in Dezibel angegebene Darstellung eines Schalldrucks, der zusätzlich einer A-Bewertung unterzogen wurde – im vorliegenden Fall beschreibt er die durchschnittliche Lärmbelastung über einen bestimmten Zeitraum. Siehe dazu Abschnitt 2.1. Die genannten Zahlen gelten für die Kartierung der Strecken mit mehr als 30.000 Zugfahrten pro Jahr – bei einer Ausweitung der Kartierung auf alle Eisenbahnstrecken des Bundes ergeben sich höhere Werte.

⁵ UBA (2019): WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region.

⁶ 16. Bundesimmissionschutzverordnung, § 2 Abs. 1 Nr. 2.

⁷ EBA (2024): Lärmaktionsplan an Schienenwegen des Bundes Runde 4 (veröffentlicht 2024), S. 130–137.

besondere Nutzungseinschränkungen mit dem Ziel der Lärminderung möglich sind, wenn auf ihr in der Nacht durchschnittlich 12 oder mehr Güterzüge verkehren.⁸

Aber auch außerhalb der Hotspots kommen hohe Belastungen an vielen Eisenbahnstrecken vor. Zudem kann auch von Abstellanlagen des Nachts, während die Fahrzeuge ruhen, störender Lärm ausgehen, wenn Aggregate an den Fahrzeugen oder in den Anlagen weiterhin in Betrieb bleiben oder sehr früh am Morgen (zum Beispiel um 4 Uhr) in Betrieb genommen werden. Auch bei der Reinigung der Fahrzeuge oder wenn diese überprüft werden kann es zu einer Geräuschbelastung kommen. Neben den Dauergeräuschen einer Zugvorbeifahrt oder Abstellung kommt es auch vereinzelt zu unangenehmen ton- und impulshaltigen Geräuschen. Beispielsweise im Bereich von Kurven als Kurvenkreischen oder bei der Inbetriebnahme der Fahrzeuge.

Neben objektiven physikalischen Größen der Geräuschbelastung gibt es auch eine subjektive Ebene, die in der sogenannten „Lärmbelästigung“ zum Ausdruck kommt. Umfragen des Umweltbundesamtes in der Bevölkerung zeigen, dass sich 34 % der Menschen (also hochgerechnet über 28 Mio. Menschen) durch Schienenverkehrslärm mindestens „etwas gestört oder belästigt“ fühlen. Und 5 % der Menschen fühlen sich sogar „stark“ oder „äußerst“ gestört oder belästigt.⁹ Demnach spielt der Schienenverkehrslärm eine größere Rolle für die Bevölkerung, als die modellierte Belastung im Rahmen der Lärmkartierung aufzeigen kann.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sowohl besonderer als auch allgemeiner Handlungsbedarf zur Senkung des Schienenverkehrslärms besteht: besonderer Handlungsbedarf besteht an den stark belasteten Hotspots und allgemeiner überall dort, wo Züge an bewohnten Gebieten fahren oder abgestellt werden.

Die Lärmbelastung durch die Eisenbahn steht in vielerlei Hinsicht den Verkehrsverlagerungs- und Verkehrswendezielen für eine Ausweitung des Schienenverkehrs entgegen. Zum einen passt ein Verkehrsmittel mit hohen Lärmemissionen nicht zu dem allgemeinen Ziel der Verkehrswende, auf einen emissionsarmen Verkehr hinzuwirken. Zum anderen droht der Bürgerprotest, der sich aufgrund der Lärmbelastung entwickelt hat, die konkreten Ziele zur Steigerung der Verkehrsleistung der Eisenbahn zu unterminieren. Denn der dafür notwendige Ausbau des Schienennetzes trifft auf den Widerstand der zukünftigen Anwohnenden, dies ist inzwischen zu einem Hemmschuh des Netzausbaus geworden. Gerade in Hinblick auf die Ziele der Verkehrswende ergibt sich daher ein besonders hoher Handlungsbedarf zur parallelen Minderung des Schienenverkehrslärms. Das Verhältnis der Ziele Verkehrswende und Lärminderung ist jedoch vielschichtiger und wird im folgenden Abschnitt 1.2 genauer beleuchtet.

Das Thema Schienenverkehrslärm ist nicht neu. Seit langem sind die Politik und auch einige Akteure des Sektors bemüht, etwas dagegen zu tun. In Abschnitt 1.3 wird die bisherige Lärmschutzpolitik mit ihren Aktivitäten, Erfolgen und Defiziten dargestellt, wobei auch ein Exkurs zu der bisherigen Standardlösung für Lärminderungen, nämlich dem Einsatz von Schallschutzwänden, sowie zu aktuellen weitergehenden Forderungen der Bürgerinitiativen nach Lärmschutztunneln und Geschwindigkeitsbeschränkungen eingefügt wird. Dabei zeigt sich eine eher partielle Herangehensweise der bisherigen Lärmschutzpolitik. Daher besteht Handlungsbedarf für eine Neuordnung und Vervollständigung des rechtlichen und institutionellen Rahmens der Lärmschutzpolitik, neben den zu adressierenden Einzelthemen der Lärminderung. In Abschnitt 1.4 wird vor diesem Hintergrund die Zielsetzung dieses Gutachtens ausformuliert.

⁸ Siehe TSI Noise, Art. 5a bis 5c. Diese Strecken werden als „Quieter Routes“ („leisere Strecken“) bezeichnet, da auf ihnen besonders laute Bestandswagen, die noch mit Grauguss-Bremssohlen gebremst werden, nicht mehr eingesetzt werden dürfen.

⁹ UBA (2020): Umweltbewusstsein in Deutschland 2020, S. 32.

1.2 Zusammenhang von Verkehrswende- und Lärminderungszielen

Im Zuge der Klimapolitik, die auf das engste mit der Energiewende verbunden ist, wurde auch eine **Verkehrswende** ausgerufen. Im Zentrum steht der Gedanke, die CO₂-Emissionen des Verkehrs durch Verminderungen der CO₂-Emissionen aller Verkehrsträger, durch Verkehrsverlagerung von CO₂-intensiven zu weniger CO₂-intensiven Verkehrsträgern und durch Verkehrsvermeidung zu senken.¹⁰

Verkehrswende ist aber mehr als nur Klimapolitik. Es geht darum, alle negativen externen Effekte des Verkehrs zu senken, also neben den CO₂-Emissionen auch die Emissionen von Schadstoffen, die Überfüllung der Städte mit Pkw und Lkw und die Lärmemissionen. Zudem verbindet man mit Verkehrswende auch eine generelle Steigerung der Lebensqualität und der Attraktivität des öffentlichen Raums und erwartet von den Verkehrsträgern eine Modernität im Sinne von Nähe, leichter Zugänglichkeit und freundlichem Gesamteindruck.¹¹

Der **Eisenbahn** wird insbesondere dort, wo Massenverkehre auch in Zukunft nicht wegzudenken sind, eine wichtige Rolle bei der Verkehrswende zugeordnet, um Straßen, Städte und das Umland von den Platzanforderungen und Emissionen des Straßenverkehrs (Pkw und Lkw) zu entlasten. Zudem empfiehlt sie sich als ein Verkehrsträger mit geringen CO₂-Emissionen aufgrund ihrer besonderen Systemeigenschaften (energiesparend, überwiegend elektrifiziert). Daher wurden für die Eisenbahn konkrete **Verkehrswendeziele** formuliert:¹²

- Im Personenverkehr soll im Zeitraum 2019 bis 2030 eine Verdoppelung der Verkehrsleistung (in Personenkilometern) erreicht werden.
- Im Güterverkehr soll im selben Zeitraum der Modal Split des Schienengüterverkehrs, also dessen Anteil an der Verkehrsleistung (in Tonnenkilometern) des gesamten Güterverkehrs, auf 25 % gesteigert werden (von 18,6 % im Jahr 2019¹³).

Im Zusammenhang mit diesen Verkehrswendezielen sind auch die umfangreichen Anstrengungen zur Modernisierung und Attraktivitätssteigerung des Eisenbahnsystems zu sehen:

- Der Schienenpersonennahverkehr (SPNV) wurde durch die steten Steigerungen der Regionalisierungsmittel und Einführung des Deutschlandtickets gestärkt.
- Der Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) soll durch die Konzepte und Planungen für einen Deutschlandtakt gestärkt werden.
- Der Schienengüterverkehr (SGV) wird durch die zeitnah vorgesehene Einführung der „Digitalen Automatischen Kupplung“ mit ihren Folge-Innovationen grundlegend modernisiert.
- An der Infrastruktur wird mit den bereits in Angriff genommenen, umfassenden Streckensanierungen die Umsetzung der „Digitalen Schiene“ beschleunigt, die insbesondere die Verbreitung von ETCS Level 2 und elektronischen Stellwerken im Fokus hat. Zudem sind langfristig umfangreiche Ausbauten des Schienennetzes und der Knoten geplant.

¹⁰ Siehe zum Beispiel Agora Verkehrswende, GIZ (2023): Towards Decarbonising Transport 2023, S. 140.

¹¹ Siehe zum Beispiel Agora Verkehrswende (2017): Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern, S. 25–27; SRU (2020): Für eine aktive und umweltfreundliche Stadtmobilität: Wandel ermöglichen, S. 331.

¹² Siehe hierzu Bundesregierung (2023): Fragen und Antworten zur Verkehrspolitik: So funktioniert der Schienenverkehr; Deutschlandtakt (o. D.): Fakten; SPD, Bündnis 90 / Die Grünen, FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen.

¹³ Zu diesem Vergleich siehe Abschnitt 6.1.3.2.

All diese Aspekte sind Bestandteile der Verkehrswende bei der Eisenbahn. Dabei darf jedoch die Notwendigkeit, parallel dazu auch den **Schienenverkehrslärm** zu mindern, nicht aus dem Blick geraten.

Um sich dauerhaft als Verkehrsträger der Verkehrswende zu etablieren, muss die Eisenbahn auch ihre eigenen externen Effekte gering halten; diese bestehen insbesondere aus dem Schienenverkehrslärm, daneben auch aus räumlichen Zerschneidungseffekten. Der Widerstand der Anwohnenden gegen den Schienenverkehrslärm nimmt inzwischen die Form an, dass überzogene lärmindernde Maßnahmen wie Geschwindigkeitsbeschränkungen an Hauptverkehrsstrecken oder Tunnelbauten gefordert werden, die die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Systems Eisenbahn gefährden würden (siehe dazu Abschnitt 1.3.5). Aufgeschreckt leisten auch die Anwohnenden geplanter Neubauten oder Reaktivierungen von Eisenbahnstrecken Widerstand gegen befürchteten, zukünftigen Schienenverkehrslärm und finden im Kontext der Planfeststellungsverfahren stärkere Einflussmöglichkeiten als die Anwohnenden von Bestandsstrecken. Inzwischen ist der Widerstand der zukünftigen Anwohnenden zu einem Hemmschuh für den Ausbau des Schienennetzes geworden.¹⁴

Obwohl daher Verkehrswende und Lärminderung bei der Schiene eigentlich zusammengehören, konkurrieren sie doch um knappe Mittel. Im Moment besteht die Gefahr, dass angesichts der gestiegenen Bedeutung der Klimapolitik und den bereits erreichten Erfolgen der Lärmschutzpolitik (insbesondere der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen bei den Güterwagen und der Errichtung von Schallschutzwänden) der weiteren Verfolgung von Lärminderungen in der allgemeinen öffentlichen und politischen Diskussion als nachrangig betrachtet werden könnte. Dabei wird jedoch übersehen, dass Lärminderung kostengünstig sein kann, wenn sie langfristig mit konstantem Nachdruck und einem konsistenten Ansatz verfolgt wird. Beispiele dafür werden in diesem Gutachten herausgearbeitet. Zudem fallen die Kosten vieler lärmindernder Maßnahmen bei Lokomotiven, HGV-Zügen oder auch an der Infrastruktur im Verhältnis zu den übrigen Kosten dieser Elemente nicht stark ins Gewicht (bei Neubau oder Grundinstandsetzung), während einige Maßnahmen an den Fahrzeugen zwar hohe Anschaffungskosten erfordern, die jedoch in der langen Frist bei den laufenden Kosten wieder teilweise kompensiert werden, zum Beispiel durch Reduktionen der Instandhaltungs- oder Energiekosten. Auch dies wird im Gutachten verdeutlicht. Einsparungspotenzial besteht auch darin, die Lärmschutzpolitik selbst effizienter zu gestalten, indem der Fokus weniger auf den Bau von Schallschutzwänden gesetzt, sondern mehr auf Maßnahmen an der Quelle des Lärms verlagert wird.

Wenn man sich nicht rechtzeitig und systematisch um die Minderung des Schienenverkehrslärms kümmert, kann es deutlich teurer werden. Dies gilt insbesondere, wenn allein aufgrund des Lärmprotests für den Bau von zusätzlichen Tunneln entschieden wird. Wenn Neubau- oder Reaktivierungsprojekte verzögert oder gar verhindert werden oder die Strecken aus Gründen des Lärmprotests mit geringeren Höchstgeschwindigkeiten ausgelegt werden, entstehen ebenfalls Zusatzkosten oder die Verkehrswende kommt nicht voran. Vertreter*innen des Güterverkehrs und der Wirtschaft weisen darauf hin, dass der Netzausbau für einen funktionierenden SGV unerlässlich ist;¹⁵ dieser ist jedoch ohne Anstrengungen zur Lärminderung gefährdet.

Insgesamt gesehen wäre es daher kein gutes Konzept, unter der Flagge der Verkehrswende die Eisenbahn zu modernisieren und auszubauen, ohne auch ihr Lärmproblem verstärkt anzugehen. Ebenso, wie zur angestrebten Steigerung der Verkehrsleistung auch der Infrastrukturausbau

¹⁴ UBA (2023): Schienenverkehrslärm. Vergleiche auch Präambel der Förderrichtlinie „TSI Lärm+“ von 2017.

¹⁵ IHK München und Oberbayern, VDV Bayern, Die Güterbahnen (2024): Wirtschaft braucht mehr Gleise für Schienengüterverkehr.

gehört, gehören auch Anstrengungen zur Lärminderung dazu. Andernfalls läuft man Gefahr, ein nicht nachhaltiges Verkehrssystem zu entwickeln.

1.3 Die bisherige Lärmschutzpolitik: Erfolge und Probleme

1.3.1 Darstellung und Erfolge der bisherigen Lärmschutzpolitik

Die Lärmschutzpolitik konnte in den letzten ca. zehn Jahren beträchtliche Erfolge in der Belastungsminderung erreichen. Hervorzuheben ist die Ende 2020 vollendete **Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen** bei den Bremssystemen der Güterwagen als bedeutende Maßnahme der Lärmreduktion an der Quelle. Die Grauguss-Bremssohlen führten bei den Bremsvorgängen zu Aufrauungen an den Rädern, und diese Aufrauungen führten bei der normalen Fahrt zu einem sehr lauten Rollgeräusch, das durch die Räder sowie Schienen und Schwellen abgestrahlt wird. Die Bundesrepublik Deutschland hatte gemeinsam mit einigen Nachbarstaaten und der EU darauf hingewirkt und schließlich erreicht, dass dieser Typ von Bremssohlen aus dem Verkehr gezogen wurde. Es gibt keine einzige, konkrete technische Maßnahme der Lärminderung, die einen ähnlich starken Effekt hat, wie die Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen. Dies wurde erkannt und mit spezifisch darauf zugeschnittenen politischen Instrumenten erreicht, insbesondere dem Schienenlärmschutzgesetz von 2017, welches in der aktualisierten Form von 2024 den Einsatz lauter, mit Grauguss-Bremssohlen ausgestatteten Güterwagen auf den sogenannten „Quieter Routes“ verbietet. Der politische Prozess wird in Abschnitt 1.3.4 genauer beschrieben.

Außerdem sind die gesetzlich vorgeschriebene **Lärmvorsorge** bei Neubauten oder wesentlichen Änderungen von Eisenbahnstrecken und die freiwillige **Lärmsanierung** bei Bestandsstrecken zu nennen. In ihrem Rahmen werden insbesondere Schallschutzwände errichtet und bei besonders betroffenen Anwohnenden Schallschutzfenster installiert. Zudem werden bei der Infrastruktur an ausgewählten Stellen Schienenstegdämpfer angebracht oder ein regelmäßiges akustisches Schleifen der Schienen vorgenommen (das sogenannte „besonders überwachte Gleis“ im Rahmen der Lärmvorsorge, nicht jedoch der Lärmsanierung).¹⁶

Die Lärmvorsorge für Neubauten oder wesentliche Änderungen von Eisenbahnstrecken im Rahmen des Immissionsschutzgesetzes existiert bereits seit 1974. Die freiwillige Lärmsanierung für Bestandsstrecken existiert seit 1999. Für diese gelten sogenannte Auslösewerte, die in den letzten Jahren deutlich abgesenkt wurden. So wurde zum 1. Januar 2015 der Schienenbonus abgeschafft, wodurch der Auslösewert für die Lärmsanierung um 5 dB(A) zurückging. Ein Jahr später erfolgte über das Haushaltsgesetz des Bundes eine weitere Absenkung der Auslösewerte um 3 dB(A). Mit dem Haushaltsgesetz 2021 wurden diese dann erneut um 3 dB(A) verringert. In der vergangenen Dekade wurden die Auslösewerte der Lärmsanierung so um insgesamt 11 dB(A) reduziert.¹⁷

Ein umfangreiches **Lärm-Monitoring** wurde eingerichtet, um mit Hilfe von 19 im Schienennetz verteilten Monitoring-Stationen die Entwicklung der Lärmemissionen insbesondere des SGV zu beobachten. Vorgaben der EU zur Lärmkartierung und zur Lärmaktionsplanung wurden in Deutschland umgesetzt. Die **Lärmkartierung** erlaubt einen sehr detaillierten Einblick in die Lärmbelastung der Menschen an den Haupteisenbahnverkehrsstrecken und in den Ballungsräumen in Deutschland. Auf der Basis der Lärmkartierung erfolgt im Rahmen der **Lärmaktionsplanung** eine Öffentlichkeitsbeteiligung, bei der sich die Bürger*innen zur

¹⁶ Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes; 24. BImSchV § 2; 16. BImSchV § 5.

¹⁷ BMDV (2022c): Lärmschutz im Schienenverkehr, S. 18, 23, 53 und 58.

Belastungssituation äußern können, damit ihre Belange in den konkreten Lärmaktionsplänen berücksichtigt werden können.¹⁸

Außerdem wurden **Forschungsvorhaben** zur Erforschung weiterer Möglichkeiten zur Lärm-minderung in Auftrag gegeben. Zu nennen sind insbesondere die Projekte „Innovativer Güterwagen“¹⁹ und „I-LENA“²⁰ sowie die Lärmforschung beim DZSF auch mit der Einrichtung eines neuen Offenen Digitalen Testfeldes zwischen Niesky, Cottbus und Halle (Saale). Mit dem Offenen Digitalen Testfeld soll die Erprobung von Innovationen sowie Technologien unter Realbedingungen unter anderem in den Bereichen des Lärm-, Umwelt- und Klimaschutzes sowie des automatisierten Fahrens ermöglicht werden.²¹

Es stellt sich die Frage, wie diese Liste von Aktivitäten und Erfolgen mit der immer noch hohen Lärmbelastung der Menschen vereinbar ist, die eingangs dieses Kapitels festgestellt wurde. Tatsächlich war die Lärmbelastung früher höher und hat sich durch die Umrüstung der Güterwagen auf Verbundstoff-Bremssohlen und durch die voranschreitende Lärmvorsorge und -sanierung verringert.²² Dennoch bleibt, wie gezeigt wurde, noch viel zu tun. Die Klagen über den Schienenverkehrslärm und der Bürgerprotest sind nach wie vor hoch.

1.3.2 Defizite der bisherigen Lärmschutzpolitik

Trotz der Vielzahl von Aktivitäten fehlt in der bisherigen Lärmschutzpolitik ein umfassender Ansatz, und es zeigen sich einige Felder, die bisher nicht adressiert werden. Die **partielle Herangehensweise der bisherigen Lärmschutzpolitik** zeigt sich an folgenden Aspekten.

Nur im Falle von Neubauten oder wesentlichen Änderungen von Eisenbahnstrecken besteht ein gesetzlicher Anspruch der Anwohnenden, dass ihre Lärmbelastung bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten darf (sogenannter **Immissionsschutz**²³). Um diesen gesetzlichen Anspruch zu erfüllen, werden im Rahmen der Planfeststellungen der Neubauvorhaben oder der wesentlichen Änderungen auch lärm-mindernde Maßnahmen wie zum Beispiel der Bau von Schallschutzwänden vorgesehen. Doch gibt es keine geübte Praxis, die im Falle einer späteren Überschreitung der aus dem Gesundheitsschutz begründeten Immissionsgrenzwerte für Korrekturen sorgt. Eine solche Überschreitung kann leicht eintreten, wenn sich zum Beispiel das Betriebsprogramm auf der Strecke (also die Zahl oder Art oder die zeitlichen Lagen der dort eingesetzten Züge) anders entwickelt als bei der Planfeststellung angenommen wurde oder wenn die Immissionsgrenzwerte aufgrund neuer Erkenntnisse geändert werden. Die Anwohnenden von neu zu bauenden oder zu reaktivierenden Eisenbahnstrecken müssen daher davon ausgehen, dass sich in der Zukunft Lärmbelastungen verschiedener Art und Stärke für sie ergeben können.

Bei Bestandsstrecken, die im 19. oder in weiten Teilen des 20. Jahrhunderts errichtet wurden, als es noch keinen Immissionsschutz und keine Planfeststellung gab, gibt es auch heute keinen gesetzlichen Anspruch auf die Einhaltung von Immissionsgrenzwerten. Hier gibt es lediglich die freiwillige Lärmsanierung des Bundes, mit der im Rahmen der budgetären Möglichkeiten die am

¹⁸ EBA (2023a): Entwurf, Lärmaktionsplanung des Eisenbahn-Bundesamtes Runde 4, S. 10–14.

¹⁹ DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“.

²⁰ DB Netze AG (2020b): Initiative Lärmschutz-Erprobung neu und anwendungsorientiert (I-LENA).

²¹ DZSF (o. D.): Das Offene Digitale Testfeld des DZSF (im Aufbau).

²² Es ist schwierig, die Minderung der Lärmbelastung infolge der Umrüstung zu quantifizieren, da sich in der Zwischenzeit die Berechnungsmethode der Lärmkartierung geändert hat.

²³ Während die Erzeugung von Lärm (zum Beispiel durch einen vorbeifahrenden Zug) *Emission* genannt wird, wird die Betroffenheit durch Lärm (zum Beispiel eines Anwohnenden an einer Strecke) als *Immission* bezeichnet. Einige Grundbegriffe der Akustik werden in Kapitel 2 im Zusammenhang erklärt.

stärksten lärmbelasteten Streckenabschnitte mit Schallschutzwänden, anderen infrastrukturseitigen Maßnahmen oder Schallschutzfenstern versorgt werden. Die Lärmbelastung bleibt dabei meistens über den Grenzwerten, welche für Neubauten im Rahmen der Lärmvorsorge gelten.²⁴

Für die **Lärmemissionen der Fahrzeuge** des Schienenverkehrs gelten die Grenzwerte der **TSI Noise** der EU. Auch diese gelten jedoch nur für neu zugelassene Fahrzeuge, während für Fahrzeuge des Bestands ein Bestandsschutz gilt. Eine punktuelle Ausnahme wurde nur für die Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen bei Güterwagen gemacht, indem auf eine Umrüstung der Bestandsflotte auf lärmarme Bremssohlen hingewirkt wurde.

Zudem sind die Anforderungen der TSI Noise wenig ambitioniert. In vielen Fällen wurde anfangs nur der Stand der Technik abgebildet und seither, trotz dreier formaler Revisionen der TSI, keine spürbare Absenkung der Lärmemissionsgrenzwerte vorgenommen, wie es ursprünglich vorgesehen war und auch in anderen umweltpolitischen Bereichen üblich ist, wie etwa bei den Stickoxid- oder Partikelemissionen von Verbrennungsmotoren.

Lärm wird nicht nur von den Fahrzeugen, sondern auch von der **Infrastruktur** emittiert. Zudem trägt die Infrastruktur im Rad-Schiene-Kontakt durch die Schienenrauheit auch zur Anregung der gemeinsamen Lärmemissionen bei. Es gibt jedoch keine allgemeinen Emissionsgrenzwerte oder akustisch motivierten Qualitätsvorgaben für die Infrastruktur. Die EU ist hierfür nicht zuständig, und in Deutschland hat man dieses Thema nicht angegangen. Nur in Ausnahmefällen wird lokal im Rahmen der Lärmvorsorge für Neubautrecken ein „besonders überwachtetes Gleis“ eingerichtet, das durch regelmäßiges Schleifen glatt gehalten werden muss. Andere lärmrelevante Eigenschaften der Infrastruktur, wie zum Beispiel die sogenannte Gleisabklingrate, sind nicht geregelt.

Für die partielle Herangehensweise der bisherigen Lärmschutzpolitik gibt es Gründe, die auch aus dem historischen Kontext verständlich werden. So ist der Bestandsschutz für die Akteure des Sektors eine wichtige Grundlage des wirtschaftlichen Handelns, und bei Eisenbahnstrecken, die schon über Generationen existieren, kann argumentiert werden, dass die heutigen Anwohnenden sich freiwillig für diesen Wohnort entschieden und den Eisenbahnlärm somit in Kauf genommen haben. Andererseits muss aber auch zur Kenntnis genommen werden, dass sich Bedingungen und Ansprüche des Umfeldes ändern können. Insbesondere die Verkehrswende sollte nicht nur als ein „windfall profit“ für die Eisenbahn (wegen der besonderen Rolle, die ihr dabei zugeordnet wird), sondern auch als eine Verpflichtung und Aufforderung für notwendige Modernisierungen verstanden werden, zumal mit der vorgesehenen Stärkung des Schienenverkehrs auch die Zahl der Züge und somit die Lärmbelastung zunehmen wird.

Ein weiterer, wichtiger Grund für die partielle Herangehensweise der bisherigen Lärmschutzpolitik liegt in einer zentralen Eigenschaft des menschlichen Hörens: die lauteste Schallquelle dominiert die Wahrnehmung oft stark (vgl. Kapitel 2). Dann hat es oft fast vernachlässigbare Auswirkungen, wenn nur die zweit- und drittlautesten Schallquellen gemindert werden. Daher liegt es für die Lärmschutzpolitik nahe, punktuell nur die lauteste Schallquelle anzugehen, wie es beispielhaft – und sehr erfolgreich – bei der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen getan wurde. Doch hat sich mit dieser Maßnahme die Situation geändert. Nach der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen gibt es keine einzelne technische Maßnahme mehr, mit der eine bedeutende Lärminderung kostengünstig erreicht werden kann. Vielmehr muss an vielen

²⁴ Die Auslösewerte der Lärmsanierung liegen bei Wohngebieten 5 dB(A) über den Immissionsgrenzwerten der Lärmvorsorge (64/54 dB(A) Tag/Nacht versus 59/49 dB(A) Tag/Nacht). Siehe § 2 Absatz 1 der 16. BImSchV bzw. Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung.

Stellschrauben gleichzeitig gedreht werden, und dies erfordert eine umfassende Herangehensweise, bei der verschiedene Akteure mit eingebunden werden. Dies wird in Kapitel 2 deutlich werden.

Somit gibt es verschiedene Gründe, in Zukunft zu einer umfassenderen und kohärenteren Lärmschutzpolitik bei der Eisenbahn überzugehen. Das ist jedoch nicht ganz leicht, denn es gibt strukturelle Probleme ökonomischer und rechtlicher, insbesondere europarechtlicher Art, die einem einheitlichen Ansatz entgegenstehen.

1.3.3 Strukturelle Probleme der Lärmschutzpolitik im europäischen Kontext

Die politisch-rechtlichen Instrumente, die zur Minderung des Schienenverkehrslärms eingesetzt werden können, lassen sich unterteilen in:

- ▶ Emissionsschutzrechtliche Instrumente
- ▶ Immissionsschutzrechtliche Instrumente²⁵

Um den Zusammenhang dieser beiden Eingriffsarten zu beurteilen, ist es sinnvoll, die technisch-betrieblichen Maßnahmen der Lärminderung in folgende Kategorien einzuteilen:

- ▶ Maßnahmen an der Quelle an den Fahrzeugen
- ▶ Maßnahmen an der Quelle an der Infrastruktur
- ▶ Maßnahmen am Ausbreitungsweg oder am Immissionsort

Mit Maßnahmen an der Quelle sind solche technisch-betrieblichen Maßnahmen gemeint, die die Entstehung von Lärm oder die Lärmausbreitung im unmittelbaren Nahbereich der Entstehung mindern oder unterbinden. In Hinblick auf die Lärmausbreitung gibt es somit einen Graubereich; so können niedrige Schallschutzwände, die nah am Gleis errichtet werden, als Maßnahmen an der Quelle an der Infrastruktur oder auch als Maßnahmen am Ausbreitungsweg betrachtet werden. Die meisten Maßnahmen lassen sich aber klar zuordnen. Insbesondere sind Maßnahmen an den Fahrzeugen stets Maßnahmen an der Quelle. Um das besonders bedeutsame Rollgeräusch an der Quelle zu mindern, sind Maßnahmen an den Fahrzeugen mit solchen an der Infrastruktur zu kombinieren („glattes Rad und glatte Schiene“). Zur dritten Kategorie gehören die Schallschutzwände, mit denen Gebäude vom Schienenverkehrslärm abgeschirmt werden sollen (Ausbreitungsweg), sowie Schallschutzfenster bei den Anwohnenden selbst (Immissionsort).

Der **Immissionsschutz** hat den grundsätzlichen Vorteil, dass er die geschädigten Menschen direkt im Fokus hat. Dem steht jedoch der Nachteil gegenüber, dass der Immissionsschutz nicht leicht auf die Umsetzung der effizientesten technisch-betrieblichen Maßnahmen zugeschnitten werden kann. Probleme können insbesondere dann auftreten, wenn die Maßnahmen an den lokalen oder örtlichen Verhältnissen der Betroffenen beurteilt werden, was dem Immissionsschutz eigentlich inhärent ist, so dass überörtlich wirkende Maßnahmen – also insbesondere Maßnahmen an den Fahrzeugen – nicht ausreichend berücksichtigt werden.²⁶ Demgegenüber zielt der **Emissionsschutz** direkt auf diejenigen technisch-betrieblichen Maßnahmen an der Quelle, die er explizit adressiert. Der Emissionsschutz kann allerdings dann zu Problemen führen, wenn er zu eng spezifiziert wird und die effizienteste Maßnahme an der Quelle verfehlt.

²⁵ Im Folgenden sind immer *Lärmemissionen* bzw. *Lärmimmissionen* gemeint.

²⁶ In der ökonomischen Theorie spricht man von einem positiven externen Effekt von Maßnahmen an den Fahrzeugen auf alle betroffenen Gebiete, der bei einer lokalen Immissionsschutzbetrachtung nicht leicht internalisiert werden kann.

Er sollte daher innerhalb eines anvisierten Wirkungsbereichs die technisch-betrieblichen Maßnahmen möglichst breit (technologieoffen) adressieren. Insgesamt gesehen liegt es nahe, den Lärmschutz als eine optimale Kombination aus Immissions- und Emissionsschutz zu gestalten.

Hierbei ist jedoch der europarechtliche Kontext zu beachten, denn die deutsche Politik ist bei der Wahl der politisch-rechtlichen Instrumente des Lärmschutzes nicht völlig frei. **Die Grenzwerte für die Lärmemissionen von Fahrzeugen werden auf Ebene der EU geregelt**, und zwar mit der TSI Noise. Diese Zuordnung zur EU-Ebene wurde aus gutem Grunde getroffen, denn die Interoperabilität der Eisenbahnen, die Ermöglichung grenzüberschreitender Verkehre und die Einheitlichkeit des Eisenbahn-Binnenmarktes sind hohe Güter. Für die Entwicklungsperspektive der Eisenbahn in Europa sind sie unverzichtbar, da die Fragmentierung der europäischen Eisenbahnsysteme immer noch eines der Hauptprobleme des Sektors darstellt.²⁷

Zu den Emissionen oder Emissionsursachen, die von der Infrastruktur ausgehen, gibt es hingegen keine Regelungen auf Ebene der EU. **Bei der Infrastruktur haben die Mitgliedstaaten freie Hand**, lärmindernde Maßnahmen zu ergreifen, solange diese nicht die Funktionalität des Systems Eisenbahn, die Interoperabilität oder die Aktivitäten der Eisenbahnverkehrsunternehmen berühren. So kann ein Land über Schienenstegdämpfer (Maßnahme an der Quelle an der Infrastruktur) oder über Schallschutzwände (Maßnahme am Ausbreitungsweg) frei entscheiden.

Auch **der Immissionsschutz liegt grundsätzlich im nationalen Kompetenzbereich**, da er bisher nicht auf Ebene der EU geregelt wurde.²⁸ Wenn jedoch nationale Regeln des Immissionsschutzes auch Konsequenzen auf die erlaubten Emissionen von Fahrzeugen haben, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die EU dies als Eingriff oder Umgehung ihres Regelungsbereichs auffasst und untersagt.

Aus wettbewerbspolitischen Gründen unterliegen auch Finanzhilfen für EVU, die mit dem Zweck der Lärminderung erwogen werden, engen europarechtlichen Schranken, während die Mitgliedstaaten bei der Finanzierung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen frei sind – diese wird sogar von ihnen erwartet. Somit ist der nationale Handlungsspielraum für den Emissionsschutz bei den Fahrzeugen wesentlich stärker eingeschränkt als bei der Infrastruktur.

Das Zusammenwirken der genannten (und weiterer) Faktoren hat zur Folge, dass nationale Lärmschutzpolitik eine starke **Tendenz zum Einsatz von Schallschutzwänden** am Ausbreitungsweg aufweist:

- ▶ Schallschutzwände sind EU-rechtlich unproblematisch. Ihre Umsetzung kann im nationalen Rahmen entschieden und auch finanziert werden.
- ▶ Schallschutzwände haben lokal eine starke Wirkung, da sie die Betroffenen häufig gut von Lärm abschirmen können.
- ▶ Ein an lokalen Verhältnissen orientierter Immissionsschutz führt zu einer Präferenz für Maßnahmen mit lokaler Wirkung gegenüber Maßnahmen, die an vielen Orten wirken (also insb. gegenüber Maßnahmen an den Fahrzeugen).

In vielen Fällen sind Schallschutzwände auch die effizienteste Maßnahme der Lärminderung. Doch sind ihre Kosten beträchtlich, und sie haben weitere Nachteile, die in Abschnitt 1.3.5

²⁷ Siehe Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV), Art. 91 Abs. 1, sowie Richtlinie (EU) 2016/797 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.

²⁸ Es gibt lediglich Leitlinien für Umgebungslärm der WHO. Siehe dazu UBA (2019): WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region.

dargestellt werden, so dass sie nicht immer die volkswirtschaftlich effizienteste Maßnahme darstellen. Zur Verkehrswende passt auch nicht ein Verkehrsmittel, das mit Schallschutzwänden abgeschirmt werden muss, sondern eher ein lärmarmes, modernes Verkehrsmittel, das mit einem freundlichen Gesamteindruck zur Steigerung der Lebensqualität und der Attraktivität des öffentlichen Raums beiträgt.²⁹ Schon lange wird gefordert und beabsichtigt, verstärkt Lärm-minderungen an der Quelle vorzunehmen,³⁰ doch verharzt der Schwerpunkt des Handelns bei den Schallschutzwänden.

Die in der Entscheidungspraxis vorherrschende Tendenz zum Einsatz von Schallschutzwänden kann sich daher nachteilig auswirken. Generell können die institutionellen Rahmenbedingungen zu Verzerrungen führen, so dass nicht immer die effizientesten Maßnahmen ausgewählt werden. Dies betrifft nicht nur die Auswahl, sondern auch schon die Entwicklung der Maßnahmen. Die Kosten von technisch-betrieblichen Maßnahmen der Lärminderung sinken, wenn sich ein breiter Markt für sie entwickelt und die Maßnahmen bei Neuanschaffungen oder ohnehin anstehenden Grundüberholungen umgesetzt werden können. Wenn die institutionellen Rahmenbedingungen dies nicht in ausreichendem Maße zulassen, kann es vorkommen, dass die effizientesten Maßnahmen ihr Potenzial gar nicht entfalten können. Zudem benötigt die Industrie Zeit, um technische Maßnahmen kostengünstig entwickeln und optimieren zu können. Damit sie dies tut, bedarf es klarer und glaubwürdiger politischer Signale, dass lärmindernde Maßnahmen später auch nachgefragt werden.

Die Schwierigkeiten und Möglichkeiten zur Entwicklung und Umsetzung effizienter Maßnahmen der Lärminderung werden durch die Geschichte der Grauguss-Bremssohlen – bzw. deren Abschaffung – eindrucksvoll illustriert, die im Folgenden skizziert wird.

1.3.4 Beispiel für eine nationale Politik zur Lärminderung an den Fahrzeugen: die Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen

Über Jahrzehnte wurden Güterwagen europaweit mit Grauguss-Bremssohlen gebremst, welche die Eigenschaft haben, im Laufe der Zeit die Räder stark aufzurauen, so dass beim Rollkontakt beträchtlicher Lärm entsteht. Es wurde festgestellt, dass Lärmschutz durch Schallschutzwände wesentlich teurer sein würde als die Ersetzung der Grauguss-Bremssohlen lärmarme Verbundstoffsohlen, also eine Lärminderung an der Quelle an den Fahrzeugen.³¹ Während für Neufahrzeuge bereits ab 2006 aufgrund einer Änderung der TSI Noise Grauguss-Bremssohlen nicht mehr zugelassen waren, galt für die Bestandswagen der Bestandsschutz auf deutscher und europäischer Ebene. Eine staatlich finanzierte Umrüstung lediglich der nationalen Bestandsflotten war europarechtlich nicht möglich, erfolgte jedoch in der Schweiz bis 2010.³²

Der stete politische Druck einiger Mitgliedstaaten (Deutschland, die Niederlande und andere) zeigte jedoch Auswirkungen in Richtung einer Ersetzung der Grauguss-Bremssohlen auch bei den Bestandswagen. Die Industrie entwickelte leise LL-Bremssohlen speziell für den Zweck einer kostengünstigen Umrüstung der Bestandsflotten. In Deutschland wurde ab 2012 zeitlich begrenzt ein lärmabhängiges Trassenpreissystem eingeführt und mit einem europarechtskonformen Bonussystem (das sich nicht nur an nationale Akteure richtete) verknüpft; zudem wurde für einen Zeitpunkt nach der erwarteten, weitgehenden Umrüstung der Bestandsflotten

²⁹ Es sei angemerkt, dass sich diese kritischen Bemerkungen nicht auf niedrige Schallschutzwände mit einer Höhe bis 80 cm beziehen, welche nahe am Gleis angebracht werden.

³⁰ Siehe BMDV (2022c): Lärmschutz im Schienenverkehr.

³¹ Siehe hierzu ist die vielzitierte Studie European Rail Research Institute et al. (2003): Strategies and Tools to Assess and Implement Noise Reducing Measures for Railway Systems (STAIRRS), dort z. B. S. 22 f.

³² Railbusiness (2011): Lärmsanierung der Güterwagen beendet.

der Einsatz ordnungsrechtlicher Instrumente vorgesehen.³³ Die EU reagierte, indem trotz einiger Bedenken ab 2013 die LL-Bremssohlen zugelassen wurden und das politische Instrument lärmabhängiger Trassenpreissysteme auf EU-Ebene geregelt und somit ermöglicht wurde, um den Einsatz leiser Bremssysteme zu fördern;³⁴ zudem wurden Fördermittel der EU (im Rahmen der Connecting Europe Facilities) für eine Umrüstung von Bestandswagen bereitgestellt.

Als in Deutschland erkennbar wurde, dass die Kombination aus lärmabhängigem Trassenpreissystem und Bonussystem nicht die erhoffte Wirkung entfaltete, wurde ein Verbot graugussgebremster Güterwagen angestrebt und im „Schienenlärmschutzgesetz“ vom Juli 2017 für Ende 2020 ausgesprochen, wobei zunächst unklar war, ob dieses Gesetz europarechtskonform sein würde. Obwohl die Branche (EVU und Wagenhalter) das lärmabhängige Trassenpreissystem stets als untauglich und die begleitende nationale Direktförderung als ungeeignet sowie unzureichend kritisierte und obwohl das nationale Verbot graugussgebremster Güterwagen EU-rechtlich nicht gedeckt und somit angreifbar war, reagierte die Branche schließlich doch mit einer umfassenden Umrüstung oder Abschaffung graugussgebremster Güterwagen bis Ende 2020, so dass der Schienengüterverkehr in Deutschland wesentlich leiser wurde. Auch die EU reagierte, indem sie 2019 mit dem Konzept der „leiseren Strecken“ („Quieter Routes“) eine rechtliche Brücke konstruierte, die dem Verbot der Grauguss-Bremssohlen für Bestandswagen in Deutschland nachträglich (gültig ab Ende 2024) eine eingeschränkte europarechtliche Gültigkeit verleihen wird.³⁵ Darauf reagierte wiederum der deutsche Gesetzgeber, indem das Schienenlärmschutzgesetz im Juni 2024 entsprechend angepasst wurde. Graugussgebremste Wagen können somit ab 2025 wieder außerhalb der „Quieter Routes“ eingesetzt werden, doch werden in Deutschland praktisch keine mehr eingesetzt.

Die Beharrlichkeit der deutschen Politik hat sich hier ausgezahlt, sowohl gegenüber der Branche als auch gegenüber der EU. Das Beispiel zeigt, dass nationale Politik auch auf den Emissionsschutz bei Fahrzeugen zielen kann, doch muss sie dann geschickt und beharrlich mit der EU einen Konsens suchen und auch Kompromisse eingehen. Denn während die EU auf den für sie wichtigen Grundprinzipien beharrt und auch die Interessen anderer Mitgliedstaaten, die an einer Lärminderung aus Kostengründen oder mangelnder gesellschaftlicher Notwendigkeit weniger interessiert sind, berücksichtigen muss, ist sie in der Regel auch bereit, begrenzte Zugeständnisse, Kompromisse und Workarounds zu finden, um berechtigten Interessen derjenigen Mitgliedstaaten, die den Schienenverkehrslärm reduzieren wollen, entgegenzukommen.

Das Beispiel zeigt auch, dass man in der Lärmschutzpolitik einen langen Atem braucht. Von den ersten Ansätzen – der oben genannten STAIRRS-Studie aus dem Jahr 2003 und der Änderung der TSI Noise im Jahre 2006 – bis zur tatsächlichen Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen Ende 2020 hat es ca. 15 Jahre benötigt. Auch zukünftige, weitergehende Schritte der Lärmschutzpolitik werden ihre Zeit brauchen.

³³ Siehe DHV BV, TU Berlin, IGES, Universität Würzburg (2007): Der Weg zum leiseren Schienengüterverkehr, S. 5 f. Darin wiedergegeben (S. 15) Beschluss des Bundesrats, 829. Sitzung vom 15. Dezember 2006 (Drucksache 884/06).

³⁴ Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 vom 13. März 2015 zur Festlegung der Modalitäten für die Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen.

³⁵ Durchführungsverordnung (EU) 2019/774.

1.3.5 Exkurs: Zur Problematik von Schallschutzwänden und von Tunneln und Geschwindigkeitsbeschränkungen als Maßnahmen der Lärminderung

Eine der am weitesten verbreiteten Maßnahmen des Lärmschutzes besteht in der Errichtung von Schallschutzwänden. Im ersten Teil dieses Exkurses werden Schallschutzwände beschrieben, und es wird dargestellt, dass diese auch Nachteile aufweisen, so dass ein behutsamer Einsatz dieser Maßnahmen angezeigt ist.

Viele Bürgerinitiativen fordern den Einsatz von Lärmschutztunneln oder auch von Geschwindigkeitsbeschränkungen als Maßnahmen der Lärminderung. Im zweiten und dritten Teil dieses Exkurses werden diese Maßnahmen beschrieben und von ihrem Einsatz außer in Ausnahmefällen abgeraten.

Hohe Schallschutzwände

Zur Abgrenzung von „niedrigen Schallschutzwänden“, die üblicherweise Bahnsteighöhe, also 55 cm oder 76 cm aufweisen und nur den Schall im Bereich der Gleise und des Drehgestells bzw. der Räder abschirmen sollen, werden Schallschutzwände mit einer Höhe von üblicherweise 2 bis 6 m im Folgenden als „hohe Schallschutzwände“ bezeichnet.

Durch die Verwendung von hohen Schallschutzwänden, die sich seitlich von Bahnanlagen befinden, werden die Geräuschemissionen von Fahrzeug und Fahrweg in ihrer Ausbreitung gehindert. Die dabei relevanten Größen sind die Schalldämmung und ein mögliches Schallabsorptionsvermögen. Diese und weitere technische Anforderungen für Schallschutzwände, wie die Standfestigkeit (unter Berücksichtigung von hohen aerodynamischen Lasten bei hohen Zuggeschwindigkeiten) sind in der DB-Richtlinie 804.5501 geregelt. Es existieren verschiedene Ausführungen von hohen Schallschutzwänden, die sich neben der Höhe auch in Form und Design, im Baumaterial (Beton, Metall und Leichtmetall, transparenter Kunststoff, Ausführung als Gabione), Absorptionsgrad und weiteren Eigenschaften unterscheiden. Die Möglichkeiten, eine Schallschutzwand überhaupt zu errichten, und die Optionen für ihre Platzwahl hängen stark von den örtlichen Gegebenheiten ab.³⁶ Aus städtebaulichen Gründen werden transparente Schallschutzwände immer gefragter. Jedoch waren diese in ihrer Wirkweise bis vor kurzem weniger effektiv als herkömmliche Ausführungen.³⁷ Für die bislang mangelnden absorbierenden Eigenschaften bei transparenten Schallschutzwänden gibt es seit Mai 2024 eine Lösung von DB Bahnbau Gruppe und Phononic Vibes. Diese erfüllt die Kriterien einer hochabsorbierenden Schallschutzwand und erhält 72 % der Flächen transparent.³⁸ In dieser transparenten Ausführung könnte somit in Zukunft die Akzeptanz von Schallschutzwänden erhöht werden.³⁹ In der Schweiz wird inzwischen oft auf den Einsatz von Schallschutzwänden in Siedlungsgebieten durch die schlechte Akzeptanz bei Behörden und der Bevölkerung verzichtet. Höhere Akzeptanz finden Maßnahmen an der Quelle oder am Immissionsort.⁴⁰

Grundsätzlich gilt für die akustisch abschirmende Wirkung von hohen Schallschutzwänden, dass sie umso besser wirken, je höher über Schienenoberkante und je näher an der Strecke sie ausgeführt werden. Doch muss aus Sicherheitsgründen bei der Installation ein vorgeschriebener

³⁶ Jänsch, Lang, Nießen (Hrsg.) (2021): Handbuch. Das System Bahn, S. 247.

³⁷ Hänisch et al. (2022): Gutachten zu transparenten Schallschutzwänden mit hoher akustischer Wirksamkeit, S. 11.

³⁸ Deutsche Bahn (2024c): Mehr Durchblick, weniger Lärm: DB entwickelt innovative transparente Schallschutzwände.

³⁹ Aktuell sind diese Schallschutzwände noch nicht für den Regelbetrieb zugelassen und werden im Rahmen einer Betriebserprobung untersucht.

⁴⁰ BAFU (2023): Lärmschutzwände.

Mindestabstand zum Gleis eingehalten werden.⁴¹ Hohe Schallschutzwände haben unmittelbar hinter der Schallschutzwand eine sehr hohe Schutzwirkung, so dass viele der am stärksten vom Lärm betroffenen Anwohnenden sehr stark davon profitieren, dabei ist von einer Minderung von bis zu 15 dB(A) auszugehen.⁴² Allerdings werden bei hohen Gebäuden die über die Schallschutzwand hinausragenden Etagen je nach Winkel zur Schallquelle weniger geschützt, der Minderungseffekt sinkt entsprechend deutlich. Bei mehrgleisigen Strecken betrifft dies aufgrund des flacher werdenden Winkels zu den Schallquellen auf den weiter entfernten Gleisen immer mehr Etagen der Wohngebäude. Um dies abzufangen, müsste die Schallschutzwand immer höher ausgelegt werden.⁴³ Die Immissionen hoch liegender Schallquellen am Zug, beispielsweise Aggregate auf dem Dach und bei Hochgeschwindigkeitszügen des SPFV die aerodynamischen Schallquellen im Dachbereich (z. B. Stromabnehmer), können nur mit sehr hohen Schallschutzwänden gemindert werden. Es sind auch Situationen denkbar, in denen die einsetzbare Höhe von Schallschutzwänden nicht ausreichend ist, beispielsweise bei Bahntrassen in Tallagen.

In vielen Fällen sind hohe Schallschutzwände im Rahmen der Lärmvorsorge oder -sanierung das Mittel der Wahl zur Lärmreduzierung und werden dies auch bleiben. Die Gutachter*innen raten aber zu Bedachtsamkeit und Zurückhaltung bei ihrem Einsatz. Denn Schallschutzwände verursachen hohe Kosten und auch weitere Nachteile, die in dem folgenden Textkasten dargestellt werden.

⁴¹ Krüger et al. (2001): Schall- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr, S. 381 und 472.

⁴² Jänsch, Lang, Nießen (Hrsg.). (2021): Handbuch. Das System Bahn, S. 247.

⁴³ BAFU (2023): Lärmschutzwände.

Kosten und weitere Nachteile von hohen Schallschutzwänden⁴⁴

- ▶ Kosten der Errichtung, mit 2760 Euro pro Meter für 3 m Höhe.⁴⁵
- ▶ Kosten der Erhaltung (Instandhaltung und Ersatzinvestitionen) unter Beachtung der Lärm-minderungsqualität (zum Beispiel dürfen keine Lücken in der Schallschutzwand auftreten).
- ▶ CO₂-Emissionen beim Bau von Schallschutzwänden aus Beton.⁴⁶
- ▶ Der Zugang zum Gleis ist erschwert. Dies führt vor allem bei Rettungseinsätzen und bei der Gleisinstandhaltung zu einem größeren Aufwand.⁴⁷
- ▶ Für die Stadtbewohner*innen verstärkt die Schallschutzwand die Zerschneidungseffekte der Eisenbahninfrastruktur im Stadtgefüge, da die freie Sicht auf interessante oder angenehme Dinge mit Tiefenstruktur (wie Pflanzenbewuchs, aber auch die Eisenbahnanlagen selbst) durch den Blick auf eine Wand ersetzt wird. Zusätzliche Verstärkung dieses Effekts, wenn die Schallschutzwand unansehnlich ist, etwa aufgrund ihrer Beschaffenheit, durch Verschmutzung, durch schadhafte Stellen oder durch als unschön empfundene Graffiti. Zusätzlich kann die Schallschutzwand zur Verschattung des nahegelegenen Bereichs oder Grundstücks führen.⁴⁸
- ▶ Den Reisenden wird der Ausblick aus dem Fenster genommen und das Tageslicht im Zug reduziert. Das ist auch ein Problem für Städte, die sich dem ankommenden oder durch-fahrenden Fahrgast als attraktive Reiseziele oder Wohnorte präsentieren möchten.
- ▶ Kosten der Begrünung oder Verschönerung von Schallschutzwänden, um deren optische Beeinträchtigungen abzumildern. Solche Maßnahmen ziehen zudem weitere Kosten nach sich, so zur Pflege der Begrünung oder in Form erhöhter Instandhaltungskosten der Schallschutz-wand.

Zur Problematik von Tunneln als Maßnahme zur Lärminderung

Ein Tunnel schirmt die Umwelt vom Schienenverkehrslärm perfekt ab. Der Tunnel verursacht jedoch extrem hohe Kosten und auch CO₂-Emissionen für die Errichtung. Hinzu kommen Kosten des Tunnelbetriebs und auf Seiten der EVU auch deutlich erhöhte Energiekosten aufgrund der gegenüber dem Freifeld deutlich vergrößerten Luftwiderstände für die Durchfahrt durch die heute aus Brandschutzgründen eingleisigen Röhren bei längeren Tunneln (über 500 m Länge gemäß TSI-SRT 2014). Hinzu kommen Nachteile für die Reisenden im Personenverkehr. Der folgende Kasten gibt einen Überblick über die Kosten und weiteren Nachteile von Tunneln als Maßnahme der Lärminderung.

Die Errichtung von Tunneln zur Minderung der Lärmbelastung für Anwohnenden ist eine immer wieder aufkommende Forderung von Bürgerinitiativen.⁴⁹ Die Gutachter*innen raten jedoch aufgrund der diskutierten Nachteile dringend davon ab, Tunnel als reine Maßnahme zur Lärminderung einzusetzen, außer in besonderen und begrenzten Ausnahmefällen. Ein

⁴⁴ Die folgende Auflistung ist verallgemeinernd und trifft daher nicht auf jede Schallschutzwand in jeder Situation zu. Sie gilt insbesondere für Schallschutzwände über 2 m Höhe, die nahe am Gleis stehen.

⁴⁵ Siehe Fußnote 539 in Anhang A.3.1. Zusammen mit den Instandhaltungs- und Wartungskosten ergeben sich auf die Lebensdauer einer Schallschutzwand durchschnittliche jährliche Kosten in Höhe von 120.000 Euro pro km.

⁴⁶ Die Sockel der Schallschutzwände sind stets aus Beton, mit ca. 250 kg CO₂-Emission je m³ Beton.

⁴⁷ Siehe dazu Hegemann (2024): Probleme über Probleme bei Zugbrand.

⁴⁸ Hierzu und zum folgenden Punkt siehe Hahnstein (2023): Lärmschutzwände: Wo bleibt die Abwägung?

⁴⁹ Siehe zum Beispiel: Bürgerinitiative im Mittelrheintal gegen Umweltschäden durch die Bahn e.V. (o. D.): Rheintal-Tunnelsystem in Bundesverkehrswegeplan 2030 aufgenommen; Pro Rheintal e.V. (2016): Mutmacher und Glücksbringer – der Tunnel für Oberwesel.

verstärkter Tunnelbau aus Lärmgründen würde, die im Rahmen der Verkehrswende angestrebten Neu- und Ausbauten bei der Bahn aus Kostengründen gefährden und generell die ökonomische Nachhaltigkeit des Systems Schiene signifikant verschlechtern.

Kosten und weitere Nachteile von Tunneln als Maßnahme der Lärminderung

- ▶ Sehr hohe Kosten der Errichtung. Beispielhaft etwa 340.000 Euro pro Meter.⁵⁰
- ▶ CO₂-Emissionen beim Bau von Tunneln von beispielsweise 12.000 Tonnen CO₂ pro km Länge.⁵¹
- ▶ Kosten der Erhaltung (Instandhaltung und Ersatzinvestitionen) und des Betriebs.
- ▶ Deutlich erhöhte Kosten der Durchfahrt für die EVU aufgrund des gegenüber dem Freifeld stark erhöhten Luftwiderstands. Der Fahrwiderstand bei hohen Geschwindigkeiten (Güterzug 100 km/h, Personenverkehr 200 km/h und mehr) verdoppelt sich in etwa in langen eingleisigen Tunneln, und damit auch die Energiekosten.⁵²
- ▶ Den Reisenden wird der Ausblick aus dem Fenster und das Tageslicht im Zug vollständig genommen. Das ist auch ein Problem für Städte, die sich dem ankommenden oder durchfahrenden Fahrgast als attraktive Reiseziele oder Wohnorte präsentieren möchten. Zudem akustische Beeinträchtigungen für die Reisenden, da der Lärm im Tunnel stark in das Zuginnere zurückgestrahlt werden kann.

Zur Problematik von Geschwindigkeitsbeschränkungen als Maßnahme zur Lärminderung

Von Bürgerinitiativen wird derzeit in starkem Maße gefordert, in Wohngebieten langsamer zu fahren, z. B. Güterzüge mit 50 km/h statt üblichen 100 km/h.⁵³ Dies würde in der Tat Rollgeräusche stark reduzieren. Auch die Antriebsgeräusche werden vermindert, jedoch ist die Reduktion niedriger als beim Rollgeräusch, wodurch dann die Antriebsgeräusche stärker in den Vordergrund treten würden. Eine Reduktion der Geräusche von anderen Aggregaten wie Lüftern ist bei einer Geschwindigkeitsreduzierung nicht erwartbar. Ebenso wenig eine Reduktion der Schlaggeräusche von Flachstellen an Rädern.

Um die angestrebte Lärmreduktion an einem belasteten Streckenabschnitt zu erreichen, müsste die Geschwindigkeit in einem größeren Bereich reduziert werden, der sich um knapp die dreifache Zuglänge um den belasteten Streckenabschnitt hinaus erstreckt, also bei 740 m-Zügen mehr als 2 km zusätzlich. Das setzt sich im Zusammenhang mit der Blockbelegung aus der Abbrems- und Beschleunigungsstrecke vor und nach der Geschwindigkeitsreduktion und Sicherheitsstrecke wegen der schlecht regulierbaren Druckluftbremse beim Abbremsen zusammen. In der Folge kommt zu einer Absenkung der Kapazität.

Während Geschwindigkeitsreduktionen zur Lärminderung an einzelnen Nebenstrecken des Netzes nach Prüfung der verkehrlichen Sachlage in Erwägung gezogen werden könnten, würden sie an den besonders relevanten Strecken des Netzes (Eisenbahnkorridore, hochbelastete

⁵⁰ Die Angabe basiert auf einer aktuellen Kostenschätzung in Höhe von 3,8 Mrd. Euro für den geplanten Lärmschutztunnel bei Offenburg, siehe Armbruster (2020): Offenburg Tunnel kostet 3,8 Milliarden Euro. Dies wird auf die Länge des Tunnels von 11 km bezogen; siehe DB Ausbau- und Neubaustrecke Karlsruhe-Basel (o. D.): Appenweier-Hohberg Planfeststellungsabschnitt 7.1. Ein Tunnel für Offenburg.

⁵¹ Der Pfingstbergtunnel als erster Lärmschutztunnel von 1987 bei Mannheim mit 5,4 km benötigte 48 m³ Beton pro Meter Länge (<https://de.wikipedia.org/wiki/Pfingstbergtunnel>). Wird die betonübliche CO₂-Emission mit 250 kg/m³ angenommen, so ergibt sich der hier genannte Wert von 12.000 t CO₂ pro Kilometer Länge. Für das Baugeschehen je nach Geologie und verwendeten Baumaschinen kann sich dieser Wert verdoppeln, muss aber nicht.

⁵² Weik, Ehrenfried (2022): Gekoppelte aerodynamische und fahrdynamische Simulation zur Optimierung von Tunnelfahrten.

⁵³ Siehe zum Beispiel folgende drei Quellen: Pro Rheintal e.V. (o. D.): Sofortmaßnahmen um Bahnlärm zu reduzieren; Gross (2022): Bürger* Buch. Bahn-Lärm; Bürgerinitiative im Mittelrheintal gegen Umweltschäden durch die Bahn e.V. (o. D.): Ziele.

Strecken) die Betriebskosten, Leistungsfähigkeit und Attraktivität der Schiene sehr ungünstig beeinflussen. Daher widersprechen Geschwindigkeitsbeschränkungen sowohl den aktuellen wirtschaftlichen und verkehrlichen Notwendigkeiten des Systems Schiene als auch insbesondere den Zielsetzungen der Verkehrswende. Um bei der gegebenen, hohen Auslastung in vielen Bereichen des Netzes eine Zunahme des Schienenverkehrs zu erreichen, wird es im Gegenteil notwendig sein, durch Beschleunigung der Züge die Netzauslastung zu erhöhen. Für die Schienenverkehrslärmschutzpolitik im Kontext der Verkehrswende ergibt sich daher die Aufgabenstellung, dass die Zunahme des Lärms aufgrund höherer Geschwindigkeiten und höherer Zugzahlen durch andere Maßnahmen der Lärminderung kompensiert werden muss.

1.4 Ziel des Gutachtens

Ziel dieses Gutachtens ist die Entwicklung eines umfassenden Lärmschutzkonzeptes für den Schienenverkehr zur Flankierung und Sicherstellung einer erfolgreichen Verkehrswende hin zum Schienenverkehr durch einen zukünftig umfassenderen Lärmschutz. Mit dem Vorhaben sollen Wege aufgezeigt werden, wie bei einer gesteigerten Verkehrsleistung auf der Schiene der Lärmschutz weiter verbessert werden kann. Dabei soll der Lärm sowohl an den besonders belasteten „Hotspots“ (sehr hohe Lärmbelastung, insbesondere auch in der Nacht) als auch allgemein überall dort adressiert werden, wo Züge an bewohnten Gebieten fahren oder abgestellt werden.

Dazu müssen alle Verkehrsarten auf der Schiene in die Betrachtung mit einbezogen werden, also nicht nur der SGV, wie in den meisten früheren Studien, sondern auch der SPFV und der SPNV. Zudem ist auch der große Beitrag der Infrastruktur zur Lärmentstehung zu beachten. Eine wichtige Zielsetzung des Gutachtens besteht daher darin, eine umfassende Sichtung der möglichen Maßnahmen zur Lärminderung vorzunehmen und die unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit besonders relevanten Maßnahmen herauszuarbeiten. Dieses Ziel beansprucht einen großen Teil des Umfangs dieses Gutachtens.

Eine umfassende Betrachtungsweise lärmmindernder Maßnahmen ist auch deshalb nötig, weil, wie sich zeigen wird, nach der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen bei den Bremssystemen der Güterwagen keine weitere einzelne Maßnahme existiert, mit welcher der Lärm so signifikant und wirtschaftlich gesenkt werden kann. Vielmehr sind gemeinsame Anstrengungen aller Akteure notwendig. So ist für die Minderung des Rollgeräuschs, das nach wie vor die wichtigste Lärmquelle des Schienenverkehrs darstellt, eine Verringerung der Rauheiten sowohl der Räder (weiterhin vor allem beim SGV) als auch der Schienen notwendig.

Ein umfassender und kohärenter Ansatz zur Lärmschutzpolitik unterscheidet sich von der bisherigen, eher partiellen Herangehensweise der Lärmschutzpolitik (siehe dazu oben die Abschnitte 1.3.2 und 1.3.3). Die Zielsetzung dieses Gutachtens besteht daher darin, Lösungsvorschläge auf zwei Ebenen zu entwickeln:

- Empfehlungen zur Reform des rechtlichen und institutionellen Rahmens der Lärmschutzpolitik
- Konkrete Handlungsempfehlungen für politische Instrumente, die die Akteure des Sektors zur Umsetzung lärmmindernder Maßnahmen bewegen

Auf beiden Ebenen ist der Rechtsrahmen zu beachten, weshalb auch umfangreiche rechtliche Betrachtungen in diesem Gutachten einen bedeutenden Raum einnehmen. Dabei wird in jedem Kapitel zunächst der ganze relevante Rechtsrahmen mit seinen unterschiedlichen Optionen überblicksartig dargestellt, bevor in Hinblick auf die empfohlenen Maßnahmen genauere Betrachtungen erfolgen. Selbstverständlich enthalten die Empfehlungen dieses Gutachtens viele

Vorschläge, Rechtsnormen zu ändern; allerdings können im Rahmen dieses Gutachtens keine ausgearbeiteten Entwürfe für Rechtstexte ausgearbeitet werden.

Auf beiden Ebenen ist insbesondere auch der europäische Rechtsrahmen zu beachten. Das kann in der Konsequenz bedeuten, dass die Empfehlungen dieses Gutachtens auch EU-Initiativen zur Änderung des europäischen Rechtsrahmens enthalten.

In Hinblick auf die zweite Ebene sollen die konkreten politischen Handlungsempfehlungen (Instrumente) auch mit konkreten Empfehlungen zu den lärm mindernden Maßnahmen selbst einhergehen, wenn dies sinnvoll ist. Allerdings sollten politische Instrumente grundsätzlich technologieoffen formuliert werden, um den Akteuren die Wahlfreiheit zu geben, die jeweils kostengünstigsten Maßnahmen der Lärminderung auszuwählen. Es werden dann beispielhaft Maßnahmen, die den Gutachter*innen als besonders geeignet erscheinen, ausgewählt und bewertet.

Allerdings sollten in besonders begründeten Fällen, in denen Skalenerträge oder Systemkosten eine wichtige Rolle spielen, die Akteure angeleitet werden, gemeinsam eine bestimmte technische Lösung zu wählen, damit alle Beteiligten von solchen systemischen Kostensenkungen profitieren können. Auch solche Maßnahmen-spezifisch intendierten Anreize können oft durch technologieoffen formulierte, aber spezifisch zugeschnittene Instrumente erzeugt werden.⁵⁴

Die Erfordernisse der Wirtschaftlichkeit spielen eine wichtige Rolle. Ziel des Gutachtens ist es, eine Lärmschutzpolitik zu entwickeln, die wirksam den Lärm mindert, ohne dabei die Eisenbahn wirtschaftlich zu schwächen oder die Erreichung der Verkehrswendeziele zu unterminieren. Auch die öffentlichen Haushalte dürfen nicht über Gebühr in Anspruch genommen werden, denn das Gesamtbudget für den Sektor Eisenbahn ist begrenzt.

Damit rücken Maßnahmen an der Quelle in den Fokus, denn diese sind oft kostengünstiger als Maßnahmen am Ausbreitungsweg, insbesondere Schallschutzwände. Dies war bereits ein wichtiges Argument für die Politik zur Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen (siehe oben Abschnitt 1.3.4, zu den Schallschutzwänden auch Abschnitt 1.3.5). Insofern können bei Vorschlägen, welche Schallschutzwände einsparen, diese Einsparungen durchaus gegen gerechnet werden. Neben Maßnahmen an der Quelle an den Fahrzeugen sind jedoch zukünftig auch einige Maßnahmen an der Quelle an der Infrastruktur notwendig.

Es zeigte sich, dass praktisch alle Maßnahmen und Instrumente, die in diesem Gutachten empfohlen werden, noch einen gewissen Entwicklungsvorlauf benötigen. Einige Instrumente müssen frühzeitig angekündigt werden, um technische Entwicklungen in Gang zu setzen, und sollten erst später scharf gestellt werden, wenn die Entwicklungen zur Umsetzungsreife gekommen sind. Wenn Lärmschutzpolitik in dieser Art langfristig und mit konstantem Nachdruck betrieben wird, können Kosten eingespart werden. Einige der Empfehlungen zur Reform des rechtlichen und institutionellen Rahmens der Lärmschutzpolitik zielen konkret auf dieses Kosteneinsparungspotenzial aufgrund einer beharrlichen Politik.

⁵⁴ Selbst die höchst Maßnahmen-spezifische Politik zur Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen nahm die Form an, dass lediglich Lärmemissionsgrenzwerte für Güterwagen formuliert wurden. Siehe Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 und TSI Noise sowie, daran anknüpfend, das deutsche Schienenlärmschutzgesetz. Bis heute hat kein Akteur versucht, diese Grenzwerte bei graugussgebremsten Wagen durch Hilfskonstruktionen zu erfüllen, sondern es wurde auf die Grauguss-Bremssohlen verzichtet.

2 Grundlagen zu Lärm und Lärminderung beim Schienenverkehr

In diesem Kapitel werden Grundlagen aus der Akustik, zu den technischen Maßnahmen und zu den politisch-rechtlichen Instrumenten der Lärminderung dargestellt, auf die in den folgenden Kapiteln zurückgegriffen wird. Die objektiven Größen und subjektiven Faktoren der Akustik, die der Bewertung von Lärm und lärmmindernden Maßnahmen zugrunde liegen, werden in den Abschnitten 2.1 bzw. 2.2 eingeführt. Auf dieser Grundlage wird in Abschnitt 2.3 ein Überblick über die typischen Schallquellen des Schienenverkehrs und über die konkreten Angriffspunkte für Maßnahmen der Lärminderung gegeben, wobei zwischen den drei Verkehrsarten SPFV, SPNV und SGV differenziert wird. Dem folgt in Abschnitt 2.4 ein Überblick über die möglichen politisch-rechtlichen Instrumente der Lärminderung.

In diesem Gutachten wird das Begriffspaar „Maßnahmen versus Instrumente“ verwendet, um zwischen der politisch-rechtlichen Entscheidungsebene und der praktischen Entscheidungsebene zu unterscheiden. **Maßnahmen** der Lärminderung sind immer technischer oder betrieblicher Art und müssen von den Akteuren des Eisenbahnsektors, also den Eisenbahnverkehrs- oder Infrastrukturunternehmen, den Wagenhaltern oder auch der Bahnindustrie umgesetzt werden. Als **Instrumente** werden alle Formen der Einwirkung auf diese Akteure bezeichnet, um solche Maßnahmen durchzuführen. Dies geschieht insbesondere durch politische oder rechtliche Vorgaben oder Anreize, worunter auch Fördermaßnahmen subsumiert werden.⁵⁵ Politische Empfehlungen beziehen sich somit immer auf Instrumente, welche die Umsetzungen von Maßnahmen durch die Akteure intendieren.

2.1 Objektive Größen der Akustik

Physikalisch betrachtet beschreibt der **Schall** kleine Schwingungen in einem elastischen Medium, welche sich in diesem wellenförmig ausbreiten und dabei kleine Druckschwankungen bewirken. Handelt es sich bei dem elastischen Medium um Luft, wird von **Luftschall** gesprochen. Die wellenförmigen Schwankungen, auch Schallwellen genannt, sind für das menschliche Ohr wahrnehmbar, wenn sich deren Frequenzen im Bereich zwischen ungefähr 16 Hz und 16 kHz befinden. Neben der Frequenz ist auch die Stärke der Schwankungen für die menschliche Wahrnehmung relevant. Beide Größen werden durch den Schalldruck erfasst, welcher bspw. mit einem Mikrofon gemessen werden kann.⁵⁶

Der **Schalldruck** bildet in der Akustik die wichtigste Feldgröße zur Beschreibung von Schallereignissen. Er wird von Maute als „der Effektivwert [...] des dem atmosphärischen Luftdruck überlagerten Wechseldrucks der schwingenden Luftteilchen“⁵⁷ definiert. Der Schalldruck ist ortsabhängig und beschreibt die Wirkung von Schallereignissen an einem explizit angegebenen Ort, bspw. Wohnorte an Bahnstrecken oder Messpositionen für Fahrzeugzulassungen. Der Schalldruck wird als Krafteinwirkung pro Fläche in Pascal (Pa) gemessen und üblicherweise zu einem **Schalldruckpegel** L_p mit der Einheit Dezibel (dB) umgerechnet. Dafür wird der vorhandene Schalldruck p auf den Referenzwert von $p_0 = 20\mu\text{Pa}$ (entspricht der Hörschwelle) bezogen und anschließend logarithmiert. Es gilt:

$$L_p = 20 \log (p/p_0) \text{dB}$$

⁵⁵ Dieser Gebrauch des Wortes „Instrumente“ ist durch offizielle Dokumente der EU motiviert. So zum Beispiel in Erwägungsgrund (6) und (7) der Durchführungsverordnung (EU) 2024/327 der Kommission vom 19. Januar 2024.

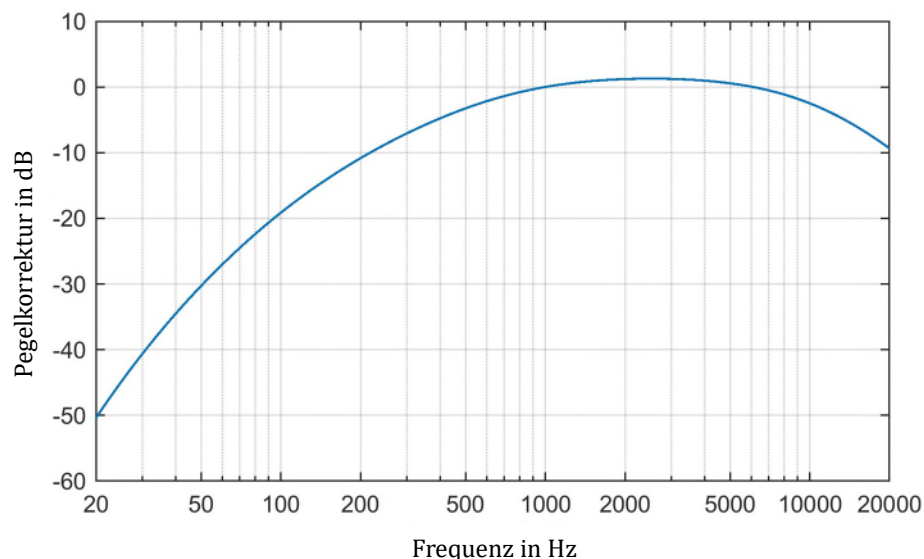
⁵⁶ Möser (2015): Technische Akustik, Kapitel 1.

⁵⁷ Maute (2006): Technische Akustik und Lärmschutz, S. 33. Auch zum Folgenden.

Hintergrund dieser Umrechnung ist eine Anpassung an das Lautstärkeempfinden des menschlichen Gehörs.⁵⁸ Ein Schalldruckpegel von 0 Dezibel (dB) beschreibt einen gerade noch durch das Gehör wahrnehmbaren Schall. Die Hilfsmaßeinheit Dezibel indiziert, dass die Größe zu einer Referenzgröße ins Verhältnis gesetzt und anschließend logarithmiert wurde.

Eine weitere Anpassung an das Lautstärkeempfinden wird durch die Anwendung von verschiedenen **Bewertungskurven** vorgenommen, mit denen werden verschiedene Frequenzen unterschiedlich gewichtet werden. Hintergrund ist eine Abhängigkeit der wahrgenommenen Lautstärke von Frequenz und Stärke eines Schallereignisses. In Abbildung 1 ist die Pegelkorrektur des Schalldruckpegels in Dezibel für die **A-Bewertungskurve** dargestellt. Diese hat sich als Standard etabliert und wird auch in den Zulassungsvorgaben (TSI Noise) sowie Modellierungsrechnungen (etwa Schall 03 oder CNOSSOS-EU) als Bewertungskurve gefordert. Aus diesem Grund wird im Regelfall ein sogenannter **A-bewerteter Schalldruckpegel** berechnet.

Abbildung 1: Pegelkorrektur des Schalldruckpegels für die A-Bewertungskurve über der Frequenz



A-Bewertungskurve nach DIN EN 61672-1:2014. Quelle: Eigene Darstellung.

Um Schallereignisse zu charakterisieren, welche nicht dauerhaft auftreten, sondern nur kurzzeitig, bspw. während einer Zugvorbeifahrt, muss der A-bewertete Schalldruckpegel über eine zeitlich limitierte Dauer berechnet werden. Weiterhin sollte die gewählte Messdauer nicht die gemessene Stärke des Ereignisses beeinflussen, sodass die Messzeit bei der Berechnung berücksichtigt werden muss. Für diese Charakterisierung wird üblicherweise der **A-bewertete äquivalente Dauerschalldruckpegel** $L_{pAeq,T}$ berechnet:⁵⁹

$$L_{pAeq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right),$$

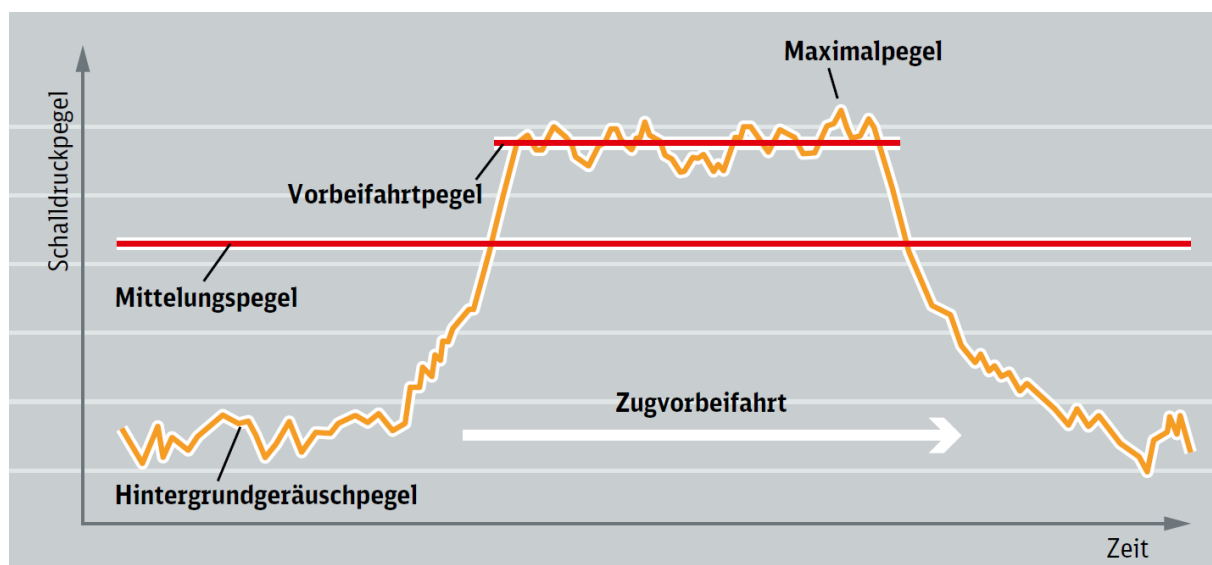
dabei steht T für die Messdauer, $p_A(t)$ stellt den A-bewerteten Schalldruck zum Zeitpunkt t dar und p_0 den oben eingeführten Referenzwert.

⁵⁸ Möser (2015): Technische Akustik, S. 5 f.

⁵⁹ DIN EN ISO 3095:2014-07: Akustik – Bahnanwendungen – Messung der Geräuschemissionen von spurgebunden Fahrzeugen, S. 10.

Wie die Messdauer gewählt werden soll, hängt vom konkreten Anwendungsfall ab. Dies illustriert Abbildung 2. Es kann ein **Vorbeifahrtpegel** berechnet werden, der das konkrete Ereignis der Vorbeifahrt eines einzelnen Zuges charakterisiert. Hingegen wird bei der Berechnung eines sogenannten Mittelungspegels die Messdauer deutlich erhöht. Ein **Mittelungspegel** kann mehrere Zugvorbeifahrten umfassen und so eine durchschnittliche Belastung eines Anwohnenden pro Stunde oder Tag abbilden. So fließt die Anzahl von Zugvorbeifahrten und deren Schalldruckpegel in die Bewertung der Geräuschbelastung an einem Ort mit ein. In Abbildung 2 ist zusätzlich der Hintergrundgeräuschpegel markiert, von dem sich die Zugvorbeifahrt absetzt, dabei handelt es sich um die üblichen Umgebungsgeräusche. Der eingetragene Maximalpegel (auch Spitzenpegel) ist nach dieser Darstellung der höchste Messwert während der Zugvorbeifahrt; er kann die relevante Größe hinsichtlich der Störung der Nachtruhe sein. Er unterscheidet sich leicht von dem später eingeführten AF-bewerteten Maximalpegel.

Abbildung 2: Exemplarische Darstellung einer Zugvorbeifahrt und der Zeitauswahl für Vorbeifahrt- und Mittelungspegel



Quelle: Deutsche Bahn (2016): Lärmschutz. Der leisen Bahn gehört die Zukunft, S. 22.

Vorbeifahrt- und Mittelungspegel werden für verschiedene Anwendungen genutzt. Messungen der Vorbeifahrtpegel sind Teil der Zulassung von Fahrzeugen nach TSI Noise und sollen die Schallabstrahlung eines einzelnen Fahrzeugs charakterisieren und gegen Grenzwerte prüfen. Mittelungspegel werden zum Beispiel genutzt, um die Anzahl belasteter Personen zu modellieren, etwa im Rahmen der Lärmkartierung,⁶⁰ welche auch im Rahmen der Prognose in diesem Gutachten genutzt wird, siehe Kapitel 6. Auf dieser beruht auch die in Kapitel 1 genannte Anzahl der durch Schienenverkehrslärm belasteten Menschen in Deutschland.

Für die Erfassung und Bewertung kurzzeitiger Geräuschbelastungen existieren weitere Berechnungsgrößen. Im Rahmen der Fahrzeugzulassung nach TSI Noise wird auch die Bestimmung eines **AF-bewerteten Schalldruckpegels** $L_{pAF}(t)$ gefordert. Der AF-bewertete Schalldruckpegel stellt einen Verlauf über der Zeit dar, bei welchem der Schalldruckpegel einer A-Bewertung unterzogen und nach der „Fast“-Zeitbewertung zusätzlich bewertet wird. Letzteres bedeutet, dass für einen Zeitpunkt die Schalldruckpegel der angrenzenden 0,125 s berücksichtigt werden. Folglich findet keine Mittelung des Pegels einer gesamten Zugvorbeifahrt,

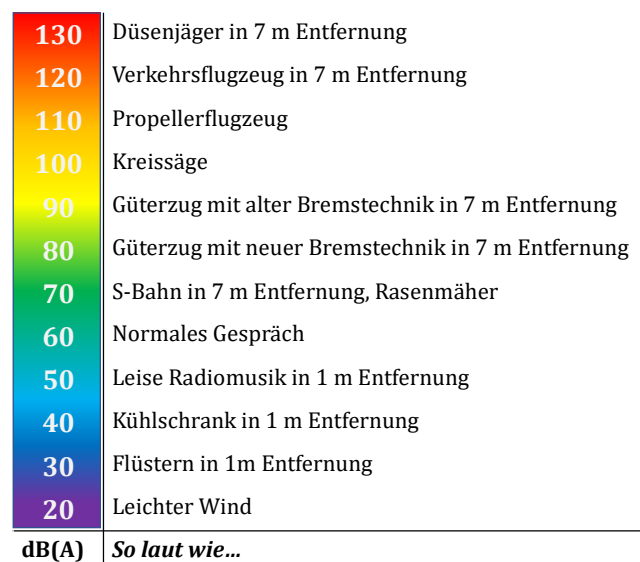
⁶⁰ Genauer gesagt werden im Rahmen der Lärmkartierung sogenannte Lärmindizes berechnet, welche einem Mittelungspegel über gewisse Tageszeiträume entsprechen, siehe auch Abschnitt 6.3.1.

sondern nur von kurzen Anteilen der Vorbeifahrt statt. So können impulshaltige Anregungen oder stark veränderliche Geräuschcharakteristika erfasst werden. Die Bewertung von Anfahr- oder Bremsgeräuschen erfolgt üblicherweise anhand des Maximalwertes L_{pAFmax} , um die bei diesen Zugbewegungen typischen kurzzeitigen Anregungen abbilden zu können.⁶¹

Beim Schienenverkehr treten auch impuls- und tonhaltige Geräusche auf. Diese müssen bei Modellierungsrechnungen und auch der Fahrzeugzulassung berücksichtigt werden, sind jedoch nicht eindeutig definiert. Nach der DIN EN ISO 3095:2014 (in Anlehnung an ISO 1996-1:2003) ist unter einem **tonhaltigen Geräusch** ein Geräusch zu verstehen, das „hörbare Töne einer einzelnen Frequenz oder eines schmalen Frequenzbereichs enthält“. Ein **impulshaltiges Geräusch** ist ein „Geräusch, gekennzeichnet durch einen oder mehrere kurze(n) Schallimpuls(e), derart, dass die Dauer eines einzelnen Impulsgeräusches gewöhnlich kürzer als 1 s ist“. Beide Größen sind notwendig, da sie neben anderen Faktoren auch die Lästigkeit von Geräuschen bei der subjektiven Wahrnehmung der Menschen beeinflussen.

In Abbildung 3 sind mögliche Schalldruckpegel verschiedener Geräuschquellen dargestellt. Dabei handelt es sich um ungefähre Werte, die aber eine Einordnung verschiedener Geräusche ermöglichen.

Abbildung 3: Exemplarische Darstellung verschiedener Geräusche und möglicher dazugehöriger Schalldruckpegel



Quelle: Eigene Darstellung nach BMDV (2022c): Lärmschutz im Schienenverkehr, S. 7.

Bezogen auf die Wahrnehmung des Menschen gilt eine Änderung des Schalldruckpegels ab 3 dB(A) als wahrnehmbar. Eine Erhöhung um 10 dB(A) wird als Verdoppelung der Lautstärke empfunden.

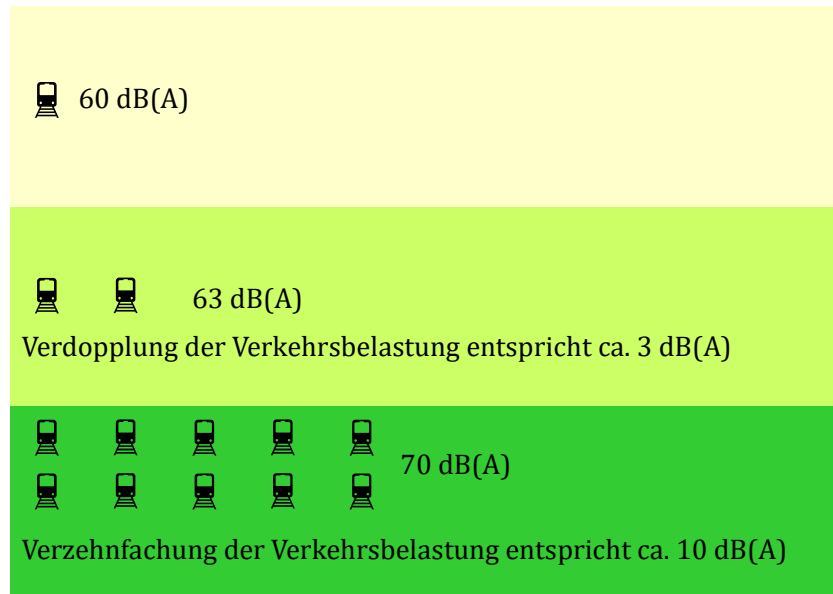
Tritt neben einer Schallquelle eine weitere auf, die denselben absoluten Schalldruck (in Pascal) aufweist, so sorgt dies nicht für eine Verdoppelung des in Dezibel umgerechneten Schalldruckpegels. Dies liegt an der logarithmischen Darstellung des Schalldruckpegels, die das menschliche Lautstärkeempfinden nachbildet. Die Addition zweier gleichstarker Schallquellen führt zu einer Erhöhung des Pegels um 3 dB(A).⁶² Diese Eigenschaft der **Pegeladdition** bewirkt, dass eine

⁶¹ Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 2; Feldmann (2009): Schallpegelmessstechnik und ihre Anwendung, S. 57–60.

⁶² Dies gilt für den Fall inkohärenter Schallquellen. Unter kohärenten Schallquellen sind solche zu verstehen, die eine feste frequenzabhängige, aber zeitunabhängige Phasenbeziehung zueinander aufweisen. Inkohärente Schallquellen weisen diese Beziehung nicht auf. Diese Eigenschaft definiert, wie entsprechende Schalldruckpegel addiert werden müssen. Im vorliegenden Fall

Verdoppelung der Verkehrsleistung im Allgemeinen zu einer Steigerung des Mittelungspegels von 3 dB(A) führt. In Abbildung 4 ist dieser Zusammenhang exemplarisch dargestellt. Erst eine Verzehnfachung der Verkehrsmenge verursacht eine Zunahme um 10 dB(A) und mithin eine Verdoppelung der Lautstärke.

Abbildung 4: Darstellung eines exemplarischen Pegels für einen Zug, zwei Züge und zehn Züge



Quelle: Eigene Darstellung nach EBA (2024): Lärmaktionsplan. An Schienenwegen des Bundes Runde 4, S. 19.

Wenn es also zum Beispiel gelingt, durch lärm mindernde Maßnahmen die bei einer Zugvorbeifahrt entstehenden Schallemissionen um 6 dB(A) zu mindern, und wenn sich gleichzeitig die Zahl der vorbeifahrenden Züge verdoppelt, verhält sich die Lärmbelastung so, als würde sich die Zahl der Züge ohne die Maßnahmen halbieren. Das Beispiel illustriert, dass die angestrebte Steigerung des Schienenverkehrs einer Lärm minderung nicht entgegen stehen muss.

Diese Eigenschaft der Pegeladdition bedeutet auch, dass, wenn zwei Schallquellen einen Gesamtschalldruckpegel zu gleichen Teilen verursachen, das komplette Entfernen einer der Schallquellen einen Minderungseffekt des Gesamtschalldruckpegels von nur 3 dB(A) bewirkt. Sind beide Schallquellen gleich stark, sollten daher beide gemindert werden, um den größtmöglichen Effekt zu erzielen. Bei nicht gleich starken Schallquellen ist es am zielführendsten, die Schallquelle zu mindern, die den größten Anteil am Gesamtschalldruckpegel hat, da so der größte Effekt erzielt werden kann.

Bei der Betrachtung von Schallereignissen muss zwischen **Emission** und **Immission** unterschieden werden. Bei der Emission handelt es sich um die Abstrahlung einer Schallquelle. Diese emittiert Schall. Die Immission ist der bei den Empfänger*innen ankommende Schall, welcher auch aus verschiedenen Schallemissionsquellen stammen kann. Im Kontext des Schienenverkehrs und insbesondere bei der Modellierung wird auch von „Emissionspegeln“ gesprochen. Dabei kann es sich zum Beispiel um den Mittelungspegel an einer gegenüber dem Gleis fest definierten Position handeln, welcher die Schallemission eines Gleisabschnittes mit den entsprechend darauf verkehrenden Zügen beschreibt. Auf der Immissionsseite wird auch der

des Schienenverkehrslärms kann von zueinander inkohärenten Schallquellen ausgegangen werden. Der Effekt bei der Addition von Schallquellen gilt unabhängig davon ob die Schalldrücke A-bewertet sind oder nicht.

Begriff „Beurteilungspegel“ verwendet, welcher die auf ein (spezifisches) Gebiet oder eine Person wirkende Schallimmission beschreibt.⁶³

2.2 Subjektive Faktoren der Akustik

Neben den vorgestellten objektiven Größen zur Beschreibung von Schallereignissen spielt auch die subjektive Wahrnehmung eine bedeutende Rolle. Die Definition von **Lärm** bezieht sich primär auf die subjektive Empfindung des einwirkenden Schalles. Demnach wird Schall, der von betroffenen Personen als belästigend empfunden wird, als Lärm bezeichnet. Maute definiert Lärm als „jede Art von Schall, der Menschen stört, belästigt, gesundheitlich schädigt, der ihre Leistungsfähigkeit herabsetzt, ihre Konzentrationsfähigkeit mindert, sie verunsichert“.⁶⁴ Die Empfindung von Schall als Lärm ist auch abhängig von der individuellen Einstellung zur Schallquelle sowie den Umständen wie Uhrzeit und Ort. Die subjektive Empfindung und Bewertung von Schall kann demnach nicht allein physikalisch beschrieben oder gemessen werden.

Auch objektive Minderungen des Schalles durch Schallminderungsmaßnahmen werden individuell wahrgenommen und führen nicht immer zur erwarteten Wirkung bei den betroffenen Personen. Einfluss auf die Wahrnehmung von Lärmreduktionen haben neben objektiv bestimmbar akustischen Größen auch die nicht-akustischen wie soziologischen, individuellen und situativen Faktoren. Für die Vorstellung dieser Größen ist eine Einführung der Begriffe Akzeptanz, Lästigkeit sowie Belastung von Lärm notwendig. Die Darstellung orientiert sich stark an den Untersuchungen des Schweizer Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), die im Folgenden nur mit dem Kurzverweis BUWAL (2000) und BUWAL (2004) zitiert werden.⁶⁵

Die **Lästigkeit** wird im Folgenden als Synonym für die subjektive Lärmbelastung verwendet. Sie umfasst also die empfundene Lärmbelastung unter Berücksichtigung von akustischen und nicht-akustischen Einflüssen. Weitere Synonyme für die Lästigkeit von Lärm sind die Belästigung oder die Störung durch Lärm. Von „**Lärmbelastung**“ wird in diesem Gutachten gesprochen, wenn die objektiv messbare **Geräuschbelastung** einen Wert überschreitet, der nach anerkannten Kriterien als gesundheitsschädlich gilt, wobei hierfür die Kriterien der WHO einer Belastung von 44 dB(A) in der Nacht und einer gewichteten Ganztagsbelastung von 54 dB(A) angesetzt werden.⁶⁶

Die **Akzeptanz** von Schallminderungsmaßnahmen ist für die Bewertung der wahrgenommenen Schallreduktion von Betroffenen aufgrund von subjektiven Einflüssen maßgebend. Die Akzeptanz einer Schallminderungsmaßnahme beeinflusst die Differenz zwischen der objektiv erwartbaren Geräuschbelastung und der tatsächlichen Lärmbelästigung bei Betroffenen.

Abbildung 5 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Darin ist die subjektive Lärmbelastung über der objektiven Geräuschbelastung aufgetragen. Die objektive Geräuschbelastung kann etwa ein A-bewerteter Vorbeifahrtpegel sein (es könnte aber auch ein Maximalpegel oder etwas Ähnliches sein). Die Normkurve beschreibt die zu erwartende subjektive Lärmbelastung in Abhängigkeit der objektiven Geräuschbelastung. Wird eine Schallminderungsmaßnahme durchgeführt, so senkt sich die subjektive Wahrnehmung im „Normalfall“ infolge der objektiven Belastungsminderung entlang dieser Linie ab. Bei einer Schallminderungsmaßnahme, die bei

⁶³ Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 2.

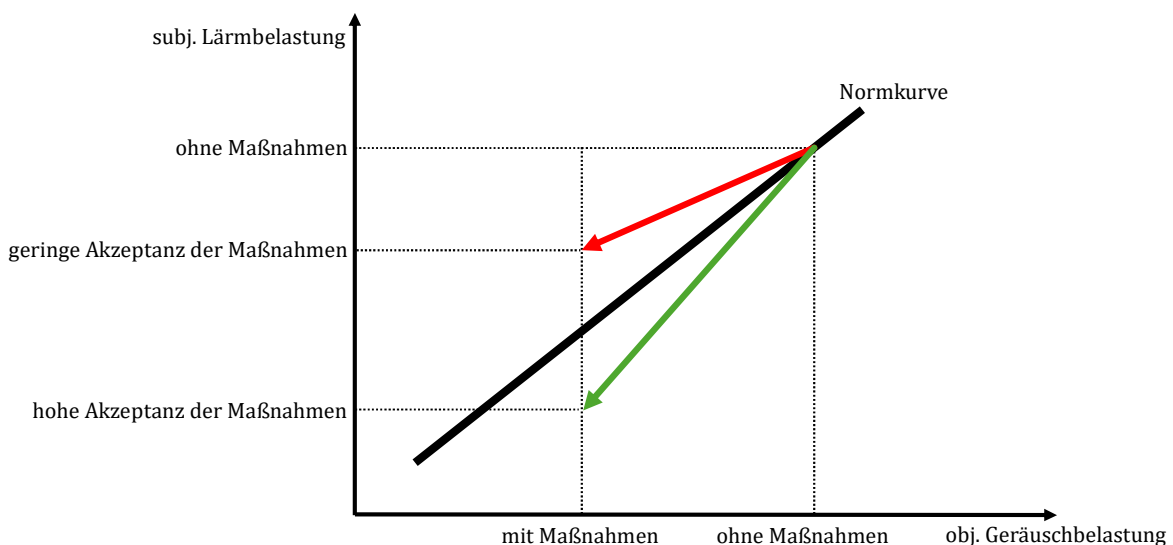
⁶⁴ Maute (2006): Technische Akustik und Lärmschutz, S. 14.

⁶⁵ BUWAL (2000): Akzeptanz von baulichen Lärmschutzmassnahmen, Kapitel 1; BUWAL (2004): Akzeptanz von Lärmschutzmassnahmen entlang von Eisenbahnlinien, Kapitel 1.

⁶⁶ UBA (2019): WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region.

den Betroffenen auf eine hohe Akzeptanz stößt, verringert sich die resultierende subjektive Lärmbelastung jedoch stärker, wie mit dem grünen Pfeil verdeutlicht wird. Bei Maßnahmen mit niedriger Akzeptanz ist es umgekehrt, wie mit dem roten Pfeil verdeutlicht wird. Als Beispiel kann eine Schallschutzwand, die in der optischen Gestaltung an ihre Umgebung gut angepasst wurde, eine stärkere Minderungswirkung entfalten (grüner Pfeil) als eine nicht-angepasste Schallschutzwand (roter Pfeil), auch wenn in beiden Fällen dieselbe objektive Geräuschminderung gemessen wird. Außerdem kann eine Schallminderungsmaßnahme, die objektiv eine geringere Geräuschreduktion bewirkt, aber gut akzeptiert wird, dieselbe subjektive Lärmreduktion bewirken, wie eine schlechter akzeptierte Schallminderungsmaßnahme mit objektiv höherer Geräuschreduktion. Aus diesem Grund sollte die Akzeptanz einer Schallminderungsmaßnahme bei der entsprechenden Auswahl der Maßnahme sowie ihrer Umsetzung berücksichtigt werden.

Abbildung 5: Darstellung der Belastungsreduktion in Abhängigkeit der Akzeptanz



Darstellung des Einflusses der Akzeptanz auf die subjektive Lärmbelastung (gegenüber der objektiven Geräuschbelastung). Die Normkurve beschreibt den „Normalfall“ der Wirkung einer Schallminderungsmaßnahme. Hat diese eine hohe Akzeptanz, wirkt sie (subjektiv) stärker und die subjektive Lärmbelastung ist geringer (grüner Pfeil). Hat die Schallminderungsmaßnahmen eine geringe Akzeptanz wirkt sie schwächer (roter Pfeil). Quelle: Eigene Darstellung nach BUWAL (2000): Akzeptanz von baulichen Lärmschutzmassnahmen, S. 18.

2.2.1 Einflussfaktoren auf die subjektive Wahrnehmung

In diesem Abschnitt werden verschiedene Einflussgrößen auf die subjektive Wahrnehmung von allgemeinen sowie bahnspezifischen Geräuschen und Schallminderungsmaßnahmen vorgestellt. Diese können rein akustische, soziologische, individuelle und situative Faktoren sein. Am Schluss werden einige Schlussfolgerungen zur praktischen Bedeutung der verschiedenen Faktoren für die Lärmschutzpolitik gezogen.

2.2.1.1 Akustische Faktoren

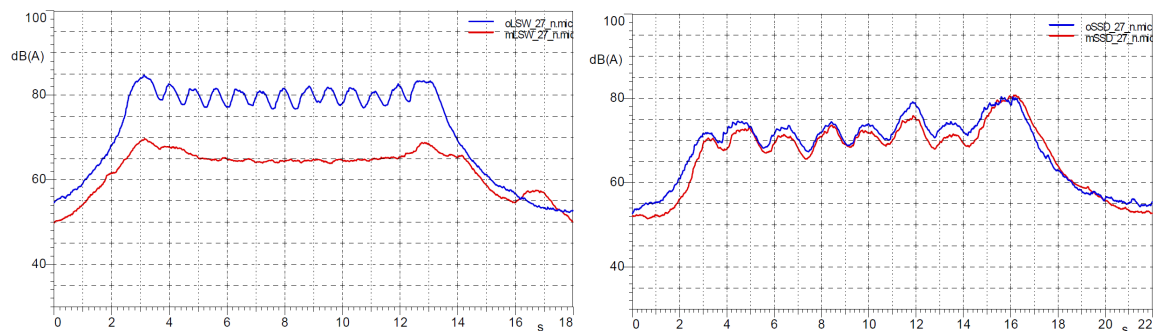
Der zentrale Faktor, der Einfluss auf die Änderung der subjektiven Lärmbelastung nimmt, ist die nach Umsetzung einer Schallminderungsmaßnahme verbleibende (objektive) Belastung. Dieser Zusammenhang wurde auch in einer Befragung in BUWAL (2004) bestätigt. Einen deutlichen Einfluss auf die Belästigung hat demnach die Größe der Pegelreduktion. Aus BUWAL (2000, S. 62) kann zudem geschlossen werden, dass die Pegelreduktion für die Belästigung eine größere Rolle spielt als die verbleibende, geringere Geräuschbelastung nach Implementierung

der Schallminderungsmaßnahmen. Dabei wurde festgestellt, dass der Anteil der sich „stark belästigt“ fühlenden Personen erst ab einer Pegelreduktion von ca. 5 dB(A) anfängt zu sinken. Ab ca. 10 dB(A) sinkt dieser Anteil nochmal stärker.

Im Rahmen des Projekts „Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an den Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ wurde eine psychoakustische Laboruntersuchung der Wirkung von Schallschutzwänden und Schienenstegdämpfern durchgeführt.⁶⁷ Bei dieser Untersuchung wurden Vorbeifahrten mit und ohne Schallminderungsmaßnahmen aufgezeichnet und anschließend in einer neutralen Versuchsumgebung von Testpersonen bewertet. Dabei war das Ziel, eine rein auditive Bewertung des akustischen Szenarios der Vorbeifahrten ohne bspw. visuelle oder taktile Einflüsse zu ermöglichen. Dafür wurden Vorbeifahrten unterschiedlicher Fahrzeugtypen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in einem Abstand von 7,5 Metern und 25 Metern aufgezeichnet. Die Versuchspersonen bekamen anschließend jeweils Schallpaare (Vorbeifahrt ohne und mit Schallminderungsmaßnahmen) vorgespielt und sollten diese auf die Lästigkeit bewerten.

Für die Schallschutzwand ergab sich für die Messungen im Abstand von 7,5 Metern eine Lästigkeitsreduktion⁶⁸ von im Mittel 45 % über die verschiedenen Vorbeifahrten hinweg, mit einer Spannbreite von 35 bis 55 %. Betrachtet wird dabei stets der Median aus der Bewertung aller Testpersonen. Bei Messungen im Abstand von 25 Metern lag die Lästigkeitsreduktion zwischen 12,5 % und 35% (im Mittel 24 %). Diese Einschätzungen spiegeln sich in den messtechnischen Auswertungen der Aufzeichnungen wider. So sank der A-bewertete Maximalpegel (Maximalwert des A-bewerteten Schalldruckpegels) für den Abstand von 7,5 m im Mittel um 16 dB, während er für 25 m Abstand im Mittel um 8,5 dB(A) sank. Die ebenfalls ausgewertete maximalen Lautheit⁶⁹ sank im Mittel um 62 %.⁷⁰

Abbildung 6: Auswirkungen von Schallschutzwand und Schienenstegdämpfer auf den Schalldruckpegel



A-bewerteter Schalldruckpegel für die Vorbeifahrt von Hochgeschwindigkeitszügen. Vorbeifahrtpegel mit Schallschutzwand (rot, links, „mLSW_27_n.mic“) und Schienenstegdämpfer (rot, rechts, „mSSD_27_n.mic“), Referenz ohne Maßnahme jeweils in blau („oLSW_27_n.mic“ für die Schallschutzwand und „oSSD_27_n.mic“ für Schienenstegdämpfer). Die Schallschutzwand führt nicht nur zu einer deutlichen Senkung, sondern auch zu einer deutlichen Glättung des Schalldruckpegels. Quelle:

⁶⁷ Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes. Der Begriff „Psychoakustik“ verweist in diesem Kontext auf eine umfassende Untersuchung der Wirkungen von Schall oder schallmindernden Maßnahmen auf das Empfinden von Menschen.

⁶⁸ Die Lästigkeit der Vorbeifahrten mit Schallminderungsmaßnahmen wurde im Verhältnis zu den Vorbeifahrten ohne Schallminderungsmaßnahmen bewertet. Aus diesen Verhältnissen wurden die Lästigkeitsreduktionen durch die Schallminderungsmaßnahmen in Prozent ermittelt.

⁶⁹ Bei der Lautheit handelt es sich um eine definierte Größe, welche die logarithmisch aufgebaute Größe der Lautstärke in einen linearen Zusammenhang bringt. Eine Verdopplung des Zahlwertes der Lautheit entspricht auch einer Verdopplung der empfundenen Lautstärke. Maute (2006): Technische Akustik und Lärmschutz, S. 58.

⁷⁰ Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes, S. 111 f.

Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes, S. 111 und 114.

Bei den Schienenstegdämpfern ergaben sich im Allgemeinen keine Verbesserungen der Lästigkeit. Ähnliches zeigte sich bei den akustischen Größen. Der A-bewertete Maximalpegel verringerte sich im Schnitt um lediglich 1 dB(A) bei 7,5 Metern und 1,5 dB(A) bei 18,5 Metern. Die maximale Lautheit verringerte sich um 5 % bzw. 8 %. Neben den geringen Absenkungen dürfte aus Sicht der Autor*innen der Studie der unveränderte zeitliche Verlauf der Pegel dazu führen, dass keine Änderung der Lästigkeit festgestellt wurde. Bei der Schallschutzwand werden Hochpunkte geglättet, während dies bei den Schienenstegdämpfern nicht der Fall ist. Dies kann anhand der Vorbeifahrtpegel in dB(A) über der Zeit eines Hochgeschwindigkeitszuges bei einem Abstand von 7,5 m zur Gleismitte illustriert werden. In Abbildung 6 ist links der Einfluss einer Schallschutzwand auf den Vorbeifahrtpegel sichtbar (rot mit, blau ohne). Die rechte Abbildung zeigt den nur geringen Effekt eines Schienenstegdämpfers (rot mit, blau ohne).

In dem Projekt wurde die Abnahme der Lästigkeit den Unterschieden der Pegelgrößen gegenübergestellt und für die verschiedenen Maßnahmen eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Demnach zeigt sich eine sehr starke Korrelation der Lästigkeit mit dem A-bewerteten Vorbeifahrtpegel, dessen Maximalwert und der maximalen Lautheit. Die Autor*innen stellen fest, dass für eine Halbierung der Lästigkeit eine Minderung des Vorbeifahrtpegels oder des Maximalpegels um 15 dB(A) notwendig ist, die maximale Lautheit müsste um 60 % sinken.

Da im Rahmen des Projekts auch eine psychologisch-sozialwissenschaftliche Untersuchung durchgeführt wurde (Befragung von Anwohnenden in einigen Gemeinden, in denen Schallschutzmaßnahmen eingeführt wurden), konnten deren Ergebnisse mit der psychoakustischen Untersuchung verknüpft werden. Insgesamt zeigen sich vergleichbare Ergebnisse, sodass etwa bei Schienenstegdämpfern lediglich 5 % bis 13 % der Anwohnenden eine Lautstärkeminderung wahrnehmen konnten. Bei den Schallschutzwänden zeigte sich eine wahrgenommene Lautstärkeminderung bei 38 % bis 83 % der Anwohnenden. Aus der wahrgenommenen Lautstärkeminderung bei Schienenstegdämpfern (gegenüber keiner Minderung der Lästigkeit in der psychoakustischen Laboruntersuchung) und der breiten Streuung der Wahrnehmung einer Lautstärkeminderung bei den Schallschutzwänden (gegenüber einer deutlichen Absenkung der Lästigkeiten im Labor) schlussfolgern die Autor*innen, dass weitere Entscheidungsfaktoren neben dem rein akustischen Geräusch von den Anwohnenden in die Beurteilung mit einbezogen wurden. Die Autor*innen betonen einschränkend, dass die Stichprobe bei den Untersuchungen (insbesondere der psychologisch-sozialwissenschaftlichen) sehr klein war. Sie empfehlen einen Einbezug der Bevölkerung in die Planung von Schallschutzmaßnahmen, um diese in die Entscheidungsprozesse mit einzubinden. Weiterhin sollte eine Hörbarmachung der Maßnahmen mit entsprechenden Informationen in Betracht gezogen werden.⁷¹

2.2.1.2 Nicht-akustische Faktoren

Bei den nicht-akustischen Faktoren ist zu berücksichtigen, wie soziale Faktoren, individuelle Merkmale, äußere Einflüsse, das Erscheinungsbild der Schallminderungsmaßnahme oder Voreingenommenheiten die Beurteilung des akustischen Ereignisses beeinflussen.

Soziodemografische Merkmale haben jedoch kaum Einfluss auf die Lärmbelastungsreaktionen. Das ergab eine Literaturstudie hinsichtlich der Merkmale wie Lebensalter,

⁷¹ Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes, S. 119–124.

Geschlecht, Haushalteinkommen, Anzahl der Personen im Haushalt und Wohndauer.⁷² Lediglich für die Wohndauer sowie das Lebensalter wurden vereinzelt Zusammenhänge mit Lästigkeitsreaktionen gefunden, jedoch nicht konsistent über alle ausgewerteten Studien. Befragungen in Verbindung mit dem Lärmaktionsplan ergaben keinen Einfluss des eigenen **Nutzungsverhaltens** von Schienenverkehrsmitteln auf eine Lästigkeitsreduktion.⁷³

Der folgende Abschnitt bezieht sich in weiten Teilen auf die in BUWAL (2000) durchgeführte Befragung sowie auf die ebenfalls dort vorgenommenen Literaturlauswertungen zurückliegender Studien. Die Befragung wurde in Gebieten durchgeführt, in denen kürzlich Schallminderungsmaßnahmen installiert wurden. Demnach lassen sich unterschiedliche Faktoren ausmachen, die im Weiteren vorgestellt werden.

Zufriedenheit mit der Wohnumgebung

Es fühlen sich Betroffene, die mit ihrer Wohnumgebung weitestgehend zufrieden sind, weniger von Verkehrslärm gestört, als solche, die mit dieser eher unzufrieden sind. Dies wurde etwa in Oliva (1998)⁷⁴ gezeigt. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass beide Faktoren miteinander verknüpft sind und reziprok aufeinander wirken.

Erwartungshaltung an den Schallschutz

Es existiert ein starker Zusammenhang zwischen der Erwartung an den Schallschutz und den empfundenen Verbesserungen nach dessen Umsetzung. Demnach bewerten Personen mit einer hohen Erwartung an den Schallschutz die Verbesserung der Lärmsituation durch die umgesetzten Maßnahmen positiver.⁷⁵ Zudem fand BUWAL (2000) heraus, dass Enttäuschungen durch das Nichterfüllen von Erwartungen eine hohe verbleibende Lärmbelästigung bzw. eine geringe Akzeptanz für die Schallminderungsmaßnahmen hervorrufen können.

Das wahrgenommene **Lärmschutzengagement** der Menschen kann einen Einfluss auf die Lärmbelästigung haben. Es wird dabei von einer reziproken Beziehung ausgegangen. Zudem wird angenommen, dass die Richtung der Wirkung zeitabhängig ist. Demnach hat das wahrgenommene Lärmschutzengagement der Menschen vor geplanten Veränderungen einen positiven Einfluss auf die spätere Lärmbelästigung.⁷⁶

Einstellung zu Lärm und zur Lärmquelle

Ein weiterer Einflussfaktor ist die individuelle Einstellung Betroffener zu Lärm oder bahnspezifischem Lärm. So wurde gezeigt, dass die Selbsteinschätzung der Empfindlichkeit gegenüber Lärm sowie die Selbsteinschätzung sich schlecht an Lärm gewöhnen zu können deutlich mit der Gesamtbelästigung korrelieren. Dementsprechend fühlen sich Personen, die nach Selbsteinschätzung sehr empfindlich gegenüber Lärm sind, auch stärker belästigt.⁷⁷ In BUWAL (2000) wird dargestellt, dass nach Selbsteinschätzung schallunsensiblere Personen eine höhere Akzeptanz für Schallminderungsmaßnahmen aufweisen (die Schallminderungsmaßnahmen wirkt stärker gegenüber der Normkurve).

⁷² Schuemer, Schreckenberger, Felscher-Suhr (Hrsg.) (2003): Wirkung von Schienen- und Straßenverkehrslärm.

⁷³ EBA (2024): Lärmaktionsplan. An Schienenwegen des Bundes Runde 4, S. 82.

⁷⁴ Oliva (1998): Belastung der Bevölkerung durch Flug- und Straßenlärm: Eine Lärmstudie am Beispiel der Flughäfen Genf und Zürich.

⁷⁵ Institut Retzl (2003): Forschungsprojekt zur Evaluierung der Akzeptanz von Lärmschutzmaßnahmen an Eisenbahnbestandsstrecken.

⁷⁶ Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes, S. 98.

⁷⁷ Schuemer, Schreckenberger, Felscher-Suhr (Hrsg.) (2003): Wirkung von Schienen- und Straßenverkehrslärm.

Auch die Einstellung gegenüber der konkreten Lärmquelle wird wiederholt als relevante Einflussgröße auf die Wahrnehmung von Lärm genannt. Im Rahmen von DZSF (2022a, Abschnitt 4.2.5 und Abschnitt 4.2.6) konnte gezeigt werden, dass eine leichte positive Korrelation besteht zwischen einer positiven Einstellung zum Bahnverkehr (nützlich oder bequem) und der Zufriedenheit mit einer Intervention. Bei einer negativen Einstellung (gefährlich oder schädlich) sind diese leicht negativ mit der Zufriedenheit korreliert.

Gestaltung von Schallschutzwänden

Die Akzeptanz von Schallschutzmaßnahmen und damit auch die verbleibende Lästigkeit hängen auch von deren Gestaltung ab. Dabei bezieht sich dieser Abschnitt ausschließlich auf die Gestaltung von Schallschutzwänden. Andere streckenseitige Schallminderungsmaßnahmen wie beispielsweise Schmieranlagen, Schienenstegdämpfer oder das „besonders überwachte Gleis“ stellen keine Einschnitte bspw. in Sichtachsen dar und werden deshalb aus dieser Betrachtung ausgenommen. Schallschutzwände können aufgrund ihrer technischen Beschaffenheit und Optik in verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Bezüglich der Akzeptanz der unterschiedlichen Schallschutzwände kam die Befragung aus BUWAL (2000) mit unterschiedlichen Auswertungsmethoden zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die transparenten Schallschutzwände zählten dabei aber stets zu den besser akzeptierten. Außerdem lässt sich aus dieser Beobachtung bestätigen, dass die Gestaltung der Schallschutzmaßnahme die Akzeptanz der Betroffenen beeinflussen kann.

Die Höhe der Schallschutzwände gilt als der wichtigster Gestaltungsfaktor. In Befragungen konnte festgestellt werden, dass sie einen maßgeblichen Einfluss auf die Akzeptanzbewertung hat. Wenn die Höhe als angemessen empfunden wird, erfolgt auch eine positive Einschätzung hinsichtlich der Zweckerfüllung. Nach BUWAL (2000, S. 63) fühlen sich Personen, die die Zweckerfüllung der Schallminderungsmaßnahmen positiver bewerten, von der Geräuschbelastung weniger belästigt. Zudem fühlen sich Betroffene hinter Schallschutzwänden bei gleicher objektiver Belastung weniger gestört, als Betroffene ohne Schallschutzwände. Einen relevanten Einfluss stellt auch die Pflege der Schallschutzwände dar. Die Untersuchung in BUWAL (2000) fand heraus, dass sich Personen, die die Schallminderungsmaßnahmen als gepflegter wahrnehmen, eine geringere verbleibende Lästigkeit empfinden.

Im Anwendungsleitfaden zur Gestaltung von Schallschutzanlagen der DB Netz AG (heute DB InfraGO AG)⁷⁸ werden weitere Maßnahmen genannt, um eine positive Wahrnehmung bei Betrachtenden zu erzeugen. So wird bspw. die Anpassung des Materials der Schallschutzwand an die bestehende Umgebung empfohlen. Durch gezieltes Hinzufügen von Strukturen und grafischen Elementen an Schallschutzwänden kann der visuelle Eindruck verbessert werden. Dabei ist es wichtig auf den Abstand zu den Betrachtenden zu achten. Kleinteilige Muster und Strukturen eignen sich für Schallschutzmaßnahmen, die aus geringer Distanz betrachtet werden. Die Konturlinie einer Schallschutzwand, also ihr horizontaler Abschluss, beeinflusst ebenfalls das Erscheinungsbild und kann durch gezielte Anpassungen eine weichere Optik erzielen. Um Bauwerke visuell niedriger erscheinen zu lassen, kann man durch verschiedene Maßnahmen den Betrachtungswinkel verändern. Außerdem können transparente Elemente oder auch umgebungsähnliche Grafiken in Schallschutzwänden einen offenen Eindruck vermitteln und somit den Effekt der Zerschneidung von Sichtachsen vermindern.

⁷⁸ DB Netz AG (2020a): Anwendungsleitfaden zur Gestaltung von Schallschutzanlagen

Kommunikation, Partizipation und Informiertheit

Kommunikation, Partizipation und Informiertheit fördern in der Regel die Akzeptanz von Schallminderungsmaßnahmen und sollten daher bei der Planung dieser Maßnahmen berücksichtigt werden.

So lassen sich durch eine gute Kommunikation über die Wirkung der Maßnahmen zu hohe Erwartungen und damit Enttäuschungen bei den Betroffenen vermeiden. BUWAL (2000, S. 55) schreibt, dass Anwohnenden häufig nicht bewusst sei, dass auch nach der Durchführung einer Schallschutzmaßnahme weiterhin eine Geräuschbelastung wahrnehmbar sein wird. Eine daraus resultierende Enttäuschung hat eine negative Auswirkung auf die Akzeptanz der Maßnahme. Als eine sehr erfolgreiche Kampagne gilt das Mediationsverfahren im Kontext der Erweiterung des Frankfurter Flughafens 1998. Dieses soll einen großen Akzeptanz schaffenden Effekt gehabt haben.⁷⁹

Speziell zur Beeinflussung der Erwartungshaltung der Anwohnenden können Tools zur Auralisierung und Visualisierung der bevorstehenden Maßnahmen genutzt werden. Die Einbindung der Bevölkerung kann den Betroffenen ein Gefühl von Kontrolle geben, welches deren Wahrnehmung vor allem in Bezug auf die Schienenverkehrslärmsituation beeinflussen kann.⁸⁰ Gespräche mit Anrainern im Rahmen von öffentlichen Veranstaltungen sind laut Expertenbefragungen in BUWAL (2000, S. 75) der erfolgreichste Weg zur Erhöhung der Akzeptanz.⁸¹ Außerdem ergaben die Expert*innenbefragungen, dass je größer die Partizipationsmöglichkeiten und der Partizipationswille der Öffentlichkeit ist, desto höher ist die Akzeptanz der geplanten Schallschutzmaßnahme. Bei der Evaluierung vergangener Lärmsanierungsprogramme zeigten Umfragen, dass die Betroffenen es größtenteils bevorzugen per Post informiert zu werden. Andere genannte Informationskanäle sind Informationsveranstaltungen sowie örtliche Medien und digitale Medien wie Apps oder Mails.⁸²

Eine erhöhte Kommunikation und Partizipation ist auf Basis des Immissionsgesetzes (BImSchG) §47d Abs. 3 auch Teil des aktuellen Lärmaktionsplanes des Eisenbahn-Bundesamtes.⁸³ In Dabei werden folgende Formen der Kommunikation und Partizipation umgesetzt. Zunächst sieht der Lärmaktionsplan zwei Beteiligungsphasen vor, bei denen die Öffentlichkeit die Möglichkeit hat, an der Ausarbeitung und Überprüfung der Lärmaktionsplanung mitzuwirken. Die erste Phase folgt auf die Veröffentlichung der Lärmkartierung. Dabei hat die Öffentlichkeit die Möglichkeit sich über persönliche Belastungen durch Lärm und die vorhandenen und geplanten Lärmschutzmaßnahmen zu äußern. Die zweite Phase folgt auf die Veröffentlichung des Entwurfs zum Lärmaktionsplan. Das BImSchG §47d Abs. 3 sieht außerdem vor, dass die Ergebnisse der Mitwirkung der Öffentlichkeit berücksichtigt und dass die getroffenen Entscheidungen veröffentlicht werden müssen. Dabei wird die Öffentlichkeit zum Entwurf der Lärmaktionsplanung sowie zur Öffentlichkeitsbeteiligung befragt. Genutzte Informationskanäle sind amtliche Veröffentlichungsblätter, Pressemitteilungen, die Internetseite des EBA, Informations- und Beteiligungsplattformen, Informationsschreiben und Newsletter per Mail. Im aktuellen Entwurf des Lärmaktionsplans wurden bereits Ergebnisse der ersten Befragungsrunde veröffentlicht. Darin werden u. a. auch die Schallminderungsmaßnahmen von der Öffentlichkeit bewertet. Es konnte z. B. festgestellt werden, dass nur 36 % der Befragten eine Maßnahme an Gebäuden, aber

⁷⁹ Geis (2003): Umstritten, aber wirkungsvoll: Die Frankfurter Flughafen-Mediation.

⁸⁰ Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes, S. 98, S. 147.

⁸¹ Die Untersuchung stammt aus dem Jahr 2000, sodass dort die heutigen Möglichkeiten der Auralisierung und Visualisierung technisch noch nicht existierten.

⁸² Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes.

⁸³ EBA (2024): Lärmaktionsplan an Schienenwegen des Bundes Runde 4 (veröffentlicht 2024), Kapitel 5.

72 % eine Maßnahme am Zug und 81 % eine Maßnahme an der Strecke (z. B. eine Schallschutzwand) für wichtig erachten.

Das Immissionsschutzgesetz sieht außerdem vor, dass die Ergebnisse des öffentlichen Mitwirkens bei der Planung berücksichtigt werden und dass die Öffentlichkeit über getroffene Entscheidungen informiert wird.

2.2.1.3 Schlussfolgerungen für die Praxis

Die Ausführungen zeigen, dass die akustischen Faktoren sehr wichtig sind, um eine entsprechende Belästigung durch Schienenverkehrslärm zu mindern. Ohne eine Absenkung der objektiven Geräuschbelastung ist eine Senkung der subjektiven Lärmbelästigung nur in sehr begrenztem Ausmaß möglich. Für eine möglichst große Wirkung sollten jedoch nicht-akustische Faktoren bei der Planung und Umsetzung von Schallschutzmaßnahmen mitberücksichtigt werden.

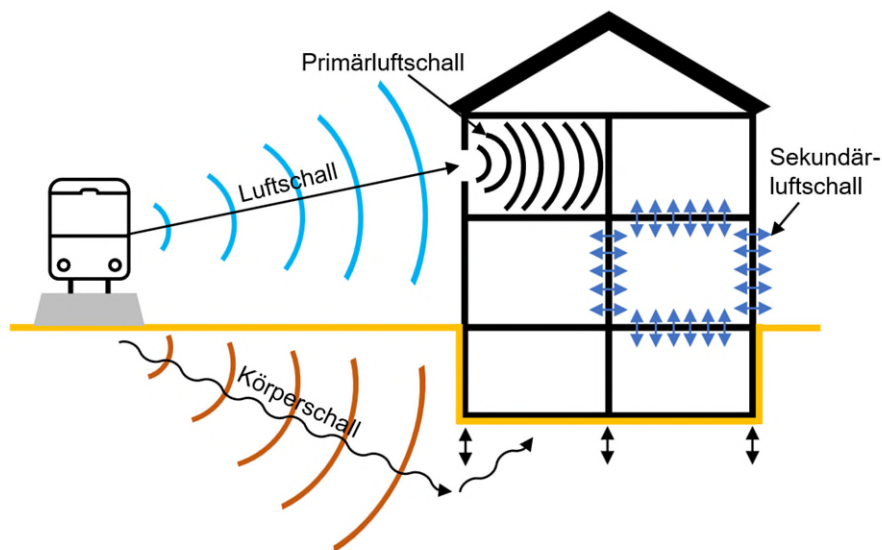
Dabei lassen sich allgemeine Haltungen von Anwohnenden, wie Zufriedenheit mit der Wohnumgebung, Haltung zu Lärm und Einstellung zur Eisenbahn nicht im Rahmen der Umsetzung einzelner Schallschutzmaßnahmen beeinflussen. Sehr relevant ist hingegen die Kommunikation mit den Anwohnenden und die Möglichkeit der Partizipation. Durch entsprechende Informationsangebote und Möglichkeiten der Auralisierung sowie Visualisierung kann den Anwohnenden eine realistische Erwartungshaltung an die Schallschutzmaßnahmen vermittelt werden. Dies würde nach Umsetzung der Maßnahmen vermeiden, dass unrealistische Vorstellungen enttäuscht wurden. Die Akzeptanz wird gesteigert, und die verbleibende Lärmbelästigung ist geringer. Beim Bau von Schallschutzwänden sollte auf eine entsprechende Gestaltung geachtet werden, damit diese sich möglichst gut in das entsprechende Orts- oder Landschaftsbild einpassen.

Anzumerken ist, dass es abgesehen von der Studie zur „Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an den Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ aus dem Jahre 2022 keine aktuellen Untersuchungen zur subjektiven Wirksamkeit einzelner Schallschutzmaßnahmen im Bahnverkehr gibt. Beim DZSF läuft seit Sommer 2024 ein neues Forschungsprojekt zum Thema „Wahrnehmungsbasierte Bewertung von Schallschutzmaßnahmen an der Schiene“, bei der eine wahrnehmungsgerechtere Bewertung von Schallschutzmaßnahmen unter Berücksichtigung psychoakustischer und visueller Aspekte entwickelt werden soll.

2.3 Schallquellen und Maßnahmen der Lärminderung im Schienenverkehr

Die Vorbeifahrt von Schienenfahrzeugen erzeugt Schall, der sich in zwei Ausbreitungsmechanismen fortpflanzt. Fahrzeuge und Gleisanlagen emittieren Luftschall, welcher direkt zum Empfänger übertragen wird (auch Primärluftschall genannt). Die Körperschallanregung des Fahrwegs setzt sich in angrenzenden festen Materialien und Bebauungen fort und kann von diesen als sekundärer Luftschall abgestrahlt werden; dies geschieht auch in den nahestehenden Häusern. Dieses Prinzip ist in Abbildung 7 dargestellt. Es gibt dabei einzelne Komponenten, wie etwa die Zwischenlagen zwischen Schiene und Schwelle, welche sowohl den Luftschall als auch die Erschütterungen beeinflussen, sodass dort Zielkonflikte entstehen können. Im Rahmen des Gutachtens wird sich auf den Primärluftschall konzentriert, sodass dieser im Weiteren untersucht wird.

Abbildung 7: Veranschaulichung der Schall-Ausbreitungsmechanismen von Schienenfahrzeugen



Quelle: Eigene Darstellung nach Schindler (Hrsg.) (2014): Handbuch Schienenfahrzeuge, S. 154.

Die wichtigsten Schallquellen des primären Luftschalls werden drei Geräuscharten zugeordnet:⁸⁴

- Aggregatgeräusche
- Rollgeräusch
- Aerodynamische Geräusche

Diese Geräuscharten treten bei verschiedenen Geschwindigkeiten unterschiedlich stark auf. Typischerweise dominieren bei niedrigen Geschwindigkeiten die Aggregatgeräusche, bei mittleren bis hohen Geschwindigkeiten das Rollgeräusch und bei sehr hohen Geschwindigkeiten die aerodynamischen Geräusche. Diese grundsätzliche Aufteilung eines Gesamtschalldruckpegels einer Zugvorbeifahrt ist in Abbildung 8 dargestellt. Die konkreten Geschwindigkeitsbereiche und Anteile hängen vom jeweiligen Fahrzeug sowie den Gleisbedingungen und der Fahr-situation ab. In Lutzenberger et al. (2017, S. 6) werden 60 km/h und 300 km/h als Geschwindigkeitsgrenzen für die Dominanz der drei Geräuscharten angegeben.

Der Anstieg des Geräuschpegels mit der Geschwindigkeit kann logarithmisch beschrieben werden. Nach Schindler et al. (2014, S 163 f.)⁸⁵ wird der Einfluss der Geschwindigkeit auf Antriebsgeräusche mit $10 \log(v/v_0)$, auf das Rollgeräusch mit $30 \log(v/v_0)$ und auf aerodynamische Geräusche mit $60 \log(v/v_0)$ beschrieben. Dabei stellt v_0 die Bezugsgeschwindigkeit und v die Geschwindigkeit dar.

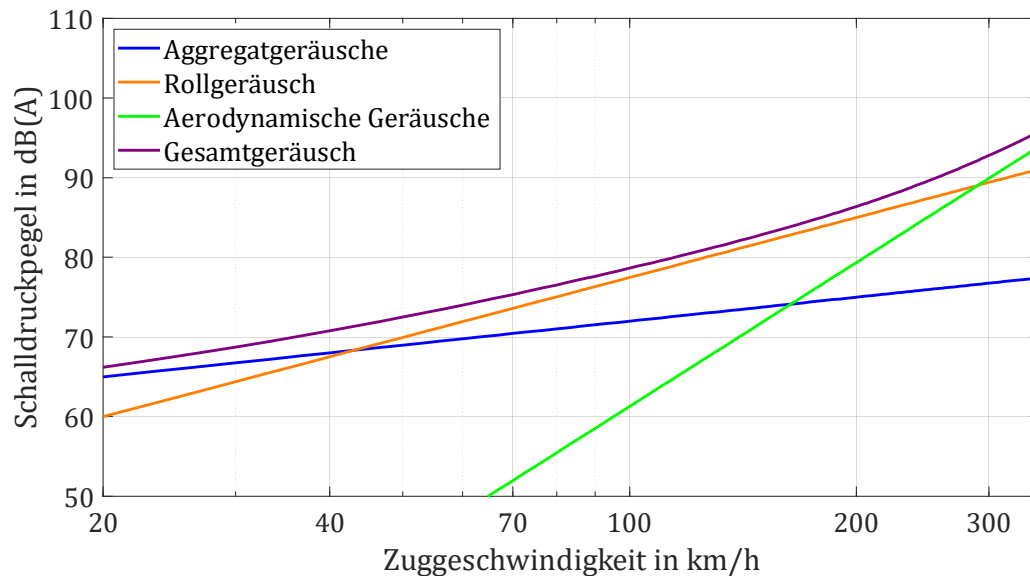
Darüber hinaus spielen auch weitere Geräuscharten bzw. Schallquellen eine Rolle, wie das Bremskreischen, das Brückendröhnen, akustische Warnsignale (bspw. Makrofon oder Signalhorn) und insbesondere die verschiedenen Kurvengeräusche. In starker Abhängigkeit von Fahrzeugeigenschaften und dem Bogenradius kann es bei der Bogenfahrt eines Fahrzeugs zu verschiedenen **Kurvengeräuschen** (bspw. Anlaufen des Spurkranzes, sogenanntes Spurkranz-zischen sowie eine allgemeine Erhöhung des Rollgeräuschs im Bogen) und insbesondere dem Kurvenkreischen (auch Kurvenquietschen) kommen. Letzteres kann infolge verschiedener

⁸⁴ Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 6.

⁸⁵ Schindler (Hrsg.) (2014): Handbuch Schienenfahrzeuge, S. 163f.

selbsterregter Reibschwingungen auftreten, insbesondere an der Schnittstelle von Innenschiene und vorlaufendem Radsatz.⁸⁶ Durch radial einstellende Räder kann das Kurvenkreischen deutlich verringert werden. Kurvengeräusche werden auch in den Immissionsrechnungen berücksichtigt. In der Schall 03, Tabelle 11, ist ein Zuschlag von 8 dB(A) für Bogenradien unter 300m und 3 dB(A) für Bogenradien bis 500 m vorgesehen. Gleiche Zuschläge gelten für die Lärmkartierung des Eisenbahnbundesamtes.

Abbildung 8: Beispielhafte Beiträge verschiedener Quellen zum Gesamtschalldruckpegel in Abhängigkeit der Zuggeschwindigkeit



Quelle: Eigene Darstellung.

Beim Halten des Zuges und bei niedrigen Geschwindigkeiten spielen **Aggregatgeräusche** die dominante Rolle. Deren Quellen sind vordergründig die Traktionskomponenten (je nach Traktionsart Motor, Getriebe, Transformator und Umrichter sowie zusätzliche Aggregate zur Kühlung), die Klimaanlage, Druckluftkompressoren und Lufttrockner.

Das **Rollgeräusch** entwickelt sich aus der Rad-Schiene-Interaktion. Es kommt zu einer Schwingungsanregung, welche zu einer Schallabstrahlung von Rädern, Schienen und Schwellen führt. Das Rollgeräusch ist grundsätzlich breitbandig (über einen weiten Frequenzbereich verteilt) und kann durch Unebenheiten an den Rädern (Flachstellen oder Polygone) oder der Schiene (z. B. Riffel) stark erhöht werden, teilweise nur in einzelnen Frequenzbereichen. Das Rollgeräusch ist besonders bedeutsam, da abgesehen von Bahnhofsbereichen und wenigen Schnellfahrstrecken der Zugverkehr in Deutschland im entsprechenden Geschwindigkeitsbereich stattfindet. Daher wird es im folgenden Abschnitt genauer dargestellt.

Aerodynamische Geräusche entstehen infolge des Luftstroms am Fahrzeug bei hoher Geschwindigkeit durch Verwirbelung. Diese entstehen u. a. am Kopf des Zuges, im Bereich der Drehgestelle und der Stromabnehmer, sowie bei Änderungen oder Unterbrechungen der Wagenkastenstrukturen. Sie sind sehr stark geschwindigkeitsabhängig und spielen vor allem im SPfV eine Rolle. Jedoch können sie bei ungünstigen Bauweisen bereits bei mittleren Geschwindigkeiten auftreten.

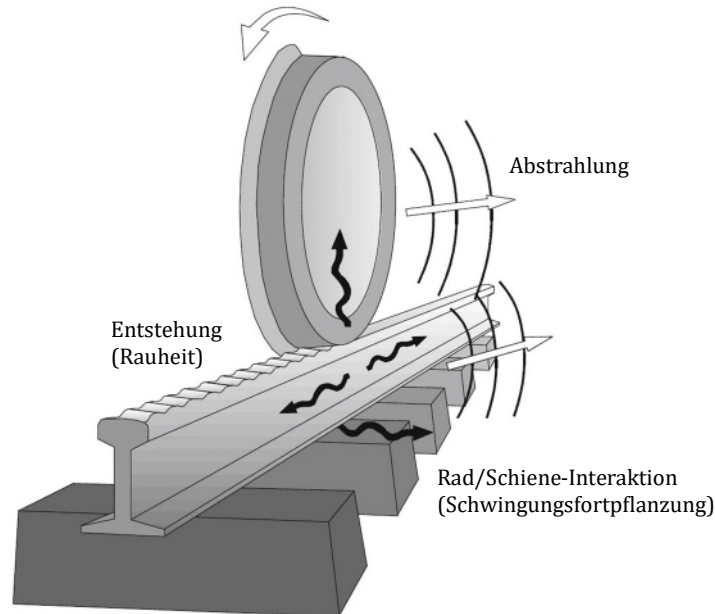
⁸⁶ Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 53; Thompson (2009): Railway Noise and Vibration, S. 315 f.

2.3.1 Das Rollgeräusch

2.3.1.1 Entstehungsprozess des Rollgeräuschs

Beim Abrollen des Rades eines Schienenfahrzeuges auf der Schiene kommt es im Rad-Schiene-Kontakt zu einer Schwingungsanregung. Diese hängt stark mit den Rauheiten im Kontaktbereich zusammen. Die Schwingung breitet sich aus und sorgt für eine Schallabstrahlung vor allem von den Rädern und Schienen, in kleinerem Umfang auch von den Schwellen. In Abbildung 9 wird dieser Zusammenhang visualisiert.

Abbildung 9: Visualisierung der Entstehung des Rollgeräuschs



Quelle: Bearbeitete Abbildung aus Thompson (2009): Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control, S. 7.

Der Entstehungsprozess des Rollgeräuschs kann in drei Phasen unterteilt werden: die ursprüngliche Anregung (Entstehung im engeren Sinne), die Schwingungsfortpflanzung im Fahrzeug und im Gleiskörper sowie die Schallabstrahlung in die Luft. Die drei Phasen werden in Abbildung 9 dargestellt.

Anregung durch die Rauheit

Der vereinfachte Anregungsmechanismus des Rollgeräuschs ist in Abbildung 10 dargestellt. Aus der Schienen- und Radrauheit ergibt sich durch energetische Summierung die kombinierte Rauheit, welche für die Anregung im Rad-Schiene-Kontakt verantwortlich ist.⁸⁷ Die Anregung bewirkt eine Schwingung von Rad und Schiene (sowie Schwellen⁸⁸) und eine Luftschallabstrahlung dieser Komponenten (primärer Luftschall). Hinzu kommen die Körperschallanregung und die spätere Abstrahlung als sekundärer Luftschall.

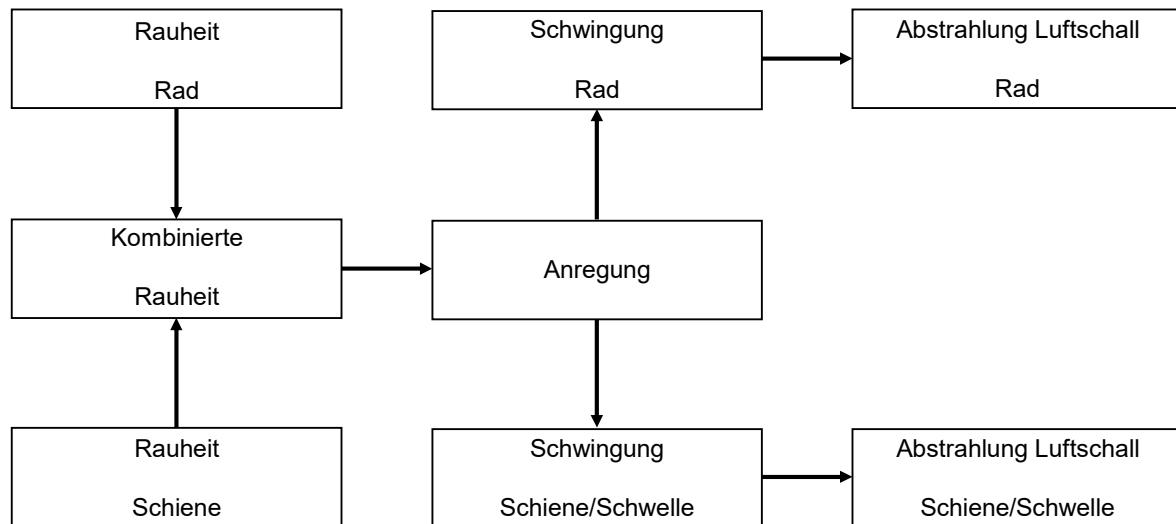
Können Rad- oder Schienenrauheit vermindert werden, so sinkt die Anregung und in der Folge die Schallabstrahlung. Wie stark die Reduktion des Rollgeräuschs ausfällt, ist dabei stark von der jeweils anderen Rauheitsgröße abhängig. Aufgrund der energetischen Addition von Radrauheit und Schienenrauheit zur kombinierten Rauheit ist es für eine niedrige kombinierte Rauheit

⁸⁷ In einer detaillierten Betrachtung muss auch die Kontaktfläche im Rad-Schiene-Kontakt berücksichtigt werden, welche eine Minderung der kombinierten Rauheit für Wellenlängen kleiner der Kontaktfläche bewirkt.

⁸⁸ Die Schwellen hat dabei nur einen geringen Einfluss, der lediglich in einzelnen Frequenzbereichen als relevant angesehen werden kann. Thompson (2009): Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control, S. 23.

notwendig, dass beide niedrig sind. Eine niedrige Radrauheit wird durch den Einsatz von Scheibenbremsen, wie er im Schienenpersonenverkehr üblich ist und auch für den Güterverkehr empfohlen wird, begünstigt.⁸⁹ Damit der Effekt auf das abgestrahlte Rollgeräusch maximal ist, sollte auch die Schienenrauheit möglichst gering sein. Insbesondere Verriffelungen sollten vermieden werden.⁹⁰

Abbildung 10: Vereinfachter Mechanismus der Entstehung des Rollgeräusches



Quelle: Eigene Darstellung nach Asmussen, Lange, Rothhämel (2017): Die Bedeutung des Schienenzustands für die Entstehung und Prognose von Schienenlärm, S. 158.

Schwingungsfortpflanzung und Schallabstrahlung

Wie durch eine Anregung Schwingungen der Räder sowie der Schienen und Schwellen bewirkt werden, hängt von den entsprechenden Struktureigenschaften dieser Komponenten und ihren Anbindungen ab. Aufgrund entsprechender mechanischer Eigenschaften ist es frequenzabhängig, wie stark welche Komponente in Schwingung gerät. Für die Schallabstrahlung spielen die Abstrahlungscharakteristika der Komponenten eine relevante Rolle, die sich entsprechend den Körperschallmoden unterschiedlich über die Frequenzen verteilen.⁹¹

Zusammenfassend gilt, dass im unteren Frequenzbereich die Schwelle den größten Anteil an der Schallabstrahlung hat (ungefähr bis 400 Hz), im mittleren Frequenzbereich die Schiene und im oberen Frequenzbereich das Rad (ab ca. 1600 bzw. 2000 Hz). In Abbildung 11 sind entsprechende Anteile dargestellt, die mithilfe eines Rad-Schiene-Impedanzmodells simuliert worden sind. Für den größten Frequenzbereich von 500 Hz bis 8000 Hz sind vor allem Schiene und Rad verantwortlich. Wie stark welche Komponente Schall emittiert, hängt von den entsprechenden Anregungen sowie den Eigenschaften der einzelnen Komponenten auch des Oberbaus ab und kann sich in Abhängigkeit der Fahrzeugeigenschaften an der gleichen Stelle

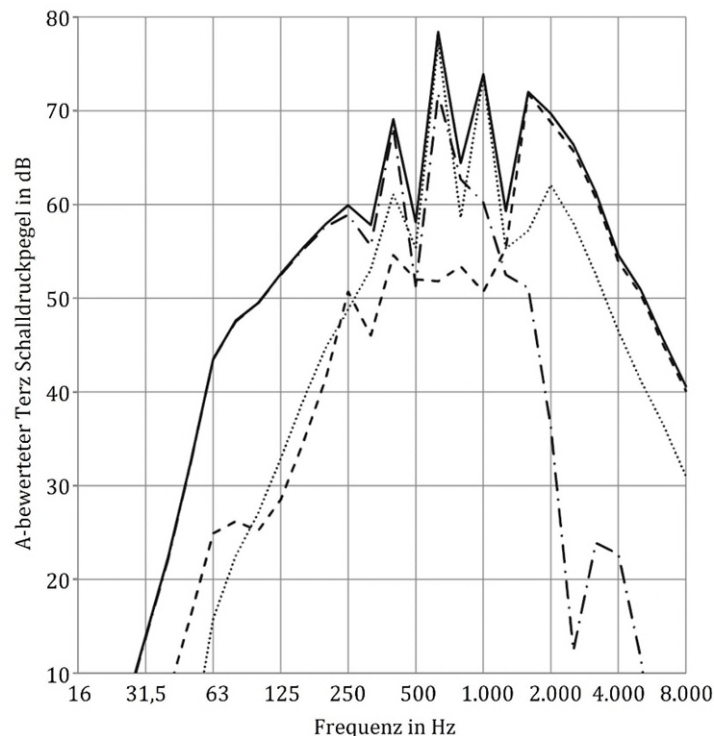
⁸⁹ Auch der Einsatz von K-Sohlen im Güterverkehr führt bereits zu einer niedrigeren Radrauheit gegenüber LL-Sohlen und insbesondere GG-Sohlen. Siehe zum ganzen Themenbereich Abschnitt 3.6.

⁹⁰ Damit sind periodisch wiederkehrende Rauheiten der Schiene gemeint, die sich etwa durch wellenförmige Materialabtragungen erkennen lassen. Bei Überfahrt eines Zuges kommt es dabei im Regelfall zu einer starken akustischen Anregung in einzelnen Frequenzbereichen, die sehr störend wahrgenommen werden. Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 3–10.

⁹¹ Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 10–13.

einer Bahnstrecke unterscheiden. Häufig wird die Schallabstrahlung von Rad und Schiene als etwa gleich groß angesehen.⁹²

Abbildung 11: A-bewertete Schalldruckpegel für verschiedene Schallkomponenten



Darstellung in Terzbändern. Schwarz durchgezogene Linie: Gesamt; gestrichelte Linie: Rad; gepunktete Linie: Schiene; Strich-Punkt-Linie: Schwelle. Quelle: Bearbeitete Abbildung aus Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 14.

2.3.1.2 Minderung des Rollgeräuschs

Trotz dieser Unsicherheiten lassen sich Maßnahmen nennen, welche im Allgemeinen zu einer Reduktion von Anregung, Schwingung und Schallabstrahlung beitragen. Um die ursprüngliche Anregung zu reduzieren sind vor allem die Rad- und Schienenrauheiten abzusenken.

Fahrzeugseitig ist darüber hinaus die Radgeometrie zu nennen, wobei ein symmetrisches Profil, mit Entkopplung der Axial- und Radialmoden, akustisch am günstigsten ist. Dies ist jedoch bei Güterwagen mit Klotzbremssystemen aufgrund der thermischen Belastung der Räder nicht möglich, siehe auch Abschnitt 3.6.2.1. Darüber hinaus sind ein dickerer Radsteg oder kleinere Räder Möglichkeiten der Schwingungsreduktion der Räder. Eine Dämpfung der Schwingung des Rades kann durch Radschallabsorber, Dämpfungsringe oder Beschichtungen erreicht werden. Die Abstrahlung kann u. a. durch Schallschürzen, Radscheibenbremsen oder Beschichtungen verringert werden.⁹³

Streckenseitig kann eine Änderung der Schienengeometrie (dickerer und niedrigerer Steg sowie größerer Schienenkopf) die Schwingungen reduzieren. Für existierende Gleise sind Schienenstegdämpfer eine bereits genutzte Möglichkeit, um die Schwingungen der Schiene zu reduzieren.

⁹² UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 13.

⁹³ Zum ganzen Themenbereich siehe Abschnitt 3.6 sowie UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 33–35.

Schienenstegabschirmungen können die Schallabstrahlung der Schienen verringern.⁹⁴ Darüber hinaus ist die Oberbauelastizität und dabei insbesondere die Steifigkeit der Zwischenlage ein relevanter Einflussfaktor. Diese beeinflusst maßgeblich die Dämpfung in der Verbindung von Schiene mit Schwelle und damit die sogenannte Gleisabklingrate, welche die Dämpfung einer Schwingung der Schiene entlang der Schienenlänge mit dem Abstand zum Punkt der Anregung charakterisiert. Eine hohe Gleisabklingrate bedeutet, dass die Schwingung der Schiene „relativ schnell“ abklingt und somit der Anteil an der Schallabstrahlung durch die Schiene „eher gering“ gehalten wird. Detailliertere Ausführungen sind Abschnitt 3.2.3 zu entnehmen.

Zu betonen ist, dass – unter der Annahme vergleichbarer Anteile von Fahrzeug und Fahrweg an der Schallabstrahlung – die Absenkung der Abstrahlung lediglich eines der beiden Systeme nur eine begrenzte Wirkung entfalten kann. Bei gleichen Anteilen von Fahrzeug und Fahrweg würde das komplette Entfernen einer Schallquelle (bspw. der Fahrweg trägt nicht mehr zur Schallabstrahlung bei) aufgrund der Pegelrechnung lediglich zu einem Absenken von 3 dB(A) führen. Aus diesem Grund ist es wichtig, für eine nachhaltige Absenkung des Rollgeräuschs beide Systeme (Fahrzeug und Fahrweg) zu betrachten und für beide eine Absenkung zu erreichen.

Im Rahmen dieses Gutachtens werden sowohl strecken- als auch fahrzeugseitige Maßnahmen vorgeschlagen, welche dies ermöglichen sollen. Zu betonen ist, dass im Rahmen der Zulassungsmessungen von Fahrzeugen nach TSI Noise der Fahrweg gewisse Bedingungen erfüllen muss (möglichst geringer Einfluss des Fahrwegs durch niedrigere Rauheit und hohe Gleisabklingrate). In der Realität ist der Zustand der Infrastruktur im Regelfall jedoch akustisch deutlich ungünstiger als im Rahmen der Fahrzeugzulassung, wie im Weiteren (Abschnitt 3.2.1) thematisiert wird. Dabei spielt neben der Schienenrauheit insbesondere die Gleisabklingrate eine relevante Rolle.

2.3.2 Angriffspunkte für schallmindernde Maßnahmen im Schienenverkehr

Die drei Schienenverkehrsarten SPFV, SPNV und SGV weisen in Kombination mit der Schieneninfrastruktur unterschiedliche dominante Schallquellen auf, die teils unterschiedliche Maßnahmen der Lärminderung erfordern. Im Vorgriff auf die detaillierten Darstellungen in Kapitel 3 wird hier ein Überblick über die wichtigsten Themen gegeben.

SPFV

Beim SPFV spielen alle drei Geräuscharten, Aggregatgeräusche, Rollgeräusch und aerodynamische Geräusche, eine Rolle. Aufgrund der im Regelfall deutlich höheren Geschwindigkeiten und selteneren Beschleunigungssituationen, sollte sich hinsichtlich der Aggregatgeräusche auf die Abstellung konzentriert werden. Hinsichtlich des Rollgeräuschs ist der Einsatz von Scheibenbremsen und (teilweise) Radschallabsorbern bei allen Fahrzeugen des Hochgeschwindigkeitsverkehrs üblich, sodass vordergründig bei der Schiene angesetzt werden kann und sollte. Die Schienenrauheit sollte niedrig sein, um die Entstehung von Rollgeräuschen zu verringern, und die Gleisabklingrate sollte möglichst hoch sein, um die Schallabstrahlung der Schiene zu minimieren. Bei den aerodynamischen Geräuschen kann insbesondere im Bereich der Pantographen und der Drehgestelle angesetzt werden, um dort strömungsakustische Anregungen zu minimieren.

⁹⁴ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 34 f.

SPNV

Beim SPNV sind die Aggregatgeräusche sowie das Rollgeräusch die relevanten Schallquellen, bei denen mit dem Ziel der Lärminderung angesetzt werden sollte. Der Einsatz von Scheibenbremsen im SPNV ist bereits üblich, sodass für eine Minderung des Rollgeräuschs das größere Potential bei der Schiene liegt. Die Schienenrauheit sollte niedrig und die Gleisabklingrate sollte möglichst hoch sein. Darüber hinaus können bei der Bogenfahrt weitere Maßnahmen wie Radschallabsorber (wirken auch bei der Fahrt in der Geraden) sowie radial einstellende Drehgestelle Maßnahmen mit relevantem Einfluss darstellen. Bei den Aggregatgeräuschen sollten vor allem der Antrieb sowie Kühlung und Klimaanlage berücksichtigt werden. Aufgrund der häufigen Haltepunkte sollten auch die Signale beim Türöffnen und -schließen so gering wie unter Einhaltung der Sicherheitsanforderungen möglich gehalten werden.

Darüber hinaus muss beim SPNV die Fahrzeugabstellung mit betrachtet werden. Um bei der nächtlichen Abstellung Lärm zu mindern, sind technisch-mechanische Maßnahmen, wie bspw. Schalldämpfer oder schalloptimierte Komponenten, sowie technisch-funktionale Maßnahmen, die energie- und schalloptimierte Prozesse bei der Abstellung ermöglichen, in Betracht zu ziehen.

SGV

Beim SGV erzeugen die Lokomotiven Aggregatgeräusche, während das Rollgeräusch überwiegend von den Güterwagen, aber auch von den Lokomotiven herrührt.

Bei den Güterwagen muss das Rollgeräusch adressiert werden. Eine Möglichkeit stellt etwa eine Absenkung der Radrauheit durch den Einsatz von Scheibenbremsen oder den Einsatz geräuscharmerer Drehgestelle (mit Scheibenbremse) dar, welche etwa eine radiale Einstellung der Radsätze im Bogen erlauben. Für eine weitere Reduktion des Rollgeräuschs sollte die Schienenrauheit gesenkt und eine möglichst hohe Gleisabklingrate angestrebt werden. Zusätzlich können fahrzeugseitig die im Personenverkehr verbreiteten Radschallabsorber und ggf. Schallschürzen für eine Reduktion des Rollgeräuschs sorgen. Weiterhin ist es ratsam, Maßnahmen gegen Flachstellen zu ergreifen. Diese treten vordergründig im Güterverkehr auf und sind auf Reib-Gleit-Prozesse beim Antreiben und Bremsen zurückzuführen. Der Einsatz von Gleitschutz oder der ep-Bremse im Rahmen der DAK sowie ein stärkeres Monitoring können an dieser Stelle positive Effekte haben.

Bei den Lokomotiven sollten die Antriebs- und Kühlungsgeräusche möglichst stark reduziert werden. Bei Vorbeifahrtmessungen von Güterzügen stellt häufig die Lokomotive den lautesten Punkt der Vorbeifahrt dar. An dieser Stelle existiert Verbesserungspotential insbesondere in den Bereichen Antrieb und Kühlung, da die Lokomotiven eine sehr hohe Leistung aufweisen müssen, aber auch beim Rollgeräusch.

2.4 Überblick über die politisch-rechtlichen Instrumente der Lärminderung

Zur Bekämpfung des Schienenverkehrslärms kommen unterschiedliche Regulierungsansätze in Betracht. Ausgehend von der klassischen umweltrechtlichen Instrumentenlehre sind insbesondere folgende Möglichkeiten im Bereich der Lärmreduktion des Eisenbahnverkehrs von erhöhter Relevanz:⁹⁵

- Planungsinstrumente
- Instrumente direkter Verhaltenssteuerung in Form von Ge- und Verboten

⁹⁵ Grundlegend hierzu Klopfer (2016): Umweltrecht, § 5 Rn. 41.

- Instrumente indirekter Verhaltenssteuerung, insbesondere ökonomische Instrumente
- betriebsorganisatorische Instrumente
- straf- und ordnungswidrigkeitsrechtliche Sanktionen

Bei der Wahl zwischen den möglichen Instrumenten sind insbesondere die unterschiedliche Effektivität der einzelnen Möglichkeiten für den Lärmschutz, das Maß der durch sie bewirkten wirtschaftlichen Belastungen der Akteure des Eisenbahnsektors und ihre Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems Schiene von Bedeutung. Je nach dem gewünschten Grad der Verbindlichkeit des jeweiligen Instruments, der Effektivität seiner Wirkung zum Lärmschutz, seiner Kosten und sonstigen Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit des Schienenverkehrs ist das jeweils passendste Instrument zu wählen. Insbesondere stellen die Instrumente direkter Verhaltenssteuerung rechtlich zwingend einzuhaltende Ge- und Verbote dar und sind somit sehr effektiv in ihrer Verhaltenswirkung. Hingegen setzen die Instrumente der indirekten Verhaltenssteuerung auf eine Anreizsetzung, deren effektive Wirkung nicht gesichert ist, jedoch im Falle ihrer Wirkung ein Potenzial für Effizienzgewinne birgt, indem die Akteure eine kostenminimale Verhaltensanpassung zur Erfüllung der Ziele auswählen können.⁹⁶ Die meisten der genannten Instrumente finden im derzeit geltenden Verkehrslärmschutzsystem eine rechtliche Grundlage, wie nachfolgend dargestellt wird.

Planungsinstrumente finden sich beispielsweise in § 50 des Bundesimmissionsschutzgesetzes (**BImSchG**). Nach der dort normierten Vermeidungspflicht, welche als Abwägungsdirektive bereits auf der Planungsebene eine Rolle spielt, sind Schienenverkehrswege so zu planen, dass schädliche Umwelteinwirkungen und damit auch Lärmauswirkungen für Wohngebiete und andere schutzbedürftige Gebiete so weit wie möglich vermieden werden.⁹⁷ Auch die Vorschriften in den §§ 47a bis f BImSchG zur Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung sind geschaffen worden, damit diese bereits bei der Planung der Verkehrswege umfassend berücksichtigt werden können.

Als Instrumente direkter Verhaltensteuerungen spielen im Bereich des Schienenverkehrslärmschutzes insbesondere die Emissions- und Immissionsgrenzwerte eine gewichtige Rolle. Die bedeutendste emissionsschutzrechtliche Regelung stellt die **TSI Noise** dar, welche auf europäischer Ebene einheitliche Geräuschgrenzwerte für neu zuzulassende Schienenfahrzeuge regelt.⁹⁸ Grundsätzlich sind die Emissionsgrenzwerte technologieoffen vorgegeben, sodass die Akteure selbst entscheiden sollen, welche technischen Maßnahmen sie treffen oder erst entwickeln, um die Grenzwerte einzuhalten. Teilweise wurden die Emissionsgrenzwerte so gesetzt, dass damit spezifische technische Lösungen vorgegeben oder ausgeschlossen werden. So wurden die Grenzwerte für Eisenbahngüterwagen der TSI Noise im Jahre 2006 so geändert, dass sie von Güterwagen mit Grauguss-Bremssohlen an den Bremssystemen nicht mehr eingehalten werden können, so dass seitdem keine solchen Güterwagen mehr in Verkehr gebracht werden können.

Die maßgeblichen im Rahmen des Schienenverkehrslärmschutzes zu berücksichtigenden Immissionsgrenzwerte finden sich im Bundesimmissionsschutzgesetz und in der 16. Bundesimmissionsschutzverordnung (**16. BImSchV**) wieder. Danach enthält § 41 Abs. 1 BImSchG die Verpflichtung, dass bei dem Bau oder der wesentlichen Änderung von Eisenbahnen

⁹⁶ Vergleiche zum Thema Klopfer (2016): Umweltrecht, § 5 Rn. 42.

⁹⁷ Tophoven: BImSchG § 50 Rn. 13 f. in: BeckOK (2024): Umweltrecht; Jarass (2022): BImSchG, § 50 Rn. 1.

⁹⁸ VO (EU) Nr. 1304/2014 der Kommission vom 26. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lärm“ sowie zur Änderung der Entscheidung 2008/232/EG und Aufhebung des Beschlusses 2011/229/EU (ABl. 2014 L 356, 421). Ausführlich hierzu Pache: § 16 Rn. 314 ff. in: Koch, Hofmann, Reese (2024): Handbuch Umweltrecht.

sicherzustellen ist, dass durch diese keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche hervorgerufen werden können, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind. Eine schädliche Umwelteinwirkung in diesem Sinne ist gegeben, wenn der Beurteilungspegel die in § 2 Abs. 1 der 16. BImSchV aufgeführten Immissionsgrenzwerte überschreitet.⁹⁹ Die 16. BImSchV enthält auch als Anlage 2 zu § 4 die sogenannte **Schall 03**, in der die Berechnungsverfahren des Beurteilungspegels für Schienenwege geregelt werden.

Neben den beiden genannten Beispielen der Emissions- und Immissionsgrenzwerte umfasst die Gruppe der Instrumente der direkten Verhaltenssteuerung auch Fahrverbote und Geschwindigkeitsbeschränkungen¹⁰⁰ oder eine Kontingentierung der maximalen Gesamtbelastung in einem Zeitraum.¹⁰¹ Auch die in diesem Gutachten vorgeschlagene Verpflichtung zur Gewährleistung eines akustisch ordnungsgemäßen Gleiszustands stellt ein Instrument der direkten Verhaltenssteuerung dar.

Weitere Möglichkeiten zur Reduktion des Schienenverkehrslärms stellen die Instrumente der indirekten Verhaltenssteuerung dar. Hierunter fallen insbesondere ökonomische Instrumente, wie etwa das lärmabhängige Trassenpreissystem (LaTPS) oder unionale sowie nationale Fördermaßnahmen. Im Hinblick auf nationale Fördermaßnahmen ist generell zu berücksichtigen, dass diese mit den Vorschriften des Europäischen Beihilfenrechts vereinbar sein müssen. Das praktisch wohl bedeutsamste Förderprogramm auf nationaler Ebene ist das freiwillige Lärmsanierungsprogramm des Bundes.¹⁰² Danach leistet der Bund auf freiwilliger Basis unter den Voraussetzungen der Förderrichtlinie einen Beitrag zur Sanierung bestehender Schienenwege, insbesondere von solchen, die nicht dem Anwendungsbereich des § 41 BImSchG unterfallen. Darüber hinaus stellt beispielsweise auch die in diesem Gutachten vorgeschlagene finanzielle Unterstützung der Entscheidungsträger*innen, welche im Rahmen ihrer Ausschreibungen des SPNV besonders lärmarme Fahrzeuge besonders berücksichtigen, ein Instrument der indirekten Verhaltenssteuerung dar.

Instrumente betriebsorganisatorischer Art sind typischerweise betriebsinterne Regelungen, welche Auswirkungen auf den Schienenlärm haben. Beispielsweise fallen hierunter mögliche betriebsinterne Regelungen, welche Vorgaben in Bezug auf die Abstellung von Fahrzeugen machen, etwa in welcher Reihenfolge einzelne Wagen abgestellt werden, sodass eine möglichst geräuscharme Abstellung gewährleistet ist.

Flankierend zu den bisher genannten Instrumenten können als ultima ratio straf- und ordnungswidrigkeitsrechtliche Sanktionen verhängt werden. Solche finden sich für den Schienenverkehr beispielsweise in § 13 SchLärmSchG, wonach die Nichteinhaltung bestimmter Verpflichtungen des SchLärmSchG eine Ordnungswidrigkeit darstellt und gem. § 13 Abs. 2 SchLärmSchG mit einer Geldbuße geahndet werden kann.

Bei all diesen Instrumenten und insbesondere bei der Fragestellung, inwieweit der nationale Gesetzgeber oder die Regierung sowie Verwaltung eigenständig handeln können, ist zu berücksichtigen, dass große Teile des Eisenbahnlärmschutzrechts europarechtlich geregelt sind. Gerade im Bereich der Emissionsgrenzwerte für Fahrzeuge stellen die Vorgaben der TSI Noise eine umfassende und abschließende Regelung dar. Gerade auch solche unionsrechtliche Entscheidungen wie diejenige, dass für Bestandsfahrzeuge keine Emissionsgrenzwerte gelten

⁹⁹ Jarass (2022): BImSchG, § 41 Rn. 41; Reese: BImSchG § 41 Rn. 21, in: BeckOK (2024): Umweltrecht.

¹⁰⁰ Vgl. exemplarisch § 11 Abs. 1 Schienenlärmschutzgesetz (SchLärmSchG).

¹⁰¹ Vgl. zu den ordnungsrechtlichen Maßnahmen Pache: § 16 Rn. 386 f. m.w.N. in: Koch, Hofmann, Reese (2024): Handbuch Umweltrecht.

¹⁰² Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes, überarbeitete Fassung 2022, VkB. 12/2022, S. 402 ff.

sollen, sind zwingend zu berücksichtigen, sodass dem nationalen Gesetzgeber insoweit keine Regelungsmöglichkeit offensteht.¹⁰³ In anderen Bereichen, wie etwa für das Immissionsschutzrecht und insbesondere für die Festlegung von Immissionsgrenzwerten, bestehen keine europarechtlichen Vorgaben, sodass insoweit ein nationaler Gestaltungsspielraum besteht. Folgende Auflistung gibt einen Überblick über die grundlegende Verteilung der Entscheidungskompetenzen zwischen der EU und den Mitgliedstaaten:

- ▶ Emissionsgrenzwerte und technische Vorgaben für Fahrzeuge des Schienenverkehrs werden ausschließlich von der EU in der TSI Noise gesetzt.¹⁰⁴
- ▶ Emissionsgrenzwerte und technische Vorgaben für Eisenbahninfrastrukturen werden ausschließlich von den Mitgliedstaaten gesetzt, wobei technische Grundeigenschaften der einheitlichen europäischen Eisenbahninfrastruktur einzuhalten sind (sie werden in anderen Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) der EU festgelegt).
- ▶ Immissionsgrenzwerte werden ausschließlich von den Mitgliedstaaten festgelegt. Sie dürfen jedoch nicht die europäischen Prinzipien zur Interoperabilität oder Diskriminierungsfreiheit unterminieren.
- ▶ Trassenpreise und anderen Zugangspreise unterliegen den Regeln der EU, die in Richtlinien und anderen Rechtsakten niedergelegt sind. Innerhalb des darin zugelassenen Spielraums stehen den Infrastrukturunternehmen oder den Mitgliedstaaten Gestaltungsmöglichkeiten zu.
- ▶ Fördermaßnahmen werden von der EU oder den Mitgliedstaaten gewährt, wobei insbesondere die Regeln der Diskriminierungsfreiheit und die Vorschriften des Europäischen Beihilfenrechts einzuhalten sind.
- ▶ Öffentliche Beschaffungen in den Mitgliedstaaten werden von diesen vorgenommen und geregelt, wobei insbesondere die Regeln des EU-Vergaberechts sowie der Diskriminierungsfreiheit einzuhalten sind.

Auch bei den Instrumenten, die grundsätzlich dem Kompetenzbereich der Mitgliedstaaten zugeordnet sind, sind somit die relevanten Vorgaben des EU-Rechts zu beachten, aus denen sich Einschränkungen des Handlungs- und Gestaltungsspielraums der Mitgliedstaaten – wegen der Notwendigkeit ihrer Vereinbarkeit mit dem EU-Recht – ergeben. Diese Einschränkungen können aus konkreten eisenbahnrechtlichen Vorgaben des Unionsrechts, sie können aber auch aus Grundprinzipien des EU-Rechts wie dem unionalen Diskriminierungsverbot oder den Grundfreiheiten folgen, und sie können sich aus dem Vorliegen eines klaren Verstoßes gegen EU-rechtliche Vorgaben oder aus der Einordnung eines Verhaltens als Umgehung bestehender unionaler Vorgaben ergeben. Deshalb empfiehlt es sich bereits dann, wenn eine Unvereinbarkeit möglicher nationaler Instrumente des Schienenverkehrslärmschutzes mit dem EU-Recht in einer der geschilderten Formen auch nur in Betracht kommt, vor der Einführung etwaiger mit dem Europarecht kollidierender Instrumente diese Einführung vorab mit der EU abzustimmen. Bei der Gestaltung von Immissionsgrenzwerten oder öffentlichen Beschaffungen ist also auch zu vermeiden, dass diese von der EU als Umgehung ihres Vorrangs bei der Bestimmung von Emissionsgrenzwerten für Fahrzeuge aufgefasst und deshalb als vertragswidrig eingestuft werden. Auch aus diesem Grund wird eine vorherige Abstimmung mit der EU sinnvoll sein.

¹⁰³ Pache: § 16 Rn. 385, in: Koch, Hofmann, Reese (2024): Handbuch Umweltrecht.

¹⁰⁴ Aktuell nach der Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 vom 26. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Lärm“, mit weiteren Änderungen aus den Jahren 2019 und 2023.

Zwar ist der europäische Rechtsrahmen notwendig mit Einschränkungen des Spielraums im nationalen Rechtssetzungsprozess verbunden, jedoch eröffnet dieser auf der anderen Seite auch die Option, im Rahmen einer EU-Initiative der Bundesrepublik Deutschland die relevanten europarechtlichen Regelungen zu ändern oder sogar europaweite Schritte einer weitergehenden Lärmschutzpolitik anzustoßen, um so den einheitlichen europäischen Eisenbahnraum in Gänze im Sinne effektiveren Schienenlärmschutzes zu modernisieren. Auch solche Schritte auf europäischer Ebene sollten zur Erreichung weitergehender unionaler Instrumente des Schienenverkehrslärmschutzes erwogen und unternommen werden. Ein erfolgreiches Beispiel wurde in Abschnitt 1.3.4 beschrieben.

Solche Erwägungen werden im Folgenden bei der Betrachtung der politisch-rechtlichen Instrumente für die Einzelbereiche des Bahnsystems eine wichtige Rolle spielen.

3 Vorgehensweisen für die Einzelbereiche des Bahnsystems

3.1 Überblick

Die Darstellung beginnt in Abschnitt 3.2 mit den Möglichkeiten der Lärminderung an der Infrastruktur. Dies aus mehreren Gründen. In Abschnitt 2.3 wurde dargestellt, dass die Infrastruktur maßgeblich an der Lärmmentstehung beteiligt ist. Daher ist sie ein Querschnittsthema, welches alle anderen Bereiche des Bahnsystems, die danach dargestellt werden, mit beeinflusst. Nach der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen an den Güterwagen sind weitere substanzielle Senkungen des Rollgeräuschs, welches nach wie vor die dominierende Schallquelle des Schienenverkehrs ist, nur durch gemeinsame Anstrengungen an Fahrzeugen und Infrastruktur möglich. Es ist daher kein haltbarer Zustand mehr, dass die Infrastruktur keinen Regelungen hinsichtlich ihres Lärmbeitrags unterliegt. Die EU ist für die Infrastruktur nicht zuständig, sondern erwartet von den Mitgliedstaaten, hier aktiv zu werden.

In Abschnitt 3.3 wird mit den Triebfahrzeugen ein weiteres Querschnittsthema betrachtet. Im Vordergrund stehen die Möglichkeiten zur Reduzierung des Lärmbeitrags von Elektrotriebzügen und elektrischen Lokomotiven, doch erstreckt sich die Darstellung auch auf treibstoffgetriebene Lokomotiven. Im Anschluss wird in Abschnitt 3.4 der Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) angesprochen, der allerdings hinsichtlich der Lärmbelastung der Bevölkerung von untergeordneter Bedeutung ist.

Wichtiger ist der Schienenpersonennahverkehr (SPNV), der in Abschnitt 3.5 thematisiert wird. Die technischen Maßnahmen zur Lärminderung beim SPFV und beim SPNV sind recht ähnlich, und die meisten von ihnen werden schon in Abschnitt 3.3 beschrieben. Beim SPNV kommen jedoch zusätzliche politische Handlungsmöglichkeiten ins Spiel, da dies ein von den Gebietskörperschaften finanzierter und bestellter Verkehr ist. Nach der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen an den Güterwagen sind weitere substanzielle Senkungen des Schienenverkehrslärms nur durch gemeinsame Anstrengungen aller politisch verantwortlichen Akteure möglich. Auch die Länder sollten daher Verantwortung übernehmen und in einer koordinierten Aktion gemeinsamen mit dem Bund eine Lärminderung des SPNV erreichen.

Auch nach der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen bleibt der Schienengüterverkehr (SGV) ein Hauptemittent von Schall, und obwohl inzwischen auch die Emissionen der Lokomotiven des Güterverkehrs eine spürbare Rolle spielen (die in Abschnitt 3.3 angesprochen werden), stehen nach wie vor die Güterwagen im Fokus. Diese werden in Abschnitt 3.6 adressiert. Die vorgesehene technologische Runderneuerung des Schienengüterverkehrs durch die Digitale Automatische Kupplung (DAK) und weitere Innovationen wird neue Möglichkeiten der Lärminderung bei den Güterwagen eröffnen, die nicht teuer sind, aber viel erreichen können, wenn sie heute schon vorbereitet und in Angriff genommen werden.

In Abschnitt 3.7 werden Möglichkeiten der Lärminderung bei den Abstellanlagen insbesondere des SPNV dargestellt. Zentraler Angriffspunkt hierfür sind die Fahrzeuge des SPNV, die schon in Abschnitt 3.5 besprochen wurden, bei denen auch Lärmemissionen in den Betriebszuständen, die im Zusammenhang mit deren nächtlicher Abstellung auftreten, zu berücksichtigen sind. Die Abstellung findet teils konzentriert auf größeren Abstellanlagen und teils verstreut auf einzelnen Gleisen in der Nähe des Einsatzortes am frühen Morgen, aber damit auch in der Nähe von Wohnlagen statt. Der Vorgang der Abstellung unterliegt derzeit je nach Betriebszustand zwei verschiedenen Rechtskreisen, wobei keiner dieser Rechtskreise für einen wirksamen Immissionsschutz der Anwohnenden systematisch genutzt wird. Durch einen einheitlich geregelten gesetzlichen Immissionsschutz für die Anwohnenden von Abstellanlagen kann diese Situation überwunden werden.

Dieser Vorschlag bildet zugleich einen Anknüpfungspunkt für den in Kapitel 4 ausgearbeiteten weitergehenden Vorschlag, einen gesetzlichen Immissionsschutz auch für Bestandsstrecken vorzusehen. Obwohl eine solche Ausweitung des Immissionsschutzes nur nach langen Übergangsfristen möglich ist, ist die verbindliche Aussicht auf dieses Ziel ein Anreiz für die politisch Beteiligten, die in diesem Kapitel 3 vorgeschlagenen Instrumente mit Nachdruck voranzutreiben. Denn alle lärmmindernden Maßnahmen an den Fahrzeugen oder der Infrastruktur, die in diesem Gutachten vorgeschlagen werden, sollen bei ihrer Umsetzung sogleich in die Schall 03 aufgenommen werden, so dass sie bei Immissionsprognosen berücksichtigt werden und zur Einhaltung von Immissionsgrenzwerten beitragen können.¹⁰⁵ Der formale Prozess, wie lärmmindernde Maßnahmen in die Schall 03 aufgenommen werden, wird in Abschnitt 4.2.1 dargestellt.

3.2 Lärminderung bei der Infrastruktur

Wie in Abschnitt 2.3.1 dargestellt wurde, trägt die Schieneninfrastruktur – Gleis und Oberbau – wesentlich zur Entstehung und Stärke des Schienenverkehrslärms bei. Abschnitt 3.2.1 gibt einen Überblick über den Handlungsbedarf bei der Infrastruktur. Detaillierter wird der Handlungsbedarf in den beiden darauf folgenden Abschnitten deutlich, in denen die konkreten Maßnahmen zur Lärminderung an der Infrastruktur erläutert werden, nämlich Maßnahmen zur Minderung der Schienenrauheit (Abschnitt 3.2.2), zur Erhöhung der Gleisabklingrate (Abschnitt 3.2.3) und weitere Maßnahmen (Abschnitt 3.2.4). Die darauf basierenden Empfehlungen zu den technischen Maßnahmen werden in Abschnitt 3.2.5 zusammengefasst.

Es fragt sich, mit welchen politisch-rechtlichen Instrumenten eine Umsetzung dieser Maßnahmen durch die Akteure angereizt oder sichergestellt werden kann. Im Gegensatz zu den Fahrzeugen, deren Emissionen in der TSI Noise geregelt sind, gibt es derzeit keine Anforderungen an die lokale Infrastruktur für den Schienenverkehr, die eine Reduktion des Schienenverkehrslärms bewirken sollen. In Abschnitt 3.2.6 wird daher diskutiert, wie eine rechtliche Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen zur Einhaltung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustandes ihrer Eisenbahninfrastrukturen verankert und gestaltet werden kann. Darauf basierend und unter Einbeziehung der Überlegungen zu den technischen Maßnahmen werden in Abschnitt 3.2.7 die Empfehlungen zur Lärminderung bei der Infrastruktur ausformuliert.

3.2.1 Handlungsbedarf bei der Infrastruktur

Die Infrastruktur hat einen relevanten Einfluss auf die Stärke des Rollgeräuschs. Wie in Abschnitt 2.3.1 erläutert, stellt die Schienenrauheit neben der Radrauheit den entscheidenden Faktor bei der Anregung des Rollgeräuschs dar. Die Schallabstrahlung der Schiene hängt wesentlich von der Schwingungsfortpflanzung in der Schiene ab, welche durch die Dämpfung verringert wird. Als Maß für die Dämpfung der Schwingung entlang der Länge der Schiene dient die Gleisabklingrate, die maßgeblich von der Art der Zwischenlage, die zwischen Schiene und Schwelle eingebaut wird, beeinflusst wird. Darüber hinaus können verschiedene impulsartige Anregungen und daraus resultierende Schallabstrahlungen auf die Infrastruktur zurückgeführt werden. Dies umfasst beispielsweise Weichenüberfahrten, Schienenstöße und Unregelmäßigkeiten bei Schweißungen oder im Gleisbett. Weiterhin kann es bei der Bogenfahrt zu Kurvengeräuschen kommen, welche das Rollgeräusch deutlich überlagern.

¹⁰⁵ Die Schall 03 ist die Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen und ist als Anlage 2 in der 16. BImSchV verankert.

In der Regel werden jedoch keine konkreten Anforderungen an die akustischen Eigenschaften des Schienennetzes gestellt. Solche Anforderungen finden sich lediglich im Zusammenhang mit der Fahrzeugzulassung. Im Rahmen der Fahrzeugzulassung nach TSI Noise werden akustische Messungen durchgeführt. Vorbeifahrtmessungen bei 80 km/h und bei Fahrzeug-Höchstgeschwindigkeit sollen insbesondere das Rollgeräusch abbilden, was die wichtigste Schallquelle im Bahnbereich ist. Diese Messungen werden stets nach der DIN EN ISO 3095:2014 durchgeführt, welche auch Anforderungen an den Fahrweg hinsichtlich Rauheit und dynamischen Eigenschaften definiert. Durch die darin vorgegebene, recht hohe akustische Qualität des Gleises soll sichergestellt werden, dass der Einfluss des Fahrwegs auf die Messergebnisse gering ist, da das Fahrzeug das Untersuchungsobjekt ist.

Für die Schienenrauheit wird in der DIN EN ISO 3095:2014 eine obere Grenzkurve über die Wellenlänge der Rauheit definiert, welche in Abschnitt 3.2.2 dargestellt wird. Es wird also eine niedrige Schienenrauheit gefordert, die nach EN 15610:2009 zu bewerten ist und somit einen geringen streckenseitigen Anteil an der Anregung im Rad-Schiene-Kontakt bewirkt. Hinsichtlich der dynamischen Eigenschaften wird die Messung der Gleisabklingrate nach DIN EN 15461:2011 gefordert. Es werden untere Grenzkurven für die laterale und vertikale Gleisabklingrate – dies sind Dämpfungseigenschaften bei Schwingung der Schiene in vertikaler Richtung (also auf und ab) bzw. lateraler Richtung (also nach links und rechts, auch als horizontal bezeichnet) – definiert, welche mindestens einzuhalten sind. Die Wahl der Gleisabklingrate ist in diesem Fall ebenfalls akustisch günstig, da so ein vergleichsweise schnelles Abklingen der Schwingung der Schiene erreicht wird und der Anteil der Schiene an der Schallabstrahlung möglichst gering bleibt.¹⁰⁶

In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, dass das deutsche Streckennetz nicht generell den Anforderungen an den Fahrweg für die Zulassungsmessung entspricht. Das gilt insbesondere für die Schienenrauheit und die Gleisabklingrate. Erstere, da eine niedrige Schienenrauheit gemäß DIN EN ISO 3095:2014 keine Vorgabe für das Netz ist und dementsprechend beim herkömmlichen Schleifen sowie dem Betrieb sich nicht zwangsläufig einstellt. Zweitere, da es zunehmend zum Einbau elastischerer Zwischenlagen kommt und damit die Gleisabklingrate deutlich Werte annimmt, die über derjenigen nach DIN EN ISO 3095:2014 liegt.

Grundsätzlich ist jedoch aus akustischer Perspektive erstrebenswert, im gesamten Streckennetz – insbesondere an bewohnten Gebieten – die Anforderungen der DIN EN ISO 3095:2014 zu erfüllen. Dies würde bewirken, dass sich die Vorbeifahrt-Emissionen der Fahrzeuge im Bereich ihrer Zulassungswerte bewegen. Zwar kann sich auch der Fahrzeugzustand gegenüber dem Zulassungszeitpunkt aus akustischer Sicht deutlich verschlechtern, dennoch wäre dann zumindest der Einfluss des Fahrwegs minimiert. Die ebenfalls angestrebte Absenkung der Fahrzeugemissionen würde sich dann nicht nur in den Zulassungsmessungen, sondern auch im praktischen Einsatz der Fahrzeuge im Netz stark bemerkbar machen. Hintergedanke sind die in Abschnitt 2.1 dargestellten Ausführungen, dass bei gleichem Anteil von Fahrzeug und Fahrweg bei der Abstrahlung das Absenken lediglich eines Anteils maximal einen Gesamteffekt von 3 dB erzielen kann. Für eine allgemeine Absenkung des Rollgeräuschs ist es daher notwendig, dass sowohl Fahrzeuge als auch Infrastruktur akustisch günstige Zustände erreichen. Seitens der Infrastruktur kann dies durch Anforderungen ähnlich der DIN EN ISO 3095:2014 sichergestellt werden, sodass sich deutliche fahrzeugseitige Minderungen auch deutlich bemerkbar machen würden.

¹⁰⁶ Grundsätzlich sind bei Messungen für die Fahrzeugzulassung auch einzelne Überschreitungen der Grenzkurve für die Rauheit möglich, doch wird dies in der Regel vermieden, da die so gewonnenen Ergebnisse stets ungünstiger für den Fahrzeughersteller sind.

Zudem sei darauf hingewiesen, dass die EU von den Mitgliedstaaten Maßnahmen der Lärmmin-
derung an der Infrastruktur erwartet.¹⁰⁷ Wenn in Deutschland an der Infrastruktur nichts getan
wird, wird es schwer, die EU davon zu überzeugen, andere Maßnahmen der Lärminderung
umzusetzen oder zu akzeptieren, die von Deutschland gewünscht werden. Dies umso mehr, da in
Deutschland, wie dargelegt wurde, Handlungsbedarf für akustisch sinnvolle Maßnahmen an der
Schieneninfrastruktur besteht.

3.2.2 Maßnahmen zur Minderung der Schienenrauheit

Wie in Abschnitt 2.3.1 dargestellt, stellt die Schienenrauheit neben der Radrauheit die relevante
Größe der Anregung im Rad-Schiene-Kontakt dar. Eine Absenkung der Schienenrauheit würde
zu einer Geräuschreduktion führen, deren Effekt auch von der Radrauheit abhängt.

Bereits jetzt gibt es in der Schall 03 sowie CNOSSOS-DE das „besonders überwachte Gleis“
(„büg“) als anerkannte Maßnahme. Dieses wird in den Modellrechnungen mit Pegelkorrekturen
(Schall 03) bzw. einer verminderten Schienenrauheit (CNOSSOS-DE) berücksichtigt. Nach Schall
03 erfolgt die schalltechnische Überwachung des „büg“ durch die Befahrung mit dem Schall-
messwagen alle 12 Monate. Die Schall 03 definiert dabei eine Auslöseschwelle des gemessenen
und verarbeiteten Schalldruckpegels, bei dessen Überschreitung der Gleisabschnitt in den
nächsten 12 Monaten akustisch geschliffen werden muss.¹⁰⁸ Andere Messverfahren sind aktuell
nach Schall 03 nicht zugelassen.

In den Modellrechnungen nach CNOSSOS-DE werden sowohl Rad- als auch Schienenrauheiten
definiert. Diese sind in Abbildung 12 neben den Anforderungen an die Schienenrauheit für
Vorbeifahrtmessungen nach DIN EN ISO 3095:2014 dargestellt. Die Radrauheiten sind dabei
vom Bremstyp abhängig und gestrichelt dargestellt.¹⁰⁹ Die Schienenrauheiten, als durch-
gezogene Linien dargestellt, werden in den „durchschnittlichen Schienenzustand 2021“ und das
„büg“ unterteilt.¹¹⁰ Darüber hinaus ist die Grenzkurve nach DIN EN ISO 3095:2014 (schwarz,
dicke Linie) eingezeichnet. Rauheiten werden im Kontext der DIN EN ISO 3095:2014 durch ihre
Wellenlänge charakterisiert.¹¹¹ Diese ist in der Abbildung auf der unteren horizontalen Achse in
abnehmender Größe in Millimeter dargestellt. Die Stärke der Rauheit wird durch den
Terzbandpegel beschrieben.¹¹² Dieser ist auf der vertikalen Achse abgetragen. Die Schienen-
rauheit bewirkt in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge und der Fahrgeschwindigkeit eines
Fahrzeugs eine Anregung des Rollgeräuschs in bestimmten Frequenzbereichen.¹¹³ Auf der
oberen horizontalen Achse sind die entsprechenden Frequenzen für eine Fahrgeschwindigkeit
von 100 km/h angegeben.

¹⁰⁷ Siehe Europäische Kommission (2011): Bericht der Kommission an das europäische Parlament und den Rat über die
Durchführung der Richtlinie über Umgebungslärm gemäß Artikel 11 der Richtlinie 2002/49/EG, S. 14.

¹⁰⁸ Als Auslöseschwelle ist dabei ein Wert von +2 dB definiert, welcher sich auf den im Mittel auf einem „büg“-Gleis einzuhaltenden
Wert von 0 dB bezieht.

¹⁰⁹ Dabei wird bei den Verbundstoff-Bremssohlen nicht in K-Sohlen und LL-Sohlen unterschieden, obwohl sich bei diesen
unterschiedlichen Radrauheiten und in der Konsequenz unterschiedliche Vorbeifahrtpegel einstellen.

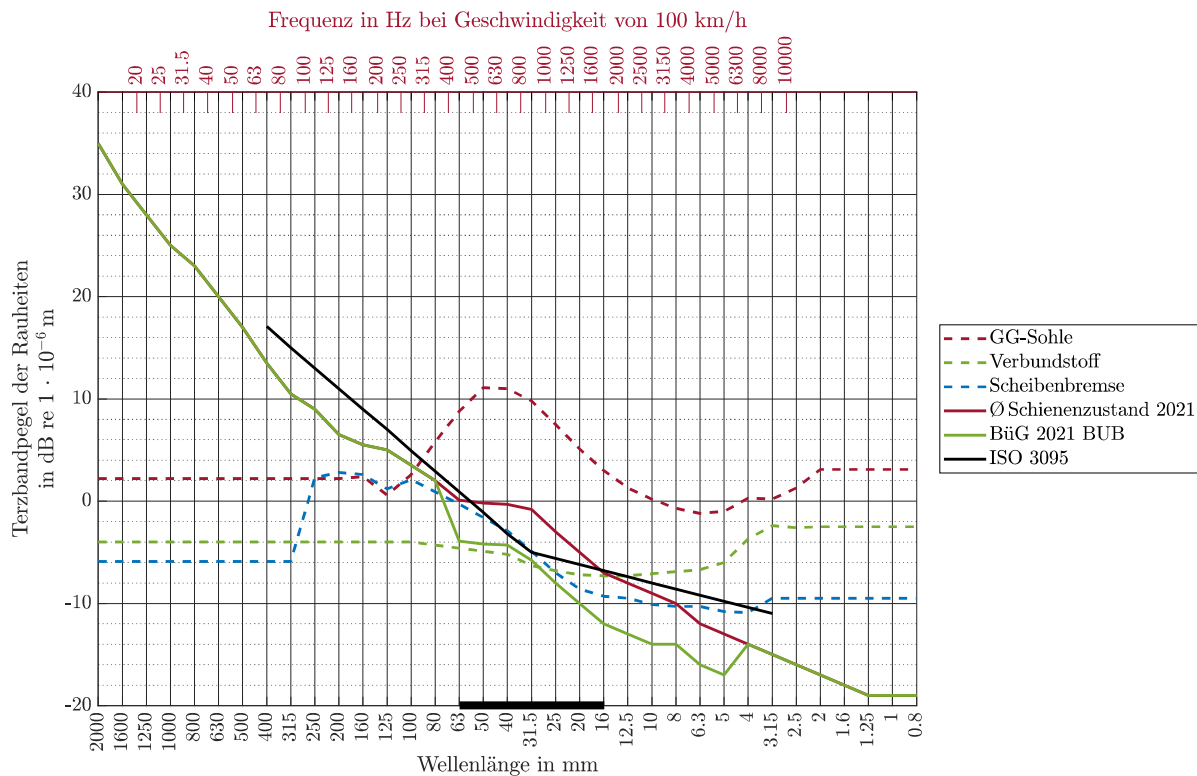
¹¹⁰ Die konkreten Werte entstammen dem Datenblatt für CNOSSOS-DE aus dem Jahr 2021.

¹¹¹ So bedeutet eine Rauheit mit einer Wellenlänge von 20 mm (in bestimmter Stärke), dass ein über die Schiene rollendes Rad in
diesem Abstand regelmäßige Anregungen (in dieser Stärke) erhält.

¹¹² Der Terzbandpegel ist gegenüber einem Referenzwert (10^{-6} m) definiert. Die Größe des Pegels besagt, wie durchschnittlich rau
(über den untersuchten Schienenabschnitt hinweg) die Schiene in einem bestimmten Wellenlängenbereich ist.

¹¹³ Die angeregte Frequenz ergibt sich aus der Fahrgeschwindigkeit geteilt durch die Wellenlänge der Rauheit.

Abbildung 12: Darstellung der Rad- und Schienenrauheiten nach CNOSSOS-DE



Radrauheiten sind gestrichelt dargestellt, Schienenrauheiten mit einer durchgezogenen Linie. Quelle: Eigene Darstellung nach CNOSSOS-DE.

Die in der Abbildung gezeigten Rauheiten für „büG“ (grün) und „durchschnittlichem Schienenzustand 2021“ (rotbraun) unterscheiden sich für Wellenlängen von 5 mm bis 63 mm. Für die anderen Wellenlängen sind sie gleich. Die unterschiedlichen Rauheitspegel zwischen „büG“ und „durchschnittlichem Schienenzustand 2021“ wirken in dem für das Rollgeräusch bedeutendsten Frequenzbereich, welcher zwischen 500 Hz und 3000 Hz liegt (an der oberen horizontalen Achse abzulesen).¹¹⁴

Der akustische Effekt eines „büG“ gegenüber dem „durchschnittlichen Schienenzustand 2021“ kann mithilfe eines Tools untersucht werden, welches im Rahmen des Projektes entwickelt wurde.¹¹⁵ In dem untersuchten Beispiel ergibt sich für einen Immissionsort 25 m von der Gleismitte und 3,5 m über Schienenoberkante eine Schallminderung um 1,9 dB(A). Das „büG“ kann somit für eine relevante Schallminderung sorgen, die durch weitere streckenseitige Maßnahmen (wie Schienenstegdämpfer) noch verstärkt werden kann.

Abbildung 12 zeigt in gestrichelten Linien auch die Rauheiten der Räder bei unterschiedlichen Bremssystemen nach CNOSSOS-DE. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass insbesondere in den Wellenlängen von 16 bis 63 mm (in der Abbildung durch einen Balken an der horizontalen Achse hervorgehoben) die „durchschnittliche Schienenrauheit 2021“ oberhalb der Radrauheiten von Verbundstoffsohle und Scheibenbremse liegt. Eine Minderung der Schienenrauheit in diesen Wellenlängen bewirkt den stärksten Effekt auf das Rollgeräusch.

¹¹⁴ Diese Zahlen sollen eine grobe Orientierung darstellen. Je nach Zustand der Räder und (insbesondere) der Schiene, kommt es auch bei anderen Frequenzen zu einer signifikanten Abstrahlung des Rollgeräuschs. Das gilt insbesondere für Kurvengeräusche sowie verriffelte Bereiche der Schiene. Siehe Asmussen, Lange, Rothhämel (2017): Die Bedeutung des Schienenzustands für die Entstehung und Prognose von Schienenlärm.

¹¹⁵ Hanisch, Thomma, Hecht (2022): Analyse-Tool zur Quantifizierung der Schallminderung durch die Anwendung verschiedener Maßnahmen im Schienenverkehr.

Für eine Minderung des Rollgeräuschs ist es ratsam, die Verbreitung des „büg“ auszuweiten oder alternativ eine weitere, anzustrebende Form des Schienenzustandes zu definieren. Diese Form des Schienenzustandes wird im Weiteren als „glatte Schiene“ bezeichnet, die im Bereich bewohnter Gebiete realisiert werden sollte. In diesem Gutachten wird empfohlen, dass sich die „glatte Schiene“ an der Grenzkurve der DIN EN ISO 3095:2014 orientiert. Diese liegt in einigen Wellenlängenbereichen über der Kurve des „durchschnittlichen Schienenzustand 2021“ nach CNOSSOS-DE, es dürfte in der Realität jedoch nicht zu einer Erhöhung kommen, da sich der durchschnittliche Schienenzustand bereits ohne Anforderungen an die Schienenrauheit in diesen Größenordnungen ergeben hat.

Das Potential für eine „glatte Schiene“ ist bereits im Netz der DB InfraGO vorhanden. Für einen großen Teil der Hauptabfuhrstrecken in Deutschland, wird zweimal jährlich mithilfe des Schallmesswagens der akustische Zustand gemessen. Die Messung erfasst nicht direkt die Rauheit und erlaubt keine Darstellung über die Wellenlängen, sondern es wird der Schalldruckpegel des Rollgeräuschs gemessen und in Bezug zu einem Referenzwert gesetzt. Abbildung 13 zeigt die Verteilung der Schienenrauheiten im Netz mit Stand vom ersten Halbjahr 2016, dabei sind die außerhalb von „büg“-Strecken gemessenen Pegel dargestellt.¹¹⁶ Auf der horizontalen Achse wird der vom Schallmesswagen gemessene Pegel („SMW-Pegel“) in Dezibel dargestellt. Bei dem Messverfahren mittels Schallmesswagen wird der Schalldruck über einem ungebremsten Drehgestell in einer reflexionsarmen Messkabine erfasst. Die Kalibrierung erfolgte über den Vergleich der Schalldruckpegel im Schallmesswagen mit denen von Vorbeifahrtmessungen (außen), unter der Annahme eines repräsentativen Zugkollektivs (ICE, IC, Regionalbahn und Güterzug). Der gemessene Schalldruckpegel wird mittels der Korrekturen der Schall 03 für Geschwindigkeit, Zuglänge und Bremsbauart in einen streckenspezifischen Grundwert übersetzt. Dieser wird gegenüber einem Grundwert aus der Schall 03 ins Verhältnis gesetzt (durch Subtraktion im Dezibel-Bereich).

Ein SMW-Pegel von 0 dB entspricht dem zeitlichen Mittelwert, der auf einem „büg“ einzuhalten ist. Ein Pegel von 3 dB sagt aus, dass das Gleis den „durchschnittlichen Schienenzustand von 1990“ nach Schall 03 aufweist.¹¹⁷ Auf der linken vertikalen Achse ist die Häufigkeit der entsprechend auftretenden Pegel markiert (roter Graph). Auf der rechten vertikalen Achse die Summenhäufigkeit (blauer Graph).

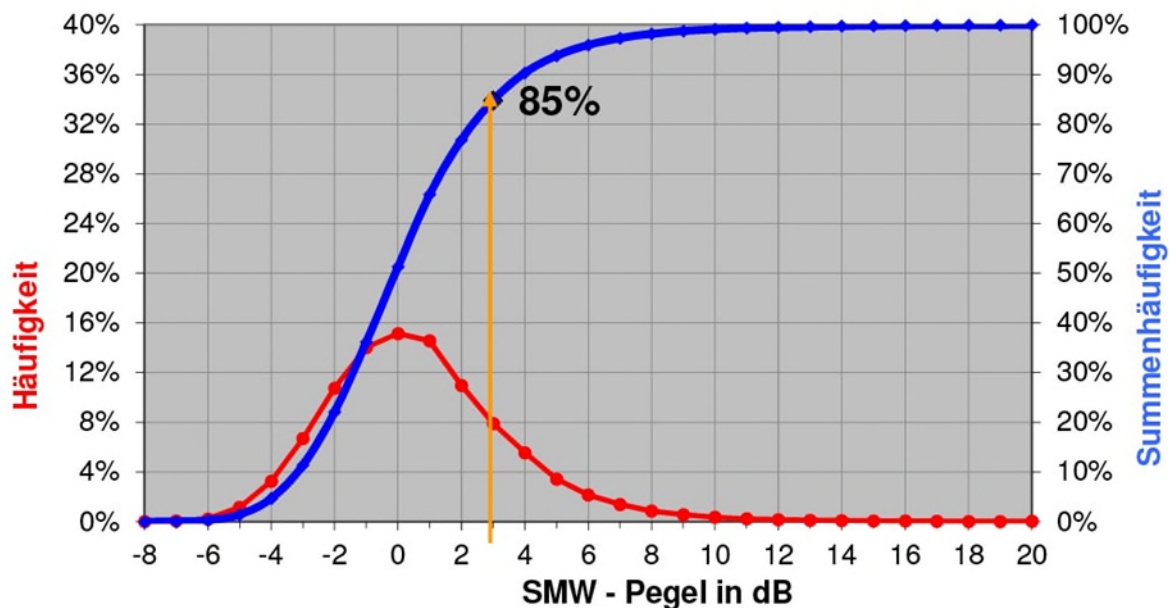
Es sind 85 % der untersuchten Strecken in einem besserem als dem „durchschnittlichen Schienenzustand“ und ungefähr 52 % in einem Zustand, welcher bei einem „büg“ im Durchschnitt einzuhalten ist, obwohl die ausgewerteten Streckenabschnitte keine als „büg“ klassifizierten Strecken enthalten. Während die Abbildung einen Datenstand von 2016 wiedergibt, haben sich diese Anteile nach aktuelleren Informationen auf 89 % bzw. 56 % verbessert.¹¹⁸

¹¹⁶ Dabei wird von 13.000 befahrenen Gleiskilometern gesprochen.

¹¹⁷ Dieser nicht näher spezifizierte Referenzwert wurde 1990 im Rahmen der Einführung der Schall 03 festgelegt. Er entspricht keinem Rauheitsspektrum über der Wellenlänge, sondern wurde auf den Grundwert von 51 dB festgelegt und entspricht dem auf eine Stunde bezogenen „Mittelungspegel eines Zuges in 25 m seitlicher Entfernung, 3,5 m über Grund in ebenem Gelände. Dieser Zug hat eine Länge von 100 m, fährt 100 km/h und besteht zu 100 % aus Fahrzeugen, die mit Scheibenbremsen ausgerüstet sind. Vorausgesetzt wird ferner ein durchschnittlich guter Schienenzustand“. Bei der Einführung des „büg“ und der Überwachung durch den Schallmesswagen wurde dieser so kalibriert, dass ein Pegel des SMW von 3 dB der Anregung auf dem damaligen durchschnittlichen Schienenzustand entspricht. Deutsche Bahn (1990): Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen. Schall 03, S. 3.

¹¹⁸ Diese Information wurde den Gutachtern*innen in einer Mail vom 06.04.2023 von der DB InfraGO übermittelt. Die genaue Länge der dabei untersuchten Strecke ist den Gutachter*innen jedoch nicht bekannt.

Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der im ersten Halbjahr 2016 vom Schallmesswagen gemessenen Pegel außerhalb von „büG“-Strecken



Quelle: Asmussen, Lange, Rothhämel (2017): Die Bedeutung des Schienenzustands für die Entstehung und Prognose von Schienenlärm, S. 161.

Die Menge der als „büG“ ausgewiesenen Strecken könnte somit ausweitbar sein, ohne dass dies einen hohen Bedarf für zusätzliches Schleifen nach sich ziehen müsste. Dies würde dann an diesen Orten zwar auch nur geringe Minderungen der realen Immissionen bewirken, sich jedoch in den Modellrechnungen bemerkbar machen. An Orten, an denen die aktuelle Schienenrauheit hoch ist, würde in der Realität hingegen eine starke Minderungswirkung eintreten. Zusätzlich entsteht für die belasteten Menschen die Garantie, dass schienenseitig nur geringe Rollgeräusche entstehen; für das Infrastrukturunternehmen würden allerdings Zusatzkosten durch die damit verbundenen Verpflichtungen zur Überwachung des Gleiszustandes und ggf. zum Nachschleifen entstehen.

Wenn, wie oben empfohlen, die standardmäßige „glatte Schiene“ anhand der Grenzkurve der DIN EN ISO 3095:2014 definiert wird, treten zwei Unterschiede auf. Einerseits ist die Vorgabe im Durchschnitt über alle Wellenlängen meist etwas schwächer als die des „büG“ (für die Abbildung des „büG“ im Modell), andererseits setzt die „glatte Schiene“ Vorgaben in Abhängigkeit der Wellenlängen.

3.2.2.1 Techniken der Messung und Überwachung der Schienenrauheit

Eine „glatte Schiene“ könnte analog zum bisherigen „büG“ mithilfe des vorhandenen Schallmesswagens überwacht werden.¹¹⁹ Da derzeit lediglich ein einziger Schallmesswagen existiert, könnte es bei einer Ausweitung der „büG“-Strecken oder der Einführung von Strecken mit „glatter Schiene“ zu Kapazitätsengpässen kommen, doch können auch weitere Messwagen angeschafft werden.

Neben dem etablierten Verfahren des „büG“ gibt es Forschungen an neuartigen Messverfahren, die in Betracht gezogen werden sollten, um die Kosten der Überwachung zu mindern. Die möglichen Verfahren können in drei Kategorien eingeteilt werden:

¹¹⁹ Dafür müsste aus dem gemessenen SMW-Pegel eine Darstellung in Terzbändern der Wellenlänge berechnet werden.

- Messung der Schalldrücke im Bereich der Schiene und Räder
- Messung der Beschleunigungen am Achslager
- Optische Messung mit Hilfe der Laser-Triangulation

Messung der Schalldrücke im Bereich der Schiene und Räder

Bei dieser Form der Messung werden Mikrofone im Bereich der Räder oder des Drehgestells platziert. Notwendig für dieses Verfahren sind sehr glatte Räder.

Die DB Systemtechnik erfasst mit ihrem Schallmesswagen das Rollgeräusch mit einem Mikrofon in einer reflexionsarmen Messkabine über einem Drehgestell mit ungebremsten Rädern. Da die Messung als direktes Maß für die Oberflächenrauheit der Schiene dient, müssen die Radlaufflächen sehr glatt gehalten werden. Die Kalibrierung erfolgt über den Vergleich von Messwerten des Schallmesswagens mit Vorbeifahrtpegeln eines Zugkollektivs (Mischverkehr). Die Messung über den Schallmessweg ist derzeit das einzige im Rahmen der Schall 03 zugelassene Verfahren zur Überwachung des Zustandes einer „bÜG“-Strecke.¹²⁰

Im europäischen Ausland werden ebenfalls Systeme mit Mikrofonen zur Überwachung der Schienenrauheit eingesetzt oder an diesen geforscht. In den Niederlanden wird das System ARRoW (Acoustic Rail Recording on Wheels) genutzt, welches die Schalldrücke unmittelbar an den Rädern erfasst. Dieses wurde u. a. auf der Strecke Amsterdam – Paris genutzt. Vergleichsmessungen mit dem deutschen Schallmesswagen zeigten vergleichbare Ergebnisse, wobei die Ausfallsicherheit beim System ARRoW höher ist und zwischen beiden Schienen (links und rechts) differenziert werden kann.¹²¹

In Schweden wird das System QTMS (Quiet Track Monitoring System) entwickelt. In einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2015 werden noch Untersuchungen verschiedener Umgebungseinflüsse und der Genauigkeit angekündigt.¹²² Auf der kommerziellen Webseite zum Vertrieb von QTMS wird inzwischen schon von einer Erkennung der Schienenrauheiten, Kurvengeräusche und Gleiseigenschaften (Gleisabklingrate sowie Zwischenlagensteifigkeit) gesprochen.¹²³

Messung von Achslagerbeschleunigungen

Beschleunigungen am Achslager können mithilfe von Transferfunktionen auf die effektive Rauheit im Rad-Schiene-Kontakt zurückgerechnet und aus dieser unter vereinfachter Berücksichtigung der Radrauheiten die Schienenrauheit bestimmt werden.¹²⁴ Dabei wird eine sehr niedrige Radrauheit angenommen.

Eine Herausforderung bei der Nutzung von Achslagerbeschleunigungen stellen Messgeschwindigkeit und dynamische Eigenschaften des Streckenabschnitts (je nach Strecke bzw. Streckenzustand) dar, welche die Ergebnisse ebenfalls beeinflussen.¹²⁵ Es konnte gezeigt

¹²⁰ Asmussen, Lange, Rothhämel (2017): Die Bedeutung des Schienenzustands für die Entstehung und Prognose von Schienenlärm.

¹²¹ Kuijpers, Schwanen, Bongini (2012): Indirect rail roughness measurement: the ARRoW system within the LECaV project; M+P (2018): ARRoW Acoustic Track Monitoring System.

¹²² Höjer, Almgren (2015): Monitoring system for track roughness.

¹²³ QTMS Tyrens (o. D.): QTMS Quiet Track Monitoring System.

¹²⁴ Siehe Sehu, Wunderli, Heutschi et al. (2010): sonRAIL - Projektdokumentation. Es wird die kombinierte Rauheit (gemäß Abbildung 1) unter Berücksichtigung eines Kontaktfilters ermittelt, welcher vom Raddurchmesser und der Radaufstandskraft abhängig ist.

¹²⁵ Siehe etwa: Phamová, Bauer, Malinský et al. (2015): Indirect Method of Rail Roughness Measurement – VUKV Implementation and Initial Results; Tufano, Chiello, Faure et al. (2019): On-board indirect measurements of the acoustic quality of railway track: state-of-the-art and simulations. Carrigan, Talbot, James (2023): A new method to derive rail roughness from axle-box vibration accounting for track stiffness variations and wheel-to-wheel coupling.

werden, dass dieses Verfahren für hohe und mittlere (durchschnittliche) Schienenrauheiten grundsätzlich gut funktioniert. Für niedrige Schienenrauheiten zeigten sich teils größere Abweichungen.¹²⁶ Ob diese für eine „glatte Schiene“ tolerabel sind, ist zu untersuchen und hängt von der zu definierenden Schienenrauheit der „glatten Schiene“ ab. Auch die in Sehu, Wunderli, Heutschi et al. (2010) untersuchte mittlere Schienenrauheit lag unterhalb der Grenzkurve nach DIN EN ISO 3095:2014, sodass eine ausreichende Genauigkeit erreichbar sein sollte.

In aktuellen Forschungen wird eine Kombination aus modellbasierten Ansätzen und geschätzten Streckenparametern untersucht.¹²⁷ In Frankreich gibt es mit dem HSRCA (High Speed Rail Corrugation Analyzer) ein Anwendungsbeispiel mit aus Sicht der Anwender zufriedenstellenden Ergebnissen bei ähnlichen Geschwindigkeiten und nicht geänderten dynamischen Eigenschaften (gegenüber einer für das System notwendigen Kalibrierung).¹²⁸

Laser-Triangulation

Im Rahmen einer Dissertation an der ETH Zürich wurde ein Messverfahren für die direkte Bestimmung der Schienenrauheit entwickelt.¹²⁹ Dieses basiert auf optischen Sensoren und nutzt das Verfahren der Laser-Triangulation mit vier Sensoren. Dadurch wird eine deutliche Verbesserung der Übertragungsfunktion gegenüber einem Standardtriangulationssystem mit drei Sensoren erreicht. Erste Messungen auf einem Schienenfahrzeug mit 48 km/h zeigten gegenüber der direkten taktilen Messung der Schienenrauheit eine mittlere Abweichung von 1,48 bis 2,55 dB (je nach Wellenlängenbereich). Bei Messungen mit anderen Geschwindigkeiten, waren die Abweichungen teilweise höher, sodass es weiterhin Verbesserungspotential gibt. In der Anwendung und Weiterentwicklung des Verfahrens sind Messungen auf einem SBB Diagnosefahrzeug geplant.¹³⁰

Vergleich der Messmethoden

Die Messung anhand von Achslagerbeschleunigungen oder von Schalldruckpegeln des Rollgeräuschs bieten sich aktuell zur Überwachung der Schienenrauheit an, da diese auch an Fahrzeugen des Regelverkehrs erfasst werden könnten. Dies würde ermöglichen, dass auch größere Streckenteile überwacht werden könnten und dies auch häufiger. Nachteilig ist die Anforderung an eine niedrige Radrauheit und, im Fall der Messung von Achslagerbeschleunigungen, die Messunsicherheit im Bereich niedriger Schienenrauheiten.

Für die Nutzung von Mikrofonmessungen existieren bereits vorhandene Verfahren wie der Schallmesswagen der DB Systemtechnik. Aufgrund der Forschungen bei der Messung von Achslagerbeschleunigungen, insbesondere unter Berücksichtigung der dynamischen Streckeneigenschaften, kann davon ausgegangen werden, dass es zu steter Verbesserung der Verfahren kommt und diese in den kommenden Jahren Verbreitung finden dürften.

Bei der Einführung eines neuen Standards für eine „glatte Schiene“ sollte hinsichtlich der Überwachungsmöglichkeiten eine stärkere Technologieoffenheit als im Fall des „büG“ ermöglicht werden. Die Zulassung von Messverfahren könnte etwa an ein Genauigkeitskriterium

¹²⁶ Sehu, Wunderli, Heutschi et al. (2010): sonRAIL - Projektdokumentation.

¹²⁷ Tufano, Chiello, Faure et al. (2019): On-board indirect measurements of the acoustic quality of railway track: state-of-the art and simulations. Carrigan, Talbot, James (2023): A new method to derive rail roughness from axle-box vibration accounting for track stiffness variations and wheel-to-wheel coupling.

¹²⁸ Bongini, Grassie, Saxon (2012): 'Noise Mapping' of a Railway Network: Validation and Use of a System Based on Measurement of Axlebox Vibration.

¹²⁹ Mauz, (2024): Die direkte fahrzeugseitige Messung der akustischen Schienenrauheit.

¹³⁰ Mauz, Wigger, Griesbaum et al. (2023): Acoustic Roughness Measurement of Railway Tracks: Running Surface Detection and Compensation of Lateral Movements for Optical Measurements on a Train; Mauz, Wigger, Wahl et al. (2022): Acoustic Roughness Measurement of Railway Tracks: Implementation of a Chord-Based Optical Measurement System on a Train.

bei der Bestimmung der Schienenrauheit (Toleranz von wenigen Dezibel im Vergleich mit direkten Rauheitsmessungen) gekoppelt werden. Im Rahmen dessen sollten auch mögliche Erprobungsergebnisse der SBB des optischen Messverfahrens berücksichtigt werden.

3.2.2.2 Techniken und Strategien der Schienenbearbeitung

Zur Sicherstellung einer „glatten Schiene“ muss auch die Schienenbearbeitung geregelt werden. Schienen müssen in unterschiedlichen Intervallen in Abhängigkeit der Belastung, etwaiger Schienenfehler (etwa Head Checks, Riffel oder Squats) sowie einer Zielstellung (beispielsweise einer besonders niedrigen Schienenrauheit) bearbeitet werden. Das Bearbeiten von Schienen umfasst technische Vorgänge wie Fräsen, Hobeln oder Schleifen. Die Wahl der Vorgehensweise hängt stark von der Situation ab, etwa ob Schäden bearbeitet werden müssen, die einige Millimeter in den Schienenkopf hineinreichen und daher das gröbere Fräsen oder Hobeln erfordern, oder ob lediglich die oberste Materialschicht im Bereich unter einem Millimeter abgetragen werden soll, so dass das feinere Schleifen ausreichend ist und vordergründig eine niedrige Schienenrauheit das Ziel ist.

Verfahren der Schienenbearbeitung

Die unterschiedlichen technischen Verfahren der Bearbeitung sollen hier kurz vorgestellt werden. Für die technischen Vorgänge bieten verschiedene Hersteller unterschiedliche Spezialfahrzeuge an. Die Darstellung basiert vor allem auf einer Studie der TU Berlin von 2016¹³¹ und wird durch weitere Veröffentlichungen ergänzt.

Für einen großen Materialabtrag (im Bereich bis zu einigen Millimetern) sind rotierendes Schleifen mit großem Vorschub und Schienenfräsen die eingesetzten Verfahren. Bei beiden Verfahren ist aufgrund der niedrigen Bearbeitungsgeschwindigkeit eine Streckensperrung notwendig (alternativ in der Betriebspause). Bei beiden Verfahren ist ein anschließendes Glattschleifen nötig, um nach dem Schleifen/Fräsen verbleibende Welligkeiten in der Oberfläche auszugleichen.

Die Verfahren des Schleifens werden unterteilt in oszillierendes Schleifen, rotierendes Schleifen und Hochgeschwindigkeitsschleifen (High Speed Grinding – HSG). Beim oszillierenden Schleifen ist der Materialabtrag sehr gering (unter 0,1 mm pro Überfahrt). Das oszillierende Schleifen ist für die Herstellung eines „büG“ sehr geeignet, da es das glatteste Schleifbild herstellen kann.¹³² Das rotierende Schleifen stellt bei geringem Vorschub ebenfalls ein glattes Schleifbild her, weist aber quer zur Bearbeitungsrichtung auftretende Bearbeitungsmarken auf. Für die Herstellung eines „büG“ muss daher im Anschluss an das rotierende Schleifen noch ein Bandschleifen erfolgen (sogenanntes „Two-Pass-Grinding“).¹³³ Beide Schleifverfahren werden bei sehr geringen Arbeitsgeschwindigkeiten (unter 1 km/h) durchgeführt, sodass Streckensperrungen oder Betriebspausen notwendig sind.

Das Hochgeschwindigkeitsschleifen ist eine Technologie, bei der mit Betriebsgeschwindigkeiten von bis zu 80 km/h gearbeitet werden kann. Der Materialabtrag liegt im Bereich von 0,1 mm, und es lässt sich ein glattes Schleifbild herstellen. In Rahmen eines Projektes der DB Netz AG konnte 2012 nachgewiesen werden, dass sich mit dem Hochgeschwindigkeitsschleifen im zeitlichen Mittel ein Grundwert entsprechend dem „büG“ herstellen lässt und eine

¹³¹ Hecht et al. (2016): Studie zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schienenbearbeitung und Lärmemissionen.

¹³² Auer, Wöhhart (2015): Oszillierendes Schleifverfahren als Teil einer nachhaltigen Instandhaltungsstrategie.

¹³³ Hartleben (2010): Präventives Schienenschleifen – Mittel zur Lärmreduzierung.

grundsätzliche Anerkennung des Hochgeschwindigkeitsschleifens in den Berechnungen nach Schall 03 möglich ist.¹³⁴

Instandhaltungsstrategien

Die Schienenbearbeitung ist mit der Instandhaltungsstrategie verknüpft. Dabei lassen sich nach Schöch vordergründig zwei Strategien unterscheiden: eine korrektive und eine präventive.¹³⁵ Bei der korrektiven Aktion wird ein Zustand erst korrigiert, wenn Fehler (oder Überschreitungen von Grenzwerten) festgestellt wurden. Bei der präventiven Aktion findet die Bearbeitung bereits statt, bevor eine starke Schädigung erreicht wurde, mit entsprechend angepassten Grenzwerten oder zeitlichen Intervallen. Infolge verbesserter Überwachungsmöglichkeiten und stärkerem Verständnis der Verschleißprozesse sowie der Entstehung von Schienenfehlern hat sich zunehmend die präventive Instandhaltung durchgesetzt. Diese ist im Regelfall deutlich wirtschaftlicher und auch akustisch günstiger.

Bei einer präventiven Instandhaltung kann die Lebensdauer der Schiene deutlich verlängert werden. Hartleben beschreibt dies beispielhaft für das Risswachstum.¹³⁶ Wird ein Risswachstum im Schienenkopf nicht rechtzeitig erkannt, so muss die Schiene ab einer bestimmten Risttiefe ausgetauscht werden. Die Liegedauer der Schienen kann stark verlängert werden, wenn bei geringen Risttiefen die Schienen bereits präventiv in der obersten Schicht geschliffen werden. Die Schienenbearbeitungsstrategie kann auch einen Einfluss auf die akustische Schallabstrahlung der Schiene haben. Dies wird etwa von Streblow skizziert.¹³⁷ Mit der präventiven Instandhaltung kann die Schallabstrahlung auf einem im Durchschnitt niedrigeren Niveau gehalten werden als mit der korrektiven. Zur Sicherstellung einer „glatten Schiene“ sollte daher auf eine präventive Instandhaltungsstrategie abgestellt werden.

Schienenbearbeitung beim „büG“

Im Mittel soll ein als „büG“ ausgewiesenes Gleis einen mit dem Schallmesswagen ermittelten Wert von 48 dB einhalten. Um dies sicherzustellen, wurden Auslöse- und Eingriffsschwellen definiert. In Abbildung 14 ist diese Vorgehensweise dargestellt. Da die Eingriffsschwelle von 51 dB dem durchschnittlichen Schienenzustand von 1990 (wie in der Schall 03 definiert) entspricht, ist das „büG“ stets akustisch günstiger als dieser Referenzwert.¹³⁸

¹³⁴ DB Netz AG (2012): Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg.

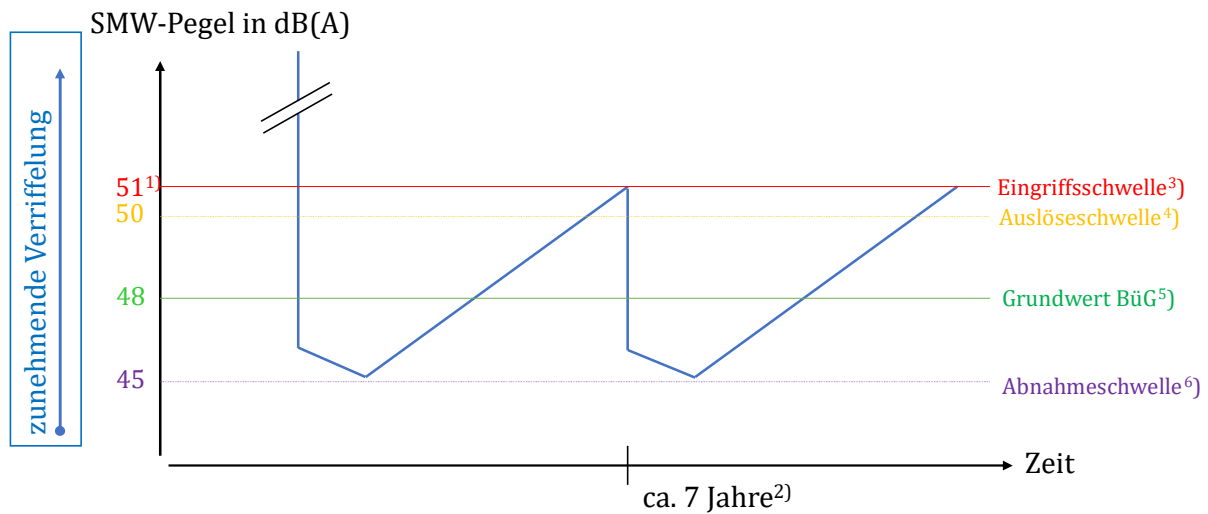
¹³⁵ Schöch (2008): Schienenpflege – Entwicklung, Beispiele, strategische Ausrichtung.

¹³⁶ Hartleben (2010): Präventives Schienenschleifen – Mittel zur Lärmreduzierung.

¹³⁷ Streblow (2015): Möglichkeiten und Grenzen in der präventiven Schienenbearbeitung.

¹³⁸ Es sei angemerkt, dass der heutige durchschnittliche Schienenzustand besser ist als 1990, siehe Beginn des Abschnitts 3.2.2 sowie Abbildung 12. Aus diesem Grund sind „büG“-Strecken nicht mehr zu jedem Zeitpunkt akustisch günstiger als der aktuelle durchschnittliche Schienenzustand.

Abbildung 14: Graphische Darstellung der Messwerte des Schallmesswagens über die Zeit beim „büG“



- 1) 51 dB(A) = durchschnittlicher Schienenzustand nach Schall03 (1990); entspricht +3 dB der SMW – Anzeige
- 2) Im Mittel 0,7 – 0,8 dB(A) Anstieg pro Jahr.
- 3) Bei Regelüberwachung der BüG-Abschnitte mit dem SMW
- 4) Bei Regelüberwachung der BüG-Abschnitte mit dem SMW
- 5) Der Grundwert ist aufgrund der Planfeststellung zu garantieren
- 6) Bei Null-/Erstmessung mit dem SMW

Quelle: Schnecker, DB Netz AG (2022): Instandhaltung von Schienen durch Schienenbearbeitung. Darstellung bearbeitet.

Für das „büG“ sind in der Schall 03, Gliederungspunkt 4.5, die Anforderungen an das Schleifverfahren definiert. So gilt ein „büG“-Gleis nach dem akustischen Schleifen als abgenommen, „wenn es mit den für das „büG“-Schleifen anerkannten Verfahren Verfügung Pr.1110 Rap/Rau 98 vom 16.3.1998 (VkB. 1998, Heft 7, S. 262, lfd. Nr. 74) bearbeitet wurde“. Dabei sind zwei Verfahren möglich: entweder das oszillierende Schleifen (nach vorherigem Fräsen/Hobeln) oder das rotierende Schleifen mit dem anschließenden Bandschleifen. Dabei kommt aktuell lediglich das oszillierende Schleifen durch den Schleifwagen GWM 550 zur Anwendung, mit einer Schleifleistung von 120 Schichten pro Jahr.¹³⁹ Die Gutachter*innen sehen eine Ausweitung auf bis zu 200 Schichten im Jahr als realistisch an.

Alternativ ist an gleicher Stelle der Schall 03 seit 2014 geregelt: „Das akustische Schleifen kann entfallen, wenn durch geeignete Schleifverfahren wie z. B. das Hochgeschwindigkeitsschleifen nachgewiesen wird, dass der durch den SMW angezeigte Messwert kleiner als +1 dB ist.“ Dass dies für das Hochgeschwindigkeitsschleifen grundsätzlich möglich ist, wurde bereits 2012 gezeigt.¹⁴⁰ Aktuell gibt es jedoch kein Hochgeschwindigkeitsschleifen am Markt, welches die entsprechende Zulassung durch das EBA aufweist.¹⁴¹

Schlussfolgerungen für eine künftige Regelung

Die technischen Verfahren zur Sicherstellung einer „glatten Schiene“ in weiten Teilen des Netzes können sich an den heutigen Verfahren für das „büG“ orientieren, sodass dieselben Schleifverfahren genutzt werden sollten. Somit kommen das oszillierende Schleifen (mit vorherigem

¹³⁹ Die Daten wurden den Gutachter*innen von der DB InfraGO AG in einer Mail vom 10.09.2024 übermittelt.

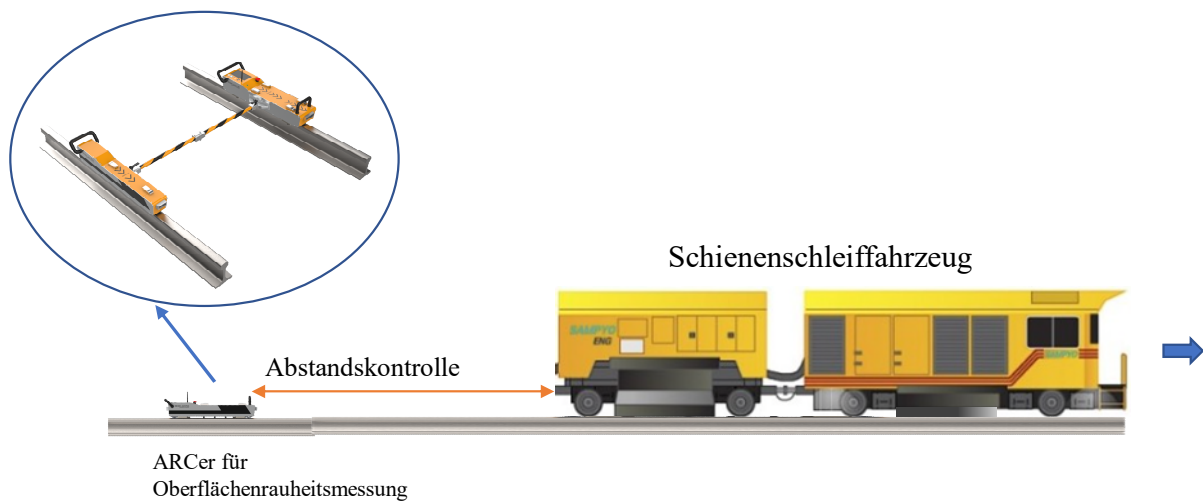
¹⁴⁰ DB Netz AG (2012): Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg.

¹⁴¹ DB Netz AG (2020b): Initiative Lärmschutz-Erprobung neu und anwendungsorientiert (I-LENA). Dabei ist es wahrscheinlich (aufgrund der Bilder der Fahrzeuge), dass bei beiden Untersuchungen verschiedene Fahrzeuge getestet wurden, sodass die unterschiedlichen Ergebnisse erklärbar sind. Jedoch ist nach Auskunft der DB InfraGO aktuell kein sogenanntes Hochgeschwindigkeitsschleifen für das „büG“-Verfahren zugelassen (Schriftliche Mitteilung der DB InfraGO AG vom 10.09.2024).

Fräsen/Hobeln), das rotierende Schleifen mit dem anschließenden Bandschleifen und das Hochgeschwindigkeitsschleifen in Frage.

Bei einer rechtlichen Verankerung einer „glatten Schiene“ sollte eine präventive Instandhaltungsstrategie favorisiert werden, die dann auch für das „büG“ ermöglicht werden sollte. Dies würde ein im Mittel günstigeres akustisches Verhalten des Gleises bewirken. Es ist ebenfalls zu empfehlen, eine Nachkontrolle der Schienenrauheit nach dem Schleifen vorzunehmen. Dies könnte etwa durch ein fahrbares System zur direkten Messung der Schienenrauheit im Anschluss an das Schleifen (und entsprechendem Abkühlen der Schienen) erfolgen. Dies ist in einer Konzeptskizze in Abbildung 15 dargestellt. Sollte sich zeigen, dass die Schleifergebnisse hinsichtlich der Schienenrauheit stets sehr ähnlich sind, kann auch eine seltenere Nachkontrolle zur Qualitätsprüfung erfolgen.

Abbildung 15: Konzeptskizze für die direkte Nachkontrolle des Schleifvorgangs hinsichtlich der zu erzielenden Schienenrauheit.



Quelle: Die Gutachter*innen haben die Darstellung per Mail am 02.02.2024 von Automatic Rail Checker ACR von KRRI, Korean Railway Research Institute erhalten; bearbeitete Abbildung.

3.2.2.3 Beseitigung von Unregelmäßigkeiten des Fahrwegs

Neben der Schienenrauigkeit, die das Rollgeräusch mitbestimmt, können Unregelmäßigkeiten des Fahrwegs zu impulshaltigen Schallereignissen führen.

Schienenstöße können zu Unstetigkeiten der Fahrfläche führen. Der Schienenstoß bezeichnet den Übergang, bzw. die Verbindung zweier Schienenenden.¹⁴² In früheren Zeiten wurden beim Zusammenfügen der Schienen Lücken für die Wärmeausdehnung gelassen und die Schienen mit Laschen zusammengeschrubt (Stoßlückengleis).¹⁴³ Seit 1954 ist die Regelbauart in der Bundesrepublik Deutschland, die Schienen zu einem lückenlosen Gleis zu verschweißen.¹⁴⁴ Der Schienenstoß mit Lücke wird aus diesem Grund nur noch temporär bei schweißungünstigen Bedingungen (insbesondere im Hochsommer bei einer zu hohen Schientemperatur) und permanent als sog. Isolierstoß¹⁴⁵ verwendet. Neben solchen Lücken kommt es zu impulsartigen Schallereignissen auch infolge von Unregelmäßigkeiten bei Schienenschweißstellen.

¹⁴² Edel, Budnitzki, Schnitzer (2021): Schienenfehler 1.

¹⁴³ Pospischil (2017): Längsverschweißtes Gleis im engen Bogen – Eine Betrachtung der Gleislagestabilität.

¹⁴⁴ Wenner et al. (2016): Längskraftabtragung auf Eisenbahnbrücken.

¹⁴⁵ Ein Isolierstoß beschreibt einen Schienenstoß bei dem zwei benachbarte Schienen mechanisch verbunden sind und gleichzeitig elektrisch isoliert wurden. Lichtberger (2010): Handbuch Gleis, S. 398.

Auch sogenannte Schlammstellen, in deren Bereich zumeist Gleislagefehler in der Längshöhe auftreten, können zu impulsartigen Schallereignissen führen. Schlammstellen entstehen an Stellen an denen der Abfluss von Oberflächenwasser verhindert ist, sodass ein zunehmendes Durchweichen des Untergrundes stattfindet.¹⁴⁶ In der Folge kann es bei einer Überfahrt eines Zuges zu einem schlagenden Geräusch kommen, da das Gleis in den Schotter gedrückt wird. Nach Angaben der DB InfraGO treten jährlich ca. 300 Gleislagefehler auf, die den Schlammstellen zugeordnet werden.¹⁴⁷

Demnach treten die genannten Unregelmäßigkeiten der Fahrfläche – Schlammstellen, Unregelmäßigkeiten bei Schienenschweißstellen und Schienenstöße mit Lücke – nicht besonders häufig im Netz auf, können sich jedoch im Falle des Auftretens besonders störend auf die Anwohner auswirken. Ihre Detektion und Beseitigung sollten daher keine besonders hohen Kosten zur Folge haben.

3.2.3 Maßnahmen zur Steigerung der Gleisabklingrate

Die Schallemission, die von der Interaktion zwischen Fahrzeug und Gleis erzeugt wird, ist nicht allein von den Rauheiten von Rad und Schiene bestimmt, sondern hängt streckenseitig auch von weiteren Eigenschaften des Gleises ab. Eine zentrale Rolle spielt hierbei die sogenannte Gleisabklingrate der Schiene, die möglichst hoch sein sollte, um die Schallabstrahlung der Schiene zu verringern. Um diese und die Möglichkeiten sie zu erhöhen zu verstehen, wird zunächst ein Blick auf die übergeordnete Eigenschaft der Oberbauelastizität geworfen.

Bei der Überfahrt eines Zuges über den Fahrweg kommt es zu erheblichen statischen, quasistatischen und dynamischen Belastungen. Diese Belastungen hängen etwa mit der Achsfolge des Fahrzeugs und den entsprechenden Achslasten und Kräften aufgrund von Unebenheiten zwischen Rad und Schiene zusammen. Im Weiteren wird nicht detailliert auf die Beanspruchung und Auslegung des Fahrwegs eingegangen, sondern sich auf die für das Gutachten relevanten Teile des Oberbaus beschränkt.¹⁴⁸ Festzuhalten ist, dass es verschiedene Anforderungen an den Fahrweg gibt. Diese betreffen die Sicherheit (Vermeidung von Entgleisung, bspw. durch ausreichenden Querverschiebewiderstand), den Fahrkomfort (Vermeidung von für die Fahrzeuge ungünstigen Anregungen), den Verschleiß von Fahrzeug und insbesondere Oberbau (Instandhaltung, Lebenszykluskosten), die Kosten der Erstellung sowie die Entstehung von Erschütterungen und Geräuschen. Diese verschiedenen Anforderungen werden bei der Gestaltung des Oberbaus unterschiedlich stark adressiert und berücksichtigt. Bei den sicherheitsrelevanten Anforderungen können jedoch keine Abstriche gemacht werden.

Der Lastabtrag über die verschiedenen Komponenten des Gleises sollte möglichst flächig und nicht punktuell erfolgen. Dafür ist es erforderlich, eine bestimmte Schienenabsenkung unter Last zu ermöglichen. Die erforderliche Schienenabsenkung wird in der Literatur zwischen 1,0 und 1,5 mm angegeben.¹⁴⁹ Ein Teil dieser Einsenkung wird durch den Untergrund sowie Unterbau erreicht, ein relevanter Anteil muss jedoch im Oberbau erbracht werden, wofür eine entsprechende Oberbauelastizität notwendig ist.

Der Oberbau besteht aus dem Gleis und der Gleisbettung. Bei Schotteroberbau besteht das Gleis aus den Schienen, den Schienenbefestigungen und den Schwellen, während die Gleisbettung aus

¹⁴⁶ DB InfraGO (2024): Innovative Bauverfahren für Schlammstellen – Anlage zur Markterkundung.

¹⁴⁷ Antwort der DB InfraGO AG auf eine Mail mit Antwort am 13.06.2024.

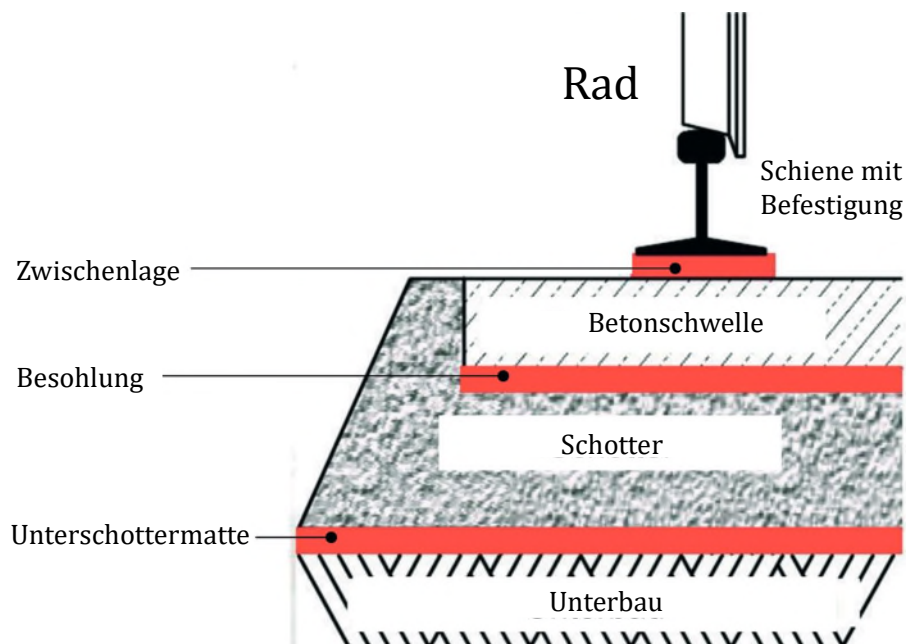
¹⁴⁸ Weitergehende Informationen zur Auslegung des Fahrwegs finden sich in Lichtberger (2010): Handbuch Gleis, Kapitel 9.

¹⁴⁹ BAFU, BAV (2021): Vergleich Zwischenlagen für Betonschwellen Analysebericht, S. 7.

dem Schotter besteht.¹⁵⁰ Im Weiteren wird sich auf den Schotteroberbau konzentriert, da dieser im Gegensatz zur festen Fahrbahn die mit Abstand am meisten eingesetzte Oberbauart in Deutschland ist.

Im Schotteroberbau kann durch drei Komponenten eine zusätzliche Elastizität in den Oberbau eingebracht werden. Diese sind in Abbildung 16 rot dargestellt. Für die Gesamtelastizität des Oberbaus kann die Elastizität an allein drei Komponenten eingebracht werden. Die Standardkomponente zum Einbringen von Elastizität ist die Zwischenlage, welche sich an der Anbindung von der Schiene zur Schwelle befindet und von hart bis sehr weich gewählt werden kann. Die Zwischenlage wird in Abschnitt 3.2.3.1 detailliert vorgestellt und in ihren akustischen Implikationen diskutiert. Darüber hinaus kann eine Schwellenbesohlung genutzt werden, die in Abschnitt 3.2.3.2 angesprochen wird. Vereinzelt werden oder wurden auch Unterschottermatten genutzt, welche wie die Schwellenbesohlung stark gegen Erschütterungen wirken. Da Unterschottermatten vor allem bei Neubau- oder Erneuerungsmaßnahmen im Bereich von Kunstbauwerken (z.B. Brücken, Tunnel, Trogbauwerke) und zur Erschütterungsvermeidung genutzt werden und eine sehr kostenintensive Maßnahme darstellen, werden sie im Weiteren nicht betrachtet.¹⁵¹

Abbildung 16: Mögliche Anordnung elastischer Komponenten im Schotteroberbau



Quelle: Bearbeitete Abbildung aus Beck, Kleiner (2014): Elastische Komponenten für den Oberbau 2020, S. 6.

3.2.3.1 Zwischenlagen

Die zwischen Schiene und Schwelle angebrachten, zwischen 5 und 10 mm dicken Zwischenlagen beeinflussen die sogenannte Gleisabklingrate, die beschreibt, wie schnell eine Schwingung der Schiene entlang der Schienenlänge abklingt. Die Gleisabklingrate sollte möglichst hoch sein, damit die Schallemission der Schiene schnell abgebaut wird. Um dies zu erzielen, sollte die Zwischenlage aus akustischer Sicht eine hohe Dämpfung aufweisen. Dies steht allerdings in einem Spannungsverhältnis zum eigentlichen Zweck der Zwischenlage, zur Elastizität des Oberbaus beizutragen.

¹⁵⁰ Lichtberger (2022): Das Große Handbuch der Gleisstandhaltung, S. 87–89.

¹⁵¹ Beck, Kleinert (2014): Elastische Komponenten für den Oberbau 2020.

In der DB Richtlinie 820.2010, welche den „Ausrüstungsstandard Schotteroberbau für Gleise und Weichen“ definiert, wird für den Schotteroberbau eine Zwischenlage gefordert.¹⁵² Die konkrete Anforderung an die Zwischenlage unterscheidet sich vordergründig nach der Gleisbelastung pro Tag (10.000 Lasttonnen, zwischen 10.000 und 30.000 Lasttonnen, über 30.000 Lasttonnen), der Einbausituation (Gerade, Weiche oder Bogen), dem Schientyp, dem Schwellentyp und insbesondere der Höchstgeschwindigkeit der Strecke (bis 120 km/h, bis 160 km/h, bis 230 km/h, sowie über 230 km/h). Die Richtlinie unterliegt wiederholt Änderungen, sodass sich die Anforderung an die Zwischenlagen mit der Zeit verändern.¹⁵³

Es werden vordergründig vier Arten von Zwischenlagen eingesetzt: Zw 686a/687a, Zw 700, Zw 900 und Zw 1000. Dabei charakterisiert die Zahl im Namen die Dicke der Zwischenlagen. Üblicherweise werden die dickeren Zwischenlagen elastischer (d. h. weicher) ausgelegt. Bei der akustischen Bewertung der Zwischenlagen anhand ihrer Elastizität spielt die statische und die dynamische Federkennziffer (im niederfrequenten Bereich) die relevante Größe. Die Dicke und die statischen sowie dynamischen Kennziffern der genannten Zwischenlagen sind in Tabelle 1 dargestellt. Diese Zahlen beruhen auf einem Stand von Mai 2014, die Gutachter*innen gehen davon aus, dass sich die dynamischen und statischen Eigenschaften der Zwischenlagen im Einsatz der DB InfraGO seitdem nicht geändert haben.¹⁵⁴

Tabelle 1: Technische Daten von Zwischenlagen mit Stand von 05/2014

Zwischenlage	Statische Federziffer [kN/mm]	Dynamische Federziffer [kN/mm] (niederfrequent)	Dicke [mm]
Zw 687a (hart)	600		6
Zw 700 (elastisch)	60	90	7
Zw 900 (elastisch)	60	90	9
Zw 1000 (hochelastisch)	40	60	10

Quelle: Beck, Kleiner (2014): Elastische Komponenten für den Oberbau 2020, S. 7.

Die konkrete Verteilung der Zwischenlagen im Netz ist den Gutachter*innen und der DB InfraGO nicht bekannt. Die Gutachter*innen gehen davon aus, dass der Einbau entsprechender Zwischenlagen stets gemäß Richtlinie 820.2010 erfolgt ist oder im Zweifel bei einem Umbau erfolgen wird. Vereinfachend kann gesagt werden, dass bis 160 km/h die harten Zwischenlagen, ab 160 km/h die elastischen Zwischenlagen und ab 230 km/h die hochelastischen Zwischenlagen eingesetzt werden.¹⁵⁵

Der Einsatz elastischer und hochelastischer Zwischenlagen hat sich seit den 1990er Jahren ausgebreitet, um eine bessere Verteilung der Radsatzlasten über die Länge der Schiene, eine Verringerung der Stützpunktkräfte samt Beanspruchung des Schotters, und eine Verringerung der Rad-Schiene-Kontaktkräfte zu erreichen. Im Rahmen von Untersuchungen in den 2000er Jahren wurde eine neue Schienenbefestigung samt hochelastischer Zwischenlage (Zw 1000)

¹⁵² Die DB Richtlinie 820.2010 gilt bei der DB InfraGO für Gleise und Weichen, die mit Radsatzlasten bis 22,5 Tonnen befahren werden, für die Fälle von Neubau, Erneuerung/Auswechslung (auch einzelner Oberbaukomponenten) und einer Heraufsetzung der zulässigen Geschwindigkeit. Für den 1:1 Ausbau einzelner Oberbaukomponenten gilt die Richtlinie nicht.

¹⁵³ Beck, Kleinert (2014): Elastische Komponenten für den Oberbau 2020; DB Richtlinie 820.2010.

¹⁵⁴ Dies kann für die Zw 900 auch aus Ergebnissen von Frank et al. (2023) geschlossen werden. Siehe Frank et al. (2023): Einfluss akustisch optimierter Zwischenlagen auf das Rollgeräusch von Zügen – Ergebnisse aus den UIC Projekt LOWNOISEPAD, S. 188.

¹⁵⁵ In Weichenbereichen soll bereits ab 160 km/h die Zw 1000 genutzt werden.

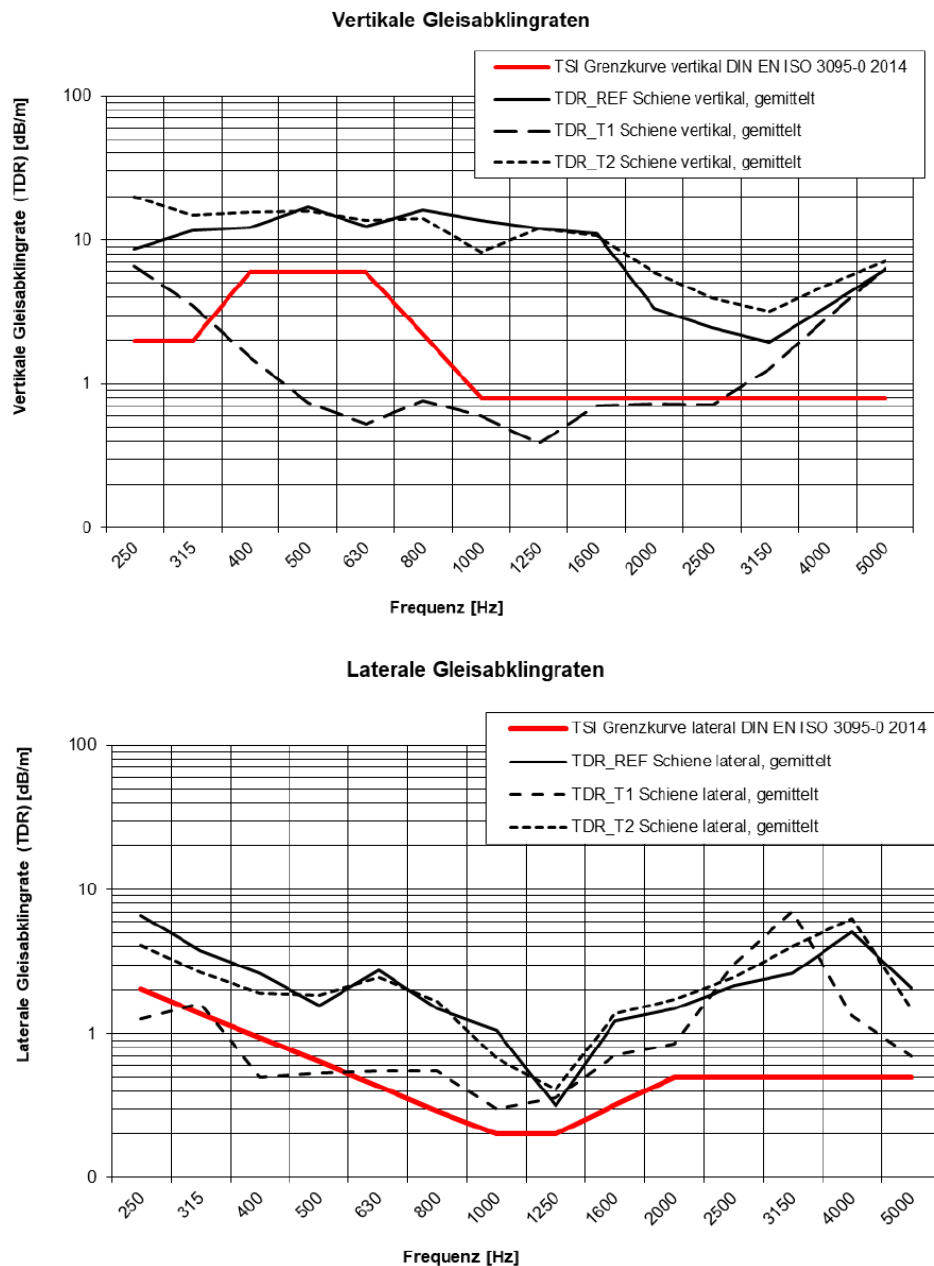
eingeführt, welche das Langzeitverhalten des Schotteroberbaus verbessern und für eine bessere Gleislagebeständigkeit sorgen soll.¹⁵⁶

Ein akustischer Nachteil der elastischeren Zwischenlagen liegt in der weicheren Anbindung der Schiene an die Schwelle. Harte Zwischenlagen binden die Schiene stärker an die Schwellen, sodass die Schiene nach Anregung weniger frei schwingen kann. Dies führt im Regelfall (gute Qualität des Oberbaus und entsprechender Komponenten vorausgesetzt) zu einer hohen Gleisabklingrate, sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung. Bei elastischen Zwischenlagen kommt es hingegen zu einer stärkeren Entkopplung der Schiene von der Schwelle. Die Schiene schwingt bei entsprechender Anregung freier und strahlt über eine größere Länge Schall ab. In diesem Fall ist die Gleisabklingrate geringer.

Dies ist exemplarisch in Abbildung 17 dargestellt. In der oberen Grafik ist die vertikale, in der unteren die horizontale Gleisabklingrate dargestellt. Diese beschreiben jeweils das Abklingen einer Schwingung der Schiene pro Meter Abstand zum Anregungsort für verschiedene Frequenzbänder. Die Messungen wurden auf Schotteroberbau mit 60 E2 Schienen und B70 Betonschwellen durchgeführt. Die rot eingezeichnete Linie stellt die Anforderungen für Fahrzeugzulassungsmessungen nach TSI Noise dar (definiert in der DIN EN ISO 3095:2014), welche für Zulassungsmessungen nicht unterschritten werden dürfen. In schwarz durchgezogen ist die Gleisabklingrate für einen Gleisabschnitt mit harter Zwischenlage (TDR_REF, Zw 687a) gezeigt; diese ist also besser als in der DIN EN ISO 3095:2014 gefordert. In schwarz gestrichelt, lange Striche ist die Gleisabklingrate für einen Gleisabschnitt mit elastischer Zwischenlage (TDR_T1, Zw 900), gezeigt. Daran kann exemplarisch der Effekt der elastischen Zwischenlage gezeigt werden: In weiten Frequenzbereichen kommt es zu einer deutlich schwächeren Dämpfung einer Schwingung der Schiene als mit der harten Zwischenlage. Die Schallabstrahlung der Schiene würde sich bei einer Zugvorbeifahrt erhöhen, da die Schwingung der Schiene weniger stark abklingt. Das gilt insbesondere für die vertikale Gleisabklingrate, die auch deutlich unter der Grenzkurve der DIN EN ISO 3095:2014 liegt.

¹⁵⁶ Beck, Kleinert (2014): Elastische Komponenten für den Oberbau 2020, S. 7.

Abbildung 17: Vertikale und horizontale (auch: laterale) Gleisabklingrate verschiedener Zwischenlagen



Quelle: Frank et al. (2023): Einfluss akustisch optimierter Zwischenlagen auf das Rollgeräusch von Zügen – Ergebnisse aus den UIC Projekt LOWNOISEPAD, S. 191.

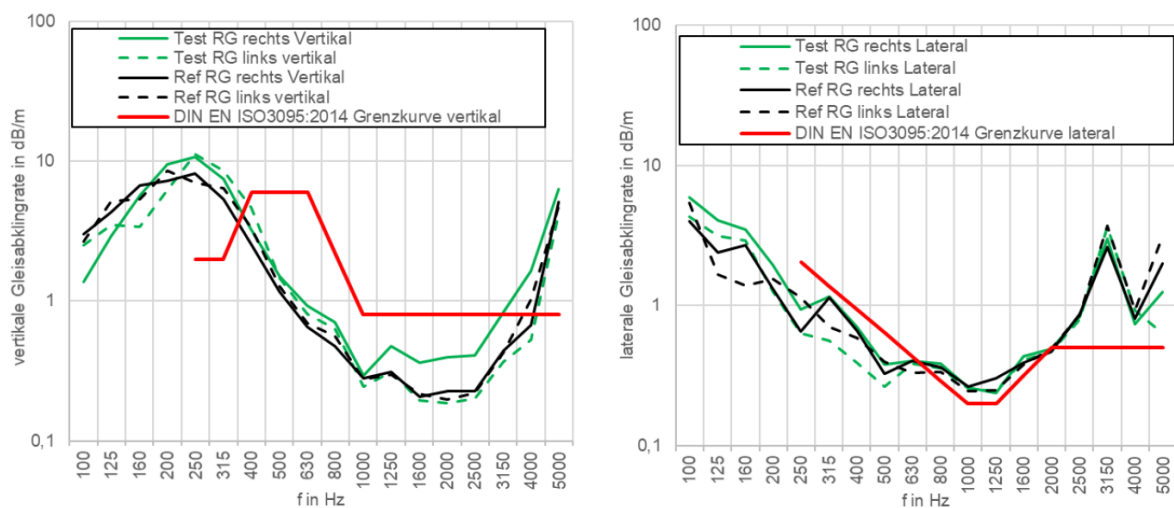
In schwarz gestrichelt, kurze Striche, ist die Gleisabklingrate für einen Gleisabschnitt mit einer neu entwickelten hochdämpfenden Zwischenlage (TDR_T2) dargestellt. Die später in diesem Abschnitt vorgestellte hochdämpfende Zwischenlage erzielt Gleisabklingraten, die mit der akustisch günstigen harten Zwischenlage vergleichbar sind.

Wie stark sich die Gleisabklingraten unterscheiden (und ggf. oberhalb der DIN EN ISO 3095:2014 Vorgaben liegen) und wie sich dies auf den Gesamt-Vorbeifahrtpegel eines Fahrzeugs auswirkt, hängt sehr stark von der Anregung des Fahrzeugs und dem Zustand des Oberbaus ab. Bei vergleichenden Messungen der Vorbeifahrtpegel an Strecken wurde eine Erhöhung des Pegels um 2 bis 4 dB(A) aufgrund der elastischen Zwischenlagen festgestellt (im Vergleich mit

harten Zwischenlagen).¹⁵⁷ Verglichen wurden Zwischenlagen mit einer statischen Steifigkeit von 100 kN/mm und >600 kN/mm. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, sind die Zw 900 und Zw 1000 mit 60 kN/mm bzw. 40 kN/mm noch elastischer als die dort betrachteten elastischen Zwischenlagen, sodass der Unterschied zur harten Zwischenlage mindestens genau so groß sein dürfte.

Messungen der Gleisabklingrate durch das DZSF im LärmLab als Teilabschnitt des Offenen Digitalen Testfelds auf einem Schotteroberbau mit der elastischen Zwischenlage Zw 900 zeigten, dass die vertikale Gleisabklingrate dort für den Frequenzbereich von 400 Hz bis 4000 Hz teils deutlich unter der Grenzkurve nach DIN EN ISO 3095:2014 lag. Für die laterale Gleisabklingrate wurden die Anforderungen unter 630 Hz nicht erreicht. Dies ist in Abbildung 18 ersichtlich. Die Autorinnen schlussfolgern, dass der Gleisabschnitt zur Untersuchung von Schallschutzmaßnahmen an Schienenfahrzeugen nicht geeignet ist, da die Schiene einen zu hohen Beitrag am Rollgeräusch hat.¹⁵⁸

Abbildung 18: Vertikale und horizontale (auch: laterale) Gleisabklingrate der elastischen Zwischenlage



Horizontale Achse: Frequenz in Herz. Linke Abbildung für die vertikale, rechte für die laterale Gleisabklingrate. Rot jeweils die Grenzkurve nach DIN EN ISO 3095:2014, grün für ein Testgleis und schwarz für das Referenzgleis. Quelle: DZSF (2023): Eisenbahnakustik am Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung – Ein Ausblick, S. 44.

Entwicklung hochdämpfender Zwischenlagen

Der negative akustische Effekt der elastischen Zwischenlagen wurde auch seitens einzelner Forschungsgeber und Infrastrukturbetreiber erkannt. So wurden in der Schweiz wiederholt Projekte verschiedener Hersteller für die Entwicklung einer sogenannten hochdämpfenden Zwischenlage gefördert.¹⁵⁹ Darüber hinaus gab es mit dem UIC Projekt LOWNOISEPAD auf europäischer Ebene eine Untersuchung der akustischen Effekte solcher geräuschoptimierter Zwischenlagen, die von verschiedenen Infrastrukturbetreibern getestet wurden.¹⁶⁰

Ziel der Bestrebungen in der Schweiz ist die Entwicklung einer Zwischenlage, welche in Abhängigkeit der Frequenz unterschiedliche Steifigkeiten und Dämpfungseigenschaften aufweist. Damit soll sowohl der Verschleiß des Oberbaus (insbesondere des Schotters) als auch die akustische Schallabstrahlung geringgehalten werden. Aufgrund der dynamischen

¹⁵⁷ PROSE AG (2020): Akustisch optimierte Zwischenlage, S. 7.

¹⁵⁸ DZSF (2023): Eisenbahnakustik am Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung – Ein Ausblick, S. 44.

¹⁵⁹ Siehe bspw. Lärmforschung Eisenbahn (o. D.): Freie Strecke. Schiene.

¹⁶⁰ UIC (o. D.): Lownoise pad. Low cost noise control by optimised rail pad.

Einwirkungen einer Zugüberfahrt (mit Anregungen im Bereich von 5 Hz bis 30 Hz – in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Achsverteilung) ist im unteren Frequenzbereich die dynamische Steifigkeit von besonderer Relevanz. Dieser Frequenzbereich beeinflusst auch stark den Verschleiß des Schotters, sodass die Zwischenlage dort möglichst elastisch sein sollte. Im höheren, akustisch relevanteren Frequenzbereich (insb. 500 Hz bis 2000 Hz) sollte die Zwischenlage möglichst hart sein, um die Schiene stark an die Schwelle zu binden, oder zusätzlich dämpfende Eigenschaften aufweisen, um Schwingungsenergie abzubauen.¹⁶¹

Im Rahmen der Entwicklung und Erprobung solcher Zwischenlage wurden akustische Messungen durchgeführt. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Akustisch optimierte Schienenzwischenlage“ wurde durch die Firmen BATEGU und PROSE eine hochdämpfende Zwischenlage entwickelt. Nach Messungen durch PROSE ließ sich für diese ein Minderungseffekt im Vorbeifahrtpegel in der Geraden bei 120 km/h von 3 bis 4 dB(A) gegenüber einer elastischen Zwischenlage (Zw 700 mit 100 kN/mm) nachweisen – mit den stärkeren Minderungen im Sommer. Der Minderungseffekt gegenüber einer harten Zwischenlage (Zw 687a mit 700 kN/mm) betrug je nach Jahreszeit bis zu 1,5 dB(A) (im Sommer). Ferner kommen die Autor*innen nach Laboruntersuchungen zur statischen und niederfrequent dynamischen Steifigkeit sowie ausgewerteten Erprobungsmessungen zu dem Schluss, dass die Eigenschaften hinsichtlich des Verschleißes des Oberbaus dem einer elastischen Zwischenlage ähneln.¹⁶²

Im Rahmen des „Forschungsprojekt hochdämpfende Zwischenlage“ wurde durch die Firma Getzner Werkstoff GmbH eine hochdämpfende Zwischenlage entwickelt, die von KPZ Fahrbahn AG akustisch untersucht wurde. Dabei wurde in der Geraden eine Minderung des Vorbeifahrtpegels (normiert auf 80 km/h) von 2 dB(A) gegenüber einer Zw 700 mit 100 kN/mm nachgewiesen.¹⁶³

Von der Firma Semperit wurde auf der BAFU Bahnlärmforschungs-Tagung 2022 eine statistische Auswertung von 101 Zugvorbeifahrten vorgestellt, mit denen Vergleiche zwischen der SemperSilent Zwischenlage und einer Referenzzwischenlage vorgenommen wurden. Demnach zeigte sich im Mittel bei der SemperSilent Zwischenlage eine Reduktion des Vorbeifahrtgeräuschs um 0,73 dB(A) gegenüber einer harten (also schon akustisch günstigen) Zwischenlage.¹⁶⁴ Die Ergebnisse liegen demnach ungefähr im Bereich der Zwischenlage von BATEGU.

Im Rahmen des UIC-Projektes LOWNOISEPAD wurden in verschiedenen Ländern unterschiedliche Zwischenlagen getestet, welche akustisch günstige Eigenschaften aufweisen sollen. Die Ergebnisse der Untersuchungen in Deutschland wurden etwa in Frank et al. (2023) publiziert.¹⁶⁵ Dort werden Messergebnisse der Gleisabklingrate und der Vorbeifahrtpegel vorgestellt. Es zeigten sich bei den untersuchten hochdämpfenden Zwischenlagen gegenüber einem vergleichbaren Gleisabschnitt mit der elastischen Zwischenlage (Zw 900) Minderungen von 2,9 bis 3,8 dB(A) für Vorbeifahrten von Güterzügen (mit 100 km/h) und verschiedenen Elektrotriebzügen mit 150 bzw. 160 km/h. Die Gleisabklingraten der hochdämpfenden Zwischenlage lagen im Bereich der harten Zwischenlage. Nach dieser Betriebserprobung aus akustischer Perspektive

¹⁶¹ PROSE AG (2020): Akustisch optimierte Zwischenlage, S. 10 f.

¹⁶² PROSE AG (2020): Akustisch optimierte Zwischenlage, S. 49–56.

¹⁶³ BAFU; BAV (2021): Vergleich Zwischenlagen für Betonschwellen Analysebericht, S. 17. Darüber hinaus wird von den Autor*innen eine Korrektur um 1,8 dB vorgenommen, so dass sie auf eine Gesamtminderung von bis zu 3,8 dB Minderung kommen.

¹⁶⁴ Plummer et al. (2022): New Rail Pads for Simultaneous Noise Reduction and Improved Track Superstructure Protection, S. 35 f.

¹⁶⁵ Frank et al. (2023): Einfluss akustisch optimierter Zwischenlagen auf das Rollgeräusch von Zügen – Ergebnisse aus den UIC Projekt LOWNOISEPAD, S. 186–196.

findet aktuell eine Betriebserprobung hinsichtlich der oberbautechnischen Eignung, insbesondere bezüglich des Schutzes der Schienen und des Schotters statt.

Schlussfolgerungen

Die obigen Darstellungen zeigen, dass es durch den Einsatz von elastischen anstelle von harten Zwischenlagen im Schienennetz zu einer erhöhten Schallabstrahlung bei Schottergleisen mit Betonschwellen gekommen ist. Dies betrifft bereits jetzt oder zukünftig alle Strecken mit einer Geschwindigkeit von über 160 km/h. Es kann dabei eine allgemeine Erhöhung der Schallabstrahlung des Gleises von ungefähr 3 dB(A) angenommen werden, die aktuell nicht in entsprechenden Modellierungsrechnungen (bspw. CNOSSOS oder Schall 03) abgebildet ist. Allerdings ist die reale Verteilung der Zwischenlagen im Netz unbekannt.

Durch die Entwicklung von hochdämpfenden Zwischenlagen zeichnet sich eine sehr gute Alternative zum Einsatz der elastischen Zwischenlagen ab. Die hochdämpfenden Zwischenlagen weisen nach Laboruntersuchungen in Hinblick auf den für den Schotterverschleiß relevanten Frequenzbereich vergleichbare Eigenschaften wie elastische Zwischenlagen auf. Gleichzeitig verhalten sie sich im akustisch relevanteren Frequenzbereich eher wie die bisherigen harten (akustisch günstigen) Zwischenlagen. Erprobungsmessungen in der Schweiz sowie eine Betriebserprobung in Deutschland wiesen ein Minderungspotential von bis zu 4 dB(A) gegenüber einer elastischen Zwischenlage auf. Auch gegenüber der harten Zwischenlage scheinen leichte Minderungseffekte möglich.

Die aktuell laufende Betriebserprobung einer hochdämpfenden Zwischenlage im Netz der DB InfraGO hinsichtlich des Oberbauverschleißes wird voraussichtlich noch zwei bis drei Jahre andauern. Sollte diese positiv ausfallen, sollte aus Sicht der Gutachter*innen die hochdämpfende Zwischenlage anstatt der elastischen Zwischenlagen im Netz eingesetzt werden, um eine geringe Schallabstrahlung des Gleises zu erreichen. Bei der Bewertung der Betriebserprobung hinsichtlich des Oberbauverschleißes sollte auch bei einem gegenüber den elastischen Zwischenlagen ungünstigerem Verschleißverhalten überprüft werden, ob nicht dennoch der Einbau einer hochdämpfenden Zwischenlage im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Rechnung wirtschaftlicher ist, da ggf. ansonsten andere Schallschutzmaßnahmen ergriffen werden müssten.

Voraussetzung ist dafür die Aufnahme des akustisch ungünstigen Effektes von den elastischen Zwischenlagen in die Modellierungsverfahren (Schall 03 und CNOSSOS), wobei abhängig von der Höchstgeschwindigkeit der Strecke das Vorhandensein entsprechender Zwischenlagen angenommen werden sollte.

3.2.3.2 Einsatz von Schwellenbesohlung

Schwellenbesohlungen werden eingesetzt, um die Beanspruchung der Schottersteine an der Betonschwelle und auch die Steifigkeit des Oberbaus zu verringern. Sie werden als elastische Unterlagen an der Unterseite der Schwellen befestigt.¹⁶⁶ In Abbildung 19 sind Schwellenbesohlungen in Rot an Betonschwellen auf einem Schotterbett zu sehen.

¹⁶⁶ Conreaux et al. (2023): Stand der Technik zu Erschütterungen und Körperschall auf dem Schweizer Normalspur-Eisenbahnnetz.

Abbildung 19: Schwellenbesohlung (rot) an Betonschwellen auf Schotter



Quelle: Ahac et al. (2010): Experimental investigation of railway track with under sleeper pad, S. 388.

Durch die zusätzliche Elastizität schonen sie den Oberbau und verbessern die Lebensdauer des Gleises, indem sie die statischen und dynamischen Lasten besser auf die Schwellen und den Schotter verteilen und so für einzelne Punkte reduzieren. Bedeutend ist dabei insbesondere die Vermeidung des harten Kontaktes zwischen Betonschwelle und Schotter. Aufgrund des weichen Aufsetzens der Schwelle auf den Schotter kommt es bei der Zugüberfahrt zu einer breiteren Kontaktfläche und einer gleichmäßigeren Beanspruchung des Schotters.¹⁶⁷ Konsequenzen der beschriebenen Effekte sind eine höhere Stabilität des Schotterbetts, weniger Setzungen, ein reduzierter Verschleiß an verschiedenen Komponenten des Oberbaus sowie eine Reduktion der Schlupfwellenbildung.¹⁶⁸ In der DB Richtlinie 820.2010 ist der Einsatz elastischer, besohlter Schwellen im Weichenbereich (in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und Belastung), zur Minderung der Körperschallübertragung (bei entsprechenden Voraussetzungen nach 16. BImSchV) sowie zur Minderung der Schlupfwellenbildung in entsprechenden Gleisbögen vorgesehen. Der Einsatz von Schwellenbesohlung stellt somit nicht den Regelfall im Streckennetz dar.

Insbesondere zur Minderung der Erschütterungen werden Schwellenbesohlungen eingesetzt. Die Effekte auf den abgestrahlten primären Luftschall sind unklar und werden unterschiedlich dargestellt. Herstellerseitig wird etwa von einer Minderung im Frequenzbereich von 50 Hz bis 100 Hz von bis zu 5 dB(A) berichtet, während es oberhalb von 100 Hz zu einer Zunahme um 5 dB(A) kommen soll.¹⁶⁹ Darüber hinaus wird mit einer verbesserten Gleislage und einem geringerem Schotterverschleiß argumentiert, sodass sich im zeitlichen Verlauf weniger Verschlechterungen der akustischen Gleisqualität zeigen dürften. Eine ähnliche Argumentation wird in UBA (2017) verfolgt, wo aus diesem Grund eine Luftschallreduktion von 2 dB(A) angenommen wird.¹⁷⁰

¹⁶⁷ Beck, Kleinert (2014): Elastische Komponenten für den Oberbau 2020, S. 8. Für detailliertere Ausführungen zur Kontaktfläche siehe Conreux et al. (2023): Stand der Technik zu Erschütterungen und Körperschall auf dem Schweizer Normalspur-Eisenbahnnetz, S. 84.

¹⁶⁸ Siehe dazu: Auer, Schilder (2009): Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung – Teil 1: Langzeiterfahrungen im Netz der ÖBB; Marschnig, Berghold (2011): Besohlte Schwellen im netzweiten Einsatz, S. 12.

¹⁶⁹ Loy, Augustin (2015): Schwellenbesohlungen zur Schwingungsreduktion Wirkungsweise und Erfahrungen. Es ist wichtig anzumerken, dass die entsprechend geminderten Frequenzbereich auch von der konkreten Auslegung der Schwellenbesohlung abhängen, da diese mit dem Gleis ein Feder-Masse-System bilden, was entsprechend der Zielgrößen abgestimmt werden muss.

¹⁷⁰ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 106 f.

Zu anderen Ergebnissen kommen verschiedene Messungen und Untersuchungen in der Schweiz. Eine zusammenfassende Darstellung in Conreaux et al. (2023) gibt u. a. einen Überblick über verschiedene Messungen in der Schweiz.¹⁷¹ Demnach konnte bei der Kombination elastische Zwischenlage mit elastischer Schwellenbesohlung eine Erhöhung des abgestrahlten Luftschalls von 2 bis 5 dB(A) (unterschiedlich je Fahrzeugtyp) festgestellt werden. Dabei war jedoch unklar, wie stark dafür die Zwischenlage oder die Schwellenbesohlung verantwortlich sind. Aus anderen Messungen mit elastischen Schwellenbesohlungen ist eine Zunahme von 2 bis 4 dB(A) je nach Messort und Fahrzeugtyp abzuleiten.

Eine Möglichkeit zur Vermeidung einer elastischen Zwischenlage (welche nachweislich eine Erhöhung des abgestrahlten Luftschalls zur Folge hat) besteht in der Verbindung einer stärker elastischen Schwellenbesohlung mit einer harten Zwischenlage. Diese Variante wird modellhaft in Gerber (2019) dargestellt.¹⁷² Demnach kann die Elastizität des Oberbaus auch in der Schwellenbesohlung anstatt der Zwischenlage eingebracht werden. In den dortigen Ausführungen wird von einer geringen Schallabstrahlung des Gleises gesprochen, deren Effekt jedoch durch eine erhöhte Schallabstrahlung des Fahrzeugs vermindern würde, da die harte Zwischenlage zu höheren dynamischen Rad-Schiene-Kräften führe. Jedoch zeigten auch Messungen in der Schweiz für den Fall einer sehr elastischen Schwellenbesohlung mit einer harten Zwischenlage, dass es je nach Fahrzeugtyp und Messort zu einer Erhöhung von ungefähr 2 bis 4 dB(A) kommt.¹⁷³

Aufgrund dieser Messergebnisse sehen die Gutachter*innen den Einsatz von elastischer Schwellenbesohlung zur Reduktion des primären Luftschalls anstatt einer elastischen Zwischenlage nicht als geeignet an. Schwellenbesohlungen sollten weiter aufgrund ihrer Vorteile hinsichtlich Erschütterungen und unterschiedlicher Verschleißargumente eingesetzt werden, das Einbringen des meisten Teils der Elastizität in die Besohlung erzielt jedoch akustisch ungünstige Effekte, die mit der elastischen Zwischenlage vergleichbar sind.

3.2.4 Weitere streckenseitige Maßnahmen

In diesem Abschnitt werden weitere streckenseitige Maßnahmen vorgestellt, die bereits jetzt im Rahmen der Schall 03 anerkannt sind und eingesetzt werden können.

Niedrige Schallschutzwände

Niedrige Schallschutzwände (nSSW) weisen eine Höhe von 0,5 m bis ca. 1 m auf und werden mit einem Abstand von ca. 1,70 m zur Gleisachse aufgestellt.¹⁷⁴ Dabei nutzen sie den Regellichtraum nach Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung, um möglichst nah an der Emissionsquelle eine bessere akustische Wirkung zu erzielen als gleich hohe Wände im Regelabstand (welche üblicherweise 3,1 bis 3,8 m zur Gleismitte betragen¹⁷⁵).¹⁷⁶

Da Transporte mit Lademaßüberschreitung, das heißt Transporte mit überbreiten Gütern, bei nSSW mit einer Höhe von bis zu 55 cm über Schienenoberkante nur eingeschränkt und ab einer Höhe von 74 cm über Schienenoberkante nicht mehr möglich sind, ist die Implementierung von

¹⁷¹ Conreaux et al. (2023): Stand der Technik zu Erschütterungen und Körperschall auf dem Schweizer Normalspur-Eisenbahnnetz, S. 84–93.

¹⁷² Gerber (2019): Auslegung des Eisenbahnoberbaus, S. 63.

¹⁷³ BAFU (2015): Lärmzunahme bei Schwellenbesohlungen, S. 14.

¹⁷⁴ Scossa-Romano, Oertli (2012): Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers, S. 29 ff.

¹⁷⁵ Jänsch, Lang, Nießen (Hrsg.) (2021): Handbuch. Das System Bahn, S. 247.

¹⁷⁶ DB Netz AG (2012): Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg – Schlussbericht. Frankfurt am Main, S. 61 ff.

nSSW eine Herausforderung. Für dieses Problem wurden deshalb klapp- und schwenkbare Konstruktionen entwickelt und erprobt.

Besonders an Orten, an denen die hohen Schallschutzwände nicht zum Einsatz kommen sollen, zum Beispiel aus städtebaulichen Gründen oder um Zerschneidungseffekt des Landschaftsbildes zu vermeiden, stellen nSSW eine Alternative für den Schallschutz dar, auch wenn ihre Wirkung geringer als die von hohen Schallschutzwänden ist. Weiterhin variieren nSSW in ihrer Konstruktion und somit in ihrer akustischen Wirkung. Der pegelmindernde Effekt kann bei einem Immissionsort in 25 m Abstand und 3,5 m Höhe zwischen 5 und 7 dB(A) für das wandnahe Gleis liegen. Für das wandferne Gleis fällt der Effekt geringer aus (4 dB(A)). Mit der Höhe des Immissionsortes sinkt auch die Wirksamkeit der niedrigen Schallschutzwand – in 9,1 m Höhe auf bspw. 3 bis 5 dB(A) für das wandnahe und 0 dB(A) für das wandferne Gleis.¹⁷⁷

Aufgrund der Positionierung adressiert die nSSW vor allem das Rollgeräusch und je nach Fahrzeug ein Teil der Aggregatgeräusche sowie aerodynamische Geräusche im Drehgestellbereich. Insgesamt besteht für einen erfolgreichen Einsatz im Betrieb sowie hinsichtlich der Lebensdauer von nSSW weiterhin Forschungsbedarf. Hierbei sollte auf einen ausreichend langen Beobachtungszeitraum geachtet werden, der alle Wetterzyklen eines Jahres umfasst.¹⁷⁸ Bei der Verwendung von nSSW ist die Verwendung und Kombination mit weiteren Maßnahmen besonders zu empfehlen. Hierbei kommen infrastruktureitig Schienenstegdämpfer, Schienenstegabschirmungen und fahrzeugseitig Schürzen am Schienenfahrzeug in Frage (vgl. Abschnitt 3.6.2.4).¹⁷⁹

Schienenstegdämpfer

Der Schienenstegdämpfer ist ein Dämpfungssystem auf Masse-Feder-Basis, welches die Schwingungen und damit die Schallabstrahlung der Schiene reduziert. Die kraftschlüssige Montage findet je nach Produkt am Schienensteg oder am Schienenfuß statt. Die Reduktion der Schienenschwingungen hat eine Verringerung des Körperschalls der Schiene zur Folge, sodass je nach Gleiszustand (betreffend Schienenrauheit und Gleisabklingrate) eine Geräuschminderung durch verringerte Schallabstrahlung von 2 bis 3 dB(A) möglich ist. Die Maßnahme wird sowohl zur Minderung des Rollgeräuschs auf gerader Strecke als auch zur Minderung des Kurvengeräuschs in Gleisbögen eingesetzt.¹⁸⁰ Der Schienenstegdämpfer ist als Maßnahme in der Schall 03 anerkannt und wird dort mit einer Pegelkorrektur, je nach Terzband, von 0 bis 3 dB(A) berücksichtigt. In Abbildung 20 ist ein montierter Schienenstegdämpfer an einer Schiene zu sehen.

¹⁷⁷ DB Netz AG (2012): Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg – Schlussbericht. Frankfurt am Main, S. 61 ff.

¹⁷⁸ DB Netz AG (2020b): Initiative Lärmschutz-Erprobung neu und anwendungsorientiert (I-LENA), S. 43 ff.

¹⁷⁹ DB Netz AG (2012): Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg, S. 61 ff.

¹⁸⁰ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 113; UBA (2021): Minderung des Lärms von Straßenbahnen im urbanen Raum, S. 122–124.

Abbildung 20: Schienenstegdämpfer an der Schiene



Quelle: UBA (2021): Minderung des Lärms von Straßenbahnen im urbanen Raum, S. 122.

Schienenstegabschirmung

Die Schienenstegabschirmung reduziert den von der Schiene abgestrahlten Luftschall. Dies wird durch die Abschirmung mittels am Schienensteg montierter Metallbleche erreicht und ermöglicht eine Lärminderung in Abhängigkeit des Anteils der Schiene am Rollgeräusch von bis zu 3 dB(A). Im Gegensatz zum Schienenstegdämpfer wird damit nicht der Köperschall in der Schiene reduziert, weshalb kein wesentlicher Einfluss auf die Gleisabklingrate besteht. Auch wird keine Schwingungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt.¹⁸¹ Die Schienenstegabschirmung ist als Maßnahme in der Schall 03 anerkannt und wird, je nach Terzband, mit einer Minderung von 0 bis 5 dB(A) berücksichtigt. In Abbildung 21 sind montierte Schienenstegabschirmungen an der Schiene zu sehen.

Abbildung 21: Schienenstegabschirmung an der Schiene



Quelle: UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 114.

Kurvenschmiereinrichtungen

Zur Reduktion von Kurvengeräuschen kann Schmiermittel durch eine Spurkranzschmieranlage auf der Fahrfläche der Innenschiene aufgetragen werden. Der Minderungseffekt hängt dabei stark vom entsprechenden Bogen ab, so wird etwa von 5 dB(A) bei einem Beispiel in Bern berichtet. Diese Maßnahme ist ausschließlich für Kurven relevant und hat keinen Effekt auf gerader Strecke.¹⁸²

3.2.5 Empfehlungen zu den technischen Maßnahmen

Die Gutachter*innen sehen zur Minderung des Rollgeräuschs und der Verringerung der Schallabstrahlung des Gleises die Schienenrauheit und die Gleisabklingrate als relevante Hebel an.

¹⁸¹ UBA (2021): Minderung des Lärms von Straßenbahnen im urbanen Raum, S. 122–125.

¹⁸² UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 113–115.

Schienenrauheit

Mithilfe einer Absenkung der Schienenrauheit durch regelmäßiges akustisches Schleifen kann die Anregung im Rad-Schiene-Kontakt verringert werden. Insbesondere vor dem Hintergrund der Verbreitung von Scheibenbremsen im Personenverkehr, der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen im Güterverkehr und dort zukünftig idealerweise ebenfalls der Verbreitung von Scheibenbremsen (siehe Abschnitt 3.6.2.1) sollte die Schienenrauheit breitflächig niedrig sein.

In diesem Gutachten wird angeregt, dass im Schienennetz an bewohnten Gebieten eine Schienenrauheit entsprechend der Grenzkurve nach DIN EN ISO 3095:2014 einzuhalten ist. So wird garantiert, dass die Schienenrauheit mindestens das Niveau der Fahrzeug-Zulassungsmessungen nach TSI Noise einhält. Es kann dann angenommen werden, dass die Gesamtrauheit im Rad-Schiene-Kontakt nicht von der Schiene dominiert wird.

Um dies sicherzustellen sollte in regelmäßigen Abständen eine Überwachung der Entwicklung der Schienenrauheit stattfinden. Diese kann sich bspw. an den Regelungen zum „büG“ in der Schall 03 – mindestens eine Kontrolle alle 12 Monate – orientieren. Bei Überschreitungen der zulässigen Schienenrauheit ist ein akustisches Schleifen vorzunehmen, wobei möglicherweise gewisse Toleranzen hinsichtlich Überschreitungen in einzelnen Wellenlängenbereichen zugelassen werden können.

Die Anforderungen an die Überwachung sollten grundsätzlich technologieoffen mit einer entsprechenden Anforderung an die Genauigkeit der Überwachungsinstrumente formuliert werden. Die Überwachung kann durch eine indirekte Kontrolle via Mikrofon oder Beschleunigungssensoren oder eine direkte Messung mittels optischer Verfahren erfolgen.

Die Gutachter*innen weisen darauf hin, dass entsprechende Schienenrauheiten bereits direkt nach dem Instandhaltungsschleifen sicherzustellen sind. Dies sollte nicht länger auf einem sogenannten „Einfahren“ durch das normale Betriebsprogramm der Strecke beruhen, da dies je nach Belastung der Strecke eine lange Zeit benötigen kann, bis es zur erwünschten Absenkung der Rauheit kommt. Dies impliziert, dass in Zusammenhang mit dem Instandhaltungsschleifen oder im direkten Anschluss daran ein akustisches Schleifen durchgeführt werden muss, oder dass das Instandhaltungsschleifen bereits so ausgeführt wird, dass entsprechende Rauheitsanforderungen eingehalten werden. Aus Veröffentlichungen zum oszillierenden Schleifen (zugelassen für das „büG“) kann geschlossen werden, dass das Erreichen eines entsprechenden Schleifbildes ohne Einfahren möglich ist.¹⁸³ Auch Untersuchungen der DB für ein optimiertes Schleifen (Projekt ZIP Lärmschleifen) zeigen, dass mit Optimierung der Schleifverfahren ein Schleifbild erzeugt werden kann, welches die DIN EN ISO 3095:2014 Grenzkurve nur marginal überschreitet.¹⁸⁴ Die Gutachter*innen gehen demnach davon aus, dass es am Markt taugliche Lösungen zur Herstellung eines entsprechenden Schleifbildes gibt, welches auch im Netz Anwendung finden sollte. Zur Überwachung regen die Gutachter*innen eine anschließende Nachkontrolle des Schleifprozesses an (ggf. punktuell). Diese kann bspw. durch eine direkte Messung der Schienenrauheit mithilfe eines fahrbaren Messsystems im Nachgang des Schleifens stattfinden.

Gleisabklingrate

Um eine geringe Schallabstrahlung des Gleises sicherzustellen, sehen die Gutachter*innen die Einhaltung einer Gleisabklingrate im Bereich der DIN EN ISO 3095:2014 Grenzkurve als notwendig an.

¹⁸³ Hartleben (2010): Präventives Schienenschleifen – Mittel zur Lärmreduzierung, S. 22; Hartleben (2013): Schienenwege – Oszillierendes Schienenschleifen als Maßnahme zur Lärmreduzierung an der Quelle, S. 13.

¹⁸⁴ Rothhämel et al. (2021): Tonal Noises and High-Frequency Oscillations of Rails Caused By Grinding Process, Fig. 11.

Dies dürfte auf Strecken über 160 km/h aufgrund des Einbaus elastischer und sehr elastischer Zwischenlagen nicht der aktuellen Situation im Netz entsprechen. Die Gutachter*innen gehen davon aus, dass der Einsatz dieser elastischen Zwischenlagen zu einer Erhöhung der Schallabstrahlung von 3 dB(A) im Gesamt-Vorbeifahrtpegel führt.

Um diese Erhöhung der Schallemissionen zu vermeiden, sollten in Zukunft jene Zwischenlagen genutzt werden, welche eine hohe Gleisabklingrate ermöglichen. In der Entwicklung und auch schon in der Betriebserprobung befinden sich hochdämpfende Zwischenlagen, welche das Ziel haben, eine hohe Gleisabklingrate mit einer geringen Belastung des Oberbaus auch bei hohen Zuggeschwindigkeiten zu verbinden. Der Einsatz solcher innovativen, hochdämpfenden Zwischenlagen, welche eine frequenzabhängige Steifigkeit und Dämpfung aufweisen, stellt eine geeignete Alternative zu den elastischen Zwischenlagen und somit einen Weg zur Reduzierung der Lärmbelastungen dar.

Die Gutachter*innen gehen aufgrund der wissenschaftlichen Veröffentlichungen davon aus, dass sich der Oberbauverschleiß beim Einsatz der bereits entwickelten hochdämpfenden Zwischenlagen im Bereich der elastischen Zwischenlagen bewegen dürfte, so dass sie auch in dieser Hinsicht zu keiner Verschlechterung führen. Wenn sich dies auch langfristig bewahrheitet, so wäre der Einsatz der hochdämpfenden Zwischenlagen ohne signifikante Kosten möglich, denn der Preis von Zwischenlagen ist im Verhältnis zu den Kosten von Infrastrukturen vernachlässigbar (siehe dazu unten Abschnitt 3.2.7).

Doch auch wenn sich zeigen sollte, dass hochdämpfende Zwischenlagen zu einem etwas höheren Verschleiß des Oberbaus führen, sollte in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Vergleich zur elastischen Zwischenlage auch die Minderung der Schallabstrahlung berücksichtigt werden, welche ansonsten durch alternative Maßnahmen erreicht werden müsste. Um einen entsprechenden Anreiz zu setzen, sollten die akustisch ungünstigeren Eigenschaften der elastischen Zwischenlage auch in den Berechnungsverfahren der Lärmvorsorge und -sanierung (Schall 03) sowie CNOSSOS berücksichtigt werden.

Weitere Maßnahmen an der Infrastruktur

Die vorgestellte Schwellenbesohlung sollte weiterhin nur bei Bedarf für den Erschütterungsschutz eingesetzt werden, da sie zu einer erhöhten Luftschallabstrahlung führt. Weitere vorgestellte Maßnahmen wie Schienenstegdämpfer, Schienenstegabschirmung oder Kurvenschmiereinrichtungen sollten weiterhin im Rahmen der Lärmvorsorge und -sanierung Anwendung finden. Sie können dort entsprechend berücksichtigt werden.

Zur Reduktion der Schallabstrahlung des Gleises sind jedoch aus Sicht der Gutachter*innen in der Fläche die zuvor genannten Maßnahmen von zentraler Bedeutung.

3.2.6 Rechtliche Gestaltung einer Verpflichtung für einen akustisch ordnungsgemäßen Zustand der Eisenbahninfrastruktur

Während die zulässigen Emissionen der Fahrzeuge des Schienenverkehrs unionsrechtlich durch die TSI Noise geregelt sind, gibt es bislang – außer im Falle der Anordnung des „besonders überwachten Gleises“ für bestimmte Strecken – weder unionsrechtliche noch nationale Anforderungen an die lokale Infrastruktur für den Schienenverkehr, die eine Reduktion des Schienenverkehrslärms bewirken sollen. Solche Anforderungen können im nationalen Rahmen gestellt werden, doch wurden in Deutschland bisher keine Anstrengungen unternommen, diese Regelungslücke zu füllen. Daher sollte in Betracht gezogen werden, generell oder jedenfalls dann, wenn Schienen in der Nähe von Wohnbebauung verlaufen, einen akustisch einwandfreien Zustand der Infrastruktur vorzuschreiben.

In Betracht kommen kann daher – unabhängig von der in diesem Gutachten ebenfalls vorgeschlagenen Ausweitung des Anwendungsbereichs immissionsschutzrechtlicher Anforderungen auf Bestandsstrecken (siehe Kapitel 4) – die Begründung einer generellen Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturanbieter, für die von ihnen angebotene Infrastruktur einen akustisch ordnungsgemäßen Zustand herzustellen und zu gewährleisten.

Eine derartige Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen entspricht konstruktiv prinzipiell der im Immissionsschutzrecht allgemein anerkannten, dem Verursacherprinzip entsprechenden und einfachgesetzlich kodifizierten Verpflichtung der Betreiber immissionschutzrechtlich genehmigungsbedürftiger Anlagen, diese Anlagen auch nach deren Genehmigung so zu betreiben, dass „schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und für die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können“ (vgl. § 5 Abs. 1 Ziff. 1 BImSchG).

Evident werden Eisenbahnen und Eisenbahnstrecken aktuell nicht als Anlagen im Sinne des Anlagenbegriffs des BImSchG erfasst.¹⁸⁵ Unabhängig davon verursacht aber ihre Nutzung immissionsschutzrechtlich relevante Immissionen, und auf die Verursachung dieser Immissionen ist der Schutzzweck des BImSchG ebenso anwendbar wie das allgemeine umweltrechtliche Verursacherprinzip sowie der Grundgedanke des Bestehens von Verpflichtungen zur Immissionsbegrenzung auch auf Bestandsstrecken.

Deshalb erscheint es naheliegend, für das gesamte Eisenbahnnetz vorzuschreiben, dass es von seinen Betreibern so betrieben werden muss, dass „schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und für die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können“. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die Betreiber der Schienenwege dazu verpflichtet werden, die relevanten Schienenwege in einem akustisch ordnungsgemäßen Zustand herzustellen und zu erhalten und die Einhaltung dieser Verpflichtung selbst zu überwachen.

Die Verpflichtung zur Gewährleistung eines akustisch ordnungsgemäßen Infrastrukturzustandes kann auf Streckenabschnitte beschränkt werden, durch die Lärmimmissionen auf eine besonders relevante Anzahl Betroffener bewirkt werden. Hierbei könnte auf die Ergebnisse der Lärmkartierung oder des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms zurückgegriffen werden.

Die Verpflichtung zur Gewährleistung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustands der Eisenbahninfrastruktur kann sich sowohl auf Aspekte der baulichen Gestaltung als auch auf Aspekte der Instandhaltung und Pflege der Eisenbahninfrastruktur erstrecken.

Akustisch ordnungsgemäße Pflege und Instandhaltung der Eisenbahninfrastruktur

Hinsichtlich einer Begrenzung der Schienenrauheit, die von besonderer akustischer Relevanz ist, können sich die Anforderungen für die Erfüllung einer derartigen Verpflichtung an den Vorgaben orientieren, die sich aus der Festsetzung des Fahrflächenzustandes „besonders überwachtes Gleis“ im Sinne von Ziffer 4.5 der Anlage 2 zu § 4 der 16. BImSchV (Schall 03) ergeben. Für die Beurteilung der Möglichkeit und Verhältnismäßigkeit der Begründung einer allgemeineren Verpflichtung zur Gewährleistung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustandes einer „glatten Schiene“ ist zu berücksichtigen, dass im Laufe der Zeit kostengünstigere und effizientere Methoden der Überwachung des Zustandes des Gleiskörpers ebenso wie des akustischen Schleifens des Gleises verfügbar werden als bei der Kodifikation des „besonders überwachten Gleises“ (siehe dazu Abschnitt 3.2.2) und dass die entsprechenden Tätigkeiten bei Bestehen eines ausreichenden Bedarfes kosteneffizient durch private Anbieter erbracht werden können. Im Hinblick darauf ist eine gesetzliche Konstruktion anzuraten, die sicherstellt, dass die

¹⁸⁵ Eine Ausnahme gilt lediglich für die Nutzung von Teilen des Eisenbahnnetzes als Abstellanlage, hierzu näher an anderer Stelle.

für eine „glatte Schiene“ zu erfüllenden Anforderungen unter Berücksichtigung der zu erwartenden Fortentwicklung der technischen Möglichkeiten sowie des jeweils aktuellen Kosten-Nutzen-Verhältnisses regelmäßig an den aktuellen Entwicklungsstand angepasst und anwendungsermöglichend konkretisiert werden.¹⁸⁶

Nach einer Festlegung der betroffenen Strecken und der zu erfüllenden Anforderungen könnte also eine entsprechende Kontroll- und Überwachungsverpflichtung für die Eisenbahninfrastrukturunternehmen vorgesehen werden. Diese Verpflichtung könnten die Eisenbahninfrastrukturunternehmen selbst oder durch beauftragte Dritte erfüllen. Bei Feststellung eines nicht ordnungsgemäßen, also nicht den festgelegten Anforderungen entsprechenden Zustandes der Strecke hätte das Eisenbahninfrastrukturunternehmen die erforderlichen Abhilfemaßnahmen, also regelmäßig ein akustisches Schleifen, durchzuführen oder durchführen zu lassen.

Die Überwachung wie die Durchführung erforderlicher Abhilfemaßnahmen wären zu dokumentieren. Die entsprechende Dokumentation wäre zu Nachweiszwecken regelmäßig dem Eisenbahn-Bundesamt vorzulegen. Diesem müssten Kompetenzen zum Ergreifen der erforderlichen Maßnahmen bei festgestellten Verstößen gegen die Dokumentations-, Überwachungs- oder Abhilfepflicht eingeräumt werden. Dazu gehören auch Kompetenzen zur fallweisen oder routinemäßigen (aber stichprobenartigen) Kontrolle, ob solche Verstöße vorliegen.

Neben der Schienenrauigkeit, die das Rollgeräusch mitbestimmt, können Unregelmäßigkeiten der Fahrfläche und des Oberbaus zu impulshaltigen Schallereignissen führen. Hierunter fallen insbesondere die in Abschnitt 3.2.4 erwähnten Schlammstellen und Unregelmäßigkeiten bei Schienenschweißstellen und Schienenstößen mit Lücke, welche Defizite bei der Instandhaltung des Gleises aufzeigen. Die Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen zur Aufrechterhaltung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustandes sollte sich auch auf die Aufdeckung und Beseitigung solcher Unregelmäßigkeiten erstrecken.

Akustisch ordnungsgemäße bauliche Gestaltung der Eisenbahninfrastruktur

Wie in Abschnitt 3.2.3 dargestellt wurde, hat die Wahl der Zwischenlagen, die zwischen Schiene und Schwelle angebracht werden, einen signifikanten Einfluss auf die akustisch relevante Gleisabklingrate der Schiene, die aus Sicht des Lärmschutzes möglichst hoch sein sollte. Dies ist ein Beispiel für einen akustisch relevanten Aspekt der baulichen Auslegung der Schieneninfrastruktur.

Auch die Berücksichtigung dieser akustischen Auswirkungen der Gestaltung der Eisenbahninfrastruktur ist Teil der Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturbetreiber zur akustisch ordnungsgemäßen baulichen Gestaltung der Eisenbahninfrastruktur und zur dauerhaften Gewährleistung eines solchen akustisch ordnungsgemäßen Zustandes des Eisenbahninfrastruktur.

Normierung der Verpflichtung zur akustisch ordnungsgemäßen Herstellung und Erhaltung der Eisenbahninfrastruktur

Eine Normierung der Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturbetreiber zur Herstellung und dauerhaften Gewährleistung eines akustisch ordnungsgemäßen Gleiszustandes sollte auf der Ebene und im Rahmen der bereits bislang bestehenden Vorgaben für den Bau und den Betrieb

¹⁸⁶ Im Fall einer Ausweitung des Immissionsschutzes auf die Bestandsstrecken, wie in Kapitel 4 vorgeschlagen, müsste das Eisenbahninfrastrukturunternehmen ggf. lokal die Anstrengungen für eine „glatte Schiene“ über das allgemein geforderte Maß hinaus verstärken.

von Bahnanlagen erfolgen, also etwa im Rahmen der EBO,¹⁸⁷ einer Bundesrechtsverordnung, die normativ die Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Bahnanlagen regelt.

Hier kommt in Betracht, entweder die EBO um einen neuen eigenen Abschnitt über „Akustische Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Bahnanlagen“ zu ergänzen, in den dann die Anforderungen an Schienenrauheit, Abklingrate und Schienenunterbau oder alle sonstigen generell-abstrakt normierbaren Vorgaben zu dem geforderten akustisch ordnungsgemäßen Gleiszustand aufgenommen werden könnten.

Alternativ könnte auch der bislang bestehende § 2 Abs. 1 EBO um Anforderungen an den akustisch ordnungsgemäßen Gleiszustand ergänzt werden. § 2 Abs. 1 EBO lautet bislang: „Bahnanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die Bahnanlagen und Fahrzeuge den Vorschriften dieser Verordnung und, soweit diese keine ausdrücklichen Vorschriften enthält, anerkannten Regeln der Technik entsprechen.“

Hier kommt eine Ergänzung des § 2 Abs. 1 EBO um das Erfordernis der Anforderungen an einen akustisch ordnungsgemäßen Gleiszustand in Betracht, so dass § 2 Abs. 1 S. 1 EBO dann lauten würde: „Bahnanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung und den Anforderungen an einen akustisch ordnungsgemäßen Gleiszustand genügen.“ Angesichts des Wortlauts des § 2 Abs. 1 S. 2 EBO wäre bei einer solchen Normierung weiter sinnvoll, diese Anforderungen in einem folgenden Abschnitt der EBO zu konkretisieren. Es sollte also zusätzlich der bereits im vorstehenden Absatz angesprochene zusätzliche Abschnitt über „Akustische Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Bahnanlagen“ in die EBO aufgenommen werden.

Eine dritte Regelungsmöglichkeit wäre schließlich, dass das EBA von der Regelungsmöglichkeit des § 2 Abs. 4 EBO Gebrauch machen und auf dieser Grundlage als Verwaltungsakt „Anweisungen zur ordnungsgemäßen Erstellung und Unterhaltung der Bahnanlagen und Fahrzeuge“ erlassen könnte, wenn anderweitig die Verpflichtung zur Sicherstellung eines akustisch ordnungsgemäßen Gleiszustandes als Teil der „ordnungsgemäßen Erstellung und Unterhaltung der Bahnanlagen“ normativ vorgegeben wird.

3.2.7 Empfehlungen

Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen zur Gewährleistung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustandes der Eisenbahninfrastruktur

Die Gutachter*innen empfehlen die Einführung einer gesetzlichen Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen, für die von ihnen angebotene Infrastruktur einen akustisch ordnungsgemäßen Zustand herzustellen und zu gewährleisten. Diese Verpflichtung kann in der Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO) verankert werden. Die Verpflichtung soll sich sowohl auf die bauliche Gestaltung als auch auf die Instandhaltung und Pflege der Eisenbahninfrastrukturen erstrecken. Sie sollte jedoch auf Streckenabschnitte beschränkt werden, durch die Lärmimmissionen auf eine besonders relevante Anzahl Betroffener bewirkt werden. Diese werden hier als „Strecken an bewohnten Gebieten“ bezeichnet.

Hinsichtlich der **Instandhaltung und Pflege der Infrastruktur** beinhaltet der akustisch ordnungsgemäße Zustand neben der Beseitigung von Unregelmäßigkeiten des Fahrwegs (wie Schlammstellen und Unregelmäßigkeiten bei Schienenschweißstellen und Schienenstößen mit Lücke) vor allem die Einhaltung eines Standards der Schienenrauheit. Dieser Standard einer

¹⁸⁷ Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967 (BGBl. 1967 II S. 1563), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 5. April 2019 (BGBl. I S. 479) geändert worden ist.

„glatten Schiene“ soll sich an der Grenzkurve der DIN EN ISO 3095:2014 orientieren.¹⁸⁸ Die Eisenbahninfrastrukturunternehmen haben dafür zu sorgen, dass die Rauheit ihrer Schienen den gesetzten Standard nicht überschreitet.

Da dieses an allen bewohnten Gebieten gilt, umfasst die „glatte Schiene“ mit schätzungsweise 10.000 Streckenkilometern¹⁸⁹ einen wesentlich größeren Teil des Netzes als gegenwärtig den Regelungen des „besonders überwachten Gleises“ unterliegen (dies sind nur etwa 1.500 Streckenkilometer). Die genannten Anforderungen an die „glatte Schiene“ sind jedoch etwas schwächer als die des „büG“, so dass an besonders belasteten Orten weiterhin die schärferen Kriterien des „büG“ beibehalten werden können. Der Minderungseffekt der „glatten Schiene“ ist nach dem üblichen Verfahren in die Schall 03 aufzunehmen. Die Gutachter*innen erwarten, dass ein Effekt von frequenzabhängig bis zu 4 dB(A) in der Schall 03 berücksichtigt wird.

Die Eisenbahninfrastrukturunternehmen werden gesetzlich verpflichtet, einen jährlichen Bericht über den akustischen Zustand ihrer Infrastruktur zu erstellen und darin insbesondere auf die Einhaltung der Verpflichtungen einzugehen, indem festgestellte Verletzungen genau beschrieben und verortet werden. Der Bericht muss von einer zertifizierten Person hauptverantwortlich erstellt werden. Aus Sicht der Gutachter*innen ist es empfehlenswert, dass diese Person nicht dem Eisenbahninfrastrukturunternehmen oder einem damit verbundenen Unternehmen angehört, sondern vom Eisenbahninfrastrukturunternehmen extern beauftragt wird.

Die Einhaltung der Anforderungen zur Instandhaltung und Pflege der Infrastruktur wird von der zuständigen Eisenbahnaufsichtsbehörde überwacht, im Fall der Eisenbahnen des Bundes ist dies das Eisenbahn-Bundesamt. Die zuständige Aufsichtsbehörde nimmt stichprobenartig eigene Nachkontrollen vor oder beauftragt ein drittes Unternehmen damit. Die Nachkontrollen können sowohl auf eigene Initiative als auch auf Anregung von außen, zum Beispiel aufgrund von Beschwerden von Anwohnenden, erfolgen. Die Aufsichtsbehörde entscheidet über das Messverfahren bei ihren Nachkontrollen; dieses ist das maßgebliche Messverfahren. Das für die Erstellung des Berichts eingesetzte Messverfahren sollte mit dem von der Aufsichtsbehörde gewählten Messverfahren übereinstimmen. Die Aufsichtsbehörde kann weitere Anforderungen an die für den Bericht vorgenommenen Messungen stellen, zum Beispiel hinsichtlich der Häufigkeit und räumlichen Verteilung der Messungen.

Wenn die Berichterstattung selbst mangelhaft ist, kann die Aufsichtsbehörde für das kommende Jahr erhöhte Anforderungen stellen und bei wiederholten Mängeln auch einen Wechsel des Berichterstatters fordern. Bei umfangreichen Infrastrukturen kann die Aufsichtsbehörde eine Aufteilung verlangen, so dass die Berichterstattung für einzelne Netzbereiche von verschiedenen Personen bzw. Unternehmen zu erstellen ist, um verschiedene Akteure für die Messungen und Überwachungen zu ertüchtigen.

Im Falle von festgestellten Verletzungen des ordnungsgemäßen Zustandes wird das Eisenbahninfrastrukturunternehmen zur Nachbesserung innerhalb einer gesetzten Frist aufgefordert. Dabei kann es Toleranzen geben, zum Beispiel wenn Überschreitungen nur in wenigen Wellenlängenbereichen festgestellt wurden. Die Frist zur Nachbesserung kann auch im Kontext betrieblicher Planungen auf Antrag verlängert werden. Sollte ein Eisenbahninfrastrukturunternehmen jedoch trotz mehrfachen Aufforderungen, Abhilfe zu schaffen, diesen

¹⁸⁸ Diese Angaben beziehen sich auf Wellenlängen der Schienenrauheit selbst, nicht des Luftschalls. Vgl. Abschnitt 3.2.2.

¹⁸⁹ Nach BMDV (2022b): Gesamtkonzept der Lärmsanierung 2022, S. 7 erfüllen 8.500 Streckenkilometer erfüllen die Auslösewerte der Lärmsanierung. Hierauf wurde ein Aufschlag für diejenigen Strecken vorgenommen, die nicht der Lärmsanierung unterliegen, sondern z. B. der Lärmvorsorge.

nicht nachkommen, so kann die Aufsichtsbehörde die Abhilfe auf Kosten des Infrastrukturunternehmens selbst beauftragen und die dafür benötigte Trasse per Anordnung reservieren oder die entsprechende Strecke sperren, bis eine Abhilfe erfolgt ist.

Für die praktische Aufrechterhaltung der „glatten Schiene“ entwickeln die Infrastrukturunternehmen betriebliche Strategien, in der Messungen der Schienenrauheit und akustisches Schleifen miteinander verbunden werden. Es ist zulässig und naheliegend, aber nicht zwingend, dass die damit verbundenen Messungen von derjenigen Person bzw. dem Unternehmen vorgenommen werden, welche auch den Bericht zum akustisch ordnungsgemäßen Infrastrukturzustand erstellt, und dass das Messverfahren dasjenige ist, welches auch zur Erstellung des Berichts zu verwenden ist. Das akustische Schleifen wird das Eisenbahninfrastrukturunternehmen selbst übernehmen oder in Auftrag geben.

Da das übliche Instandhaltungsschleifen in der Regel hohe Rauheiten auf der Schiene zurücklässt, sollte es unmittelbar mit einem nachfolgenden akustischen Schleifen im Rahmen derselben Streckensperrung verknüpft werden. An bewohnten Gebieten sollte man sich also zukünftig nicht mehr darauf verlassen, dass diese Rauigkeiten durch den normalen Zugbetrieb ausgegattet werden, zumal dies einige Wochen und Monate in Anspruch nehmen kann. Es empfiehlt sich, diesen nachfolgenden akustischen Schleifvorgang außerdem mit einer direkt nachfolgenden Rauigkeitsmessung zu verknüpfen, um die Qualität des akustischen Schleifens zu kontrollieren. Wenn der akustische Schleifvorgang zu sehr stabilen Ergebnissen führt, kann die nachfolgende Rauigkeitsmessung auch stichprobenartig erfolgen. Wenn solche Verfahren erprobt sind, können sie von der Aufsichtsbehörde als Anforderung an die für den Bericht vorzunehmenden Messungen verlangt werden. Bis dahin ist zu fordern, dass Strecken, die einem Instandhaltungsschleifen unterzogen wurden, als Verdachtsfälle für Rauigkeiten zeitnah in die regelmäßigen Messungen aufzunehmen sind. Der Bericht zum akustisch ordnungsgemäßen Infrastrukturzustand sollte grundsätzlich ein eigenes Kapitel zum Thema des Instandhaltungsschleifens enthalten.

Die Kosten zur Aufrechterhaltung des akustisch ordnungsgemäßen Infrastrukturzustands trägt (mit Ausnahme der Kontrollkosten der zuständigen Aufsichtsbehörde) das Eisenbahninfrastrukturunternehmen, so wie es auch die Kosten zur Erfüllung von Sicherheitsanforderungen trägt. Im Falle der Eisenbahnen des Bundes kann der Bund entscheiden, ob er einen Teil dieser Kosten durch zum Beispiel Erhöhungen seiner Zuwendungen an das Eisenbahninfrastrukturunternehmen im Rahmen des Bundesschienenwegeausbaugesetzes (möglicherweise auch im Rahmen der Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung) übernimmt.¹⁹⁰

In Hinblick auf die Beseitigung von Unregelmäßigkeiten des Fahrwegs ist ähnlich zu verfahren. In diesem Fall ist die Frist zur Nachbesserung regelmäßig mit der betrieblichen Instandhaltungsplanung des Eisenbahninfrastrukturunternehmens abzustimmen und kann auch, abhängig vom Grad der akustischen Belästigung, einen längeren Zeitraum umfassen.

Für die Aufrechterhaltung der „glatten Schiene“ bei 10.000 Streckenkilometern können Kosten von 40 Mio. Euro jährlich veranschlagt werden, wenn diese alle fünf Jahre einmal akustisch geschliffen werden müssen.¹⁹¹ Dies entspricht weniger als 2 % der gesamten Instandhaltungskosten der DB InfraGO, Geschäftsbereich Fahrweg, der letzten Jahre. Für denselben Betrag können nur 333 km Schallschutzwände üblicher Bauart errichtet und unterhalten werden. Zwar

¹⁹⁰ Nach der jüngsten Novellierung des Bundesschienenwegeausbaugesetzes vom 3. Juli 2024 kann sich der Bund nach § 11a Abs. 2 auch an Kosten der Unterhaltung und Instandhaltung der Schienenwege der Eisenbahnen des Bundes beteiligen. Die Aufrechterhaltung des gesetzlich vorgegebenen akustisch ordnungsgemäßen Zustands der Infrastruktur ist ein Aspekt der Unterhaltung und Instandhaltung der Schienenwege.

¹⁹¹ Siehe Anhang A.3.1 zur Ermittlung der Kosten und zu weiteren Aussagen dieses und des folgenden Absatzes.

haben Schallschutzwände eine stärkere lokale Minderungswirkung, doch ist die glatte Schiene eine notwendige komplementäre Ergänzung zu den Maßnahmen an den Fahrzeugen für eine Minderung des Rollgeräuschs.

Es werden vier Schleifwagen durchgängig ausgelastet sein, und jeder Gleisabschnitt der „glatten Schiene“ muss einmal pro Jahr für die Durchführung des Schleifens gesperrt werden (eingleisige Streckensperrungen). Dies kann im Rahmen der regulären Instandhaltungsmaßnahmen, welche im gesamten Netz eines Eisenbahninfrastrukturunternehmens anfallen, integriert geplant werden, um zusätzliche Streckensperrungen in der Regel und dadurch entstehende Kosten (Zugumleitungen, Baustellennebenkosten usw.) zu vermeiden. Es erscheint ratsam, in Koordination mit den Nachbarländern eine gemeinsame Flotte von Schleifwagen zu unterhalten und planmäßig gemeinsam auszulasten. Nach Einschätzung der Gutachter*innen ist dieses Vorgehen ohne Barrieren möglich, da es sich bei der Bereitstellung und Beschaffung der konkreten Schleifwagen ohnehin um einen internationalen Markt handelt. Dann wird es auch möglich, bei längeren Streckenabschnitten mehrere Schleifwagen hintereinander einzusetzen, um die Sperrungsdauer zu verringern.

Hinsichtlich der **baulichen Gestaltung der Infrastruktur** beinhaltet der akustisch ordnungsgemäße Zustand der Infrastruktur vor allem die Einhaltung eines Standards für die Gleisabklingrate. Dieser Standard sollte sich an der Grenzkurve der DIN EN ISO 3095:2014 orientieren, sobald sichergestellt ist, dass dies mit vertretbaren Kosten möglich ist. Die Eisenbahninfrastrukturunternehmen haben bei Neubauten oder wesentlichen baulichen Änderungen von Gleisen oder Gleiserneuerungen dafür zu sorgen, dass die Gleisabklingrate ihrer Schienen den gesetzten Standard nicht unterschreitet.

Zu diesem Zweck sind die akustischen Eigenschaften von baulichen Komponenten und Eigenschaften der Gleise und des Oberbaus gemäß wissenschaftlichen Untersuchungen in der EBO festzuhalten. Daraus ergeben sich zulässige Bauformen, welche den Standard zur Gleisabklingrate einhalten. Nur diese dürfen bei Neubauten oder wesentlichen baulichen Änderungen von Gleisen verwendet werden.

Es zeichnet sich schon jetzt ab, dass die DIN EN ISO 3095:2014 eingehalten werden kann, indem an Strecken mit Höchstgeschwindigkeiten über 160 km/h innovative, hochdämpfende Zwischenlagen verwendet werden; an anderen Strecken ist dies heute schon möglich durch Verwendung der bisher üblichen harten Zwischenlagen. Die Gutachter*innen gehen davon aus, dass die in Entwicklung befindlichen innovativen, hochdämpfenden Zwischenlagen keine oder nur unwesentliche Zusatzkosten in Form eines erhöhten Oberbauverschleißes generieren oder dass solche hochdämpfenden Zwischenlagen zeitnah entwickelt werden können. Die Zusatzkosten für den Einsatz der innovativen, hochdämpfenden Zwischenlagen an den bewohnten Strecken mit Höchstgeschwindigkeiten über 160 km/h können mit 8,4 Mio. Euro für deren Anschaffung angesetzt werden.¹⁹² Setzt man die Standzeit einer Zwischenlage mit nur 10 Jahren an, so kommt man bereits auf jährliche Kosten von unter 1 Mio. Euro für diese lärmindernde Maßnahme.

In Einzelfällen können bauliche Komponenten und Eigenschaften der Gleise und des Oberbaus auch in separaten Baumaßnahmen gezielt verändert werden, um Anforderungen des Lärmschutzes lokal zu erfüllen, wenn dies im Rahmen eines Schallgutachtens als Teil der wirtschaftlichsten Maßnahmen identifiziert wird. Dies könnte im Rahmen der freiwilligen Lärmsanierung oder nach Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandsstrecken (vgl. Kapitel 4) relevant werden.

¹⁹² Siehe Anhang A.3.1.

Aktualisierungen des geforderten akustisch ordnungsgemäßen Zustandes der Infrastruktur

Als Orientierung für die konkreten Anforderungen an den akustisch ordnungsgemäßen Zustand der Infrastruktur wird in diesem Gutachten, wie eben dargestellt, sowohl hinsichtlich der Schienenrauheit als auch hinsichtlich der Gleisabklingrate die Vorgaben der DIN EN ISO 3095:2014, die für Zulassungsmessungen für Fahrzeuge nach TSI Noise formuliert wurden, gewählt. Es sei aber nochmals betont, dass die Mitgliedstaaten bei der Formulierung von akustischen Vorgaben für ihre Infrastrukturen frei sind; sie müssen sich nicht an europäischen Normen orientieren. Die EU erwartet lediglich, dass die Mitgliedstaaten hier etwas tun.¹⁹³

Dieser Freiheitsgrad sollte genutzt werden, um die Anforderungen an den akustisch ordnungsgemäßen Infrastrukturzustand dem jeweils aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen. Aus ökonomischer Sicht ist von Bedeutung, dass sich die technischen Verfahren zur Messung und Erhaltung einer „glatten Schiene“ in der Entwicklung befinden und damit gerechnet werden kann, dass effizientere als die heute gebräuchlichen Verfahren möglich werden. Dies wurde in Abschnitt 3.2.2 dargestellt. Gleiches gilt für die technischen Möglichkeiten zur Erhöhung der Gleisabklingrate durch in Entwicklung und Erprobung befindliche innovative Zwischenlagen; siehe Abschnitt 3.2.3.

Während also die Gutachter*innen der Auffassung sind, dass die genannten Anforderungen der DIN EN ISO 3095:2014 bereits in naher Zukunft mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln erfüllbar sind, sollten im Laufe der Zeit die konkreten Anforderungen an den akustisch ordnungsgemäßen Infrastrukturzustand entsprechend dem Stand der Technik und der Erkenntnisse zur Belastung und Belästigung von Menschen durch Lärm angepasst werden. Das Vehikel dazu sind Kosten-Nutzen-Analysen, auf deren Basis dann regelmäßige, forschungsbasierte Anpassungen der Gesetzeslage erfolgen.

In solchen Kosten-Nutzen-Analysen sind die volkswirtschaftlichen Nutzen der Lärminderung zu berücksichtigen, für die derzeit 77 Euro pro dB(A) Belastungsminderung und betroffener Person angesetzt werden.¹⁹⁴ Die Abschätzung der Kosten sollte sich soweit wie möglich auf unabhängige Quellen stützen. Für Investitionsgüter und Infrastrukturbauten gibt es keine Preislisten, und die Marktstrukturen im Eisenbahnsektor sind oft sehr eng. So gibt es derzeit nur ein einziges Unternehmen, welches die akustischen Messungen für das „besonders überwachte Gleis“ vornehmen kann (es existiert auch nur ein einziger Messwagen für diesen Zweck), und auch das akustische Schleifen können nur wenige Unternehmen vornehmen. Bei den Kostenabschätzungen kann man sich nicht allein an deren Kostenangaben orientieren, sondern sollte sich auch auf unabhängige Experteneinschätzungen und internationale Erfahrungen stützen. Korrespondierend sollten dann auch solche Maßnahmen der Lärminderung favorisiert werden, die in wettbewerblichen Verhältnissen angeboten und umgesetzt werden können.

Um technische Maßnahmen der Lärminderung und die Anforderungen an den akustisch ordnungsgemäßen Infrastrukturzustand kontinuierlich weiterzuentwickeln, sollte beim DZSF ein permanentes Forschungsprogramm installiert werden, vergleichbar mit der seit 2016 laufenden Innovationsinitiative mFUND des BMDV für Forschungs- und Entwicklungsprojekte rund um digitale datenbasierte Anwendungen für die Mobilität der Zukunft.¹⁹⁵ In der Art kann sich das Forschungsprogramm an dem abgeschlossenen Projekt I-LENA orientieren.¹⁹⁶ Derzeit

¹⁹³ Siehe Europäische Kommission (2011): Bericht der Kommission an das europäische Parlament und den Rat über die Durchführung der Richtlinie über Umgebungslärm gemäß Artikel 11 der Richtlinie 2002/49/EG, S. 14.

¹⁹⁴ Siehe Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes – überarbeitete Fassung 2022.

¹⁹⁵ BMDV (2024): mFUND – Unsere Förderung für die Mobilität der Zukunft.

¹⁹⁶ DB Netz AG (2020b): Initiative Lärmschutz-Erprobung neu und anwendungsorientiert (I-LENA),

wird die Betriebserprobung von innovativen Zwischenlagen von der DB InfraGO auf eigene Kosten vorgenommen. Das ist nicht nötig, sie sollte dafür Fördermittel erhalten, und gleichzeitig sollte eine solche Betriebserprobung mit einer unabhängigen Begleitforschung verknüpft werden und unter Beteiligung von EBA und BMDV erfolgen. Im Rahmen dieses Forschungsprogramms sollte das DZSF unter anderem auch konkrete, gewünschte Eigenschaften technischer Maßnahmen gewissermaßen als „Lastenheft“ in Ausschreibungen anfordern können, vergleichbar mit dem in der Schweiz ausgeschriebenen „Forschungsprojekt hochdämpfende Zwischenlage“. Außerdem sollte ökonomisch ausgerichtete Forschung zur Erreichung von Kostensenkungen, Skalenerträge, effizienterer Organisation und verbesserten Marktstrukturen im Bereich der Lärminderung erfolgen.

In den obigen Ausführungen bezieht sich der akustisch ordnungsgemäße Zustand der Eisenbahninfrastruktur auf die Dimensionen der Schienenrauheit, der Gleisabklingrate und möglicher Unregelmäßigkeiten am Fahrweg. Zukünftig können auch weitere akustische Dimensionen des Gleises oder Oberbaus relevant werden, die dann in den gleichen Ordnungs- und Forschungsrahmen einzubeziehen sind.

3.3 Lärminderung bei Triebfahrzeugen

In diesem Abschnitt werden die Schallemissionen von Triebfahrzeugen thematisiert und Empfehlungen zu ihrer Reduzierung gegeben. Damit handelt es sich um ein Querschnittsthema, das alle Verkehrsarten – SPFV, SPNV und SGV – betrifft. Darstellung und Empfehlungen fokussieren dabei auf die wichtigsten Kategorien von Triebfahrzeugen, nämlich die Lokomotiven und die Elektrotriebzüge. Eine Besonderheit des SPFV, das Fahren mit sehr hohen Geschwindigkeiten, bei denen auch aerodynamische Geräusche relevant werden können, wird nicht in diesem Abschnitt, sondern in Abschnitt 3.4 zum SPFV dargestellt.

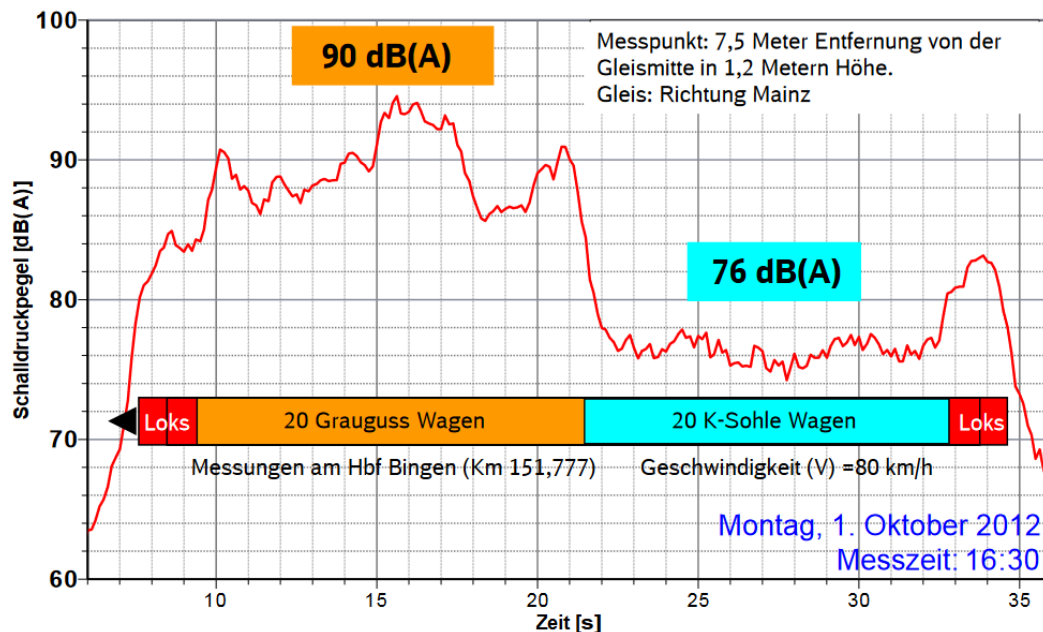
Auf die Feststellung des Handlungsbedarfs in Abschnitt 3.3.1 folgen in Abschnitt 3.3.2 die Darstellung der möglichen technischen Maßnahmen zur Lärminderung und in Abschnitt 3.3.3 die Ableitung der Empfehlungen.

3.3.1 Handlungsbedarf bei Triebfahrzeugen

Im SGV sind infolge der Umrüstung von Güterwagen von Grauguss-Bremssohlen zu Komposit-Bremssohlen die Schallemissionen der Güterwagen deutlich gesunken. Bei der Vorbeifahrt eines Güterzuges kann nun auch die Lokomotive eine dominante Schallquelle darstellen, die für eine Verminderung der Schallemissionen des Güterverkehrs adressiert werden muss. In Abbildung 22 ist der Vorbeifahrtpegel eines Güterzuges dargestellt, dessen Wagen im vorderen Bereich mit Grauguss-Bremssohlen und im hinteren Bereich mit K-Sohlen gebremst wurden und der je eine Lokomotive an der Spitze und am Ende des Zuges aufwies. Die Schalldruckpegel im Bereich der Wagen mit K-Sohle liegen bei dieser Messung deutlich unterhalb der Emissionen der Lokomotiven. Für einen leiseren Güterverkehr müssen somit auch die Schallemissionen der Lokomotiven gesenkt werden, damit die gesamten Emissionen gesenkt werden, trotz der deutlich größeren Anzahl an Güterwagen im Vergleich zu den Lokomotiven innerhalb eines Zuges. Wie stark dabei jeweils der Anteil der Güterwagen und der Lokomotive ist, ist stets unterschiedlich. Auswertungen in der Schweiz zeigten, dass bei Güterzügen mit Wagen ohne Graugussbremsen, die Lokomotive in 5,5 % der Fälle eine dominante Schallquelle (Vorbeifahrtpegel der Lokomotive liegt weniger als 3 dB(A) unter dem des Gesamtzuges) und in 51,4 % der Fälle eine bedeutende Schallquelle (Vorbeifahrtpegel der Lokomotive liegt weniger als 10 dB(A) unter dem des Gesamtzuges) darstellte. Zusätzlich wurde bei 33,4 % der Güterzüge der Maximalpegel

durch die Lokomotive erzeugt.¹⁹⁷ Wird von einer weiteren Geräuschminderung der Güterwagen ausgegangen, so steigt die Notwendigkeit, die Schallabstrahlung von Lokomotiven zu mindern, noch weiter an.

Abbildung 22: Schalldruckpegelmessung eines Güterzuges mit Grauguss- und Verbundstoff-Bremsklotzsohlen



Messergebnisse im Rahmen des Pilotprojekts „Leiser Rhein“ in Bingen am 01.10.2012. Quelle: DB Systemtechnik, hier zitiert aus BMDV (2022c): Lärmschutz im Schienenverkehr. Alles über Schallpegel, innovative Technik und Lärmschutz an der Quelle, S. 43.

Im Schienenpersonenverkehr besteht bei Lokomotiven aus vergleichbaren Gründen ein Handlungsbedarf. Die an die Lokomotive angehängten Reisezugwagen sind in der Regel scheibengebremst und ihre Räder damit noch glatter als die der klotzgebremsten Güterwagen, so dass ihr Beitrag zum Rollgeräusch noch geringer ist als bei Güterzügen und infolgedessen die Geräuschquellen der Lokomotive noch stärker in den Vordergrund rücken können. Analog zu Güterwagen weisen die Reisezugwagen keinen Antrieb auf (oft jedoch geräuschemittierende Klimaanlage). Bei Lokomotiven sind, wie im Weiteren ausgeführt wird, insbesondere Aggregat- und Rollgeräusche die relevanten Schallquellen. Gleiche Geräuschquellen gelten für elektrische Triebzüge, die häufig im Nahverkehr und Fernverkehr genutzt werden.

Dadurch, dass die TSI Noise in den vergangenen Jahren im Wesentlichen unverändert geblieben ist, sind die Antriebskonstruktionen bei einigen Lokomotiven und Triebzügen dahingehend vereinfacht worden, dass sie die akustischen Grenzwerte nur gerade noch einhalten, da darüber hinausgehende Anforderungen nicht gestellt und vergütet werden. Achsreitende Getriebe, die eine direkte Körperschallkopplung zwischen Zahneingriff am Getriebe, Radsatz und Schiene herstellen, sind über alle Geschwindigkeitsbereiche heute üblich, als Beispiele sind u. a. die Vectron Lokomotive, ICE3 Neo, Desiro HC oder Mireo zu nennen.

Nachfolgend werden die dominierenden Geräuschquellen von Lokomotiven im Güterverkehr, sowie Lokomotiven und elektrische Triebzügen im Personenverkehr aufgezeigt und das Potenzial zur Geräuschreduzierung bei den genannten Fahrzeugen durch technische und

¹⁹⁷ Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 27.

konstruktive Maßnahmen erläutert. Dabei wird sich auf elektrische Triebzüge fokussiert, da diese in Zukunft eine noch relevantere Rolle als Dieseltriebzüge einnehmen.

3.3.2 Technische Maßnahmen der Lärminderung

In diesem Abschnitt werden die typischen Geräuschquellen von Lokomotiven und elektrischen Triebzügen dargestellt und für die entsprechenden Geräusche in den verschiedenen Betriebszuständen entsprechende Minderungsmöglichkeiten vorgestellt. Die Ausführungen in diesem Abschnitt orientieren sich stark an einer Literaturstudie der TU Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge, und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa).¹⁹⁸ In dieser Studie wurde das Lärminderungspotential durch schalltechnische Optimierungen an Güterzuglokomotiven erfasst, mit Fokus auf Elektrolokomotiven.

Geräuschquellen von elektrischen Triebzügen und Lokomotiven

Das Gesamtgeräusch von elektrischen Triebzügen (ETZ) und Lokomotiven hängt von der Fahrzeuggeschwindigkeit und den Betriebszuständen (bspw. Stillstand, Anfahrt, Fahrt usw.) ab und unterscheidet sich je nach Fahrzeugtyp. Demnach können unterschiedliche Geräuscharten erzeugt werden und unterschiedliche Komponenten die dominierende Geräuschquelle darstellen. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die relevanten Geräuschquellen der verschiedenen Betriebszustände von Lokomotiven und ETZ.

Im Stillstand stellen verschiedene Aggregate wie Kompressor, Lüfter, Klimaanlage, Transformator und Fahrmotoren im Leerlauf die dominierenden Schallquellen dar. Bei der Anfahrt und der Fahrt wird das Gesamtgeräusch zusätzlich von den Antriebsgeräuschen (v. a. Fahrmotor und Getriebe) sowie den Rädern (Rollgeräusch) bestimmt. Ab mittleren Geschwindigkeiten (beispielsweise ab 60 km/h – dieser Wert ist jedoch fahrzeugspezifisch) werden die Geräusche der anderen Schallquellen vom Rollgeräusch überdeckt, welches mit zunehmender Geschwindigkeit immer dominanter wird. Im Falle einer Bremsung kann es zu einer Geräuschemission an den (Rad-)Scheibenbremsen (Bremsenquietschen), und bei Betrieb im Gleichstromnetz an den Bremswiderständen durch die Lüfter kommen. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten können aerodynamische Geräusche eine relevante Schallquelle darstellen; diese werden hier kurz und ausführlich in Abschnitt 3.4.2.1 beim SPFV adressiert.

Tabelle 2: Relevante Lärmquellen einer Güterzuglokomotive in Abhängigkeit des Betriebszustandes

Betriebszustand	Relevante Lärmquelle
Stillstand	Aggregatgeräusche durch Kompressor, Lüfter, Klimaanlage, Transformator und Fahrmotoren im Leerlauf
Anfahrt	Aggregatgeräusche, verstärkt durch die Antriebsanlage (Motor und Getriebe) sowie Rollgeräusch
Fahrt	Vordergründig Rollgeräusch, bei geringer Geschwindigkeit Aggregatgeräusche
Fahrt mit (sehr) hoher Geschwindigkeit	Rollgeräusch, aerodynamische Geräusche an Stromabnehmer, Dachaufbauten, Drehgestellbereiche

¹⁹⁸ Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven.

Betriebszustand	Relevante Lärmquelle
Bogenfahrt	Rollgeräusch, Erhöhung je nach Fahrzeug-Fahrweg Bedingungen
Bremmung	Bremsgeräusche durch Bremsanlage

Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 23 sind die wesentlichen Schallquellen einer beispielhaften Mehrsystem-Lokomotive eingezeichnet, die im Güter- und Personenverkehr eingesetzt wird.

Abbildung 23: Schallquellen einer Mehrsystem-Lokomotive höherer Leistungsklasse



Maschinenraum-Layout einer Mehrsystem-Lokomotive (AC und DC) am Beispiel einer Vectrom MS (Re 475) mit hoher Leistung des Unternehmens Siemens Mobility GmbH. In der Legende des Bildes sind wesentliche Schallquellen rot umrandet und Schallquellen außerhalb des Maschinenraums ergänzt (Strichlinie: Komponenten verdeckt oder nicht dargestellt). Quelle: Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 6, basierend auf Hammer, Thoma (2011): Vectron – Die neue Lokomotivengeneration für den europäischen Schienenverkehr, S. 8.

Hinsichtlich der akustischen Relevanz und des Lärmminderungspotentials werden in Anlehnung an Hecht et al. (2022) die folgenden Komponenten vorgestellt:

- Kompressor
- Lüfter
- Umrichter
- Motor
- Getriebe
- Bremssystem
- Rad und Rollgeräusch
- Drehgestell und radiale Einstellung der Räder

► Aerodynamische Geräusche

Wenn diese Komponenten so gestaltet werden, dass sie weniger Schall emittieren, so handelt es sich um Lärminderung direkt an der Quelle im engsten Sinne. Sind Komponenten aus technischer und wirtschaftlicher Sicht bereits optimal akustisch ausgelegt und stellen weiterhin eine relevante Schallquelle dar, können sekundäre Maßnahmen zur Lärmreduzierung erfolgen. Diese können in Form von Schalldämmung und -absorption auf dem Ausbreitungsweg die Geräuschemissionen mindern oder, wenn funktional möglich, durch eine Kapselung der Komponenten erfolgen.¹⁹⁹ Auch diese Maßnahmen stellen noch Lärminderung an der Quelle in einem weiteren Sinne dar, da sie sehr quellennah erfolgen. Beide Arten der Lärminderung werden im Folgenden beschrieben.

Es ist im Allgemeinen nicht möglich, pauschale quantitative Abschätzungen der Geräuschminderung einzelner Maßnahmen/Komponenten vorzunehmen, da diese stark mit der individuellen Fahrzeugkonstruktion zusammenhängen.²⁰⁰

Kompressor

Kompressoren werden für die Versorgung der Druckluftverbraucher, wie die Bremsanlage oder Stromabnehmer benötigt und können im Stand und bei der Fahrt mit niedriger Geschwindigkeit die dominierende Schallquelle darstellen.

Aus wirtschaftlichen Gründen werden in Lokomotiven und ETZ mehrheitlich Kolbenkompressoren verbaut, die jedoch schlagende Geräusche emittieren können. Diese Problematik entfällt bei der Verwendung von Schraubenkompressoren durch eine kontinuierliche Druckluftförderung, die daher im Vergleich eine Reduktion von 5 dB(A) und bei einzelnen Frequenzen sogar bis zu 10 dB(A) ermöglichen.²⁰¹ Allerdings werden Schraubenkompressoren in der Regel öleingespritzt ausgeführt und sind damit wartungsintensiver als Kolbenkompressoren, die ölfrei ausgeführt werden können.

Eine alternative Möglichkeit der Schallminderung kann durch eine Reduzierung der erforderlichen Nennleistung der verwendeten Aggregate erzielt werden (Downsizing). Hierbei kann auf die Verwendung des Hilfskompressors verzichtet werden. Dessen Aufgabe für die Aufrüstung der Lok oder des ETZ würde dann von der 110-V-Zugbatterie übernommen werden. Da bei dieser Technologie die Möglichkeit der flexiblen Aktivierung der Verdichtungsstufen eines Kolbenkompressors genutzt wird, ist sie für Schraubenkompressoren nicht geeignet. Die Vorteile dieser Lösung liegen in einer Möglichkeit der Bauraumeinsparung und in bestimmten Fällen in einer Minderung des Schallpegels um 9 dB(A).²⁰²

Als sekundäre Maßnahmen bei der Verwendung von Kolbenkompressoren kommen insbesondere die Verwendung einer belüfteten Kapsel und eine gute Körperschallisolierung infrage, die bereits sehr gut die Schallausbreitung mindern.²⁰³ Neben einer Kapselung können bei Kompressoren auch Schalldämpfer genutzt werden, um eine starke Senkung von Abblasgeräuschen bei der Druckluftherzeugung zu erreichen.²⁰⁴ Darüber hinaus kann eine

¹⁹⁹ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen.

²⁰⁰ Siehe dazu Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 8 und UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 36.

²⁰¹ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 100.

²⁰² Assmann, Kipp et al. (2017): Intelligent Air Control – Effektive Lärmreduzierung mit variabler Kompressorsteuerung, S. 469–473.

²⁰³ Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 54.

²⁰⁴ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 101.

Schallreduktion durch dahingehend optimierte Positionierung des Kompressors erreicht werden.²⁰⁵

Lüfter

Lüfter dienen der Temperaturregelung und werden beispielsweise genutzt, um Motoren und Getriebe zu kühlen. Darüber hinaus werden sie auch für die Kühlung der Umrichter, der Klimaanlage und der Versorgung des Fahrgastraums mit Frischluft benötigt. Beim Anfahren des Zuges wird in der Regel die volle Leistung des Motors aufgeschaltet, damit schnell die Reisegeschwindigkeit erreicht wird. Demnach läuft auch der Lüfter mit voller Leistung. Da die Schallemission des Lüfters von seiner Leistung abhängt, ist der Motorenlüfter bei maximaler Motorenleistung am lautesten. Zwar ist die Motorenleistung auch nahe der maximalen Fahrgeschwindigkeit maximal, jedoch dominieren in diesem Geschwindigkeitsbereich vor allem das Rollgeräusch oder das aerodynamische Geräusch.²⁰⁶ Somit sind Geräusche, die durch die Lüfter verursacht werden, vor allem beim Anfahren/Beschleunigen und zusätzlich im Stillstand dominierend. Durch hohe Drehzahlen und die Geometrie der Lüfterschaufeln entstehen Strömungsgeräusche, die tonale Anteile im sensitiven Hörbereich von 1000 Hz bis 4000 Hz enthalten können.²⁰⁷

Für die Schallreduktion kann ein integrierter Diffusor oder eine schall- und energietechnische Optimierung der Lüftungsblätter eingesetzt werden. Mithilfe dieser Maßnahmen kann eine Pegelminderung von 6 dB(A) und eine Energieeinsparung von 20 % gegenüber einem konventionellen Lüfter erreicht werden.²⁰⁸ Zusätzlich kann durch eine optimale Anpassung des Ventilatorarbeitspunktes der Schallpegel des Lüfters reduziert werden.²⁰⁹

Die Verwendung von sogenannten Eigenlüftern, die sich proportional mit der Drehzahl des zu kühlenden Objektes mitdrehen, ist aus akustischer Sicht nicht zu empfehlen. Durch eine direkte Verbindung des Lüfters mit dem zu belüfteten System sind Drehzahl und Richtung direkt vom zu kühlenden Objekt abhängig. Eine Drehzahlregelung oder Optimierung der Geometrie an den Lüftungsblättern kann somit nicht realisiert werden. Aus Kostengründen findet dieses System auch noch in neueren Fahrzeugen Anwendung. Die akustisch bessere Alternative stellt die Fremdbelüftung dar, die bereits der Standard bei modernen Streckenlokomotiven ist.

Umrichter

In den Betriebszuständen Stillstand sowie Anfahrt, Bremsung und Fahrt mit geringer Geschwindigkeit können Umrichtergeräusche akustisch wahrnehmbar sein. Entscheidend für den emittierten Schall an Umrichtern ist deren Ansteuerung. Dabei kann das Taktmuster, die Größe des Nennstroms und der Nennspannung der Motoren variiert werden. Durch eine günstige Steuerung lassen sich Schallemissionen an der Quelle reduzieren.²¹⁰ Insbesondere die

²⁰⁵ BAFU (2006): Studie zur Thematik „Lärminderung an Triebfahrzeugen“, S. 16 f.

²⁰⁶ BAFU (2006): Studie zur Thematik „Lärminderung an Triebfahrzeugen“, S. 15.

²⁰⁷ Czolbe (2010): Schallminderungsmaßnahmen an Schienenfahrzeugen: Analyse unterschiedlicher Strategien zur Geräuschminderung an Schienenfahrzeugen im Innenraum und Außenbereich für Neukonstruktion und Modernisierung. Hecht, Czolbe (2008): Lärminderungsmaßnahmen an drei Großdieselloks vom Typ BlueTiger. Czolbe, Hecht (2008): Noise Reduction Measures at Freight Train locomotives „Blue Tiger“, S. 412–418.

²⁰⁸ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms. Bamberger, Carolus, Mauch, Knirsch (2013): Aerodynamic and acoustic optimization of axial fans for locomotive cooling systems.

²⁰⁹ Bay, Brandstätt, Rambausek (2004): Minderung der Lüftungsgeräusche einer E-Lok BR-182.

²¹⁰ BAFU (2006): Studie zur Thematik „Lärminderung an Triebfahrzeugen“, S. 15f.

Tonhaltigkeit der Schallabstrahlung von Umrichtern kann vermieden werden, indem die Pulsmuster der Pulsweitenmodulation elektrisch optimiert werden.²¹¹

Da heutige Umrichter mit Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode (insulated-gate bipolar transistor (IGBT)) eher hochfrequent, oberhalb 800 Hz, sind, bieten sich für sie sekundäre Schallminderungsmaßnahmen in Form von Dämmung und Absorption an.²¹²

Motor

Insbesondere in den Betriebszuständen Anfahrt und Bremsung können Motoren eine relevante Schallquelle darstellen, aber auch im Stillstand sowie bei Fahrt mit geringerer Geschwindigkeit.

Es konnten in der Literaturstudie von Hecht et al. (2022) keine relevanten Forschungs- und Entwicklungsprojekte für die Lärminderung von Motoren für Schienenfahrzeuge ausgemacht werden. In UBA (2013) wird ein akustisches Minderungspotential in der Optimierung der Ansteuerung des Motors sowie der Schallabstrahlung durch das Gehäuse angeregt.²¹³ Zu beachten ist auch, dass Lüfter an den Motoren eine relevante Schallquelle sein können, sodass diese gemeinsam betrachtet werden sollten. Grundsätzlich ist auf eine möglichst geringe Körperschallkopplung innerhalb der Motor-Getriebe-Einheit zu achten.

Getriebe

Getriebegeräusche sind bei der Fahrt mit geringer Geschwindigkeit und bei der Beschleunigung akustisch relevant. Um die Geräuschemissionen des Getriebes zu verringern, sollte bei der Auslegung auf die Realisierung einer Schrägverzahnung, auf eine Verringerung des Moduls (Zahngröße der Zahnräder) und auf eine hohe Fertigungsgüte geachtet werden. Anzustreben ist eine hohe Eingriffsüberdeckung der Zähne mit möglichst geringer Schwingungsanregung. Im Effekt kann die Lärmemission im Vergleich zu einem konventionellen Getriebe um bis zu 5 dB(A) reduziert werden.²¹⁴

Des Weiteren sind zweistufige, nicht-achsreitende Getriebe gegenüber einstufigen oder achsreitenden Getrieben zu bevorzugen. Erstgenannte verfügen über eine bessere Zahnüberdeckung und weisen eine geringere Körperschallkopplung vom Getriebe zum Radsatz und Gleis auf. Außerdem benötigen sie weniger Bauraum und weisen eine längere Lebensdauer bezogen auf die Laufleistung auf.²¹⁵

Bremssystem

Ein akustisch optimiertes Bremssystem sollte über einen Gleitschutz (siehe auch Abschnitt 3.6.2.2) verfügen und in Scheibenbremse ausgeführt sein. Es existieren zwei unterschiedliche Systeme von Scheibenbremsen: Radscheibenbremsen und Wellenscheibenbremsen. Bei Radscheibenbremsen wird die Bremsscheibe bei beiden Rädern eines Radsatzes beidseitig auf der Radscheibe montiert. Sie werden vor allem bei Triebdrehgestellen eingesetzt, da der Motor den Bauraum zwischen den Rädern beansprucht. Radscheibenbremsen wird eine gewisse akustische Abschirmung der Schallabstrahlung des Rades zugeschrieben und sind bereits Standard bei modernen Streckenlokomotiven und bei angetriebenen Achsen eines ETZ. Bei Wellenscheibenbremsen wird die Bremsscheibe (ggf. auch mehrere) auf die Radsatzwelle

²¹¹ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen.

²¹² Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 13.

²¹³ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 103.

²¹⁴ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 102.

²¹⁵ Hecht (2021): Schienenfahrzeuge: Kennzeichen moderner Schienenfahrzeuge und Komponenten, S. 528–564.

aufgepresst. Die Bremsscheibe befindet sich in diesem Fall zwischen den Rädern und sorgt für keine akustische Abschirmung. In der Regel sind Wellenscheibenbremsen günstiger, aber aus konstruktiven Gründen nur bei nicht angetriebenen Radsätzen einsetzbar.²¹⁶

Werden Wellenscheibenbremsen genutzt, können Radschallabsorber verwendet werden, welche für eine Minderung des Rollgeräuschs sorgen. Weitere Maßnahmen der akustischen Optimierung sind nicht bekannt.²¹⁷

Rad und Rollgeräusch

Das Rollgeräusch stellt bei Lokomotiven und ETZ im Betrieb mit mittleren und höheren Geschwindigkeiten die dominante Schallquelle dar. Da diese Geschwindigkeiten einen Großteil der Fahrzustände der Verkehre ausmachen, sollte das Rollgeräusch gesenkt werden. Angriffspunkt sind fahrzeugseitig vordergründig die Räder.

Ein verringerter Raddurchmesser bewirkt eine geringere abstrahlende Fläche der Räder und damit eine reduzierte Schallabstrahlung. Vierachsige Lokomotiven haben in der Regel einen Raddurchmesser von 1250 mm, um viel Bauraum für den Antrieb zu ermöglichen. Leisere Loks verfügen über kleinere Räder mit einem Raddurchmesser von 1100 mm. Dies gilt zum Beispiel für die vierachsige Lokomotive Lok 2000, die sehr niedrige Vorbeifahrtpegel aufweist. Denkbar ist auch die Verwendung von Rädern mit nur 920 mm Durchmesser, wie sie bei Triebwagenachsen üblichen sind, um das Rollgeräusch weiter zu reduzieren.²¹⁸

Eine weitere Absenkung kann durch akustisch optimierte Radgeometrien erreicht werden. Die Radgeometrie und Steifigkeit beeinflussen die abstrahlenden Flächen sowie die entsprechenden Starrkörpermoden. Idealerweise sind die Räder mit einem geraden, ebenen Radsteg konstruiert. Im Shift2Rail-Projekt „PIVOT“ wurden neuartige Radgeometrien bestehend aus 26 Speichen, verteilt auf zwei (gerade) Radstege für einen möglichen Einsatz bei Metrofahrzeugen untersucht.²¹⁹ Durch die reduzierte Radfläche ist davon auszugehen, dass weniger Schall emittiert wird. Praktische Messversuche an Lokomotiven erfolgten aber bisher noch nicht.²²⁰

Neben der Reduzierung der schallabstrahlenden Fläche des Rades ist auch eine Schallreduktion durch Dämpfung möglich, beispielsweise durch die Verwendung von Radschallabsorbern (vgl. Abschnitt 3.6.2.3). Darüber hinaus können Schallschürzen eingesetzt werden, die im Rahmen des Projekts „DYNAFREIGHT“²²¹ eine Minderung zwischen 1 und 4 dB(A) erzielten.²²²

Drehgestell und radiale Einstellung der Räder

Bei der Befahrung von engen Bögen kann es bei den üblichen längsstarr im Drehgestell geführten Radsätzen zum Quergleiten der Räder und damit einer lateralen Anregung kommen. Diese kann sich durch ein tieffrequentes Grummeln oder durch ein hochfrequentes, tonhaltiges Kurvenkreischen akustisch bemerkbar machen. Insbesondere letzteres wird vom Menschen als besonders unangenehm empfunden, da es meist laut und zugleich tonhaltig ist.²²³

²¹⁶ Berger, Rau, Galander, Loebner (2017): Bremssysteme von Schienenfahrzeugen, S. 404 f.

²¹⁷ Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 16.

²¹⁸ Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 17.

²¹⁹ Baschanov, Böttcher (2019): Performance Improvement for Vehicles On Track (PIVOT): D4.3 New Materials, Methods and Manufacturing Processes of Wheel.

²²⁰ Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 17 f.

²²¹ Baumgärtel, Pálinkó (2018): Dynafreight Deliverable 2.2 – Noise reduction on freight locomotive bogies.

²²² Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 17 f.

²²³ Schindler (Hrsg.) (2014): Handbuch Schienenfahrzeuge, S. 160 f.

Fahrzeugseitig können hierbei radialeinstellende Radsätze Abhilfe schaffen. Die Längssteifigkeit der Fahrwerkskonstruktion muss dabei den widersprüchlichen Anforderungen für Stabilität und Bogenfahrt gerecht werden. Dabei gilt es in Längsrichtung eine steife Radsatzführung für einen stabilen Lauf in der Geraden und eine weiche Radsatzführung für einen geräusch- und verschleißarmen Bogenlauf zu ermöglichen. Konstruktiv können verschiedene Lösungen am Drehgestell eine verbesserte Bogenfahrt bewirken. Diese sind:²²⁴

- ▶ Selbstgelenkte Radsätze mit einer weichen Anlenkung in Längsrichtung an den Drehgestellrahmen, was nur bei niedrigen Geschwindigkeiten und hoher Dämpfung möglich ist, z. B. bei Güterwagen (siehe z. B. beim Güterwagen-Drehgestell DRRS 25LD, Abschnitt 3.6.2.5).
- ▶ Gegenseitig gekoppelte Radsätze (Ausführung durch z. B. Diagonalverbindung, Stangenmechanismus oder durch einen am Drehgestellrahmen befestigten Mechanismus (siehe z. B. beim Güterwagen-Drehgestell RC25NT)) und weiche Radsatzführung mit einer hohen Laufstabilität.
- ▶ Zwangsgesteuerte Radsätze durch Verbindung der Radsatzkopplung mit dem Wagenkasten (lediglich in wenigen Ausnahmefällen bewährt).
- ▶ Frequenzabhängige Radsatzführung durch ein hydraulisches Achslenkerlager (Steifigkeit nimmt bei hohen Frequenzen (z. B. oberhalb 5 Hz) zu, was die Stabilität begünstigt und bei niedrigen Frequenzen (z. B. unterhalb 3 Hz) ab, was den Bogenlauf begünstigt).
- ▶ Geringer Radsatzabstand und sehr starke Schlingerdämpfer, was jedoch zu einem großem Spurkranzverschleiß führen kann.

Aerodynamische Geräusche

Aerodynamische Geräusche treten bei Lokomotiven und ETZ erst bei hohen Geschwindigkeiten auf. Für ETZ des Hochgeschwindigkeitsverkehrs erfolgt eine Darstellung in Abschnitt 3.4.2.1 zum SPFV, da die entsprechend sehr hohen Geschwindigkeiten mit ETZ lediglich dort gefahren werden. Jedoch können auch bei Lokomotiven aerodynamische Anteile dominieren, da diese im Regelfall eine weniger stromlinienartige Form aufweisen. So wird in BAFU (2006) darauf hingewiesen, dass bspw. bei der Lok 2000 (eine aus akustischer Sicht sehr leise Lokomotive) bei 200 km/h bereits aerodynamische Strömungen dominieren (was auf ein im Vergleich zu anderen Lokomotiven sehr niedriges Rollgeräusch zurückzuführen ist).²²⁵ In der Studie wird betont, dass bei der Auslegung von Lokomotiven auf exponierte Anbauteile möglichst verzichtet werden sollte, da diese eine Erhöhung um 2 bis 3 dB(A) bewirken können.

3.3.3 Empfehlungen

Wie dargestellt wurde, stehen für Triebfahrzeuge verschiedene Schallminderungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die meisten Maßnahmen können bei Neufahrzeugen zu Kosten umgesetzt werden, die im Verhältnis zu den Kosten der Fahrzeuge vernachlässigbar gering sind. Dies erfordert jedoch entsprechende Entwicklungen der Hersteller. Die dafür notwendigen Entwicklungskosten sind absolut gesehen hoch, doch wiederum ins Verhältnis zu den üblichen Entwicklungskosten für ein neues Fahrzeug gesetzt auch nicht außergewöhnlich hoch.

Die Kostensteigerungen bei den einzelnen Fahrzeugen werden sehr unterschiedlich ausfallen, je nach Art der Maßnahmen, die von der Industrie zur Erfüllung der Grenzwerte getroffen werden

²²⁴ Janicki, Reinhard (2008): Schienenfahrzeugtechnik, S. 80. Polach (2024a): Skript zur Vorlesung Dynamik von Schienenfahrzeugen – Bogenfahrt, S. 19.

²²⁵ BAFU (2006): Studie zur Thematik „Lärminderung an Triebfahrzeugen“, S. 42, 60f.

müssen. Wenn Anpassungen im Bereich der Lüfter ausreichend sind, sind die Kostensteigerungen minimal. Am teuersten sind Anpassungen im Bereich der Getriebekonstruktion. Für solche Fälle, in denen grundlegende Neukonstruktionen zur Lärminderung notwendig werden, wurden bei den Neufahrzeugen Preiserhöhungen von bis zu 4 % abgeschätzt, welche bei 160.000 Euro liegen können oder 7.500 Euro pro Jahr über die Lebensdauer der Lok.²²⁶

Es ist daher sinnvoll, diese Entwicklungen bei Neufahrzeugen in Gang zu setzen, indem die Emissionsgrenzwerte für Neufahrzeuge abgesenkt werden, so dass die Fahrzeughersteller selbst entscheiden können, mit welchen Maßnahmen sie diese Grenzwerte am günstigsten erreichen (technologieoffen intendierte Grenzwerte). Im Laufe der Zeit könnten die Grenzwerte weiter gesenkt werden, um sukzessive immer mehr Schallquellen in den Blick zu nehmen. Alle Grenzwertsenkungen sollten nach einer Übergangszeit wirksam werden, so dass den Herstellern genug Zeit für die Entwicklung kostengünstiger Umsetzungen bleibt.

Wie in Abschnitt 2.4 dargestellt wurde, werden Emissionsgrenzwerte für Fahrzeuge nicht von den Mitgliedstaaten, sondern von der EU in der TSI Noise gesetzt. Die Gutachter*innen empfehlen daher der Bundesregierung, im Rahmen einer **EU-Initiative** darauf zu drängen, dass die **Grenzwerte der TSI Noise für Lokomotiven und Elektrotriebzüge abgesenkt** werden. Dies hätte auch den Vorteil, dass die Hersteller diese Entwicklungen für den ganzen europäischen Markt vornehmen, was ebenfalls die Einzelkosten lärmarmen Triebfahrzeuge senken wird.

Es sei angemerkt, dass die Schallemissionen einiger am Markt angebotener Triebfahrzeuge bereits unter den aktuellen Grenzwerten der TSI Noise liegen. Als Beispiel ist etwa der elektrische Niederflurtriebzug FLIRT Algier zu nennen.²²⁷ Eine Absenkung der Grenzwerte hätte dann den Vorteil, dass diese Fahrzeuge nicht im Laufe der Zeit lauter werden, denn es gibt viele Möglichkeit für technische Änderungen an den Fahrzeugen, die als unbeabsichtigte Folge auch die Schallemissionen erhöhen können, wenn dies zulässig ist. Allgemein zeigen die Ausführungen in UBA (2013), dass viele bereits bis zum Jahr 2013 zugelassene Fahrzeuge bereits die TSI Grenzwerte unterschreiten, sodass die Autoren*innen dort zu Empfehlungen für kurzfristige und mittelfristige Grenzwerte kommen, die den Empfehlungen des BSN aus dem Jahr 2021 für Fahrzeuge des Nahverkehrs sehr ähneln (vergleiche dazu Abschnitt 3.5.2).²²⁸

Die Erfolgchancen einer solchen EU-Initiative der Bundesregierung werden von den Gutachter*innen als recht hoch eingeschätzt. Es ist auffällig, dass die Grenzwerte der TSI Noise für Triebfahrzeuge seit der ersten TSI Noise aus dem Jahr 2006 trotz mehrerer Revisionen der TSI Noise kaum angepasst wurden; siehe Tabelle 3. Dies steht im Gegensatz zu anderen umweltpolitischen Handlungsfeldern der EU, in denen Grenzwerte im Laufe der Zeit üblicherweise abgesenkt werden, wie etwa bei den Stickoxid- oder Partikelemissionen von Verbrennungsmotoren. Es müsste daher leicht vermittelbar sein, dass bei der TSI Noise Handlungs- und Nachholbedarf besteht. Allerdings ist nicht sicher, ob dieses Thema schon für die nächste, für 2028 geplanten Revision der TSI Noise, für die jetzt schon die Vorbereitungen laufen, eingebracht werden kann. Generell ist nicht auszuschließen, dass eine Reduktion der Grenzwerte für Triebfahrzeuge auf EU-Ebene nur verzögert und in Stufen erfolgt.

²²⁶ Für den Wert von 160.000 Euro siehe EMPA, Technische Universität Berlin (2023): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 51. Berücksichtigt man eine Lebensdauer der Lok von 32 Jahren sowie eine Überholung nach 16 Jahren, bei der nochmals 50 % der Anschaffungskosten anfallen, so ergibt sich der Wert von 7.500 Euro pro Jahr.

²²⁷ Siehe UBA (2013) Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, Kapitel 10.

²²⁸ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 18.

Tabelle 3: Entwicklung der TSI Noise Grenzwerte bei Elektrotriebzügen

Geräuschart	Messgröße	2006	2011	2014	2019	2023
Standgeräusch	$L_{pAeq,T}$	68 dB	68 dB	65 dB	65 dB	65 dB
	$L_{pAeq,T}^i$			68 dB	68 dB	68 dB
	L_{pAFmax}^i			85 dB	85 dB	85 dB
Anfahrgeräusch	L_{pAFmax}	82 dB	82 dB			
	Höchstgeschwindigkeit $v_{max} < 250 \text{ km/h}$ (L_{pAFmax})			80 dB	80 dB	80 dB
	Höchstgeschwindigkeit $v_{max} \geq 250 \text{ km/h}$ (L_{pAFmax})			83 dB	83 dB	83 dB
Vorbeifahrgeräusch	$L_{pAeq,Tp} (80 \text{ km/h})$	81 dB	81 dB	80 dB	80 dB	80 dB
	$L_{pAeq,Tp} (250 \text{ km/h})$			95 dB	95 dB	95 dB

Quelle: Eigene Darstellung.

Die verschiedenen im vorigen Abschnitt dargestellten Schallminderungsmöglichkeiten für **Lokomotiven** adressieren die Aggregatgeräusche und das Rollgeräusch, die je nach Fahrzustand unterschiedlich dominant sind. Die Gutachter*innen folgen den Empfehlungen aus Hecht et al. (2022), welche deutliche Reduzierungen von 5 dB(A) und mehr gegenüber den heutigen Grenzwerten der TSI Noise vorsehen und für Elektrolokomotiven in der folgenden Tabelle 4 dargestellt sind. Die gleichen Werte sollen zukünftig auch für Diesel- und Hybridlokomotiven sowie für Lokomotiven mit alternativen Kraftstoffen gelten. Bei diesen sollte jedoch für das Anfahrgeräusch ein höherer Grenzwert von 81 dB gelten (allerdings nicht für die Anfahrt im Elektromodus).

Hinsichtlich der **Elektrotriebzüge** sehen die Gutachter*innen die in Abschnitt 3.5.2 vorgestellten Grenzwerte der Empfehlungen des BSN als Ansatzpunkt für eine deutsche Initiative zur Absenkung der Grenzwerte der TSI Noise.²²⁹ Grenzwerte für Elektrotriebzüge des Hochgeschwindigkeitsverkehrs (ab 250 km/h) werden in Abschnitt 3.4.3 vorgestellt.

Die Gutachter*innen halten das Erreichen dieser Grenzwerte mit im Verhältnis zu den Kosten der Fahrzeuge geringen Zusatzkosten mittelfristig erreichbar.

²²⁹ Diese umfassen zum Beispiel für neue Elektrotriebzüge Grenzwerte für die Anfahrt von 71 dB und für die Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit von 75 dB.

Tabelle 4: Empfehlung der Gutachter*innen für TSI Noise Werte für Elektrolokomotiven

Geräuschart	Messgröße	Aktueller Grenzwerte der TSI Noise*	Empfohlener Grenzwert für die TSI Noise	Implizierte Minderung des Grenzwertes
Standgeräusch				
- A-bewerteter, äquivalenter Dauerschallpegel	$L_{pAeq,T}$	70 dB	61 dB	9 dB
- A-bewerteter, äquivalenter Dauerschallpegel des Hauptkompressors am nächstgelegenen Messpunkt i	$L_{pAeq,T}^i$	75 dB	62 dB	13 dB
- AF-bewerteter Schalldruckpegel impulsförmiger Geräusche des Auslassventils des Luftrockners am nächstgelegenen Messpunkt i	$L_{pAeq,T}^i$	85 dB	70 dB	15 dB
Vorbeifahrgeräusch (Bezugsgeschwindigkeit 80 km/h)	L_{pAeq,T_p}	84 dB	79 dB	5 dB
Anfahrgeräusch	L_{pAFmax}	84 dB**	78 dB	6 dB
Bremsgeräusch	L_{pAFmax}	k. A.	79 dB	k. A.

* TSI Noise 2014 mit Änderungen aus 2023. ** Der Wert gilt für Elektrolokomotiven mit Gesamttraktionsleistung $P \geq 4500$ kW. Quelle: Die Empfehlungen folgen Hecht et al. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 56.

Anzumerken ist, dass die Absenkung von Grenzwerten der TSI Noise sich lediglich auf Neufahrzeuge bezieht und somit ein langer Zeitraum bis zur weitgehenden Umsetzung in den Flotten vergehen wird. Insbesondere für den SPNV, der in Deutschland vom Bund finanziert und von den Ländern bestellt wird, bietet sich die besondere Situation, im nationalen Rahmen schon eine vorzeitige Umsetzung sowohl für Neu- als auch für Gebrauchtfahrzeuge zu erreichen. Dies wird in Abschnitt 3.5 dargestellt. Im SGV ist das Problem der Lokomotiven zwar gegeben, wie eingangs dargestellt wurde, doch sollte bis auf Weiteres eine Priorität auf der Lärmreduktion bei den Güterwagen liegen. Dies wird in Abschnitt 3.6 dargestellt. Wenn die Güterwagen leiser werden, wird der Beitrag der Lokomotiven zum Vorbeifahrtpegel der Güterzüge jedoch stärker in den Vordergrund treten und sollte von der Lärmschutzpolitik adressiert werden. Aus diesem Grund sollten bereits jetzt niedrigere Emissionswerte für neu zugelassene Lokomotiven durchgesetzt werden, die anschließend viele Jahrzehnte im Einsatz sind.

Die Gutachter*innen empfehlen daher, sich – neben der besonderen Politik für den SPNV – zunächst auf die EU-Initiative zur Absenkung der Grenzwerte der TSI Noise zu konzentrieren, die lediglich Neufahrzeuge adressiert. Wenn dies gelungen ist, können zu einem späteren Zeitpunkt Schritte zur Senkung der Lärmemissionen auch der Gebrauchtfahrzeuge des SGV und ggf. auch des SPFV erfolgen. Grundsätzlich bieten sich dafür Förderinstrumente in Verbindung mit Trassenpreisanreizen an, analog zu den Empfehlungen für die Güterwagen; siehe Abschnitte 3.6.4 und 3.6.5.

3.4 Lärminderung beim Schienenpersonenfernverkehr

Gegenüber dem SPNV und dem SGV sehen die Gutachter*innen den SPFV als geringsten Emittenten von Geräuschquellen im Schienenverkehr. Es ist jedoch aus Sicht der Gutachter*innen notwendig, das akustische Niveau der Elektrotriebzüge zu sichern und bei lokbespannten Reisezugwagen Verbesserungen zu erreichen. Dabei profitiert der SPFV von den Maßnahmen an der Infrastruktur, die in Abschnitt 3.2 vorgestellt wurden, und von den Vorschlägen für alle Lokomotiven und Elektrotriebzüge, die in Abschnitt 3.3 vorgestellt wurden.

In Abschnitt 3.4.1 wird der begrenzte Handlungsbedarf beim SPFV dargestellt. Die möglichen technischen Maßnahmen zur Lärminderung beim SPFV werden in Abschnitt 3.4.2 beschrieben. In Abschnitt 3.4.3 werden Empfehlungen ausgesprochen, bei denen es sich praktisch um eine Verlängerung der Empfehlungen aus Abschnitt 3.3 für einige Sonderthemen des SPFV handelt.

3.4.1 Handlungsbedarf beim SPFV

Der SPFV verkehrt in Deutschland vor allem zwischen den großen Städten und Metropolregionen des Landes. Er stellt in diesen Gebieten und zwischen ihnen eine mögliche Lärmquelle dar. Dies verdeutlicht die in Anhang A.1 gezeigte Streckenkarte mit dem Verkehrsaufkommen des SPFV auf den Haupteisenbahnstrecken des Bundes, die im Rahmen der Lärmaktionsplanung veröffentlicht wird.²³⁰ So verkehren bspw. auf den Strecken Hamburg-Hannover, Düsseldorf-Frankfurt oder Frankfurt-Stuttgart besonders viele Züge des Fernverkehrs. Insbesondere auf diesen stark befahrenen Strecken sowie innerhalb der Städte in Bahnhofsbereichen sind Züge des SPFV als mögliche relevante Schallquellen anzusehen.

Insgesamt stellen jedoch die Geräuschemissionen des SPFV gegenüber denen des SGV und des SPNV ein untergeordnetes Problem dar. Dies liegt an der relativ geringeren Betriebsleistung des SPFV (diese beträgt etwa 150 Mio. Zug-km, im Gegensatz zu etwa 1.000 Mio. des SPNV und 280 Mio. des SGV)²³¹ und der Tatsache, dass die vom SPFV befahrenen Strecken überwiegend schon mit Schallschutzwänden ausgestattet sind. Zudem emittieren Elektrotriebzüge des Fernverkehrs bei gleicher Geschwindigkeit im Regelfall weniger Schall als Elektrotriebzüge des Nahverkehrs, sodass zumindest im niedrigen Geschwindigkeitsbereich eine Lärminderung vordergründig beim Nahverkehr ansetzen sollte, wie nachfolgend aufgezeigt wird.

Die seit 2019 installierten 19 Lärm-Monitoring-Stationen des Eisenbahn-Bundesamtes erfassen die realen Schallemissionen von vorbeifahrenden Zügen. Bei den öffentlich zugänglichen Messergebnissen erfolgt eine Ausweisung als Güterverkehr oder Personenverkehr, gepaart mit zusätzlichen Informationen zu Geschwindigkeit und Zuglänge. Die bundesweit verteilten Stationen sollen vordergründig den Güterverkehr erfassen (ca. zwei Drittel des SGV in Deutschland werden durch die Stationen erfasst), welcher auch den Großteil (75 %) der dort gemessenen Geräuschemissionen ausmacht. Dennoch können die Daten genutzt werden, um auch Aussagen über die Bedeutung des SPFV und SPNV für die Lärmbelastung zu treffen. Im Rahmen einer Bachelorarbeit²³² an der TU Berlin und der Arbeit für das vorliegende Gutachten wurden die Daten der 19 Monitoring-Stationen für das Jahr 2021 ausgewertet. Dafür wurden die

²³⁰ Im Rahmen der Lärmkartierung als Teil der Lärmaktionsplanung werden die in Abschnitt 6.3.1 eingeführten Lärmindizes berechnet. Durch diese kann die Lärmbelastung der Bevölkerung der Gemeinden im Bereich der Haupteisenbahnstrecken des Bundes modelliert werden. Dabei erfolgt jedoch keine Ausweisung der Anteile einzelner Verkehrsarten (SPFV, SPNV, SGV) an der Belastung der Bevölkerung. Demnach kann die Lärmkartierung nur bedingt genutzt werden, um eine Aussage bezüglich der Bedeutung einzelner Verkehrsarten an der Lärmbelastung zu treffen.

²³¹ Siehe Tabelle 14 in Abschnitt 6.1.4, dort die Zahlenwerte für 2021, bei denen es sich um rekonstruierte Werte unter Herausrechnung des Einflusses der COVID-19-Pandemie handelt.

²³² Zimmermann (2022): Analyse der Schallemissionen des Schienenpersonenverkehrs auf Basis der Daten der Lärm-Monitoring-Stationen des Eisenbahn-Bundesamts.

an den entsprechenden Messstellen verkehrenden Fahrzeugtypen des SPNV sowie SPFV und deren Konfigurationen recherchiert. Kriterium ist dabei die Zuglänge, die ebenfalls in den Lärm-Monitoring-Daten ausgewiesen wird. Anschließend erfolgte eine Zuweisung entsprechender Fahrzeuge zu den erfassten Messungen der Monitoring-Stationen anhand der Zuglänge.²³³ Die Daten des Lärm-Monitorings umfassen weiterhin die Geschwindigkeiten, die A-bewerteten Maximalpegel der Vorbeifahrt und die Vorbeifahrtexpositionspegel (TEL).²³⁴ Letzterer kann auf eine Geschwindigkeit von 80 km/h normiert werden (TEL₈₀).

Eine exemplarische Betrachtung der Vorbeifahrtpegel wird hier für die Messstation Telgte durchgeführt. In Abbildung 24 sind in der oberen Graphik die entsprechenden Pegelwerte dargestellt und in der unteren Graphik die Geschwindigkeiten.

Es zeigt sich, dass beim TEL₈₀ die Elektrotriebzüge des Fernverkehrs im Schnitt 2 dB(A) bis 4 dB(A) weniger Schall emittieren als die Elektrotriebzüge des Nahverkehrs. Dabei liegen die Mediane des Vorbeifahrtexpositionspegels TEL (ohne Normierung auf eine Geschwindigkeit) für die Elektrotriebzüge des Fernverkehrs um 0 bis 3 dB(A) über denen des Nahverkehrs, was mit der rund 60 km/h höheren Geschwindigkeit begründet werden kann. Ein Vergleich der lokbespannten Reisezüge (IC) mit den Elektrotriebzügen des Fernverkehrs ICE 1 und ICE 4 zeigt, dass bei vergleichbarer Geschwindigkeit (ca. 200 km/h) die lokbespannten Reisezüge um 3 bis 5 dB(A) höhere Emissionen aufweisen. Diese liegen auch bei der Normierung auf den TEL₈₀ leicht oberhalb der Elektrotriebzüge des Nahverkehrs.

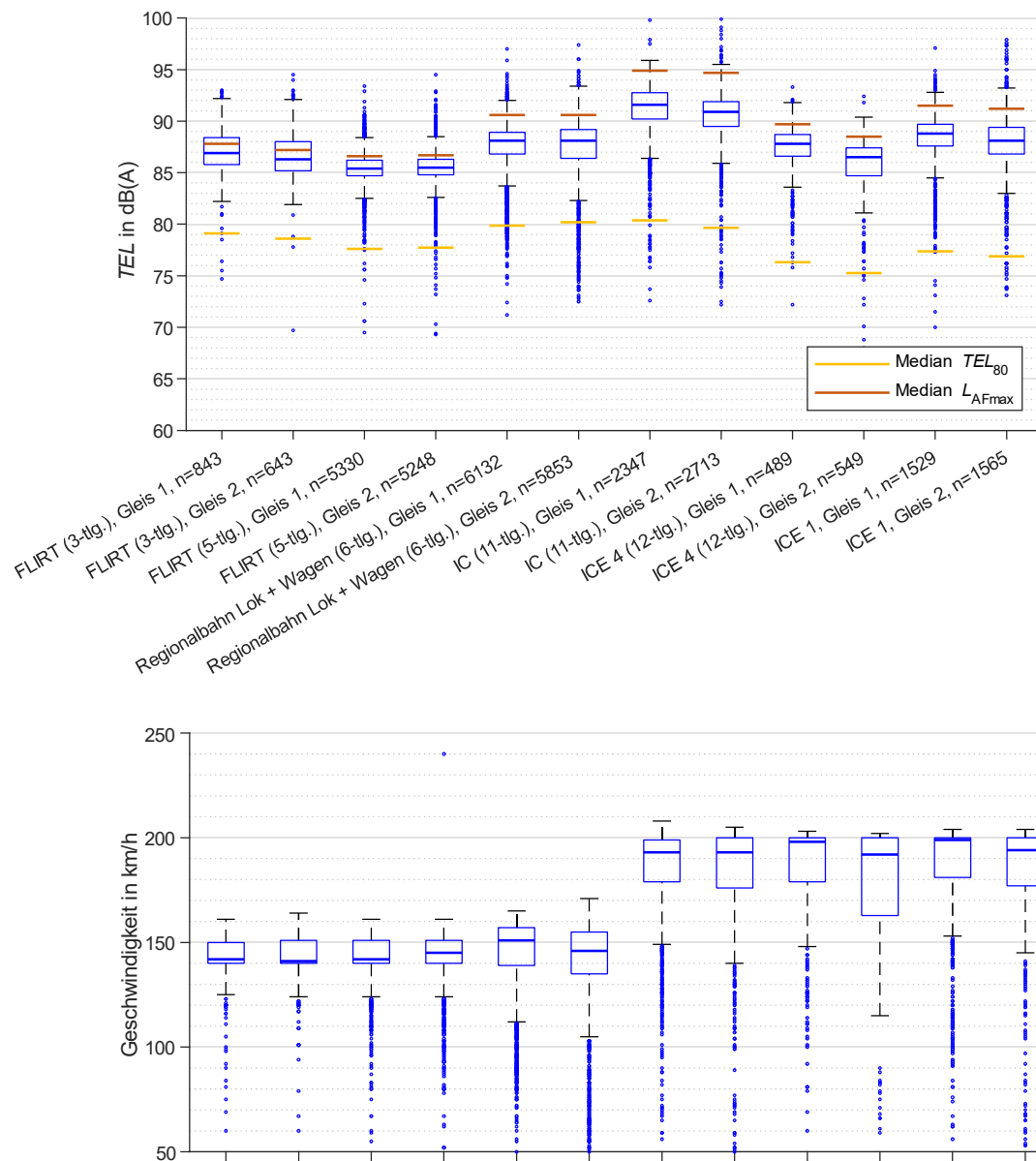
Insgesamt kann daraus abgeleitet werden, dass die Elektrotriebzüge des Fernverkehrs bei gleicher Geschwindigkeit leiser als die Elektrotriebzüge des Nahverkehrs sind. Aufgrund der höheren Geschwindigkeiten des SPFV kann die absolute Schallabstrahlung jedoch höher sein. Innerhalb des SPFV weisen lokbespannte Reisezüge gegenüber Elektrotriebzügen deutlich höhere Emissionen auf, mit Differenzen zwischen 4 und 5 dB(A) bei 200 km/h. Auch in der Literatur wurde dokumentiert, dass der in 25 Meter Abstand gemessene Vorbeifahrtpegel eines ICE 1 bei 280 km/h ungefähr dem eines lokbespannten Reisezuges bei 200 km/h entspricht.²³⁵ Demnach stellen die lokbespannten Reisezüge trotz oft etwas niedrigerer Geschwindigkeit eine relevante Schallquelle im SPFV dar. Anzumerken ist insgesamt jedoch die geringere Betriebsleistung der lokbespannten Reisezüge im Vergleich zu denen der Elektrotriebzüge des SPFV.

²³³ Teilweise können dabei einzelne Messungen nicht zugewiesen werden, da die Zuglänge nicht zu den dort üblicherweise verkehrenden Fahrzeugen passte.

²³⁴ Der Vorbeifahrtexpositionspegel unterscheidet sich in der Berechnung leicht von dem in Abschnitt 2.1 eingeführten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel, welcher bei Zulassungen nach TSI Noise genutzt wird. Die Messdauer unterscheidet sich dabei leicht, so dass der TEL den Vorbeifahrtpegel leicht überschätzen kann. Für den Hochgeschwindigkeitsverkehr liegt diese Überschätzung bei einer Messung im Abstand von 25 m zum Gleis im Bereich von 0,5 bis 1,5 dB(A). Bei einer Messung im Abstand von 7,5 m, wie sie bei den Monitoring-Stationen vorgenommen wird, fällt der Unterschied geringer aus. Für den Nahverkehr kann der TEL nach Auffassung des VDV näherungsweise als gleich gegenüber dem Vorbeifahrtpegel angesehen werden, siehe VDV (2011): Geräusche von Schienenfahrzeugen des Öffentlichen Personen-Nahverkehr (ÖPNV), S. 56f.

²³⁵ Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 20.

Abbildung 24: Vorbeifahrtexpositionspegel an der Messstation Telgte, aufgeschlüsselt nach Nahverkehrs- und Fernverkehrs-Fahrzeugtypen und Gleis



Obere Abbildung: Darstellung der Boxplots des Vorbeifahrtexpositionspegels (TEL) – die blaue Linie stellt den Median dar. Außerdem Median des TEL_{80} (gelb) sowie Median des maximalen Vorbeifahrtpegels L_{AFmax} (orange). Untere Abbildung: Boxplots der Geschwindigkeiten. Die Fahrzeuge ICE 1 und ICE 4 sind Elektrotriebzüge (ETZ) des SPFV. Der IC ist ein lokbespannter Reisezug mit 11 Wagen des SPFV. Bei den Varianten des FLIRT (3-teilig sowie 5-teilig) handelt es sich um einen ETZ des SPNV, bei der Regionalbahn mit Lok und Wagen (6 Stück) um lokbespannte Reisezüge des SPNV. Darstellung für beide Gleise an der Messstelle, die leicht unterschiedliche Schienenrauheiten und Gleisabklingraten aufweisen. n steht für die Anzahl der zugewiesenen Vorbeifahrten. Für eine detailliertere Erklärung der Boxplots siehe Anhang A.2. Quelle: Eigene Berechnungen mit Daten des Lärm-Monitorings, Messstation Telgte, für den Zeitraum 13.12.2020 bis 11.12.2021. Siehe Eisenbahn-Bundesamt (o. D.c).

3.4.2 Technische Maßnahmen beim SPFV

Im SPFV werden Elektrotriebzüge und lokbespannte Reisezüge eingesetzt. Mit Elektrotriebzügen werden Geschwindigkeiten bis zu 300 km/h gefahren, mit lokbespannten Reisezügen Geschwindigkeiten von bis zu 200 km/h. Mögliche technische Maßnahmen der Geräuscheminderung für Elektrotriebzüge sowie Lokomotiven wurden bereits in Abschnitt 3.3 vorgestellt. Sie werden hier um aerodynamische Geräusche im Hochgeschwindigkeitsverkehr ergänzt. Darüber hinaus wird die Lärmproblematik von lokbespannten Reisezugwagen adressiert.

3.4.2.1 Aerodynamische Geräusche und Rollgeräusch des Hochgeschwindigkeitsverkehrs

Aerodynamische Geräusche werden als die dominierende Geräuschquelle von Schienenfahrzeugen im oberen Geschwindigkeitsbereich angenommen, siehe Abbildung 8 in Abschnitt 2.3. Ab welcher Geschwindigkeit aerodynamische Geräusche konkret dominieren, hängt stark von Fahrzeugeigenschaften und insbesondere der aerodynamischen Gestaltung ab. Darauf wird auch stets in entsprechender Literatur hingewiesen wo beispielsweise 200 km/h²³⁶ oder 300 km/h²³⁷ als Geschwindigkeiten genannt werden, ab denen aerodynamische Geräusche dominieren. Bei Hochgeschwindigkeitszügen, die aerodynamisch optimierte Außenkonturen aufweisen, fällt der aerodynamische Geräuscheinfluss gegenüber bspw. Lokomotiven erst bei höheren Geschwindigkeiten ins Gewicht.

Aerodynamische Geräusche entstehen durch Luftverwirbelungen, Strömungsabrisse und der Ausbildung einer sog. Grenzschicht in Zuglängsrichtung.²³⁸ Luftverwirbelungen und Strömungsabriss treten vor allem bei Anbauteilen und Teilen, die exponiert vom Zugkörper im Wind stehen, beispielsweise dem Pantographen, auf. Dementsprechend ist auch die aerodynamische Formgebung der Front des Zuges von großer Bedeutung. Weitere starke Emittenten von aerodynamischen Geräuschen sind die Drehgestelle und sehr singulär Scheibenwischer, Frontkupplungen und Haltegriffe.²³⁹ Bei einer Mikrofonarraymessung eines ICE 3 wurden außerdem Verbindungskabel zwischen den Wagen und auf dem Dach montierte Antennen als zusätzliche aerodynamische Schallquellen identifiziert. Insgesamt zeigte sich bei den am ICE 3 durchgeführten Untersuchungen der Bereich des ersten Drehgestells als dominierende Schallquelle (bei Geschwindigkeiten über 300 km/h), mit Anteilen von Rollgeräuschen und verschiedenen aerodynamischen Effekten. Ebenfalls relevante Schallquellen waren die Pantographen.²⁴⁰ Die Schallquellenverteilung einer ICE 3 Vorbeifahrt bei 350 km/h ist in Abbildung 25 zu sehen, farblich ist der entsprechende Schalldruckpegel in dB(A) dargestellt.

²³⁶ BAFU (2006): Studie zur Thematik „Lärminderung an Triebfahrzeugen“, S. 14.

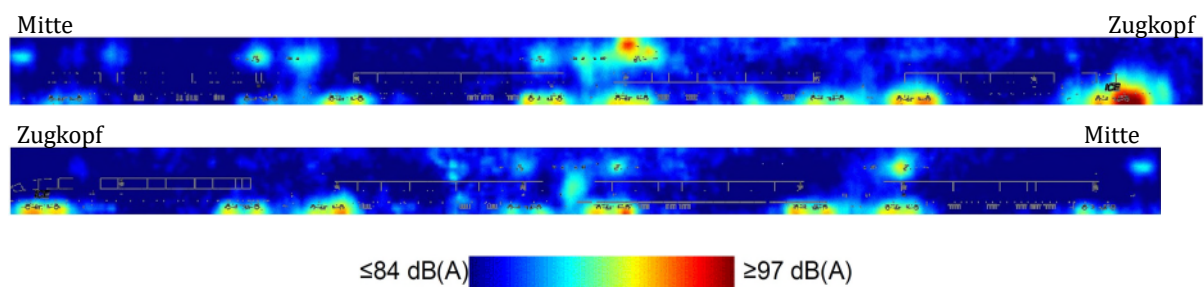
²³⁷ Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 6.

²³⁸ Wunderli (2008): Quellenseparation bei fahrenden Zügen mit Hilfe von Schalldruck und Schallschnellmessungen, S. 18.

²³⁹ Wunderli (2008): Quellenseparation bei fahrenden Zügen mit Hilfe von Schalldruck und Schallschnellmessungen, S. 18; BAFU (2006): Studie zur Thematik „Lärminderung an Triebfahrzeugen“, S. 14.

²⁴⁰ Martens et al. (2002): High speed rain noise- sound source localization at fast passing trains, S. 2f.

Abbildung 25: Schallquellenverteilung einer ICE 3 Vorbeifahrt



Schallquellenverteilung einer ICE 3 Vorbeifahrt bei 350 km/h. Gemessen mit einem Mikrofonarray. Im oberen Bild auf der rechten Seite befindet sich die Spitze des Zuges in Fahrtrichtung, auf der linken Seite die Mitte des Zuges. Im unteren Bild ist auf der linken Seite die Spitze des Zuges entgegen der Fahrtrichtung dargestellt, auf der rechten Seite die Mitte des Zuges. Quelle: Martens et al. (2002): High speed train noise – sound source localization at fast passing trains, S. 2. Darstellung bearbeitet.

Vergleichende Messungen mit einem italienischen Schnellzug (ETR 500) mit 300 km/h sowie einem ICE 2 mit 250 km/h zeigten ebenfalls das vorderste Drehgestell als dominierende Schallquelle.

Der Pantograph, die Antennen und Übergangsstellen auf dem Dach haben durch ihre exponierte Position in Bezug auf die Schallabstrahlung eine besondere Bedeutung. Wegen deren Höhe kann der von ihnen emittierte Schall nicht immer ausreichend durch Schallschutzwände abgeschirmt werden. Hintergrund ist, dass lange Zeit überwiegend 2 oder 3 Meter hohe Schallschutzwände eingebaut wurden. Inzwischen werden bei einigen Schnellfahrstrecken höhere Schallschutzwände eingesetzt, zum einen aufgrund der höher gelegenen Schallquellen, zum anderen um auch das Rollgeräusch stärker zu dämpfen. Höhere Schallschutzwände schirmen auch Häuser in größerer Entfernung von den Schallquellen ab und ermöglichen eine stärkere Abschirmung auch des weiter von der Schallschutzwand entfernten Gleises. Allerdings sind höhere Schallschutzwände auch besonders störend im Stadt- und Landschaftsbild.

Zur Minderung der aerodynamisch verursachten Geräusche legt BAFU (2006)²⁴¹ nahe, den Pantographen aerodynamisch zu optimieren und aerodynamisch gestaltete Schürzen am Drehgestell und Dachbereich zu installieren. Solche Schürzen wurden bereits in der Baureihe des ICE 4 an den beiden führenden und den beiden letzten Drehgestellen realisiert.

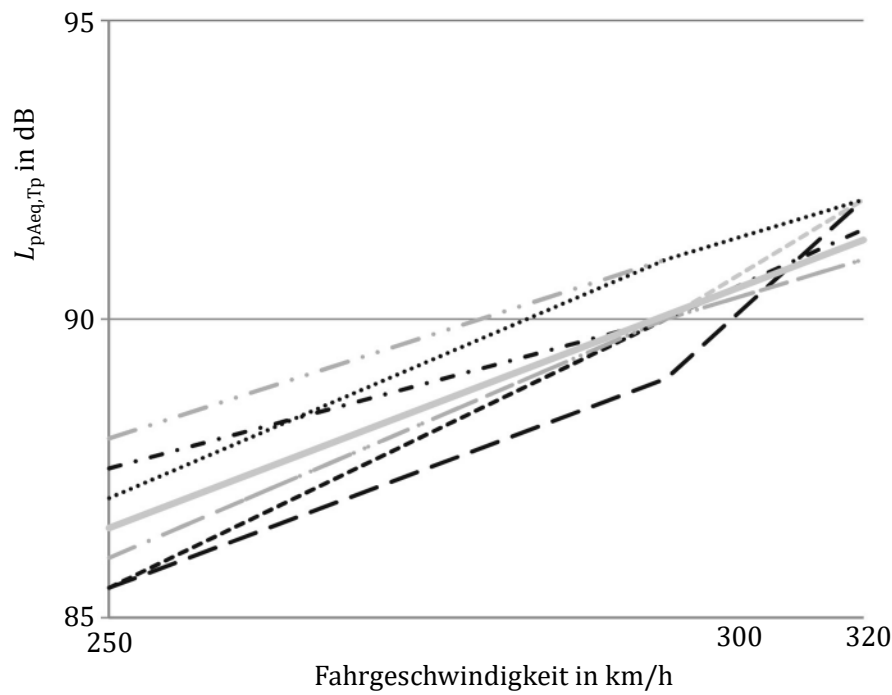
Es muss einschränkend betont werden, dass in Deutschland nur selten im sehr hohem Geschwindigkeitsbereich von über 250 km/h gefahren wird, mit im Maximalfall 300 km/h, nicht jedoch mit den in Abbildung 25 untersuchten 350 km/h. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass für weite Teile des durchgeführten Fernverkehrs mit Elektrotriebzügen aerodynamische Geräusche nicht die dominierende Geräuschquelle darstellen. Auch bei der Fahrt mit hohen Geschwindigkeiten ist weiterhin das Rollgeräusch als relevante Schallquelle anzusehen.

Dies verdeutlicht Abbildung 26. Dargestellt sind dort die Vorbeifahrtpegel verschiedener Hochgeschwindigkeitszüge für eine Messposition im Abstand von 25 m zur Gleismitte und 3,5 m über Schienenoberkante. Die Daten entstammen verschiedenen Messorten, die jedoch stets die Anforderungen an das Gleis nach TSI Noise erfüllen. Der graue dicke Strich zeigt einen Anstieg des Pegels über der Geschwindigkeit gemäß $45 \log(v/v_0)$. Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben wird im Allgemeinen der Anstieg des Anteils des Rollgeräuschs über der Geschwindigkeit mit $30 \log(v/v_0)$ beschrieben, während der Anteil des aerodynamischen Geräuschs mit $60 \log(v/v_0)$ steigt. Es zeigt sich für beide Messungen des ICE 3 (in Deutschland und

²⁴¹ BAFU (2006): Studie zur Thematik „Lärminderung an Triebfahrzeugen“, S. 14.

Frankreich²⁴²), dass der Anstieg des Pegels über der Geschwindigkeit geringer als $45 \log(v/v_0)$ ist. Somit ist davon auszugehen, dass aerodynamische Geräuschquellen in jedem Fall nicht die alleinigen dominierenden Schallquellen darstellen, sondern das Rollgeräusch weiterhin eine relevante Stellung einnimmt, auch bei Geschwindigkeiten rund um 300 km/h.²⁴³

Abbildung 26: Vorbeifahrtpegel verschiedener Hochgeschwindigkeitszüge



Zugtyp	Messstrecke	Zugtyp	Messstrecke
TGV Thalys	Frankreich	ICE3 (BR 406)	Deutschland
TGV Duplex	Frankreich	AVE	Spanien
ICE3 (BR406)	Frankreich	ETR500	Italien

$45 \log(v/v_0)$ ———

Darstellung des Vorbeifahrtpegels verschiedener Hochgeschwindigkeitszüge über die Geschwindigkeit, gemessen an unterschiedlichen Orten, die jeweils die Anforderungen der TSI Noise an den Oberbau erfüllen. Die Messposition lag in 25 Metern Entfernung zur Gleismitte und 3,5 Meter über Schienenoberkante. In dunkelgrauer Linie ist ein Anstieg des Pegels gemäß der Gesetzmäßigkeit $45 \log(v/v_0)$ dargestellt. Quelle: Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 20. Darstellung bearbeitet.

Daher ist auch bei sehr hohen Geschwindigkeiten für Elektrotriebzüge das Rollgeräusch zu adressieren, was dessen Bedeutung für die Lärminderung unterstreicht. Die technischen Maßnahmen zur Minderung des Rollgeräuschs von Elektrotriebzügen wurden in Abschnitt 3.3 betrachtet. Es werden bei Elektrotriebzügen des SPfV bereits überwiegend Radschallabsorber bzw. Radscheibenbremsen eingesetzt, sodass dort das Minderungspotential limitiert ist. Dies

²⁴² Die unterschiedlichen Ergebnisse für die gleiche Baureihe in Frankreich und Deutschland dürften auf die unterschiedlichen akustischen Oberbaueigenschaften der Messstrecken zurückzuführen sein.

²⁴³ Dabei sei angemerkt, dass die Messungen an Strecken durchgeführt wurden, an denen die akustischen Eigenschaften an das Gleis gemäß TSI Noise erfüllt wurden. Auf Strecken im Netz mit einer höheren Schienenrauheit oder einer geringeren Gleisabklingrate dürfte der Anteil des Rollgeräuschs höher sein.

unterstützt die Empfehlungen des Gutachtens hinsichtlich der akustischen Qualität des Gleises, um eine weitere Senkung des Rollgeräuschs zu erreichen, siehe Abschnitt 3.2.

3.4.2.2 Lokbespannte Reisezüge

Beim SPFV müssen neben Elektrotriebzügen auch lokbespannte Reisezüge adressiert werden. Diese weisen im Vergleich zu Elektrotriebzügen bei gleicher Geschwindigkeit deutlich höhere Vorbeifahrtpegel auf. Die Minderungsmöglichkeiten für die Lokomotive wurden bereits in Abschnitt 3.3 vorgestellt. Bei den Reisezugwagen, welche keinen Antrieb aufweisen, spielen insbesondere das Rollgeräusch und zusätzlich auch Aggregatgeräusche die dominante Rolle. Bei mittleren und höheren Geschwindigkeiten (Einsatz lokbespannter Reisezüge im Fernverkehr üblicherweise bis 200 km/h) dominiert das Rollgeräusch. Da Reisezugwagen im Regelfall mit Wellenscheibenbremsen ausgerüstet werden, bietet sich der Einsatz von Radschallabsorbern an, um das Rollgeräusch zu reduzieren.²⁴⁴ Darüber hinaus könnten Schallschürzen am Drehgestell genutzt werden.

3.4.3 Empfehlungen

Wie dargestellt wurde, stellt der SPFV gegenüber SPNV und SGV ein nachrangiges Problem dar. Dennoch führen vor allem lokbespannte Reisezüge und die Fahrt von Elektrotriebzügen mit hohen Geschwindigkeiten zu Geräuschbelastungen.

Die Gutachter*innen empfehlen, die in Abschnitt 3.3.3 vorgeschlagene EU-Initiative zur Absenkung der Grenzwerte der TSI Noise auch auf die Vorbeifahrtpegel von Reisezugwagen und von Elektrotriebzügen bei sehr hohen Geschwindigkeiten auszudehnen.

Hinsichtlich der Elektrotriebzüge des Hochgeschwindigkeitsverkehrs geht es zunächst darum, dass bereits vergleichsweise gute akustische Niveau (im Vorbeifahrtgeräusch) zu sichern. Daher sollte eine Absenkung der Grenzwerte der Vorbeifahrtpegel erfolgen. Für die Messung mit 80 km/h sehen die Gutachter*innen eine Minderung – analog den Empfehlungen des BSN – auf 75 dB(A) als zielführend und realisierbar an. Für den auf 250 km/h normierten Vorbeifahrtpegel schlagen die Gutachter*innen 90 dB(A) anstatt der bisherigen 95 dB(A) vor. Dabei sollte zusätzlich die obere Grenze der Maximalgeschwindigkeit (von 320 km/h) im Rahmen der Vorbeifahrtmessungen aufgehoben werden. Im Anfahrgeräusch sehen die Gutachter*innen gleiche Bedingungen wie bei den Fahrzeugen des SPNV gegeben und sehen ein Anfahrgeräusch von 71 dB(A) (analog den Empfehlungen des BSN) vor.

Für Reisezugwagen sollten die Empfehlungen des BSN (siehe Abschnitt 3.5.2) auch auf europäischer Ebene durchgesetzt werden, was insbesondere im Vorbeifahrtpegel eine Minderung von 2 dB(A) erwirken soll, von 79 dB(A) auf 77 dB(A).

²⁴⁴ Für weitere Ausführungen siehe Abschnitt 3.3.2. Beim Einsatz von Wellenscheibenbremsen ist genug Bauraum für den Einsatz von Radschallabsorbern an den Radsätzen vorhanden.

3.5 Lärminderung beim Schienenpersonennahverkehr

Der Schienenpersonennahverkehr trägt, obwohl er häufig nicht als ein Hauptverursacher von Schallemissionen im Fokus steht, aus drei Gründen in ganz erheblichem Maße zu den Lärmbelastungen durch Schienenverkehr bei:

- ▶ Auf einem großen Teil des deutschen Streckennetzes fährt nur Regionalverkehr.
- ▶ Viele weitere Strecken sollen für den Schienenpersonennahverkehr reaktiviert werden, was nach heutigem Stand zu einer weiteren Zunahme der durch Schienenpersonennahverkehr verursachten Lärmbelastungen führen wird.
- ▶ Auch auf Mischverkehrsstrecken stellt der Regionalverkehr oft die häufigste Zuganzahl und trägt daher zur Lärmbelastung bei.

Die Problematik rückt erst in letzter Zeit stärker ins Bewusstsein, auch im Zusammenhang mit der Lärmbelastung durch Abstellanlagen des SPNV (siehe dazu Abschnitt 3.7). In Abschnitt 3.5.1 wird der Handlungsbedarf beim SPNV genauer dargestellt. Im Januar 2023 veröffentlichte der Bundesverband SchienenNahverkehr (BSN) die vierte Ausgabe der „Fahrzeugempfehlungen des BSN“, die erstmals konkrete Empfehlungen für Außengeräusche bei den Fahrzeugen des SPNV nennt. Diese werden in Abschnitt 3.5.2 dargestellt. Nach einem kurzen Blick auf die möglichen technischen Maßnahmen zur Lärminderung beim SPNV (die stark an die in Abschnitt 3.3 vorgestellten Maßnahmen anknüpfen) in Abschnitt 3.5.3 wird in Abschnitt 3.5.4 eine koordinierte politische Vorgehensweise der Länder, möglichst gemeinsam mit dem Bund, zur Lärminderung beim SPNV vorgeschlagen und diskutiert. Dies mündet in die politischen Empfehlungen in Abschnitt 3.5.5.

3.5.1 Handlungsbedarf beim SPNV

Die Relevanz des SPNV für die Lärmbelastung in Deutschland kann anhand der Ausführungen der Lärmaktionsplanung und der Daten einzelner Monitoring-Stationen verdeutlicht werden.

Im Rahmen der Lärmaktionsplanung werden die Zugzahlen des Jahresfahrplans 2021 auf den Haupteisenbahnstrecken für die drei Verkehrsarten in vier verschiedenen Größenkategorien (unter 15.000, 15.000 bis 30.000, 30.000 bis 60.000, mehr als 60.000 Züge pro Jahr) in Form von Karten ausgewiesen, die in Anhang A.1 wiedergegeben werden. Aus der Karte für den SPNV wird ersichtlich, dass dieser insbesondere in den Metropolregionen beispielsweise Berlin, Hamburg, München, Rhein-Main, Rhein-Ruhr und Stuttgart ein sehr starkes Zugaufkommen aufweist. Dies bildet sowohl die S-Bahn-Netze in Metropolregionen als auch den dort dicht getakteten Regionalverkehr ab. Der Vergleich mit den Karten für den SPNV und den SGV zeigt, dass der SPNV in vielen dieser Metropolregionen das Eisenbahngeschehen auch dominiert. Zwar herrscht auf einzelnen Strecken in diesen Regionen auch ein starkes Zugaufkommen des SPNV sowie des SGV – beispielsweise im Bereich Rhein-Main oder Rhein-Ruhr – doch ist der SPNV in diesen Regionen die vorherrschende Verkehrsart. Darüber hinaus ist ersichtlich, dass auch im ländlichen Raum häufig mehr als 15.000 oder 30.000 Züge des SPNV verkehren, während es unter 15.000 für den SGV und SPNV sind. Allein die Zugzahlen deuten somit darauf hin, dass der SPNV in zahlreichen (Metropol-)Regionen für eine Lärmbelastung der Bevölkerung sorgen kann. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Lärmkartierung nur die Verhältnisse an den Haupteisenbahnstrecken abbildet. An den anderen Eisenbahnstrecken ist der relative Anteil des SPNV noch höher einzuschätzen.

Wie in Abschnitt 3.4.1 eingeführt wurde, können anhand der Messdaten von den Lärm-Monitoring-Stationen Aussagen hinsichtlich der Geräuschemissionen einzelner Fahrzeugtypen

und Verkehrsarten getroffen werden. Eine exemplarische Betrachtung der Vorbeifahrtpegel wird hier für die Messstation Elmshorn durchgeführt. Dort verkehren die Züge des SPNV (in dieser Auswertung FLIRT EMU in verschiedenen Konfigurationen sowie TWINDEXX Vario) und des SPFV (ICE 1) im Durchschnitt mit ungefähr gleicher Geschwindigkeit von 140 bis 160 km/h. Dabei zeigt sich bei den in Abbildung 27 dargestellten Vorbeifahrtsexpositionspegeln (blaue Boxen, Median als blaue Linie), dass die ICE 1 im Durchschnitt um 1 bis 2 dB(A) leiser sind als die Züge des Nahverkehrs. Selbiges zeigt sich aufgrund ähnlicher Geschwindigkeiten auch im TEL₈₀, welcher dort gelb dargestellt ist.²⁴⁵ Für den ebenfalls eingezeichneten AF-bewerteten Maximalpegel (orange) zeigt sich eine gleiche Größenordnung von Nahverkehr und Fernverkehr.

Da die Zugzahlen des ICE 1 (im Rahmen der vorgenommenen Zuordnung der Messdaten knapp 2.600) deutlich unter denen des SPNV (über 31.000) liegen, kann festgestellt werden, dass der Großteil der Geräuschemissionen des Personenverkehrs in dieser Gemeinde auf den Nahverkehr zurückzuführen ist. Da zudem in dieser Gemeinde nur wenig SGV verkehrt (13,6 % der Züge), entsteht der Großteil der Geräuschbelastung an der Messstelle durch den Personenverkehr (ca. 68 dB(A) aufgrund des Personenverkehrs gegenüber 66 dB(A) durch den SGV im Mittelungspegel über 24 Stunden).²⁴⁶ Somit wird in dieser Gemeinde die Lärmbelastung vom SPNV dominiert.

Analoge Betrachtungen hinsichtlich des Vergleichs von SPNV und SPFV lassen sich auch für andere Monitoring-Stationen durchführen, wobei dort der Anteil an den Verkehrszahlen und der Geräuschemissionen des Güterverkehrs dominiert, da die Monitoring-Stationen zur Erfassung des Güterverkehrs ausgewählt wurden. Jedoch gibt es, wie zuvor aufgezeigt wurde, abseits der Monitoring-Stationen zahlreiche Verkehrsstrecken, insbesondere in den Metropolregionen und im ländlichen Raum, an denen der SPNV die deutlich vorherrschende Verkehrsart ist, sodass durch diesen dort die dominierenden Geräuschemissionen zu erwarten sind.

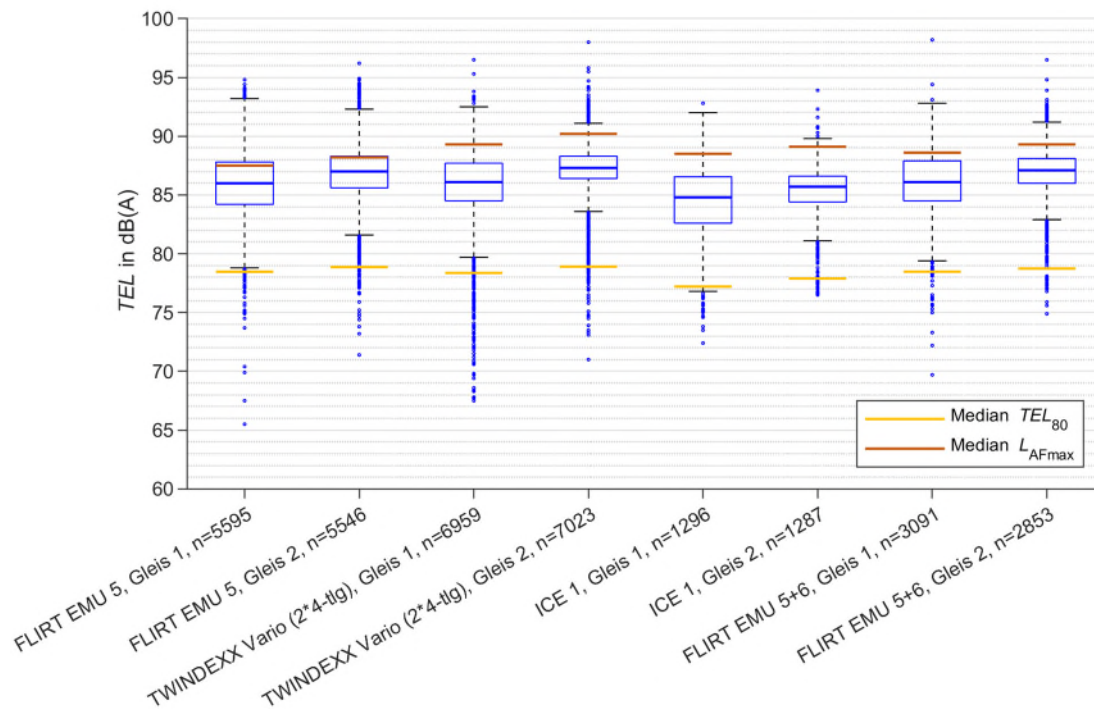
Anzumerken ist zusätzlich, dass bei dem Vergleich der Daten für die Messstelle Elmshorn Elektrotriebzüge im Regionalverkehr mit einem ICE 1 verglichen wurden. Die Geräuschemissionen von den im SPNV ebenfalls verwendeten Dieseltriebzügen sowie lokbespannten Reisezügen liegen oberhalb derer von Elektrotriebzügen, sodass an Strecken mit hohen Anteilen dieser Fahrzeugtypen die Geräuschemissionen des SPNV erhöht sein dürften. Dies kann etwa aus Abbildung 24 in Abschnitt 3.4.1 geschlussfolgert werden, derzufolge lokbespannte Reisezüge des SPNV bei gleicher Geschwindigkeit eine ca. 2 dB(A) höhere Geräuschemission als Elektrotriebzüge des Nahverkehrs aufweisen. Zusätzlich ist der AF-bewertete Maximalpegel bis zu 4 dB(A) höher.²⁴⁷

²⁴⁵ Zur Erläuterung von TEL₈₀ siehe Abschnitt 3.4.1.

²⁴⁶ Die hier genannten Zahlen werden auch in Abbildung 28 und Abbildung 29 des Abschnitts 3.6.1 gezeigt.

²⁴⁷ Lokbespannte Reisezugwagen werden auch im SPFV genutzt. Siehe Abschnitt 3.4.3 für eine Empfehlung zur Minderung bei lokbespannten Reisezugwagen.

Abbildung 27: Vorbeifahrtexpositionspegel an der Messstation Elmshorn, aufgeschlüsselt nach Nahverkehrs- und Fernverkehrs-Fahrzeugtypen und Gleis



Die blaue Linie innerhalb der Boxen stellt den Median des TEL dar, die gelbe Linie den Median des TEL_{80} und die orange Linie den Median des maximalen Vorbeifahrtpegels L_{AFmax} . Die ICE 1 sind Elektrotriebzüge des SPFV. Die FLIRT Fahrzeuge sind Elektrotriebzüge des SPNV in verschiedenen Konfigurationen, auch beim TWINDEXX Vario handelt es sich um Elektrotriebzüge des SPNV, wobei dort zwei Triebwagen und sechs Mittelwagen ohne Antrieb vorhanden sind. Darstellung für beide Gleise an der Messstelle, die leicht unterschiedliche Schienenrauheiten und Gleisabklingraten aufweisen. n steht für die Anzahl der zugewiesenen Vorbeifahrten. Für eine detailliertere Erklärung der Boxplots siehe Anhang A.2. Quelle: Eigene Berechnungen mit Daten des Lärm-Monitorings, Messstation Elmshorn, für den Zeitraum 13.12.2020 bis 11.12.2021. Siehe EBA (o.D.c): Zugvorbeifahrten Telgte - Lärm-Monitoring des Eisenbahn-Bundesamtes.

Ein weiteres Indiz für die Bedeutung des SPNV stellt die Auswertung der Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen der Lärmaktionsplanung dar. Dabei wird auch ein freiwilliger Online-Fragebogen an die Kommunen, die kein Ballungsraum sind und innerhalb eines Korridors von 6,5 km zu den Haupteisenbahnstrecken des Bundes liegen, ausgewertet. Es sehen sich 52 % der teilnehmenden Kommunen²⁴⁸ durch den SPNV hoch oder äußerst hoch belastet – gegenüber 43 % durch den SPFV und 69 % durch den SGV. Von den teilnehmenden Kommunen sehen sich 63 % hoch oder äußerst hoch durch Schienenverkehrslärm belastet.²⁴⁹

Die in diesem Abschnitt ausgeführte Dominanz des SPNV auf zahlreichen Strecken und die gegenüber dem SPFV, bei gleicher Geschwindigkeit, höheren Geräuschemissionen verdeutlichen, dass der SPNV eine relevante Geräuschquelle des Schienenverkehrs darstellt. Dies trifft insbesondere auf die Metropolregionen und den ländlichen Raum, abseits der großen Korridore des Güter- und Fernverkehrs zu.

²⁴⁸ Insgesamt haben 339 von über 3.000 angefragten Kommunen an der Befragung partizipiert.

²⁴⁹ EBA (2024): Lärmaktionsplan. An Schienenwegen des Bundes Runde 4, S. 88.

3.5.2 Fahrzeugempfehlungen des Bundesverband SchienenNahverkehr

Der festgestellte Handlungsbedarf bei den Fahrzeugen des SPNV hat bereits dazu geführt, dass der Bundesverband SchienenNahverkehr (BSN) in der neuesten Auflage seiner Fahrzeugempfehlungen von 2023 konkrete Geräuschemissionsminderungen für Fahrzeuge vorgeschlagen hat, die bei neuen Verkehrsverträgen berücksichtigt werden sollten. Nach Auffassung der Gutachter*innen sollten diese Empfehlungen bei allen zukünftigen Vertragsvergaben eingehalten werden.²⁵⁰

Die Fahrzeugempfehlungen des BSN richten sich an die Aufgabenträger, um eine Richtschnur für deren Ausschreibungen zu bieten. Die Empfehlungen für die Außengeräusche enthalten keine konkreten technischen Maßnahmen, sondern nennen anzustrebende Grenzwerte für verschiedene Geräuscharten, die unterhalb der entsprechenden Werte der TSI Noise liegen. Die technische Umsetzung, um die Werte einzuhalten, ist den Fahrzeugherstellern überlassen.

Tabelle 5 gibt die Fahrzeugempfehlungen des BSN für die verschiedenen Fahrzeugtypen und verschiedenen Geräuscharten wieder (schwarz), wobei die Reduktion der Grenzwerte des BSN unter diejenigen der gültigen TSI Noise in Rot angegeben werden. Zwei rote Werte zeigen, dass es in der TSI Noise für die entsprechende Fahrzeugkategorie zwei Werte gibt (bspw. Elektrolokomotiven mit unterschiedlichen Gesamttraktionsleistungen).

Gegenüber der TSI Noise ergeben sich insbesondere für das Standgeräusch deutliche Minderungen. Für das Anfahr- und das Vorbeifahrgeräusch ergeben sich moderate Minderungen, die für Elektrotriebzüge jedoch stärker ausfallen. Aufgrund der tragenden Rolle von Elektrotriebzügen im SPNV werden im Weiteren exemplarisch für diese die empfohlenen Grenzwerte erläutert.

Für das Standgeräusch (im Betrieb z. B. an Bahnhöfen, aber nicht durchgehend bei der nächtlichen Abstellung) sind für Neufahrzeuge Minderungen von 10 dB (Dauerpegel) und 15 dB (Maximalpegel) gegenüber TSI Noise vorgesehen. Bei Gebrauchtfahrzeugen, welche in neuen Verkehrsverträgen eingesetzt werden sollen, sind 5 bzw. 6 dB (Dauerpegel) und 12 dB (Maximalpegel) Minderung gegenüber TSI Noise empfohlen. Für das Vorbeifahrgeräusch ist eine Minderung von 4 dB (Gebrauchtfahrzeuge) und 5 dB (Neufahrzeuge) angestrebt. Für das Anfahrgeräusch Minderungen von 8 dB (Gebrauchtfahrzeuge) und 9 dB (Neufahrzeuge).

Zusätzlich adressieren die BSN-Empfehlungen das Bremsgeräusch, für welches ebenfalls Grenzwerte empfohlen werden. Das Bremsgeräusch unterliegt bisher keinen Grenzwerten der TSI Noise. Die Fahrzeugempfehlungen verweisen auch explizit auf das Kurvenkreischen, mit dem Verweis, dass fahrzeugseitige Maßnahmen in den Ausschreibungen gefordert werden können. Weiterhin wird empfohlen, die Vermeidung von impuls- und tonhaltigen Geräuschen im Rahmen der Ausschreibungen zu fordern.

Neben den Elektrotriebzügen seien auch die Reisezugwagen angesprochen. Für diese sehen die BSN-Empfehlungen eine moderate Minderung des Vorbeifahrgeräuschs von 2 dB vor, während die Standgeräusche teilweise deutlich sinken sollen.

Die Fahrzeugempfehlungen des BSN erwähnen auch eine möglichst geräuscharme Fahrzeugabstellung. Dafür werden jedoch keine konkreten Grenzwerte vorgeschlagen. Die Gutachter*innen orientieren sich für die Fahrzeugabstellung an der EuroSpec, wie in Abschnitt 3.7.3 detaillierter ausgeführt wird. Die entsprechenden Grenzwerte sollten bei Fahrzeugausschreibungen Berücksichtigung finden und erfüllen die Anregungen des BSN.

²⁵⁰ Eine Ausnahme hinsichtlich eines Grenzwertes wird in Fußnote 19 erwähnt.

Tabelle 5: Grenzwerte nach den Empfehlungen des BSN für verschiedene Geräuscharten

	Standgeräusch			Anfahrgeräusch	Vorbeifahrgeräusch (80 km/h)	Bremsgeräusch
	$L_{pAeq,T}$	$L_{pAeq,T}^i$	L_{pAFmax}^i	L_{pAFmax}	L_{pAeq,T_p}	L_{pAFmax}
Elektrolokomotiven						
Gebrauchtfahrzeuge	65 dB -5 dB	67 dB -8 dB	73 dB -12 dB	81 dB 0/-3 dB*	81 dB -3 dB	81 dB k. A.
Neufahrzeuge	61 dB -9 dB	65 dB -10 dB	70 dB -15 dB	80 dB -1/-4 dB*	79 dB -5 dB	79 dB k. A.
Elektrotriebzüge						
Gebrauchtfahrzeuge	59 dB -6 dB	63 dB -5 dB	73 dB -12 dB	72 dB -8	76 dB -4 dB	80 dB k. A.
Neufahrzeuge	55 dB -10 dB	58 dB -10 dB	70 dB -15 dB	71 dB -9	75 dB -5 dB	78 dB k. A.
Diesellokomotiven						
Gebrauchtfahrzeuge	69 dB -2 dB	70 dB -8 dB	73 dB -12 dB	81 dB -4/-6 dB*	83 dB -2 dB	81 dB k. A.
Neufahrzeuge	66 dB -5 dB	65 dB -13 dB	70 dB -15 dB	79 dB -6/-8 dB*	81 dB -4 dB	79 dB k. A.
Reisezugwagen						
	59 dB -5 dB	58 dB -10 dB	70 dB -15 dB	k. A. k. A.	77 dB -2 dB	79 dB k. A.
Dieseltriebzüge						
Gebrauchtfahrzeuge (2006 und älter)	69 dB -3 dB	70 dB -6 dB	73 dB -12 dB	80 dB -2/-3 dB*	80 dB -1 dB	80 dB k. A.
Gebrauchtfahrzeuge (2007 und jünger)	65 dB -7 dB	70 dB -6 dB	73 dB -12 dB	79 dB -3/-4 dB*	79 dB -2 dB	79 dB k. A.
Neufahrzeuge	63 dB -9 dB	70 dB -6 dB	70 dB -15 dB	77 dB -5/-6 dB*	78 dB -3 dB	78 dB k. A.

Die vom BSN empfohlenen Grenzwerte sind in schwarz angegeben. In Rot wird die Differenz der empfohlenen Werte ggü. den Grenzwerten der TSI Noise angegeben (TSI Noise 2014 mit Änderungen aus 2023). Es steht $L_{pAeq,T}$ für den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel, $L_{pAeq,T}^i$ für den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel des Hauptkompressors am nächsten Messpunkt i, L_{pAFmax}^i für den AF-bewerteten Schalldruckpegel am nächstgelegenen Messpunkt zum Lufttrockner. L_{pAFmax} steht für den AF-bewerteten maximalen Schalldruckpegel (*leistungsabhängige Differenzwerte nach TSI Noise) und L_{pAeq,T_p} für den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel der Vorbeifahrt. Quelle: BSN (2023): Fahrzeugempfehlungen des BSN, S. 5, sowie TSI Noise 2014.

3.5.3 Technische Maßnahmen der Lärminderung

Verschiedene technische Möglichkeiten zur Geräuschkürzung wurden bereits in Abschnitt 3.3.2 genannt, die sich auf Kompressoren, Lüfter, Umrichter, Motoren, Getriebe, Bremssysteme, Rad und Rollgeräusch sowie Drehgestelle und radiale Einstellung der Räder beziehen. Sie adressieren Aggregatgeräusche, das Rollgeräusch und Kurvengeräusche, die alle beim SPNV auftreten und eine wichtige Rolle spielen.

Hinsichtlich der Reisezugwagen liegen die in den Empfehlungen des BSN vorgeschlagenen Emissionssenkungen unterhalb bzw. im Bereich derer von Elektrotriebzügen. Reisezugwagen weisen gegenüber Elektrotriebzügen keine Antriebseinheit und dazugehörige Schallquellen auf, sodass die Kürzungsziele bei ihnen leichter zu erreichen sein dürften. Als Maßnahmen zur Geräuschkürzung bieten sich die in Abschnitt 3.3.2 beschriebenen Vorgehensweisen für Lüfter, Bremssysteme, Rad und Rollgeräusche sowie Drehgestelle und radiale Einstellung der Räder an. So ist zur Absenkung des Vorbeifahrgeräuschs insbesondere die Nutzung von Radschallabsorbern zu empfehlen, da Reisezugwagen im Regelfall Wellenscheibenbremsen aufweisen und daher genug Bauraum für Radschallabsorber vorhanden ist.

Kurvengeräusche sind eine relevante Emissionsquelle des SPNV. Um die Schallemission bei Bogenfahrten zu reduzieren können fahrzeugseitig im Bereich der Schallabstrahlung Radschallabsorber genutzt werden. Zur Minimierung der zusätzlichen Schwingungsanregung in Kurven bietet sich der Einsatz radialeinstellender Drehgestelle/Achsen an, siehe auch Abschnitt 3.3.2.

Türsignale stellen im SPNV eine nicht zu vernachlässigende Geräuschquelle an Bahnhöfen und Haltepunkten dar. In der TSI PRM²⁵¹ wird zwischen anpassungsfähigen und nicht anpassungsfähigen Warneinrichtungen für den Betrieb unterschieden, die beide die Sicherheitsanforderungen erfüllen und daher möglich sind. Aus akustischer Sicht ist die Verwendung von anpassungsfähigen Warneinrichtung zu empfehlen, da diese sich an den vorliegenden Umgebungsgeräuschen orientieren und mindestens 5 dB(A) über diesen liegen. Nicht anpassungsfähige Warnsignale liegen im Gegensatz dazu immer bei einem festen Wert von 70 dB(A), unabhängig von der Stärke der Umgebungsgeräusche. Dies ist in vielen Fällen deutlich lauter als die anpassungsfähige Warneinrichtung und sollte daher nur als Rückfallsystem verwendet werden. Darüber hinaus sollten Türgeräusche bei der Fahrzeugabstellung wenn möglich ausgeschaltet werden; siehe dazu auch Abschnitt 3.7.2.

3.5.4 Politische Instrumente zur Lärminderung

3.5.4.1 Grundidee einer koordinierten Vorgehensweise der Länder

In Abschnitt 3.3.3 wurde bereits die Empfehlung ausgesprochen, dass die Bundesregierung im Rahmen einer EU-Initiative vorschlagen sollte, die Grenzwerte der TSI Noise für Elektrotriebzüge entsprechend den Fahrzeugempfehlungen des BSN für Neufahrzeuge abzusenken. Gleichmaßen sollte hinsichtlich der Reisezugwagen verfahren werden (siehe Abschnitt 3.4.3). Allerdings sind der Erfolg der EU-Initiative und insbesondere der Zeitpunkt und das Ausmaß eines Erfolges unsicher, und zudem betreffen die TSI Noise stets nur Neufahrzeuge, nicht die Gebrauchtfahrzeuge.

Im SPNV besteht jedoch die zusätzliche Handlungsmöglichkeit, in **die Ausschreibung der zu erbringenden Verkehrsleistungen** durch die Aufgabenträger auch Anforderungen an die Umweltqualität und damit an die Geräuschbelastung durch die angebotenen Verkehrsleistungen aufzunehmen. Dies geschieht teilweise bereits, und teilweise werden in diesem Rahmen auch

²⁵¹ TSI PRM (2014): Technische Spezifikation für die Interoperabilität – Zugänglichkeit für Menschen mit Behinderung und Menschen mit eingeschränkter Mobilität. Amtsblatt der Europäischen Union (L 356/110).

durchaus weitergehende Schallschutzanforderungen aufgestellt, als sich diese aus dem schon verbindlichen Eisenbahnrecht und nach der TSI Noise ergeben. Auch die neuen Fahrzeugempfehlungen des Bundesverbands SchienenNahverkehr enthalten als empfohlene Zielwerte deutliche Senkungen der Lärmemissionen gegenüber der TSI Noise sowohl für Neufahrzeuge als auch für Gebrauchtfahrzeuge, die bei Vergaben von neuen Verkehrsverträgen gefordert werden sollen.

Im Folgenden wird allgemeiner von „**lärmmarmen Fahrzeugen**“ gesprochen, wenn eine Definition von Fahrzeugen Verwendung findet, deren Lärmemissionen deutlich unterhalb der Grenzwerte der TSI Noise liegen, so wie es beispielhaft in den Fahrzeugempfehlungen des BSN vorgenommen wurde.

Allerdings gibt es **wirtschaftliche Probleme**, die es erschweren, Emissionsminderungen bei Fahrzeugen im Rahmen einzelner Ausschreibungen und Verkehrsverträge zu erreichen, selbst wenn dies von der ausschreibenden Stelle erwünscht ist. Davon sind auch die Fahrzeugempfehlungen des BSN betroffen, so dass deren Umsetzung in der Praxis nicht sicher ist. Nach Äußerungen von Marktteilnehmer*innen ist das Volumen eines einzelnen Verkehrsvertrags im Regelfall zu gering, um entsprechende Investitionen seitens der Fahrzeughersteller zu amortisieren. Auch ist der Zeitraum, der von einer Ausschreibung und insbesondere dem Zuschlag bis zu dem Moment, da die Fahrzeuge eingesetzt werden sollen, vergeht, zu kurz, um die Entwicklung neuer, geräuschoptimaler Fahrzeuge zu ermöglichen.²⁵² In der Folge käme es für einen einzelnen Besteller unverhältnismäßig teuer, auf den Einsatz lärmarmer Fahrzeuge zu bestehen. Hinzu kommt die bekannte Tatsache, dass Anbieter für Sonderausstattungen gegenüber einer Standardausstattung oft starke preisliche Aufschläge fordern.

Um ein kostengünstiges und verfügbares Angebot von Schienenfahrzeugen durch die Fahrzeuganbieter zu erreichen, die die technisch unschwer möglichen und etwa den BSN-Empfehlungen zugrundeliegenden Möglichkeiten der Lärmreduktion nutzen, und um durch ein solches am Markt verfügbares Angebot entsprechender Schienenfahrzeuge den Eisenbahnverkehrsunternehmen die tatsächliche Möglichkeit zu eröffnen, im Rahmen der Ausschreibung von Schienenpersonennahverkehrsdienstleistungen Angebote mit Fahrzeugen abzugeben, die die in den Ausschreibungsverfahren geforderte Reduktion der Umweltbelastung durch Lärm ermöglichen, ist es erforderlich, dass die Eisenbahnindustrie als Fahrzeuganbieter sich rechtzeitig und verlässlich darauf einstellen kann, dass ab einem bestimmten in der Zukunft liegenden Zeitpunkt derartige Fahrzeuge in erheblicher Anzahl nachgefragt werden und dass diese Nachfrage dann, von dem bestimmten Zeitpunkt an, nicht mehr mit anderen, lauterer Fahrzeugen wird bedient werden können.

Wenn diese Prämissen gegeben sind, wird sich die Eisenbahnindustrie auf die Erforderlichkeit der Herstellung und des Angebotes derartiger Fahrzeuge einstellen können und mit ausreichenden Vorbereitungszeiträumen entsprechende Fahrzeuge anbieten, die preislich wegen der durchaus überschaubaren erforderlichen Veränderungen der Fahrzeuge nicht mit signifikanten Preissteigerungen verbunden sein müssen.

Nicht in Betracht kommt eine einseitige nationale emissionsschutzrechtliche Festlegung entsprechend niedrigerer Emissionsgrenzwerte für die Fahrzeuge des Schienenpersonennahverkehrs im nationalen Fahrzeugzulassungsrecht, da die entsprechenden zulässigen Emissionswerte unionsrechtlich vorgegeben sind. Möglich ist demgegenüber, bei den Ausschreibungen der zu erbringenden Nahverkehrsleistungen durch die Aufgabenträger als Teil

²⁵² Dies äußerten einige Vertreter*innen der Aufgabenträger bei einem Projekttreffen am 8. Mai 2023 und bei anderen Gesprächen im Rahmen des Projektes.

der in den Ausschreibungsbedingungen geforderten Modalitäten für die Leistungserbringung den Einsatz von lärmarmen Fahrzeugen zu fordern.

Damit ein derartiges Vorgehen zu einer entsprechenden Anpassung des Angebots der Eisenbahnindustrie führt, muss klar erkennbar sein, dass derartige Ausschreibungen nicht einen außergewöhnlichen Einzelfall bei einem besonders motivierten einzelnen Aufgabenträger darstellen werden, sondern dass davon auszugehen ist, dass im Zuge der Verkehrswende und einer angestrebten weiteren Verlagerung großer Teile des Personennahverkehrs auf die Schiene generell von gesteigerten Umweltaanforderungen und von einer großen Anzahl oder Mehrheit der Aufgabenträger auszugehen ist, die die angesprochenen gesteigerten Umweltaanforderungen ab einem bestimmten Zeitpunkt stellen werden.

Zielführend und zugleich rechtlich zulässig, um eine Produktionsumstellung der Eisenbahnindustrie und ein dadurch tatsächlich verfügbares Angebot einsetzbarer lärmarmer Fahrzeuge zu erreichen, ist daher **eine koordinierte und langfristige Herangehensweise aller Länder bzw. Aufgabenträger** (oder eines größeren Teils von ihnen), in der diese sich auf das Vergabekriterium niedrigerer Lärmbelastungen als der nach der TSI Noise zulässigen durch die Fahrzeuge des Schienenpersonennahverkehrs im Rahmen öffentlicher Bestellungen einigen, das ab einem bestimmten Zeitpunkt verwendet werden soll.

Dieser Zeitpunkt sollte ausreichend weit in der Zukunft liegen, so dass die Industrie diese Anforderungen relativ kostengünstig erfüllen kann. Er bezieht sich somit noch nicht auf die aktuell ausgeschriebenen Verkehrsverträge, sondern auf solche, die erst nach einigen Jahren ausgeschrieben werden sollen. Gleichzeitig muss aber die Ankündigung dieser verschärften Anforderung glaubhaft und belastbar sein, damit die Industrie tatsächlich mit den entsprechenden Entwicklungen beginnt und diese in verfügbare Produkte umsetzt. Daher bedarf es einer überzeugenden organisatorischen Form für die langfristige Koordination der Länder und Aufgabenträger.

Es sei hinzugefügt, dass es dabei auch darum gehen kann, innerhalb der Länder Politik, Verwaltung und Aufgabenträger zu koordinieren. Die Aufgabenträger (oder andere für die Ausschreibung und Gestaltung von Verkehrsbestellungen im jeweiligen Land zuständigen Stellen) sind in erster Linie für eine bedarfsgerechte, qualitative und kostengünstige Gestaltung des SPNV-Angebots in ihrem Zuständigkeitsbereich verantwortlich. Umweltbelange wie die Lärmbelastung von Anwohnenden sind für sie (zurecht) erst in zweiter Linie von Bedeutung, und sie würden sich in dieser Hinsicht gerne an festen Vorgaben orientieren, wie sie die Grenzwerte der TSI Noise darstellen. Angeleitet werden die Aufgabenträger von den Verkehrsministerien der Länder. Diese sind oft nicht mit den Umweltministerien verbunden oder, wenn es sich um ein einheitliches Ministerium handelt, werden die Aufgaben oft durch separate Abteilungen vertreten. Die den Aufgabenträgern direkt übergeordneten Behörden der Landesregierungen sehen sich daher meistens ebenfalls vorrangig für die Verkehrsbelange verantwortlich. Die Landesregierungen insgesamt sollten jedoch die Interessen aller Menschen vertreten und zu einem Ausgleich bringen, auch die der lärmbelasteten Anwohnenden von Schienenwegen (und übrigens auch die Interessen der Menschen, die sich durch ästhetische Beeinträchtigungen und Zerschneidungseffekte von Schallschutzwänden beeinträchtigt fühlen würden). Im Rahmen einer koordinierten Herangehensweise aller oder vieler Länder für eine langfristige und kostengünstige Lärmreduzierung bei den Fahrzeugen des SPNV kann daher zugleich der Interessenausgleich innerhalb der beteiligten Länder befördert werden.

Es sind verschiedene Formen denkbar, wie eine koordinierte Vorgehensweise zwischen allen oder vielen Ländern organisiert werden kann. Eine Möglichkeit besteht darin, das **Regionalisierungsgesetz** einzusetzen, um Bestellungen von lärmarmen Fahrzeugen besonders zu

belohnen oder sogar zwingend zu fordern. Eine solche gesetzliche Grundlage wäre ein besonders starker Hebel, der trotz einer langfristigen Umsetzungsperspektive glaubhaft wäre. Für eine entsprechende Gesetzesänderung wäre schon aus formalen Gründen auch der Bund mit einzubeziehen.

Der Bund hat auch selbst ein Interesse an Geräuschreduktionen an den Fahrzeugen des SPNV. Ein Grund hierfür ist beispielsweise, dass ein leiserer Nahverkehr die Akzeptanz des Systems Bahn generell erhöhen könnte. Da zudem alle schallmindernden Maßnahmen in die Schall 03 aufgenommen werden sollen, hat der Bund ein besonderes Interesse an der Durchführung von Maßnahmen an Fahrzeugen, da sie den Einsatz anderer Maßnahmen (beispielsweise den Bau von Schallschutzwänden) substituieren und dadurch dem Bund den Einsatz finanzieller Ressourcen für deren Errichtung ersparen können. Dies gilt umso mehr, wenn der Immissionsschutz, wie in diesem Bericht vorgeschlagen, auch auf die Bestandsstrecken ausgeweitet wird.

Die rechtlichen Möglichkeiten und Grenzen einer solchen koordinierten Vorgehensweise werden folgend eingehend diskutiert.

3.5.4.2 Rechtliche Erwägungen zu den Möglichkeiten einer koordinierten, nationalen Vorgehensweise

Bund und Länder sowie die in den Ländern zuständigen Aufgabenträger sind alle aus eigenem Interesse ebenso wie aus den bestehenden rechtlichen Verpflichtungen zum Schutz von Leben und Gesundheit der Bevölkerung, zur Steigerung der Attraktivität des ÖPNV sowie zur Ermöglichung der angestrebten Verkehrswende an einem möglichst wenig umweltbelastenden, lärmarmen SPNV interessiert.

Bund und Länder dürfen den Einsatz leiserer Fahrzeuge im SPNV allerdings nicht emissionschutzrechtlich vorschreiben, weil die entsprechenden Regelungskompetenzen für die Fahrzeuge des SPNV der EU zustehen und weil diese Kompetenzen durch den Erlass der TSI Noise von der EU ausgeübt worden sind. Emissionsschutzrechtlich verlangt werden kann die Einhaltung der Vorgaben der TSI Noise, weitergehender Emissionsschutz durch strengere Vorgaben für die zulässigen Emissionen der Fahrzeuge des Schienenpersonennahverkehrs kann auf der Ebene der EU durch Verschärfung der Vorgaben der TSI Noise angestrebt werden.

Immissionsschutzrechtlich besteht daneben die nationale deutsche Zuständigkeit für die Festlegung der zulässigen Belastung der Bevölkerung durch Immissionen, also die Kompetenz zum Erlass immissionsschutzrechtlicher Regelungen. Allerdings kann immissionsschutzrechtlich eben nur festgelegt werden, wie hoch die Belastung durch Immissionen sein darf, nicht aber, dass diese Belastung gerade durch den Einsatz leiserer Fahrzeuge verringert werden soll, auch wenn leisere Fahrzeuge tatsächlich vorhanden und einsatzbereit sind, solange auch andere Fahrzeuge den Vorgaben der TSI Noise entsprechen und damit EU-rechtlich zulässig sind. Daher führt der Einsatz des Immissionsschutzrechts derzeit häufig vor allem zum Einsatz von Schallschutzwänden oder zu anderen Maßnahmen an Infrastruktur, Ausbreitungsweg oder Einwirkungsort, aber nicht zum Einsatz leiserer Fahrzeuge.

Es stellt sich somit die Frage, inwieweit unionsrechtlich und nach nationalem Recht die Möglichkeit besteht, bei der Ausschreibung von Verkehrsleistungen des SPNV in koordinierter Form die Forderung aufzustellen, dass die eingesetzten Fahrzeuge geringere Lärmemissionen verursachen als durch die TSI Noise gefordert. Im Fokus steht hierbei die Zulässigkeit der Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Erteilung öffentlicher Aufträge und speziell bei der Ausschreibung öffentlich finanzierter Verkehrsdienstleistungen im SPNV.

Generell ist die Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Erteilung öffentlicher Aufträge mit Umweltbezug unionsrechtlich akzeptiert und zulässig. Auch bei der Erteilung öffentlicher

Verkehrsaufträge steht das Unionsrecht einer Einbeziehung der Umwelteinwirkungen der zu erbringenden Verkehrsdienstleistungen nicht entgegen. Fraglich kann allein sein, ob die bei der Vergabe öffentlicher Verkehrsaufträge geforderten Anforderungen weiter gehen dürfen als die Vorgaben, die im Unionsrecht selbst für bestimmte Umwelteinwirkungen festgelegt sind, um im Verkehr die Interoperabilität und damit einen unionsweit einheitlichen Verkehrsdienstleistungsbinnenmarkt zu eröffnen.

Der Fokus liegt damit auf dem Regelungsgehalt der TSI Noise und der Frage, ob die TSI Noise neben weitergehenden normativ festgelegten nationalen Anforderungen, also national rechtlich vorgegebenen strengeren Grenzwerten, deren Zulässigkeit als unionsrechtlich problematisch eingeordnet werden muss, auch einem nationalen Vorgehen entgegensteht, bei dem öffentliche Gelder bei der Bestellung von Verkehrsdienstleistungen im SPNV bevorzugt oder ausschließlich für den Einkauf solcher Verkehrsdienstleistungen verwendet werden, deren Schallemissionen unter den Werten der TSI Noise liegen. Hier ist hervorzuheben, dass einerseits die TSI Noise nicht den Einkauf von Verkehrsdienstleistungen durch die Aufgabenträger im SPNV regelt, dass andererseits ein regulierter oder koordinierter Einkauf von Verkehrsdienstleistungen aber auch nicht als Instrument zur Umgehung der Vorgaben der TSI Noise eingesetzt werden darf. Eine Einordnung als Umgehung der Vorgaben der TSI Noise kommt umso eher in Betracht, je mehr das gewählte Vorgehen einerseits objektiv anderen Zielen als einem verbesserten Umweltschutz bzw. Lärmschutz der Anwohnenden dienen soll oder solchen anderen Zielen zugeordnet werden kann und je intensiver andererseits das gewählte Vorgehen einen zwingenden Charakter besitzt und nicht eine freiwillige Entscheidung des je handelnden Aufgabenträgers für einen intensiveren Lärmschutz als den EU-rechtlich vorgegebenen darstellt.

Im Hinblick auf das erste Kriterium, das mit einer koordinierten Ausschreibung leiserer Fahrzeuge verfolgte Ziel, kann überzeugend dargelegt werden, dass dieses Ziel tatsächlich dem Umweltschutz und der Minderung der Lärmbelastung für die Anwohnenden dient und nicht dem Ausschluss von Anbietern aus anderen Mitgliedstaaten, weil jeder Anbieter aus jedem Mitgliedstaat erwünscht und willkommen ist, der die ausgeschriebenen Verkehrsdienstleistungen in der ausgeschriebenen Form erbringen kann und will. Es handelt sich auch nicht um eine mittelbare Diskriminierung, denn die erforderlichen Fahrzeuge sind bisher weder in Deutschland noch in anderen Mitgliedstaaten der EU in einem Maße vorhanden, das es naheliegend erscheinen ließe, dass Anbieter aus einem bestimmten Mitgliedstaat bevorzugt oder begünstigt werden. Daher wird mit einer entsprechenden Ausschreibung tatsächlich das Ziel des Umweltschutzes und der Lärminderung für Anwohnenden verfolgt und nicht das Ziel des Ausschlusses von Anbietern aus anderen Mitgliedstaaten, so dass insoweit keine Umgehung der Vorgaben des einheitlichen Eisenbahnmarktes vorliegt.

Im Hinblick auf die Freiwilligkeit des geplanten Vorgehens ist letztlich die konkrete Ausgestaltung des koordinierten Vorgehens zwischen Bund, Ländern und Aufgabenträgern maßgeblich.

- **Koordinierte Erklärung für den bevorzugten Einsatz lärmarmen Fahrzeuge:** Wenn Bund, Länder und Aufgabenträger ausschließlich koordiniert erklären, dass sie von einem bestimmten in der Zukunft liegenden Zeitpunkt an öffentliche Verkehrsaufträge bevorzugt an Bieter vergeben werden, die lärmarme Fahrzeuge einsetzen, ist ein solches Vorgehen mangels über eine Selbstverpflichtung hinausgehender Bindungswirkung und wegen der lediglich vorgesehenen Bevorzugung von Bietern mit entsprechendem Angebot als unionsrechtlich unproblematisch einzuordnen. Rechtlich kann die Bevorzugung etwa durch Gewährung von Bonuspunkten für leisere Fahrzeuge im Rahmen der Bewertung der abgegebenen Gebote ausgestaltet werden.

- **Koordinierte Erklärung für den ausschließlichen Einsatz lärmarmen Fahrzeuge:** Wenn Bund, Länder und Aufgabenträger koordiniert erklären, dass sie von einem bestimmten in der Zukunft liegenden Zeitpunkt an öffentliche Verkehrsaufträge nur noch an Bieter vergeben werden, die lärmarme Fahrzeuge einsetzen, kann bei Umsetzung der Erklärung zwar ein Bieter mit einem TSI-konformen Fahrzeug, das aber nicht den weitergehenden Anforderungen lärmarmen Fahrzeuge genügt, nicht mehr mit dem Zuschlag für den zu vergebenden öffentlichen Verkehrsvertrag rechnen. Dies ergibt sich aber aus den aus Umwelt- und Gesundheitsschutzgründen gestellten Anforderungen für die Erbringung der ausgeschriebenen Verkehrsdienstleistung, die der Aufgabenträger nicht aufgrund spezifischer normativer Verpflichtung, sondern zum Schutz der Bevölkerung und Umwelt und zur Steigerung der Attraktivität des ÖPNV gestellt hat. Auch dies ist unionsrechtlich als zulässig einzustufen.
- **Im Regionalisierungsgesetz geforderter Einsatz lärmarmen Fahrzeuge:** Als unionsrechtlich problematisch angesehen werden könnte eine Variante, bei der die koordinierte Erklärung von Bund, Ländern und Aufgabenträgern, dass sie von einem bestimmten in der Zukunft liegenden Zeitpunkt an öffentliche Verkehrsaufträge nur noch an Bieter vergeben werden, die lärmarme Fahrzeuge einsetzen, normativ von einer Regelung im Regionalisierungsgesetz nach Art. 106a Satz 2 GG begleitet werden würde, nach der der den Ländern nach Art. 106 a Satz 1 GG zustehende Betrag aus dem Steueraufkommen des Bundes für den öffentlichen Personennahverkehr nur noch für solche öffentlichen Verkehrsaufträge im Schienenpersonennahverkehr verwendet werden dürfte, bei denen Fahrzeuge eingesetzt werden, die den Empfehlungen des BSN entsprechen.
 - Eine solche zwingende Begrenzung der Verwendung des den Ländern zustehenden Anteils des Steueraufkommens des Bundes für den öffentlichen Personennahverkehr ausschließlich für den Einsatz von lärmarmen Fahrzeugen würde faktisch einen Zwang für die Länder und die Aufgabenträger begründen, nur noch solche Ausschreibungen vorzunehmen, in denen derartige Fahrzeuge gefordert werden, und damit die Freiwilligkeit und Autonomie einer derartigen Entscheidung in Frage stellen.
 - Allerdings bedarf es keiner vertieften Auseinandersetzung mit der unionsrechtlichen Zulässigkeit einer solchen Vorgehensweise, da bereits das deutsche Verfassungsrecht einer derartigen Vorgabe des Bundesrechts entgegensteht. Art. 106a Satz 1 GG gibt vor, dass den Ländern ab dem 1. Januar 1996 „für den öffentlichen Personennahverkehr ein Betrag aus dem Steueraufkommen des Bundes“ zusteht. Parallel zur Übertragung der Aufgabe des öffentlichen Personennahverkehrs vom Bund auf die Länder²⁵³ begründet Art. 106a GG also eine gesetzlich auszugestaltende Verpflichtung des Bundes zur und einen Anspruch der Bundesländer auf (Mit-) Finanzierung des öffentlichen Personennahverkehrs.²⁵⁴
 - Aus dieser finanzverfassungsrechtlichen Regelung folgt allerdings keine sachliche Zuständigkeit oder Berechtigung des Bundes für die Aufstellung inhaltlicher Vorgaben für die Verwendung des nach Art. 106a Satz 1 GG in Verbindung mit dem nach Art. 106a Satz 2 GG erlassenen Regionalisierungsgesetz zustehenden Betrages aus dem Steueraufkommen des Bundes. Die Bundesländer sind vielmehr lediglich verpflichtet, die Mittel für Ausgaben im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs zu verwenden. Den

²⁵³ Diese Aufgabenübertragung lässt sich im GG in den verbleibenden Bundeszuständigkeiten in Art. 87 e GG sowie in der Übergangsregelung des Art. 143a Abs. 3 GG verorten. So Seiler: Art. 106a GG Rn. 2, in: Dürig, Herzog, Scholz (2020): GG.

²⁵⁴ Zum Regelungsgehalt des Art. 106a GG grundsätzlich etwa Heun: Art. 106a Rn. 1 m.w.N. in: Dreier (2018): GG-Kommentar; Seiler: Art. 106a GG Rn. 1, in: Dürig, Herzog, Scholz (2020): GG.

Ländern steht dabei ein weiter Spielraum für die Ausgestaltung des öffentlichen Personennahverkehrs und entsprechend für die Verwendung der Mittel zu, die sie aus dem Steueraufkommen des Bundes für den öffentlichen Personennahverkehr erhalten.²⁵⁵ Der Bund ist demgegenüber verfassungsrechtlich nicht zuständig oder berechtigt, Vorgaben für die Länder hinsichtlich der Verwendung der Mittel aufzustellen, die ihnen nach Art. 106a GG für den öffentlichen Personennahverkehr zustehen.

- Weil also verfassungsrechtlich die Möglichkeit nicht gegeben ist, dass der Bund den Ländern gesetzlich vorschreibt, dass die ihnen nach Art. 106a GG in Verbindung mit dem Regionalisierungsgesetz zustehenden Mittel ab einem bestimmten Zeitpunkt nur noch für die Vergabe von Verkehrsaufträgen im öffentlichen Personennahverkehr verwendet werden dürfen, bei denen lärmarme Fahrzeuge eingesetzt werden, besteht diese Möglichkeit aus verfassungsrechtlichen Gründen nicht.
- **Im Regionalisierungsgesetz gewährte zusätzliche, dem Einsatz lärmarmer Fahrzeuge gewidmete Mittel:** Verfassungsrechtlich nicht ausgeschlossen erscheint demgegenüber ein Vorgehen, bei dem der Bund den Ländern über den ihnen nach Art. 106a GG zustehenden Betrag hinaus zusätzliche Mittel im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs zur Verfügung stellt, die sie dafür in Anspruch nehmen können, eventuelle Mehrkosten zu tragen, die daraus resultieren, dass sie bei ihren Ausschreibungen öffentlicher Verkehrsaufträge den Einsatz leiserer Fahrzeuge als derjenigen, die den Vorgaben der TSI Noise entsprechen, fordern. Ein solches Bereitstellen zusätzlicher Mittel im Regionalisierungsgesetz ist etwa bereits für die Umsetzung des Vorhabens 9-Euro-Ticket in § 8 RegG sowie bei der Umsetzung des Vorhabens Deutschland-Ticket in § 9 RegG erfolgt,²⁵⁶ ohne dass hiergegen verfassungsrechtliche Bedenken erhoben worden sind.
- **Förderprogramm des Bundes für den Einsatz lärmarmer Fahrzeuge:** Zusätzliche Mittel für den Einsatz lärmarmer Fahrzeuge können darüber hinaus auch unabhängig von einer gesetzlichen Regelung in Form eines Förderprogramms des Bundes gewährt werden.

Wenn also in Deutschland Bund, Länder und Aufgabenträger des öffentlichen Schienenpersonennahverkehrs gemeinsam ankündigen, dass von einem bestimmten hinreichend in der Zukunft gelegenen Zeitpunkt an öffentliche Verkehrsaufträge im öffentlichen Schienenpersonennahverkehr grundsätzlich regelmäßig mit der Vorgabe ausgeschrieben werden, dass für die Erbringung der ausgeschriebenen Verkehrsleistung lärmarmer Fahrzeuge eingesetzt werden sollen, die leiser als nach der TSI Noise zulässig sind, und wenn angekündigt wird, dass im Regionalisierungsgesetz für diesen Zeitpunkt vorgesehen wird, dass zusätzliche Mittel für die möglicherweise entstehenden Zusatzkosten des Einsatzes solcher lärmarmer Fahrzeuge zur Verfügung gestellt werden, so kann ein entsprechendes Vorgehen als mit dem gemeinsamen Eisenbahnmarkt und mit allen Vorgaben des EU-Rechts vereinbar eingeordnet werden.

Die insoweit maßgebliche verbindliche Entscheidung über die Unionsrechtskonformität hat allerdings keine nationale deutsche Stelle, sondern die EU-Kommission oder letztlich der EuGH zu treffen, so dass es angesichts möglicher unterschiedlicher Auffassungen sinnvoll erscheint, die Möglichkeit und die Schritte eines solchen Vorgehens vorab mit der EU-Kommission abzustimmen. Darauf wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

²⁵⁵ Ausführlicher Seiler: Art. 106a GG Rn. 10 Ff. m.w.N. in: Dürig, Herzog, Scholz (2020): GG; Kube: Art. 106a GG Rn. 2 ff. m.w.N. in: Epping, Hillgruber (2024): BeckOK Grundgesetz; vgl. auch Waldhoff (2013): Maßstäbe zur Verteilung der Regionalisierungsmittel für den ÖPNV nach Art. 106a GG, S. 677 ff. m.w.N.

²⁵⁶ Vgl. ausführlicher die §§ 8 und 9 des Regionalisierungsgesetzes vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, 2395), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. April 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 107) geändert worden ist.

3.5.4.3 Argumentation gegenüber der EU zur Zulässigkeit einer nationalen Vorgehensweise

Um die EU-Rechtskonformität einer nationalen Vorgehensweise der beschriebenen Art europarechtlich abzuklären bzw. die zulässigen Modalitäten im Detail abzustimmen und zu klären, sollte der Bund das beabsichtigte Vorgehen vorab mit der EU-Kommission erörtern und alle Aspekte der vorgesehenen Vorgehensweise mit dieser koordinieren. Dieses Vorgehen sollte Bestandteil einer breiteren EU-Initiative des Bundes zur Lärminderung im Schienenverkehr sein, die in Abschnitt 5.3 im Zusammenhang dargestellt wird.

Die Gespräche sollten darauf zielen, entweder festzustellen, dass die nationale Vorgehensweise bereits de lege lata zulässig ist, oder alternativ de lege ferenda zu erreichen, dass den Mitgliedstaaten erlaubt wird, nationale Regelungen aufzustellen oder Arrangements zu treffen, nach denen bei öffentlichen Bestellungen von Verkehren des SPNV der Einsatz von Fahrzeugen, welche striktere Lärmemissionsgrenzwerte als diejenigen der TSI Noise einhalten, gefordert oder belohnt werden kann.

In letzterem Fall sollen die nationalen Vorgehensweisen nicht die generelle Zulässigkeit des Rollmaterials für den Einsatz auf dem Schienennetz betreffen; diese wird nach wie vor durch die TSI Noise geregelt. Sie betreffen lediglich den Einsatz öffentlicher Mittel, entweder direkt für Bestellungen von Rollmaterial oder indirekt für Bestellungen von Verkehrsverträgen, in welchen Anforderungen an das Rollmaterial gestellt werden. Der nationale Freiraum ist auf öffentliche Bestellungen für den SPNV beschränkt und darf nicht auf eigenwirtschaftliche (d. h. nicht öffentlich bestellte und subventionierte) Verkehre des SPNV oder auf den SPfV oder den SGV ausgeweitet werden. Die EU-Initiative würde insofern eine Änderung oder Klarstellung mit sich bringen, dass ein bisher auf EU-Ebene geregelter Bereich (nämlich Lärmemissionsgrenzwerte von Fahrzeugen) in Hinblick auf öffentliche Bestellungen für den SPNV im nationalen Rahmen schärferen Kriterien unterworfen werden kann.

Es gibt mehrere Gründe, weshalb die vorgeschlagene Vorgehensweise bei der EU Aussicht auf Erfolg hat:²⁵⁷

- Ein Hauptmotiv der EU-Eisenbahnpolitik ist es, **grenzüberschreitende Verkehre** im Personen- und Güterverkehr zu ermöglichen. Dies betrifft jedoch in der Regel nicht den SPNV. Somit kollidiert die hier vorgeschlagene EU-Initiative nicht mit diesem Hauptmotiv der EU-Politik.²⁵⁸
- **Der SPNV** ist dasjenige Marktsegment, bei dem sich die EU mit ihren Bestrebungen zur Liberalisierung und Öffnung der europäischen Märkte bisher am stärksten zurückgehalten hat.²⁵⁹ Grund dafür ist – neben dem schon genannten nicht-grenzüberschreitenden Charakter dieser Verkehre – die Tatsache, dass die Mitgliedstaaten diesen Markt durch öffentliche Subventionen sehr stark unterstützen und formen und hierbei auch die Entwicklungsinteressen der Regionen und Gemeinden mit einbeziehen.²⁶⁰ Dies ist

²⁵⁷ Die im Folgenden genannten Gründe sollten im Rahmen der EU-Initiative des Bundes in ähnlicher Art gegenüber der EU vorgebracht werden.

²⁵⁸ Siehe Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV), Art. 91, (1) a). Beispielhaft sei auch auf die Quelle Europäisches Parlament (2023): „Rail Transport“. Fact Sheets on the European Union verwiesen. Der Text, der die EU-Eisenbahnpolitik seit den 1990er Jahren kompakt skizziert, weist durchgängig auf die Bedeutung von grenzüberschreitenden Verkehren des SGV und des SPfV als Hauptfokus der EU-Politik hin. Lediglich in einem Absatz auf S. 2 werden die bestellten Nahverkehre (Public Service Obligations) kurz erwähnt.

²⁵⁹ So lässt die Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 sowie deren Änderung Verordnung (EU) 2016/2338 für den SPNV wichtige Ausnahmen von der Marköffnung zu. Nach Art. 5 Abs. 1, 4, 4a und 4b (eingefügt 2016) sowie Abs. 6 sind Direktvergaben mit gewissen Einschränkungen erlaubt. Nach Art. 3 Abs. 1 sind sogar Konzessionen mit ausschließlichen Rechten (also Wettbewerbsverboten) zulässig.

²⁶⁰ Siehe Verordnung (EG) Nr. 1370/2007, Erwägungsgrund (17), mit Hinweis auf das Subsidiaritätsprinzip.

grundsätzlich auch im Interesse der EU, da es die Entwicklung des Systems Bahn fördert. Die EU akzeptiert daher sehr unterschiedliche nationale Regime im SPNV. Die vorgeschlagene Vorgehensweise würde diese grundsätzlich gewährte Kompetenz der Mitgliedstaaten und Regionen für den SPNV auf den Aspekt der Lärmemissionen der Fahrzeuge erweitern. Dies erscheint sinnvoll, da Lärmemissionen genauso wie die Verkehrsversorgung des SPNV die Menschen vor Ort betreffen und daher – entsprechend dem Subsidiaritätsprinzip – auch vor Ort oder im nationalen Rahmen adressierbar sein sollten.²⁶¹ Zu bedenken ist zudem, dass der SPNV weit stärker in der Fläche verteilt ist und in der Nähe der Wohngebiete operiert als SPfV und SGV. Nichtsdestotrotz strebt die EU auch im Bereich öffentlich bestellter Nahverkehre eine Vereinheitlichung und Liberalisierung der europäischen Märkte an, nur langsamer und vorsichtiger als in anderen Segmenten. Hinsichtlich der vorgeschlagenen Vorgehensweise würde sie sicherlich darauf achten, dass diese im deutschen SPNV-Markt nicht zu einem Rückschritt beim offenen Marktzugang führt.

- Neben der Ermöglichung grenzüberschreitender Verkehre besteht ein weiteres Hauptmotiv der EU-Politik darin, den **einheitlichen Binnenmarkt für die EVU** zu fördern.²⁶² Angestrebt wird, dass die EVU aller Mitgliedstaaten Zugang zu den Schienennetzen und Schienenverkehrsmärkten aller Mitgliedstaaten erhalten. Dies betrifft auch den SPNV. Die hier vorgeschlagene Vorgehensweise kollidiert jedoch nicht mit diesem Hauptmotiv, da sich weiterhin jedes europäische EVU am Wettbewerb um bestellte Verkehre in Deutschland beteiligen kann, wenn es das erwünschte Fahrzeugmaterial mitbringt. Es ist zudem allgemein üblich, dass bei den langfristigen Bestellungen von Verkehrsverträgen des SPNV besondere Anforderungen an das Fahrzeugmaterial gestellt werden (zum Beispiel Zuglänge, Traktion, Einstiegshöhe, Komfort- und Ausstattungsmerkmale, Lärm im Innenraum). Besondere Anforderungen an die Umgebungs-Lärmemissionen können daher kaum als signifikante zusätzliche Beschränkung des Marktzugangs für EVU gelten, solange am Fahrzeugmarkt Rollmaterial mit entsprechenden Eigenschaften grundsätzlich erhältlich ist. Die hier anvisierte Vorgehensweise soll gerade dazu führen, dass ein möglichst breites Angebot von lärmarmen Fahrzeugen auf den Markt kommt.
- Ein weiteres Motiv der EU-Politik besteht in der **Vereinheitlichung der Märkte für neues und gebrauchtes Rollmaterial**, um auch hier den einheitlichen Binnenmarkt zu fördern, den Wettbewerb unter den Herstellern zu stärken und Kostensenkungen zu ermöglichen. Dieses Motiv wird durch die hier vorgeschlagene Vorgehensweise berührt. Doch wie bereits angemerkt, ist der Markt für Rollmaterial des SPNV ohnehin schon stark von Sonderwünschen der Besteller geprägt. Da es um sehr langfristige und oft sehr umfangreiche Verkehrsverträge geht, können die Hersteller bei Neubeschaffungen viele Sonderwünsche erfüllen. Die vorgeschlagene Vorgehensweise würde daher zu keiner bedeutenden Verschlechterung hinsichtlich der Einheitlichkeit des Marktes führen. In Hinblick auf den Gebrauchtwagenmarkt ist zunächst anzumerken, dass gebrauchtes Rollmaterial bisher weit überwiegend innerhalb der nationalen Märkte gehandelt wird.²⁶³ Allerdings strebt die EU an, die Märkte

²⁶¹ Der Hinweis auf das Subsidiaritätsprinzip bezieht sich hier auf das allgemeine politisch-ökonomische Organisationsprinzip, welches besagt, dass politische Entscheidungen auf der niedrigst möglichen Entscheidungsebene zu fällen sind, auch um die Vorteile einer eigenverantwortlichen Lösung zu ermöglichen. Nur wenn eine politische Entscheidung auf einer niedrigen Ebene nicht gut getroffen werden kann, sollte sie auf eine höhere Ebene verlagert oder von ihr unterstützt werden. Siehe zum Beispiel Andersen, Woyke (2003): Handwörterbuch des politischen Systems der Bundesrepublik Deutschland, S. 618f. Für den konkreten Fall wurde im vorigen Abschnitt 3.5.4.2 die Begründung gegeben, weshalb eine Koordination der Länder und Unterstützung durch den Bund ratsam ist.

²⁶² Siehe AEUV, Art. 91, (1) b).

²⁶³ Grund hierfür sind nationale Besonderheiten wie Frequenz des Bahnstroms, Bahnsteighöhen und -längen, Zulassung für das nationale Netz usw. Siehe zum Beispiel E.CA Economics, Lear, UEA und Sheppard Mullin (2023): Impact assessment support study

durchlässiger zu machen. Doch sind im Fall einer Übertragung für einen neuen langfristigen Verkehrsvertrag umfangreiche Überholungen und Umbauten am Rollmaterial ohnehin notwendig und üblich. Bei diesen Gelegenheiten können auch technische Maßnahmen zur Lärminderung vorgenommen werden. In Hinblick auf die bessere Weiterverwendbarkeit und Übertragbarkeit von Rollmaterial ist anzuraten, dass zunächst für gebrauchtes Rollmaterial geringere Anforderungen gestellt werden als für neues (wie dies beispielhaft in den Fahrzeugempfehlungen des BSN vorgeführt wird).

- Lärmarme Fahrzeuge des SPNV, welche für den deutschen Markt entwickelt werden, werden in der Folge auch kostengünstig europaweit erhältlich sein, so dass in der langen Frist alle Mitgliedstaaten davon profitieren werden.

3.5.5 Empfehlungen

Um dem eingangs dieses Kapitels beschriebenen Handlungsbedarf beim SPNV gerecht zu werden, ist es **notwendig, dass die Bundesländer Verantwortung übernehmen**. Sie können sich nicht auf die Position zurückziehen, dass Eisenbahn und Bahnlärm reine Bundesangelegenheiten seien, denn die von ihnen bestellten Fahrzeuge sind Teil des Problems. Wenn die Bundesländer hierfür nicht die Verantwortung übernehmen, wird das Problem nicht zu lösen sein. Bisher kann man den Ländern diesbezüglich keinen Vorwurf machen, denn das Thema ist neu, da bis Ende 2021 Schienenverkehrslärm mit dem Lärm von graugussgebremsten Güterwagen praktisch gleichgesetzt wurde und, abgesehen von vereinzelten Abstellanlagen, der SPNV als Lärmquelle nicht thematisiert wurde. Dies geschah erstmals 2023 in den Fahrzeugempfehlungen des BSN. Da die unter Schienenverkehrslärm des SPNV leidenden Menschen Einwohner*innen der Länder sind, gehen die Gutachter*innen davon aus, dass die Bundesländer durchaus bereit sind, Verantwortung zu übernehmen.

Die Landesregierungen können aber nicht erwarten, dass die einzelnen Aufgabenträger das Problem aus eigenem Antrieb angehen, sondern sie müssen den Aufgabenträgern entsprechende Vorgaben machen. Aus den in Abschnitt 3.5.4.1 genannten Gründen wird es dabei für die Länder deutlich günstiger, wenn sie gemeinsam agieren und die konkreten Vorgaben für ihre Aufgabenträger in einer **koordinierten, länderübergreifenden Vorgehensweise** setzen. Die konkreten Vorgaben für lärmarme Fahrzeuge in Form von Emissionsgrenzwerten sind der Industrie frühzeitig mitzuteilen, und es sollte ein in der Zukunft liegendes Datum genannt werden, von dem an nur noch lärmarme Fahrzeuge in neuen Verkehrsverträgen eingesetzt werden dürfen. Die Gutachter*innen halten eine Ankündigungsfrist von fünf Jahren für ausreichend, damit die Industrie entsprechende Neufahrzeuge bzw. Maßnahmen für Gebrauchtfahrzeuge entwickeln kann.

Lärmarme Fahrzeuge des SPNV sind durch Emissionsgrenzwerte charakterisiert, die deutlich unterhalb der Grenzwerte der TSI Noise liegen oder sich auf Geräuschemissionen oder Betriebszustände beziehen, die von der TSI Noise noch gar nicht geregelt sind. Die genaue Festlegung der Anforderungen sollte in Gesprächen mit der Industrie erfolgen. Die Gutachter*innen empfehlen, sich weitgehend an den Fahrzeugempfehlungen des BSN vom Januar 2023 zu orientieren, insbesondere für neue und gebrauchte Elektrotriebzüge,²⁶⁴

for the review of the Community guidelines on State aid for railway undertakings, S.XXXVII der deutschen Zusammenfassung und S. 67 f.

²⁶⁴ Für Elektrotriebzüge werden somit folgende Anforderungen an „lärmarme Fahrzeuge“ gestellt (Neufahrzeuge / Gebrauchtfahrzeuge, aktuelle Werte der TSI Noise in Klammern): Für das Anfahrgeräusch 71/74 dB (80 dB), für das Vorbeifahrgeräusch 75/76 dB (80 dB) und für das Bremsgeräusch 80/87 (k.A.). Für das Standgeräusch 55/59 dB (65 dB) als Dauerschallpegel, sowie für den Dauerschallpegel am Kompressor 58/63 dB (68 dB) und für den Maximalpegel zur nächsten Messposition am Lufttrockner 70/73 dB (85 dB). Dabei wird für das Anfahrgeräusch von Gebrauchtfahrzeugen mit 74 dB(A) ein etwas höherer Wert als in den BSN

außerdem auch für Reisezugwagen.²⁶⁵ Für das Türwarnsignal sollte die nach TSI PRM²⁶⁶ zulässige anpassungsfähige Warneinrichtung gefordert werden, wonach sich das Signal an den vorliegenden Umgebungsgeräuschen orientiert und mindestens 5 dB(A) über diesen liegt (während nicht anpassungsfähige Warnsignale konstant 70 dB(A) emittieren). Für die nächtliche Abstellung folgen die Gutachter*innen den Empfehlungen der EuroSpec zur Bestimmung von Emissionsgrenzwerten,²⁶⁷ die in Abschnitt 3.7.3 dargestellt werden.

Wenn die Bundesländer in der Lage sind, eine solche koordinierte, länderübergreifende Vorgehensweise eigenständig zu organisieren, die geforderten Eigenschaften lärmarmen Fahrzeuge in einer gemeinsamen Erklärung öffentlich zu machen und der Industrie glaubhaft zu übermitteln, dass nach der Übergangszeit von fünf Jahren in neuen Verkehrsverträgen wirklich nur noch lärmarme Fahrzeuge eingesetzt werden können, und wenn die Länder die damit verbundenen, überschaubaren Mehrkosten selbst tragen, dann ist keine direkte Beteiligung des Bundes an der koordinierten Vorgehensweise notwendig.

Eine **Abstimmung mit dem Bund** ist jedoch auch in diesem Fall unerlässlich. Denn, wie in Abschnitt 3.7 dargestellt wird, wäre es von großem Vorteil, wenn der Bund die konkrete Ausformulierung des in diesem Gutachten ebenfalls empfohlenen Immissionsschutzes bei Abstellanlagen auf die von den Ländern bestellten lärmarmen Fahrzeuge sowohl inhaltlich als auch zeitlich abstimmt. Außerdem sollte der Bund gegenüber der EU die Zulässigkeit einer abgestimmten Vorgehensweise der Bundesländer absichern bzw. erwirken.

Wenn der Bund neben diesen Aktivitäten auch die in diesem Gutachten empfohlenen Instrumente und Maßnahmen hinsichtlich der Infrastruktur, des SGV und des SPFV unternimmt und langfristig sogar eine allgemeine Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandsstrecken anstrebt (siehe Abschnitte 3.2 bis 3.4, 3.6 und Kapitel 4), von denen die Menschen in den Ländern stark profitieren werden, wäre es durchaus vorstellbar, dass die Länder den administrativen Aufwand der Koordination und die direkten Kosten für den Übergang zu lärmarmen Fahrzeugen des SPNV selbst übernehmen.

Es besteht aber die Gefahr, dass die Länder ohne Beteiligung des Bundes keinen geeigneten organisatorischen Rahmen finden, der es ihnen ermöglicht, untereinander und in Hinblick auf die Vielzahl der beteiligten Aufgabenträger glaubhaft zu machen, dass sich alle Beteiligten nach der Übergangszeit von fünf Jahren an die Erklärung halten werden, indem sie nur noch lärmarme Fahrzeuge zulassen, auch wenn diese etwas teurer sind. Wenn diese **Glaubwürdigkeit** in Zweifel steht, besteht die Gefahr, dass die Industrie entsprechende Neufahrzeuge und Maßnahmen für Gebrauchtfahrzeuge nicht ausreichend entwickelt, diese daher teurer als erwartet werden, die Länder und Aufgabenträger von ihrer erklärten Politik abrücken werden und sich der Übergang zu lärmarmen Fahrzeugen beim SPNV verzögert.

Denkbar ist daher, dass **der Bund** sich auch bei den Fahrzeugen des SPNV engagiert und den Ländern eine teilweise Kostenübernahme anbietet, um zusammen mit ihnen einen

Empfehlungen – dort 72 dB(A) – gewählt, da ein Erreichen dieses Wertes für Gebrauchtfahrzeuge ansonsten mit starken, kostenintensiven, konstruktiven Eingriffen in den Antrieb einhergehen würde.

²⁶⁵ Für Reisezugwagen werden folgende Anforderungen an „lärmarme Fahrzeuge“ gestellt (aktuelle Werte der TSI Noise in Klammern): Für das Vorbeifahrgeräusch 77 dB (79 dB) und für das Bremsgeräusch 79 dB (k.A.). Für das Standgeräusch 59 dB (64 dB) als Dauerschallpegel, sowie für den Dauerschallpegel am Kompressor 58 dB (68 dB) und für den Maximalpegel zur nächsten Messposition am Lufttrockner 70 dB (85 dB).

²⁶⁶ TSI PRM (2014): Technische Spezifikation für die Interoperabilität - Zugänglichkeit für Menschen mit Behinderung und Menschen mit eingeschränkter Mobilität. Amtsblatt der Europäischen Union (L 356/110).

²⁶⁷ Diese sehen für einen Elektrotriebwagen für jede kontinuierliche Schallquelle einen energieäquivalenten Dauerschallpegel von 50 dB (Zustand Schlummern) und 64 dB (Zustand Standby) vor. Für intermittierende Schallquellen werden als energieäquivalenter Dauerschallpegel 58 dB (Zustand Schlummern und Standby) empfohlen. Für impulsartige Geräusch gilt ein Maximalpegel von 75 dB. Siehe dazu Abschnitt 3.7.3.

verbindlicheren organisatorischen Rahmen für einen möglichst raschen Übergang zu lärmarmen Fahrzeugen im SPNV aufzusetzen. Dies könnte sowohl die Abstimmung unter den Ländern und zwischen ihnen und den vielen Aufgabenträgern als auch die Abstimmung mit den genannten komplementären Aktivitäten des Bundes erleichtern und insbesondere bei der Industrie die Glaubwürdigkeit der Erklärung, dass nach der Übergangszeit nur noch lärmarme Fahrzeuge bestellt werden (auch wenn diese dann etwas teurer sind) deutlich erhöhen.

Ohne die Möglichkeit einer zunächst einfacher erscheinenden koordinierten Vorgehensweise allein zwischen den Ländern, also ohne direkte Beteiligung des Bundes, als gangbare Option ausschließen zu wollen, soll daher im Folgenden ein abgestimmtes Vorgehen von Bund und Ländern skizziert werden („**Bund-Länder-Agenda** zur Minderung des Schienenverkehrslärms im SPNV“), welches geeignet erscheint, die beschriebenen vielfältigen Abstimmungsthemen stimmig in den Griff zu kriegen:

1. Nach vorangehenden Gesprächen mit der Industrie und anderen wichtigen Akteuren der Branche Abstimmung von Bund und Ländern über die genaue Vorgehensweise, welche in den nächsten Punkten skizziert wird.²⁶⁸ Abstimmung mit der EU über die unionsrechtlich unbedenkliche Ausgestaltung des Vorgehens von Bund und Ländern, ggf. ergänzende EU-Initiative zur Schaffung der EU-rechtlichen Voraussetzungen.
2. Der EU sollte kommuniziert werden, dass das Vorhaben im Kontext einer breiteren nationalen und EU-Initiative steht, welche in diesem Gutachten insgesamt empfohlen wird. So wird parallel zu diesem Vorhaben eine Absenkung der Grenzwerte der TSI Noise für Triebfahrzeuge entsprechend den Empfehlungen des BSN vorgeschlagen (Abschnitt 3.3.3). Wenn dies rasch erfolgt, bezieht sich die folgend beschriebene Vorgehensweise von Bund und Ländern nur auf Gebrauchtfahrzeuge, andernfalls geht sie auch hinsichtlich der Neufahrzeuge einer zukünftig angestrebten Anpassung der TSI Noise beispielhaft voran.
3. Die europäischen und internationalen Hersteller von Fahrzeugen und Komponenten werden frühzeitig über die Absichten in Kenntnis gesetzt, damit sie entsprechende Vorbereitungen treffen können.
4. Gemeinsame Erklärung des Bundes und der Länder, dass bei zukünftigen Vergaben von Verkehrsverträgen des SPNV der Einsatz von lärmarmen Fahrzeugen ab einem definierten zukünftigen Zeitpunkt (Vorschlag: 5 Jahre nach der Erklärung) gefordert wird.
5. In das Regionalisierungsgesetz wird eine zusätzliche, jährliche finanzielle Komponente aufgenommen, die an Bundesländer gezahlt wird, in denen bei der Vergabe von Verkehrsverträgen der Einsatz lärmarmer Fahrzeuge gefordert wird.²⁶⁹ Ansonsten wird diese zusätzliche Komponente bedingungslos ausgezahlt; insbesondere wird keine nachträgliche Berechnung des tatsächlichen Zusatzaufwandes verlangt. Die finanzielle Komponente ist grundsätzlich proportional zum Volumen des Verkehrsvertrags, gemessen in Zug-Kilometern; für weitere Details siehe unten. Die Gesetzesänderung erfolgt direkt nach Abgabe der gemeinsamen Erklärung von Bund und Ländern, die zusätzliche finanzielle Komponente wird jedoch erst nach 5 Jahren erstmals gewährt und läuft 10 Jahre später aus.

Für den Bund ist von besonderem Interesse, dass die Eigenschaften lärmarmer Fahrzeuge Aufnahme in die Schall 03 finden, damit sie, sobald diese Fahrzeuge eingesetzt werden, im Rahmen der Lärmvorsorge und der Lärmsanierung berücksichtigt werden können und ggf. den Einsatz anderer lärmmindernder Maßnahmen, wie den Bau von Schallschutzwänden, ersetzen

²⁶⁸ Es müssen sich nicht notwendigerweise alle Länder beteiligen, aber möglichst viele.

²⁶⁹ Dieser Förderbetrag ist unabhängig von den eigentlichen Regionalisierungsmitteln, die der Finanzierung der Verkehrsbedienungen dienen, und kommt additiv hinzu. Alternativ wäre es möglich, anstelle dieser Ergänzung des Regionalisierungsgesetzes ein davon unabhängiges Förderprogramm des Bundes aufzusetzen.

können.²⁷⁰ Dies gilt umso mehr, wenn entsprechend den Empfehlungen dieses Gutachtens der gesetzliche eisenbahnspezifische Immissionsschutz auch auf Abstellanlagen (Abschnitt 3.7.4.2) und Bestandsstrecken (Kapitel 4) ausgeweitet wird.

Das unter Punkt 5 genannte Förderprogramm des Bundes im Rahmen des Regionalisierungsgesetzes erfüllt zwei Funktionen. Zum einen dient es der Aufwandsteilung zwischen Bund und Ländern (im Folgenden als hälftig angenommen), da sowohl der Bund als auch die Länder ein Interesse am Lärmschutz der Bevölkerung haben. Der zusätzliche Aufwand fällt bei Aufgabenträgern an, die lärmarme Fahrzeuge verlangen und dadurch mögliche Nachteile wie Mehrkosten oder eine Verringerung der Zahl der Bietenden in Kauf nehmen. Die Aufwandsteilung kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen. Entweder trägt das Förderprogramm die Hälfte des erwarteten zusätzlichen Aufwands und die Länder tragen bei jeder einzelnen Vertragsvergabe die andere Hälfte bei, oder das Förderprogramm trägt den gesamten erwarteten zusätzlichen Aufwand und der Förderbetrag wird bei künftigen Verhandlungen über die zukünftige Höhe der Regionalisierungsmittel hälftig angerechnet. In Hinblick auf die zweite, gleich dargestellte Funktion des Förderprogramms favorisieren die Gutachter*innen die zuletzt genannte Vorgehensweise, da sie stärkere Anreize setzt.

Zum anderen dient das Förderprogramm dazu, dass die Länder bzw. Aufgabenträger sich nach Ablauf der fünfjährigen Übergangszeit an den in der gemeinsamen Erklärung (Punkt 4) angekündigten Ausschluss von nicht-lärmarmen Fahrzeugen auch wirklich halten oder jedenfalls die meisten von ihnen das tun. Die Einbeziehung einer solchen Komponente zur Steigerung der Glaubwürdigkeit der politischen Absicht ist wichtig, damit die Industrie die ursprüngliche gemeinsame Erklärung ernst nimmt und mit der Entwicklung entsprechender Komponenten und Fahrzeuge frühzeitig beginnt.

Allerdings könnte die tatsächliche Umsetzung der Erklärung dadurch gefährdet werden, dass die lärmarmen Fahrzeuge trotz der Übergangszeit nur mit kräftigen Aufpreisen angeboten werden. Je mehr die Hersteller damit rechnen können, dass die Aufgabenträger später aufgrund von Aufpreisen entgegen der Erklärung auf die Forderung lärmarmen Fahrzeuge verzichten könnten, desto geringer ist der Anreiz der Hersteller, lärmarme Fahrzeuge frühzeitig zu entwickeln und dann im Wettbewerb preisgünstig anzubieten. Um dem entgegenzuwirken, wird vorgeschlagen, dass im Regionalisierungsgesetz verankerte Förderprogramm auf folgende Art zu gestalten.

- Die gesamte, vom Bund bereitgestellte Förderungssumme eines Jahres, im Folgenden als „Jahresbetrag“ bezeichnet, wird proportional zu den in dem Jahr auszuschreibenden Zug-Kilometern der beteiligten Bundesländer bestimmt. Hierüber bestehen langfristige, verlässliche Informationen (der sog. Ausschreibungsfahrplan). Wenn sich im Laufe der Zeit mehr Bundesländer beteiligen wollen, wird der Jahresbetrag entsprechend erhöht.
- Der so festgestellte, fixe Jahresbetrag wird in jedem Jahr auf diejenigen Ausschreibungen, in denen nur lärmarme Fahrzeuge angeboten werden dürfen, proportional nach deren Zug-Kilometern aufgeteilt. Wenn sich also weniger Aufgabenträger an die gemeinsame Erklärung halten als ursprünglich angekündigt wurde, dann erhalten diejenigen Aufgabenträger, die sich an die Erklärung halten, entsprechend mehr Geld pro Zug-Kilometer.²⁷¹

²⁷⁰ Zusätzlich sollten lärmarme Fahrzeuge auch in die Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (BUB) aufgenommen werden, um im Rahmen der Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung berücksichtigt zu werden. Siehe auch Kapitel 6.

²⁷¹ Aufgabenträger, die zwar in der Ausschreibung lärmarme Fahrzeuge fordern, jedoch bei der Auswahlentscheidung oder in Nachverhandlungen davon abweichen, müssen den Förderbetrag zurückgeben. Dieser kann im Nachhinein an diejenigen Aufgabenträger, die sich an die Erklärung gehalten haben, zusätzlich verteilt werden.

- Einschränkung könnte der Förderbetrag pro Zug-Kilometer ab einer gewissen Höhe gekappt werden, so dass nicht der ganze Jahresbetrag ausgezahlt wird. Zudem könnte der Fall eintreten, dass gar kein Aufgabenträger lärmarme Fahrzeuge fordert, so dass kein Teil des Jahresbetrages ausgezahlt werden kann. Übrigbleibende Teile von Jahresbeträgen sollten dem Jahresbetrag des nächsten Jahres hinzuaddiert werden, so dass im kommenden Jahr der Förderbetrag pro Zug-Kilometer von vorneherein höher ist und damit der Anreiz, sich an die Erklärung zu halten, noch größer wird. Auf diese Weise können sogar Jahresbeträge über mehrere Jahre kumuliert werden, doch kann wiederum eine Kappung vorgesehen werden, so dass Gelder verfallen.

Wenn sich also am Anfang der Umsetzungsphase nur wenige Länder oder Aufgabenträger an die ursprüngliche Erklärung halten, so bekommen diese einen deutlich höheren Förderbetrag pro Zug-Kilometer. In dem Fall, dass lärmarme Züge von den Herstellern nur mit hohen Preisaufschlägen angeboten werden, müsste das zur Folge haben, dass einige Länder die Erklärung vorläufig noch nicht umsetzen, während die verbleibenden Länder die Erklärung trotz der Preisaufschläge umsetzen, aber auch stärker finanziert bekommen. Das werden diejenigen Länder sein, die dem Lärmthema eine besonders hohe Bedeutung zumessen. Möglicherweise sind sie auch bereit, eine gewisse zusätzliche Summe selbst zu tragen. Absprachen zwischen den Ländern bzw. Aufgabenträgern in dieser Hinsicht sind willkommen.

Für die Hersteller bedeutet das wiederum, dass sie davon ausgehen können, dass lärmarme Fahrzeuge wirklich verlangt werden. Im Wettbewerb werden sie sich darauf vorbereiten, und dies wird dazu führen, dass lärmarme Fahrzeuge angeboten und die Preisaufschläge sich in Grenzen halten werden. Wenn der Durchbruch gelungen ist und sich das System eingespielt hat, wird jedes Land den ursprünglich kalkulierten Betrag pro Zug-Kilometer bekommen, der die verlässliche Untergrenze der Förderung für den zehnjährigen Förderzeitraum darstellt. Nicht auszuschließen ist, dass sich aufgrund der Entwicklungen am Markt nur ein geringer Aufpreis für lärmarme Fahrzeuge herausbildet, so dass die Zusatzkosten bei den Ländern und Aufgabenträgern unter dem ursprünglich kalkulierten Betrag pro Zug-Kilometer liegen. Da die finanzielle Komponente bedingungslos ausgezahlt wird, kann sie in diesem Fall teilweise für zusätzliche Verkehrsbestellungen eingesetzt werden.

3.6 Lärminderung beim Schienengüterverkehr

In Abschnitt 3.6.1 wird der Handlungsbedarf beim SGV dargestellt. Die wichtigste Lärmquelle des SGV ist das Rollgeräusch, welches vor allem von den Güterwagen verursacht wird. Die Untersuchung der Lärminderungspotenziale beginnt in Abschnitt 3.6.2 mit den Möglichkeiten, die bei den Güterwagen in Betracht kommen. In Abschnitt 3.6.3 werden diese im Kontext der Digitalisierung des SGV gestellt. Die Empfehlungen zu den politisch-rechtlichen Instrumenten werden in Abschnitt 3.6.4 vorbereitet und in Abschnitt 3.6.5 zusammengefasst.

3.6.1 Handlungsbedarf beim SGV

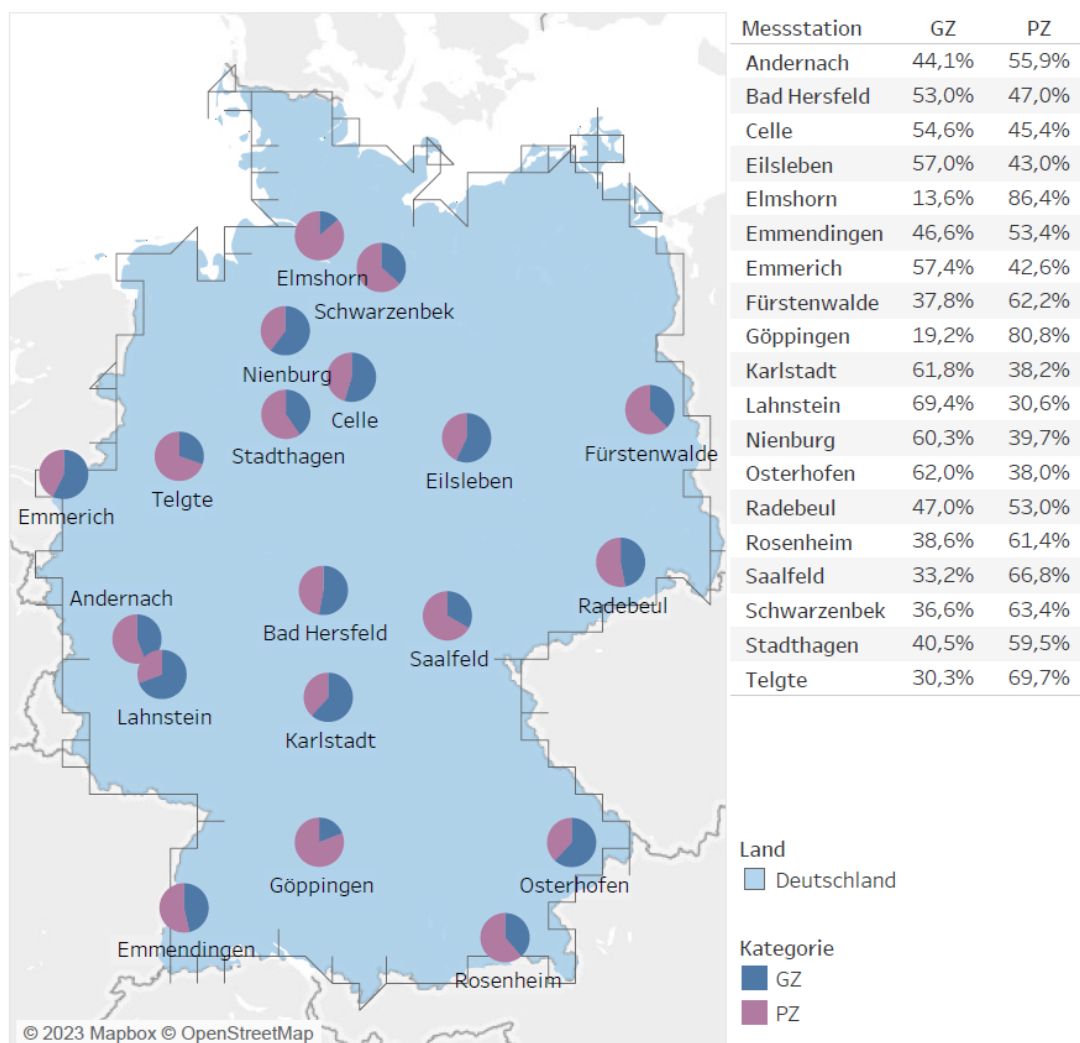
Auch nach Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen ist der SGV weiterhin einer der Hauptverursacher des Lärms an Eisenbahnstrecken. Wie stark seine Bedeutung ist, unterscheidet sich anhand des Verkehrsmix auf den verschiedenen Strecken. Sehr dominant ist er insbesondere auf den stark befahrenen Nord-Süd-Korridoren, wie anhand der Zugzahlen aus der Lärmaktionsplanung hervorgeht, siehe Abbildung 47 in Anhang A.1.²⁷² Aus der Lärmaktionsplanung und der dazugehörigen Lärmkartierung für die Haupteisenbahnstrecken, siehe auch Abschnitt 6.3.1, geht

²⁷² EBA (2023a): Entwurf, Lärmaktionsplanung des Eisenbahn-Bundesamtes Runde 4, S. 35.

nicht hervor, wie stark der SGV an den entsprechenden Strecken zur Lärmbelastung beiträgt und wie viele Betroffene von Schienenverkehrslärm auf ihn zurückzuführen sind.

Eine Darstellung der Relevanz ist jedoch anhand der Daten aus den Lärm-Monitoring-Stationen möglich. Abbildung 28 zeigt den Anteil der Verkehrsarten Güterverkehr und Personenverkehr an den 19 Messstellen im Jahr 2022. Es ist klar ersichtlich, dass sich der Anteil von Güter- und Personenverkehr zwischen den Messstellen deutlich unterscheidet. Die Auswertung der Messdaten des Jahres 2022 der 19 Monitoring-Stationen zeigt jedoch, dass der SGV etwa für 75 % der dort gemessenen Gesamtemissionen verantwortlich ist (nach 90 % in 2019).²⁷³ Aus der Abbildung 29 geht hervor, dass auch an einer Messstelle wie Fürstenwalde, an der weniger als 50 % SGV verkehrt, dieser einen höheren Mittelungspegel als der Personenverkehr aufweist. Einzig an der Messstation Elmshorn, mit einem Anteil des SGV von nur 13,6 %, weist dieser geringere Emissionspegel als der Personenverkehr auf.

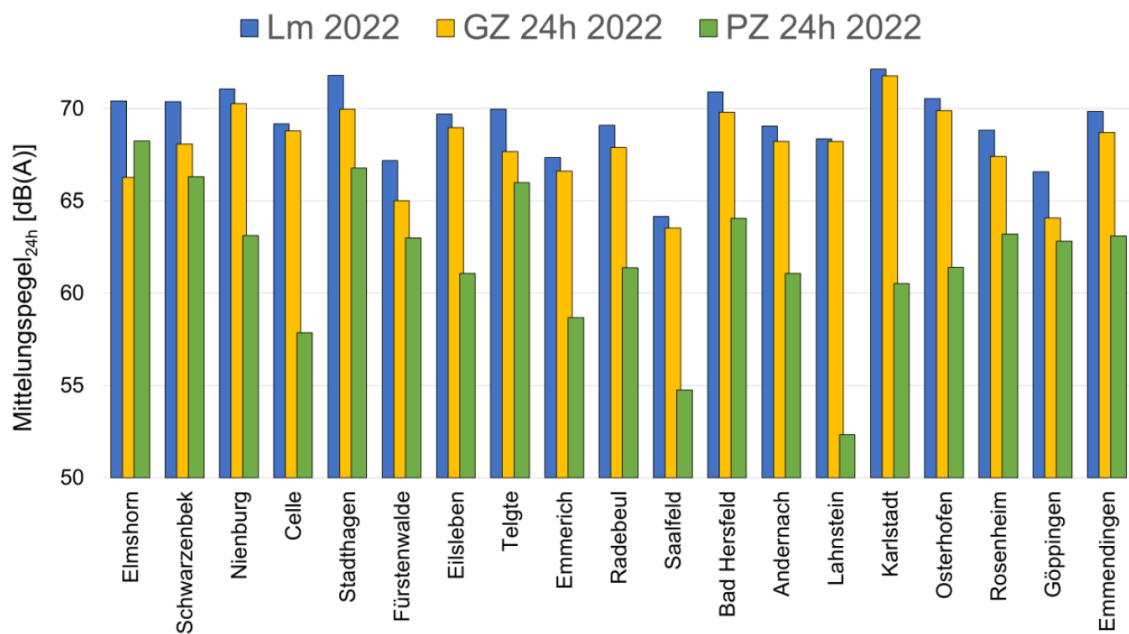
Abbildung 28: Verteilung der Verkehrsarten an den Lärm-Monitoring-Stationen



Prozentualer Anteil der Zugfahrten des Güter- und Personenverkehrs (Güterzug GZ bzw. Personenzug PZ) an den Lärm-Monitoring-Messstationen (gegenüber der Summe aus Güter- und Personenverkehr). Quelle: Girod (2023): Analyse der Schallemissionen des Schienenverkehrs in Hinblick auf die Störwirkung in den Nachtstunden auf Basis der Daten der Lärm-Monitoring-Stationen des Eisenbahn-Bundesamt, S. 28.

²⁷³ EBA (2023b): Jahresbericht 2022 – Lärm-Monitoring, Schallmessung im Schienenverkehr 2023 für 2022, S. 3.

Abbildung 29: Mittelungspegel nach Verkehrsart an den Lärm-Monitoring-Stationen



Gesamter Mittelungspegel (Lm 2022) für das Jahr 2022 an den einzelnen Messstationen mit ausgewiesenen Anteilen von Güter- und Personenzügen (GZ 24h 2022 und PZ 24h 2022). Quelle: EBA (2023b): Jahresbericht 2022 – Lärm-Monitoring, Schallmessung im Schienenverkehr 2023 für 2022, S. 14.

Es ist davon auszugehen, dass lediglich an Bahnstrecken, an denen der Güterverkehr einen sehr geringen oder keinen Anteil hat, seine Geräuschbelastung unterhalb der des Personenverkehrs liegt. Wichtig ist zu betonen, dass die Lärm-Monitoring-Stationen zielgerichtet so positioniert wurden, um möglichst viel Güterverkehr zu erfassen (über zwei Drittel des gesamten Schienengüterverkehrs werden erfasst²⁷⁴), sodass sein Gesamtanteil der Lärmemission bundesweit überschätzt sein dürfte. Regionen und Metropolregionen in denen der SGV kein relevanter Verursacher von Lärm ist, da er dort kaum oder gar nicht in Erscheinung tritt, sind im Rahmen des Lärm-Monitorings nicht abgebildet. In diesen Fällen ist im Regelfall der SPNV der Hauptverursacher, wie in Abschnitt 3.5.1 dargestellt wird.

3.6.2 Lärminderungsmaßnahmen bei Güterwagen

In diesem Abschnitt werden verschiedene technische Möglichkeiten zur Lärminderung bei den Güterwagen thematisiert. Dies umfasst den Einsatz geräuschärmerer Bremssysteme, die Vermeidung von Flachstellen und Ausbröckelungen an den Rädern durch Gleitschutz sowie den Einsatz von Radschallabsorbern, Schallschürzen und akustisch optimierten Drehgestelle. Darüber hinaus wird die Minderung der Geräuschabstrahlung der Aufbauten durch Körperschallentkopplung angesprochen.

3.6.2.1 Bremssysteme

Im Schienengüterverkehr wird sowohl über die Lokomotive als auch über die Güterwagen gebremst. Dabei hängt es vom konkreten Bremsvorgang ab (aufzubringende Bremskraft), ob die Bremskraft der Lokomotive und dabei idealerweise die elektrodynamische Bremse ausreicht oder ob zusätzlich mit den Wagen gebremst werden muss. Die Bremssysteme für die Güterwagen bestehen entweder aus Klotzbremsen oder aus Scheibenbremsen. Der Einfluss der akustischen Schallabstrahlung im Schienengüterverkehr wurde in einer Studie für das UBA

²⁷⁴ EBA (2023b): Jahresbericht 2022 – Lärm-Monitoring, Schallmessung im Schienenverkehr 2023 für 2022, S. 5.

(2017) bereits ausführlich diskutiert.²⁷⁵ Dies wird hier zusammenfassend dargestellt und mit neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen ergänzt.

Klotzbremse

Güterwagen sind ganz überwiegend mit einer Klotzbremse ausgestattet. Dabei wird die Bremskraft über Bremssohlen direkt auf die Lauffläche des Rades aufgebracht. Dies verursacht ein verstärktes Aufrauen der Räder, was ein erhöhtes Rollgeräusch bewirkt, siehe Abschnitt 2.3.1. Seit dem Verbot des Betriebs „lauter Güterwagen“ durch das Schienenlärmschutzgesetz, welches einem Verbot von Grauguss-Bremssohlen gleichkommt, sind im Güterverkehr in der Bundesrepublik vor allem zwei unterschiedliche Formen von Verbundstoff-Bremssohlen vertreten: Kompositsohlen (K-Sohlen) sowie low noise, low friction Sohlen (LL-Sohlen).²⁷⁶

LL-Sohlen wurden für die Umrüstung von Grauguss-gebremsten Güterwagen genutzt, da die Umrüstung auf K-Sohlen aufgrund eines notwendigen Umbaus des Bremssystems deutlich höhere Investitionskosten bedeutet hätte.²⁷⁷ Für neue Güterwagen werden jedoch K-Sohlen genutzt, welche eine niedrigere Radrauheit und somit einen niedrigeren Vorbeifahrtpegel bewirken.²⁷⁸ Da die Umrüstung von Grauguss-gebremsten auf LL-gebremste Güterwagen abgeschlossen ist, wird sich im Weiteren auf die akustisch geeigneteren K-Bremssohlen konzentriert.

Kompakte Klotzbremseinheit (CFCB)

Eine mögliche Lärminderung neuer Güterwagen liegt in der Implementierung einer kompakten Klotzbremseinheit (engl. Compact Freight Car Brake, CFCB). Diese wird stets mit K-Sohle ausgerüstet. Die Geräuschminderung infolge der CFCB wird in UBA (2017)²⁷⁹ mit bis zu 2 dB(A) ausgewiesen. Diese ergebe sich durch den Wegfall des klappernden Bremsgestänges.

Es sind jedoch keine Messungen bekannt, in denen eine akustische Wirksamkeit der CFCB aufgrund des Wegfalls des Bremsgestängeklapperns oder anderer Gründe nachgewiesen wurde. Vergleichende Messungen im Rahmen des Projekts „Leiser Zug auf realem Gleis“, welche detaillierter in Abschnitt 3.6.2.1 vorgestellt werden, zeigten Unterschiede der Vorbeifahrtpegel zwischen einem DRRS 25L Drehgestell mit CFCB und einem Y25 Drehgestell mit K-Sohle von 0,1 und 0,6 dB(A) und somit unterhalb der Messtoleranzen. Darüber hinaus dürfte das DRRS Drehgestell akustisch zumindest nicht ungünstiger als das Y25 Drehgestell sein, sodass hiermit keine Wirkung der CFCB nachgewiesen wurde. Anzumerken ist, dass die Radrauheiten des Drehgestells mit CFCB leicht höher waren. Ein akustischer Vorteil der CFCB kann sich im laufenden Betrieb infolge des Verschleißes und schlechterer oder komplizierter Instandhaltung beim herkömmlichen Bremsgestänge ergeben. Ohne den messtechnischen Nachweis dieses möglichen Vorteils kann die CFCB aus akustischen Gründen jedoch nicht empfohlen werden.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist bemerkenswert, dass die CFCB trotz erhöhter Anschaffungskosten aufgrund geringerer laufender Kosten (Einsparungen bei den Wartungskosten und Bremsbelägen) kostengünstiger sein kann als herkömmliche Bremssysteme mit K-Sohle. In UBA (2017) wurde argumentiert, dass eine CFCB ab einer jährlichen Laufleistung von ungefähr

²⁷⁵ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, Abschnitt 6.3.

²⁷⁶ BMDV (2022c): Lärmschutz im Schienenverkehr. Alles über Schallpegel, innovative Technik und Lärmschutz an der Quelle.

²⁷⁷ DHV BV, TU Berlin, IGES, Universität Würzburg (2007): Der Weg zum leiseren Schienengüterverkehr. Anreize für die Umrüstung von Güterwagen auf Flüstersohlen.

²⁷⁸ Ableitbar aus den Vorbeifahrtpegeln für einzelne Bremssysteme, die an den Monitoring-Stationen gemessen wurden. Daten von EBA (2023b): Jahresbericht 2022 – Lärm-Monitoring, Schallmessung im Schienenverkehr 2023 für 2022.

²⁷⁹ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 89.

80.000 km wirtschaftlich vorteilhaft ist, sodass ein positiver akustischer Effekt keine Zusatzkosten verursachen würde.

Scheibenbremse

Bei der Nutzung von Scheibenbremsen im Schienenverkehr kann zwischen Radscheibenbremsen und Wellenscheibenbremsen unterschieden werden. Radscheibenbremsen haben eine akustisch leicht bessere Wirkung, da Sie zusätzlich das Rad abschirmen. Der Hauptvorteil von Scheibenbremsen gegenüber Klotzbremsen liegt in der verringerten Radrauheit, welche ein verringertes Rollgeräusch bewirken kann.²⁸⁰ Ein zusätzlicher großer Vorteil der Scheibenbremse liegt darin, dass Räder mit gradem Steg genutzt werden können (während sie bei mit K-Sohlen gebremsten Wagen nicht genutzt werden können²⁸¹). Diese strahlen weniger Schall ab als die herkömmlichen Radbauformen. Darüber hinaus entfällt das Bremsgestänge, sodass das bereits angesprochene Bremsgestängeklappern nicht auftreten kann.

In den vergangenen Jahren fanden insbesondere durch die Lärm-Monitoring-Stationen in der Bundesrepublik Deutschland und der Schweiz **Messungen der Vorbeifahrtpegel** von klotz- und scheibengebremsten Güterwagen statt.

In den Jahresberichten des Eisenbahn-Bundesamtes zum Lärm-Monitoring im Schienenverkehr ist erstmals im Bericht für das Jahr 2021 eine Aufteilung der Vorbeifahrtpegel nach Bremsausstattung von Güterwagen aufgelistet. Diese konnte für Güterwagen durchgeführt werden, deren Wagenummer erkannt wurde und die im nationalen Fahrzeugregister Deutschlands gelistet sind.²⁸² Die dort hinterlegte Bremsausstattung wurde für die Analyse genutzt. Die Aufteilung für 2021 zeigten deutliche Unterschiede zwischen den Bremstypen Scheibe, LL-Sohle und K-Sohle. Im Jahresbericht für 2022 wird jedoch auf einen Fehler in der Berechnung für das Jahr 2021 hingewiesen, sodass die Daten aus 2021 unbrauchbar sind.²⁸³ Eine Korrektur fand rückwirkend nicht statt. Somit können lediglich die Daten für das Jahr 2022 in die Analyse mit einbezogen werden.

²⁸⁰ Wie stark diese Wirkung ausfällt, hängt stark von der Schienenrauheit ab. Ist die Schienenrauheit relativ hoch, hat eine niedrige Radrauheit fast keinen Effekt auf das Rollgeräusch, da die sich aus Rad- und Schienenrauheit ergebende kombinierte Rauheit durch die Schienenrauheit dominiert wird. Siehe Abschnitt 2.3.1 dieses Gutachtens.

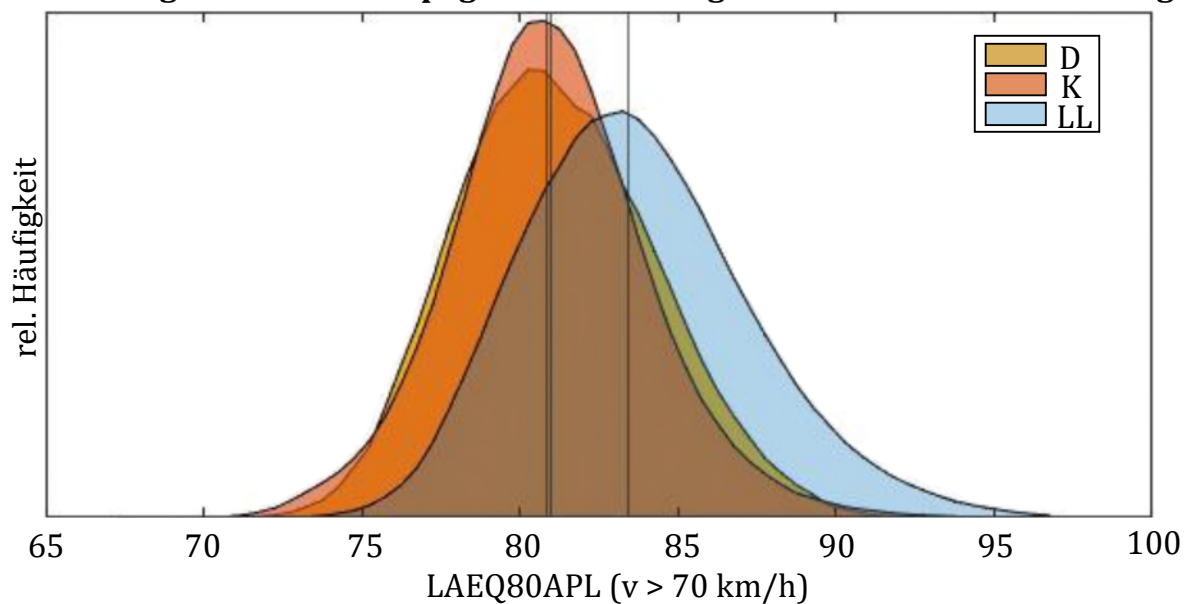
²⁸¹ Die Ursache liegt in der thermischen Belastung infolge der auf der Lauffläche aufliegenden Bremsklötze, sodass das Rad eine höhere Steifigkeit aufweisen muss. UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms. S. 92.

²⁸² EBA (2022b): Jahresbericht 2021 – Lärm-Monitoring, Schallmessungen im Schienenverkehr 2022 für 2021, S. 33.

²⁸³ EBA (2023b): Jahresbericht 2022 – Lärm-Monitoring, Schallmessung im Schienenverkehr 2023 für 2022, S. 34.

Abbildung 30: Schallpegelverteilung der Güterwagen nach Bremsausstattung in Deutschland, 2022

rel. Häufigkeit Vorbeifahrtpegel aus 2022 aufgeteilt nach Bremsausstattung

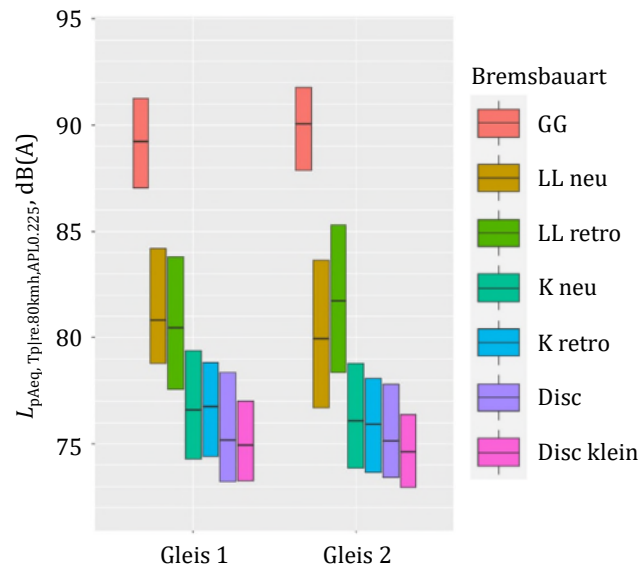


Dargestellt werden die Pegel der im Jahr 2022 gemessenen Zugvorbeifahrten von Güterwagen mit einer nach der UIC-Nummer und dem nationalen Fahrzeugregister zuordenbare Bremsausstattung. Die schwarzen Linien stellen jeweils die Medianwerte dar. Dabei steht D für scheibengebremste Güterwagen, K für klotzgebremste Güterwagen mit K-Sohle und LL für klotzgebremste Güterwagen mit LL-Sohle. Quelle: EBA (2023b): Jahresbericht 2022 – Lärm-Monitoring, Schallmessung im Schienenverkehr 2023 für 2022, S. 33.

In Abbildung 30 ist für die Lärm-Monitoring-Stationen in Deutschland die Schallpegelverteilung der Vorbeifahrten von zuordnbaren Güterwagen für das Jahr 2022 dargestellt. Es zeigen sich nur marginale Unterschiede zwischen scheibengebremsten Wagen und jenen mit K-Sohle. Ein deutlicher Unterschied (ungefähr 3 dB) besteht gegenüber Güterwagen mit LL-Sohle. Trotz der im Folgenden diskutierten Unsicherheiten kann aufgrund der Differenz gefolgert werden, dass aus akustischer Perspektive Güterwagen mit K-Sohlen oder Scheibenbremsen zu bevorzugen sind.

Anzumerken ist, dass in der Untersuchung keine Informationen über den Typ des Güterwagens, die Radsatzbauform bei Güterwagen mit Scheibenbremsen, eine mögliche CFCB bei Güterwagen mit K-Sohle sowie weitere akustische Maßnahmen (Radschallabsorber o. ä.) vorliegen. All dies sind Einflussfaktoren, welche den Vorbeifahrtpegel beeinflussen können. Durch die Korrektur des Schalldruckpegels „LAEQ80APL“ (äquivalent auf 80 km/h normiert und Berücksichtigung der Achsen pro Länge (APL)) sollte zumindest kein Einfluss der Geschwindigkeit und der Anzahl der Achsen vorhanden sein.

Abbildung 31: Emissionswerte von Güterwagen in Abhängigkeit der Bremsbauart für die Messstation in Wichtrach (Schweiz), 2018



GG-Sohle: grauguss-gebremst; LL: LL-Sohlen gebremst, aufgeteilt nach neuen und retrofit (umgerüsteten) Bremsen; K: K-Sohlen, analog aufgeteilt; Disc: Scheibenbremsen. Disc klein steht mutmaßlich für Güterwagen mit kleinem Raddurchmesser, dies wird in der Quelle jedoch nicht spezifiziert. Quelle: Beckenbauer, Attinger (2021): Erfolg und Perspektive der Lärminderung bei Güterzügen in der Schweiz, S. 18.

Ähnliche Untersuchungen wurden in der Schweiz für Daten einer Messstation in Wichtrach aus dem Jahr 2018 durchgeführt. Die Ergebnisse sind nach Bremstyp aufgeteilt in Abbildung 31 dargestellt. Es zeigt sich ein verringerter Vorbeifahrtpegel von 1 bis 2 dB von Güterwagen mit Scheibenbremsen gegenüber Güterwagen mit K-Sohlen. Auch in dieser Untersuchung werden wesentliche Einflussfaktoren wie Typ des Güterwagens, Radsatzbauform, CFCB und weitere akustische Maßnahmen nicht berücksichtigt.²⁸⁴ Gegenüber Güterwagen mit LL-Sohle beträgt der Unterschied im Vorbeifahrtpegel ungefähr 5 dB.

Auffallend ist, dass die Absolutwerte in der Schweiz um 3 bis 5 dB unterhalb der in Deutschland gemessenen Werte liegen. Dies könnte im Zusammenhang damit stehen, dass in der Schweiz ein Unterschied zwischen Güterwagen mit Scheibenbremse und solchen mit K-Sohle in Höhe von 1 bis 2 dB festgestellt wurde, während in Deutschland kein Unterschied festgestellt wurde. Gründe für diese beiden Unterschiede können die angesprochenen möglichen Unterschiede bei den Eigenschaften des Rollmaterials sein. Darüber hinaus können auch Oberbau und Gleis einen Einfluss auf die Messergebnisse haben, die allem Anschein nach bei den Messungen in der Schweiz akustisch günstiger waren als bei denen in Deutschland. Denn bekannt ist, dass bei Wichtrach 2018 die Schienenrauheit deutlich unterhalb und die Gleisabklingrate deutlich oberhalb der nach TSI Noise 2014 für Messabschnitte geforderten Grenzkurven waren;²⁸⁵ beide Faktoren führen zu einer geringeren Geräuscentstehung.²⁸⁶ Für die Messungen in Deutschland lässt sich nur indirekt erschließen, dass diese Anforderungen der TSI Noise 2014 zwar im

²⁸⁴ Beckenbauer, Attinger (2021): Erfolg und Perspektive der Lärminderung bei Güterzügen in der Schweiz.

²⁸⁵ Beckenbauer, Attinger (2021): Erfolg und Perspektive der Lärminderung bei Güterzügen in der Schweiz. S. 13f.

²⁸⁶ Die TSI Noise 2014 stellt für die Zulassungsverfahren von Fahrzeugen nach TSI Noise 2014 und für Vergleichsmessungen nach DIN EN ISO 3095:2014 Anforderungen an das Gleis des Messabschnittes, um eine gute Vergleichbarkeit der zu untersuchenden Fahrzeuge sicherzustellen. Die konkreten Forderungen werden über die Anforderungen der DIN EN ISO 3095:2014 an die weiteren Normen DIN EN 15610:2009 (Schienenrauheit) und DIN EN 15461:2011 (Gleisabklingrate) definiert.

Regelfall erfüllt waren, die Qualität des Oberbaus jedoch aus einer akustischen Perspektive im Mittel etwas geringer war als bei den Messungen in Wichtrach.²⁸⁷

Während somit an den deutschen Messstationen praktisch kein Unterschied der Vorbeifahrtpegel zwischen Scheibenbremsen und K-Sohlen dokumentiert werden konnte, wurde in der Schweiz ein leichter Vorteil von Scheibenbremsen gegenüber K-Sohlen, im Bereich von 1 bis 2 dB, gemessen. Eine Ursache für diese Unterschiede könnte eine niedrigere Schienenrauheit in der Schweiz sein, welche die Forderung nach einem akustisch optimierten Gleiszustand auch in Deutschland untermauert. Die im Zusammenhang mit der Scheibenbremse bedeutsame Frage nach dem Einfluss von Rädern mit geradem Steg wurde in diesen beiden Messungen jedoch nicht adressiert. Es gibt jedoch weitere Erkenntnisse, die auf einen akustischen Vorteil von Scheibenbremsen und Radsätzen mit gradem Steg gegenüber K-Sohlen-gebremsten Wagen hindeuten. Diese Erkenntnisse werden im nun folgenden Absatz und in Abschnitt 3.6.2.5 genannt.

Bei **Messungen, die im Rahmen der Neuzulassung von Güterwagen vorgenommen wurden**, zeigt sich ein etwas stärkerer Unterschied zwischen Güterwagen mit K-Sohle und Güterwagen mit Scheibenbremse und anderer Radsatzbauart. So wurden 2012 die Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2011 für einen Güterwagen von Typ T3000²⁸⁸ mit Y25-Drehgestell und K-Sohle gemessen.²⁸⁹ Die Auswertung des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels ergab einen Vorbeifahrtpegel von 81 dB.²⁹⁰ Messungen der Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2011 und TSI Noise 2014 für einen Güterwagen vom Typ T3000eD wurden im Jahr 2015 durchgeführt.²⁹¹ In diesem Fall wurde der Doppeltaschenwagen mit Scheibenbremsen und Radsätzen mit gradem Steg ausgerüstet. Dabei wurde ein Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2011 von 78 dB gemessen. Die Minderung beträgt somit 3 dB. Bei beiden Messkampagnen wurden die Anforderungen an den Oberbau (Schienenrauheit und Gleisabklingrate) nach TSI Noise 2011 erfüllt. Eine konkrete Auflistung der Werte erfolgte für die Messung in 2012 nicht.²⁹²

Aus **wirtschaftlicher Sicht** kann die Nutzung der Scheibenbremse langfristig kostengünstiger sein als die Nutzung herkömmlicher Bremssysteme mit K-Sohle. Klotzbremsen bewirken durch das Wirken auf der Lauffläche einen Radverschleiß, der bei Scheibenbremsen deutlich geringer ausfällt.²⁹³ Dies kann bei hoher Laufleistung eines Wagens die höheren Anschaffungskosten der Scheibenbremse überkompensieren, so dass über die ganze Lebensdauer des Wagens die Nutzung der Scheibenbremse wirtschaftlicher ist. In UBA (2017) wurde berechnet, dass die Scheibenbremse ab einer jährlichen Laufleistung von ungefähr 67.000 km wirtschaftlich vorteilhaft ist, siehe Abbildung 32, sodass die positiven akustischen Effekte keine Zusatzkosten verursachen würden. Diese Aussage und der in der Abbildung dargestellte Zusammenhang sind allerdings derzeit aufgrund neuer Erkenntnisse infrage gestellt.

²⁸⁷ Das bedeutet, bei den Messungen in Deutschland lag eine etwas höhere Schienenrauheit und eine etwas niedrigere Gleisabklingrate vor als in Wichtrach. Dies lässt sich aus den im Anhang des Monitoringberichts dargestellten Grafiken für die Schienenrauheiten und Gleisabklingraten schlussfolgern. EBA (2023): Jahresbericht 2022 – Lärm-Monitoring, Schallmessung im Schienenverkehr 2023 für 2022, S. 55–112.

²⁸⁸ Es handelt sich dabei um einen sechssachsigen Gelenkdoppeltaschenwagen mit drei Drehgestellen. Diese werden insbesondere im kombinierten Verkehr genutzt, da sie bspw. Platz für zwei LKW-Sattelanhänger bieten.

²⁸⁹ PROSE AG (2012): Ferriere Cattaneo - T3000, Vorbeifahrgeräuschmessung nach TSI CR Noise.

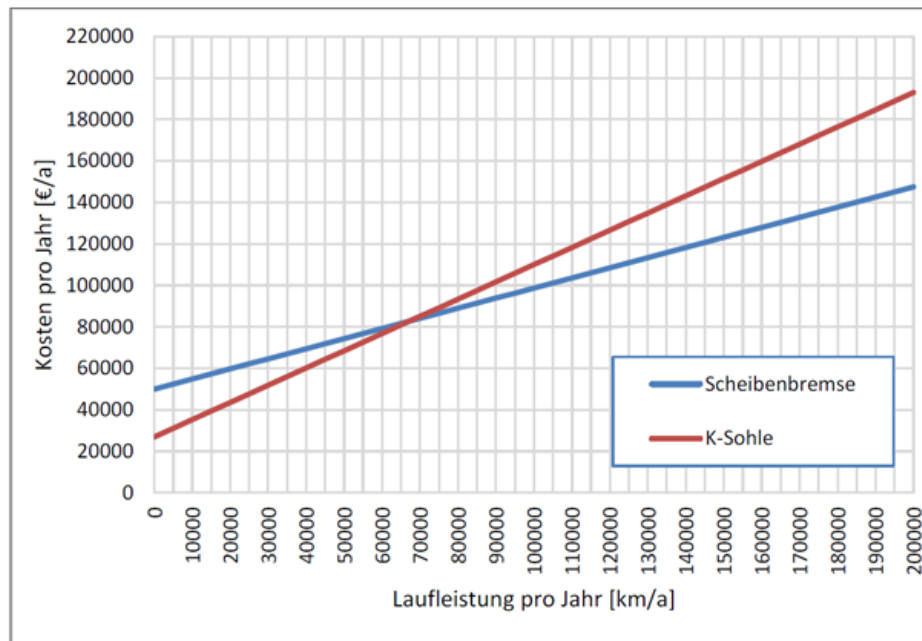
²⁹⁰ Der Grenzwert nach TSI Noise 2014 beträgt 83 dB.

²⁹¹ PROSE AG (2015): T3000eD, TSI CR Noise Vorbeifahrtmessung.

²⁹² PROSE AG (2012): Ferriere Cattaneo - T3000, Vorbeifahrgeräuschmessung nach TSI CR Noise.

²⁹³ Siehe UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 93, und DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“, S. 100–111.

Abbildung 32: Darstellung der laufleistungsabhängigen Lebenszykluskosten für einen neuen Güterwagen mit Scheibenbremse oder K-Sohle



Quelle: UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 95.

Bevor das Problem dargestellt wird, sollen noch einige weitere wirtschaftliche Aspekte der Scheibenbremse erwähnt werden. Die Verwendung von Rädern mit geradem Steg, die in Verbindung mit Scheibenbremsen möglich und aus akustischer Sicht besonders vorteilhaft sind, verursacht keine Mehrkosten.²⁹⁴ Ein kleiner Kostennachteil von Scheibenbremsen ergibt sich aus der Notwendigkeit einer Sichtscheibe zur Durchführung der Bremsprobe, die mit 500 Euro zusätzlichen Kosten beziffert wird.²⁹⁵ Zusätzlich weisen Scheibenbremsen ein höheres Gewicht gegenüber Klotzbremsen auf, sodass das mögliche Gewicht der Zuladung leicht beschränkt wird. Es gibt Forschungen zum Einsatz leichterer Scheibenbremsen (bspw. 86 kg gegenüber 135 kg, die bei vier Achsen knapp 400 kg sparen würden).²⁹⁶

Der Vorteil der Scheibenbremsen gegenüber Klotzbremsen, dass der Bremsvorgang nicht mehr auf der Lauffläche des Rades erfolgt und in der Folge die Radrauheit und der Radverschleiß geringer sind, kann jedoch auch einen Nachteil darstellen. Bei Klotzbremsen können sich Laufflächenfehler wie Flachstellen im Betrieb ausschleifen, und das Rad wird beim Bremsvorgang gleichmäßiger erhitzt. Bei der Scheibenbremse fehlen diese Effekte, so dass insbesondere die im Folgenden beschriebene **Ausbröckelungsproblematik** auftreten kann.

Im realen längerfristigen Betrieb von Güterwagen mit Scheibenbremse hat sich gezeigt, dass es zu Ausbröckelungen an den Laufflächen der Räder kommt.²⁹⁷ Die Ursachen für die Ausbröckelungen sind noch nicht abschließend erforscht. Aktuell werden diese von der TU Berlin zusammen mit der Hupac AG im Rahmen eines Projekts zusammen mit dem Bundesamt für Umwelt der Schweiz untersucht. Erste Erkenntnisse deuten darauf hin, dass der fehlende

²⁹⁴ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 97.

²⁹⁵ Auf die Sichtscheibe könnte bei der Einführung einer automatischen Bremsprobe verzichtet werden. Diese kann durch die Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung erleichtert werden, da eine zentrale Strom- und Datenverbindung an den Wagen anliegt.

²⁹⁶ Für weitere Informationen, sei verwiesen auf: DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“.

²⁹⁷ Moro (2020): Pos. 01 - Analyse der Betriebsergebnisse der T3000eD / T3000eD + Wagen und Spezifikation der Bremsstreckenversuche, S. 13f.

Gleitschutz am Güterwagen als Ursache in Frage kommt.²⁹⁸ Beim Bremsen kann es daher dazu kommen, dass die Räder blockieren. Die Dauer der Blockierung kann dabei unterschiedlich lang sein. Wenn ein Radsatz über einen längeren Zeitraum blockiert ist, kommt es zu Materialabtrag und der Ausbildung einer klassischen „Flachstelle“. Diese ist auch als periodischer Impuls hörbar.²⁹⁹ Sollte der Radsatz jedoch nur kurzzeitig blockieren, ist kein Materialabtrag wahrnehmbar. In der Regel kommt es im Rad-Schiene-Kontakt während des Bremsvorgangs zu einem starken Temperaturanstieg und anschließend zu einer raschen Abkühlung. Dadurch kann es im Kontaktbereich zu einer Gefügeumwandlung kommen und es bildet sich Martensit. Da die entstandene Martensit-Insel eine höhere Härte hat als das umgebende Material, tendiert es zum Ausbröckeln, sodass mit zunehmender Laufleistung immer mehr Material aus der Oberfläche herausgelöst wird; siehe Abbildung 33.³⁰⁰

Abbildung 33: Beispiel einer Martensit-Insel an einem Güterwagen der Hupac AG



Quelle: Colao, TU Berlin, FG Schienenfahrzeuge.

Bei nicht scheibengebremsten Wagen besteht diese Problematik auch, jedoch stellen dort nur die klassischen Flachstellen ein Problem da. Diese entstehen, wenn es beim Blockieren der Räder direkt zu einem Materialabtrag kommt. Es wird vermutet, dass die direkt auf die Lauffläche wirkende Klotzbremse dafür verantwortlich ist, dass die Bildung von Martensit-Inseln dort kein Problem ist. So könnte der Temperatureintrag durch die auf der Lauffläche wirkenden Bremsklötze, die entstanden Martensit-Inseln wieder ausgleichen, da die ganze Lauffläche aufgehärtet wird. Eine andere Hypothese ist, dass infolge des höheren Verschleißes schneller Material abgetragen wird, als dass dieses ausbröckeln kann.³⁰¹ Auch eine Kombination beider Begründungen ist denkbar.

Ausbröckelungen auf der Lauffläche konnten sowohl bei scheibengebremsten Güterwagen mit Y-25 als auch scheibengebremsten Güterwagen mit DRRS-Drehgestellen beobachtet werden. Jedoch hat sich gezeigt, dass die Radsätze des radial einstellenden Drehgestells DRRS eine um 34% höhere Laufleistung aufweisen.³⁰² Es wird vermutet, dass durch die radiale Einstellung der

²⁹⁸ Lokomotiven sowie Fahrzeuge für den Personenverkehr, die mit einer Scheibenbremse ausgerüstet sind, weisen zusätzlich einen Gleitschutz auf. Die auftretenden Ausbröckelungen bei der Nutzung der Scheibenbremse sind lediglich aus dem Güterverkehr bekannt.

²⁹⁹ Kämpfer, Six, Semrad et al. (2008): Verschleiß- und Schädigungserscheinungen an Schienenfahrzeugen.

³⁰⁰ Deuce (2007): Wheel Tread Damage – An Elementary Guide. S. 26–29.

³⁰¹ Bevan, Molyneux-Berry et al. (2013): Development and validation of a wheel wear and rolling contact fatigue damage model.

³⁰² Colao (2023): Untersuchungen zu Ausbröckelungen auf der Lauffläche scheibengebremsster Güterwagen.

Räder der Ausbröckelvorgang langsamer abläuft. Aktuell untersucht die TU Berlin zusammen mit der Hupac AG, inwiefern der Einsatz von Gleitschutz zu einer Verbesserung der Situation führt.

Ausbröckelungen an den Rädern müssen für übliche Raddurchmesser von über 840 mm ab einer Länge von 6 cm aus Sicherheitsgründen bei der Instandhaltung abgetragen werden, was den Radverschleiß deutlich erhöht. Somit steht die oben genannte Hypothese, dass Scheibenbremsen zu einem geringeren Radverschleiß führen als Klotzbremsen, aufgrund der Ausbröckelungsproblematik in Frage.³⁰³ Demgemäß ist auch die in Abbildung 32 illustrierte wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der Scheibenbremse ab einer jährlichen Laufleistung von 67.000 km nicht mehr sicher. Wenn die Ausbröckelungen durch Einsatz von Gleitschutz vermieden werden können, so sind die Kosten des Gleitschutzes zusätzlich zu berücksichtigen.

Abschließende Bewertung der Bremssysteme

Die kompakte Klotzbremseinheit (CFCB) kann aus rein akustischen Gründen nicht empfohlen werden. Da sie sich aus wirtschaftlichen Gründen lohnen kann, wird sich die kompakte Klotzbremseinheit in Teilen des SGVs durchsetzen. Etwaige akustische Effekte durch den Wegfall des Bremsgestänges oder die bessere Instandhaltung könnten sich in den kommenden Jahren zeigen und würden dann direkt wirken.

Scheibenbremsen an Güterwagen sind aus akustischer Perspektive zu empfehlen. Dabei sollten die Scheibenbremsen mit den akustisch günstigeren Rädern mit geradem Radsteg eingesetzt werden, um den größtmöglichen Schallminderungseffekt zu erzielen. Während bei Messungen an den Lärm-Monitoring-Stationen in Deutschland kein Schallminderungseffekt von Scheibenbremsen gegenüber herkömmlichen Klotzbremsen mit K-Sohle festgestellt werden konnte (sondern nur gegenüber Wagen mit LL-Sohle), zeigt sich bei den Messdaten der Monitoring-Stationen in der Schweiz ein Vorteil von 1 bis 2 dB für die Scheibenbremse gegenüber der K-Sohle. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen aus Deutschland und der Schweiz könnte auf die niedrigere Schienenrauheit in der Schweiz zurückgeführt werden. In beiden Ländern wurden die Messergebnisse nicht nach Radbauformen getrennt erhoben, so dass ein potenzieller Effekt von Rädern mit geradem Radsteg nicht ausgewiesen wurde.

In Zulassungsmessungen wurde jedoch im Vergleich der Scheibenbremse in Verbindung mit Rädern mit geradem Radsteg gegenüber Klotzbremsen in Verbindung mit K-Sohle und Rädern herkömmlicher Radbauform ein Minderungseffekt von 3 dB(A) gemessen.

Bei Bestandswagen würde eine Umrüstung des Bremssystems von Klotzbremse auf Scheibenbremse hohe Kosten verursachen, so dass diese Option wohl nur in Ausnahmefällen in Frage kommt. Auch die Ausstattung eines neuen Güterwagens mit Scheibenbremse erfordert höhere Anschaffungskosten im Vergleich zur herkömmlichen Klotzbremse, doch ermöglicht die Scheibenbremse aufgrund des geringeren Radverschleißes Kosteneinsparungen in der langen Frist. Nach früheren Betrachtungen ist die Scheibenbremse ab einer jährlichen Laufleistung von 67.000 km insgesamt kostengünstiger als die herkömmlichen Klotzbremsen mit K-Sohle. Zudem sind Räder mit geradem Radsteg kostengünstiger als herkömmliche Räder. Bei den früheren Betrachtungen war allerdings das bei Scheibenbremsen auftretende Problem der Ausbröckelungen an den Rädern noch nicht bekannt, so dass die Aussage zum geringeren Radverschleiß infrage steht. Dieses Problem kann vermutlich durch den Einsatz von Gleitschutz gelöst werden.

³⁰³ In dem bereits erwähnten Forschungsprojekt von DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“. S. 100-111, wurde zwar ein Vorteil der Scheibenbremse beim Radverschleiß nachgewiesen, doch wurden dort nur Wagen bis zu einer Laufleistung von 150.000 km untersucht (danach endete die Laufzeit des Projekts). Aus Sicht der Autor*innen des Forschungsprojekts sowie auch der Gutachter*innen bedarf es einer höheren zu untersuchenden Laufleistung, um abschließende Aussagen bezüglich des Lauflflächenverschleißes treffen zu können.

3.6.2.2 Vermeiden von Flachstellen und Ausbröckelungen an den Rädern durch Gleitschutz

Flachstellen stellen eine besondere Schallquelle am Fahrzeug dar. Bei einer Flachstelle handelt es sich um einen singulären Fehler auf der Lauffläche eines Eisenbahnrades. Flachstellen finden sich vor allem an Fahrzeugen des Güterverkehrs.

Eine Flachstelle erzeugt ein sehr eindeutiges, unnatürliches, periodisches Schlagen, das als störender empfunden wird als das normale „Rauschen“ eines Güterzuges, welches aus einiger Distanz wahrgenommen wird.³⁰⁴ Dies macht es schwierig, Flachstellen mit akustischen Messgrößen zu bewerten. Bei Güterzügen mit einem lauten Vorbeifahrtpegel kann sogar mit einem 10 ms zeitbewerteten Spitzenachspegel kaum der Einfluss einer Flachstelle bewertet werden. Selbst bei relativ leisen Fahrzeugen ist der Einfluss einer Flachstelle auf pegelbasierte Bewertungsgrößen als gering einzustufen.³⁰⁵ Zusätzlich sei angemerkt, dass mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit das Rollgeräusch stärker als das Geräusch aus der Flachstelle zunimmt, sodass Flachstellen vor allem bei langsam fahrenden Zügen wahrgenommen werden.³⁰⁶ Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Flachstellen schwer akustisch zu bewerten sind, jedoch in bestimmten Fällen den Geräuscheindruck dominieren können. Speziell im Hinblick auf immer leiser werdende Wagen wird diese Schallquelle an Bedeutung gewinnen.

Abgrenzung zu anderen Laufflächenfehlern

Eine Flachstelle ist definiert als eine Abflachung der Lauffläche an einer singulären Stelle des Rades. Eine Flachstelle entsteht, wenn das Rad infolge eines niedrigen Haftwertes im Rad-Schiene-Kontakt über die Schiene gleitet.³⁰⁷

Die Einteilung von Laufflächenfehlern in Flachstellen und andere Laufflächenfehler ist jedoch nicht einfach. So erfolgt in der DIN EN 15313:2016-09 eine Beschreibung von Radsatzschäden inkl. deren Merkmale, jedoch ist eine eindeutige Zuordnung in der Praxis nicht immer möglich. Im Betrieb erfolgt die Bewertung der Laufflächenfehler durch den Allgemeinen Verwendungsvertrag.³⁰⁸ In diesem ist für jeden Laufflächenfehler definiert, ab welcher Größe bzw. bei Überschreitung welchen Kennwertes der Wagen ausgesetzt werden muss und ein Radsatzwechsel zu erfolgen hat. Auswertungen von Instandhaltungsdaten im Rahmen eines Projektes der TU Berlin zusammen mit der Hupac AG³⁰⁹ haben gezeigt, dass die Bewertung eines Lauf­flächenschadens stark von den Erfahrungen des eingesetzten Personals abhängig ist. Wenn ein Wagen nach Entstehung einer Flachstelle weiter im Einsatz war, ist eine genaue Abgrenzung kaum möglich.

Auch aus akustischer Sicht ist eine Trennung zwischen Flachstellen und anderen singulären Laufflächenfehlern, im speziellen Ausbröckelungen (siehe auch Abschnitt 3.6.2.1), nicht immer möglich.³¹⁰ Flachstellen und Ausbröckelungen haben gemein, dass sie das Resultat einer mechanischen Beanspruchung im Rad/Schiene-Kontakt sind. Eine solche Beanspruchung tritt im Güterverkehr vor allem bei Bremsvorgängen auf.³¹¹ Im Folgenden soll der Mechanismus, der zur Entstehung einer Flachstelle führt, beschrieben werden, um im Anschluss Möglichkeiten zur Vermeidung aufzuzeigen.

³⁰⁴ Becker, Forster, Schwarz (2018): Forschungsprojekt „Flachstellenerkennung mit Telematik“, S. 7.

³⁰⁵ Maly, Dinobbl, Jaksch (2016): Schallemissionen von Laufflächendefekten, S. 71.

³⁰⁶ Thompson (2009): Railway Noise and Vibration – Mechanisms, Modelling and Means of Control, S. 353 f.

³⁰⁷ UBA (2022): Messung von Flachstellen und Ermittlung eines akustischen Instandhaltungskriteriums, S. 33.

³⁰⁸ GCU Bureau (2021): Allgemeiner Vertrag für die Verwendung von Güterwagen, Anlage 9.

³⁰⁹ Colao (2023): Untersuchungen zu Ausbröckelungen auf der Lauffläche scheibengebremsster Güterwagen.

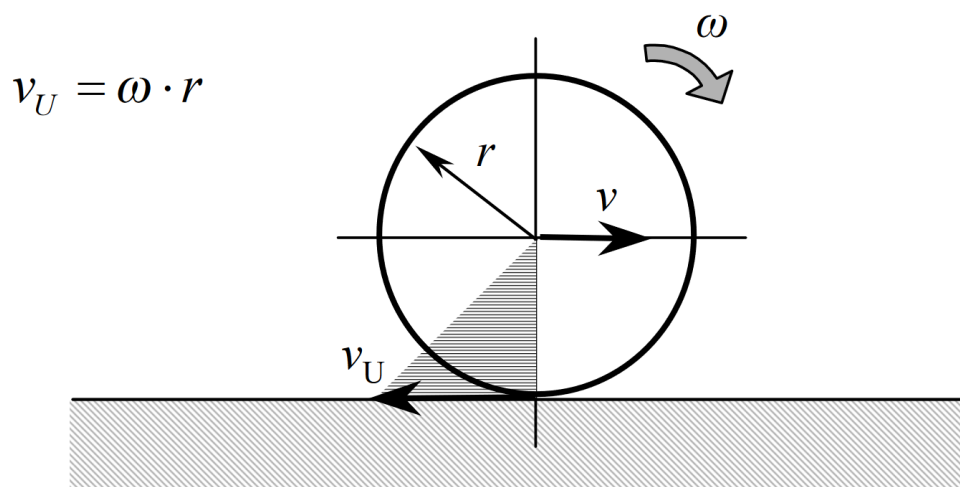
³¹⁰ UBA (2022): Messung von Flachstellen und Ermittlung eines akustischen Instandhaltungskriteriums, S. 33.

³¹¹ Jergéus et al. (1999): Full-scale railway flat experiments, S. 2.

Entstehungsmechanismus einer Flachstelle

Eine Flachstelle entsteht, wenn das Rad über die Schiene gleitet. Hierbei kommt es zu abrasivem Verschleiß, der eine Unrundheit auf der Lauffläche erzeugt. Zusätzlich kommt es hierbei zu einem hohen Energieeintrag, welcher eine starke punktuelle Erhitzung der Lauffläche bewirkt.³¹² Die darauffolgende rasche Abkühlung bewirkt eine lokale Materialumwandlung in Martensit. Martensit ist härter und spröder als das umgebende Material, weshalb es mit jeder späteren Radsatzumdrehung zu Materialausbrüchen kommen kann.³¹³ Martensit kann auch entstehen, ohne dass es anschließend zur Bildung einer Flachstelle kommt. Entsteht Martensit und bröckelt dieses aus, wird dies als Ausbröckelung bezeichnet. Sowohl Ausbröckelungen als auch Flachstellen sind akustisch wahrnehmbar und erzeugen einen impulsartigen Schlag, der periodisch mit jeder Radsatzumdrehung wahrnehmbar ist.³¹⁴

Abbildung 34: Darstellung von Umfangs- und Translationsgeschwindigkeit



Es bezeichnen v die Translationsgeschwindigkeit (Geschwindigkeit des Zuges), v_U die Umfangsgeschwindigkeit am Rad, ω die Rotationsgeschwindigkeit des Rades und r den Radradius. Quelle: Polach (2017): Kontakt Rad-Schiene II: Kraftschlusskräfte, S. 2.

Bei einem Rollkontakt liegt Gleiten vor, wenn die Umfangsgeschwindigkeit und die Translationsgeschwindigkeit eines Rades nicht identisch sind, das Rad also beschleunigt oder abgebremst wird. Da Wagen des Schienengüterverkehrs nicht angetrieben sind, tritt Gleiten nur bei Bremsungen auf. Das Gleiten kann über die dimensionslose Größe Schlupf charakterisiert werden. Sie beschreibt das Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit zu Translationsgeschwindigkeit des Rades. Es gibt mehrere Definitionen des Schlupfes, folgende findet häufig in technischen Fragestellungen Anwendung:³¹⁵

$$s = \frac{v - v_U}{v}$$

Hierbei ist s der Schlupf, $v > 0$ die Translationsgeschwindigkeit (Geschwindigkeit des Zuges) und v_U die Umfangsgeschwindigkeit am Rad. Diese entspricht dem Produkt $v_U = \omega r$, wobei ω die Rotationsgeschwindigkeit des Rades und r der Radradius ist. Bei Güterwagen gilt immer $0 \leq$

³¹² Spiess, Büche (2016): Gleitschutzsysteme – Wirkung, Optimierung und Prüfung, S. 200.

³¹³ Maglio et al. (2023): Influence of railway wheel tread damage on wheel-rail impact loads and the durability of wheelsets, S. 21.

³¹⁴ UBA (2022): Messung von Flachstellen und Ermittlung eines akustischen Instandhaltungskriteriums, S. 33 f.

³¹⁵ Popov (2015): Kontaktmechanik und Reibung, S. 142.

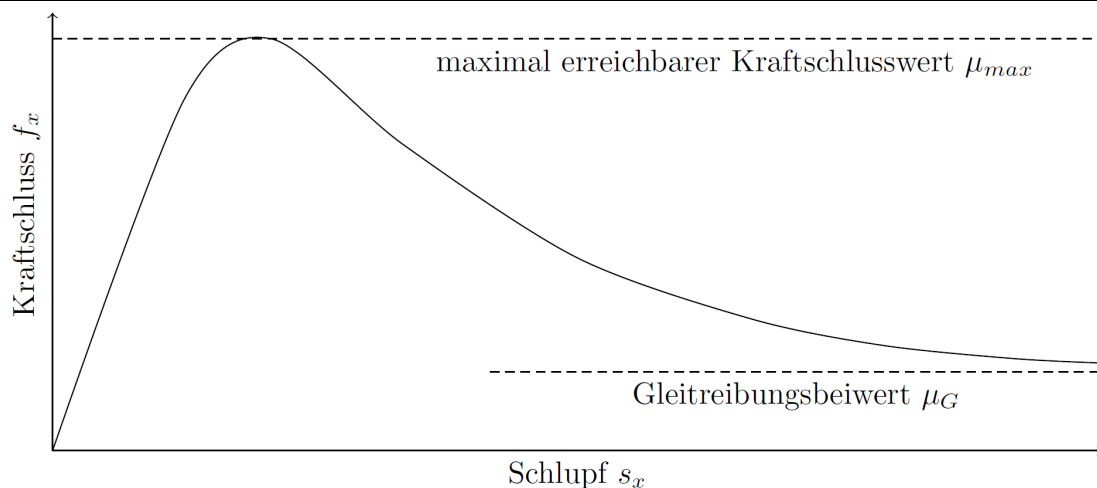
$v_U \leq v$. Wie aus der Formel ersichtlich, ist der Schlupf gleich null, wenn Translationsgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit identisch sind. Dieser Zustand wird auch als reines Rollen bezeichnet. Wenn jedoch das Rad vollständig blockiert, folglich die Umfangsgeschwindigkeit gleich null ist, beträgt der Schlupf gleich eins. In diesem Fall spricht man von reinem Gleiten.³¹⁶ Der Zusammenhang zeigt, dass es einen Bereich zwischen reinem Rollen und reinem Gleiten gibt.

Abbildung 35 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Kraftschluss und Schlupf mit einer vereinfachten Darstellung. Es handelt sich um den beispielhaften Verlauf des Kraftschlusses in Längsrichtung über den Schlupf. Es gilt folgender Zusammenhang für den Kraftschluss in Längsrichtung:³¹⁷

$$f_x = \frac{F_x}{Q}$$

Hierbei ist f_x der Kraftschluss, F_x die Tangentialkraft in Längsrichtung und Q die Radaufstandskraft. Die Tangentialkraft F_x entsteht durch die Bremsung des Rades. Sie resultiert aus dem vorliegenden Kraftschluss, der sich infolge des anliegenden Bremsmoments, welches durch die Wagenbremse erzeugt wird und das Rad verzögert, einstellt. Somit beschreibt der Kraftschluss das Verhältnis aus Tangentialkraft zu Radaufstandskraft.

Abbildung 35: Kraftschluss-Schlupf-Gesetz nach Kalker



Quelle: Eigene Darstellung nach Jänischen (2020): Auf der Suche nach einen stabilen Kraftschluss Rad/Schiene beim Bremsen der Züge, S. 3.

Je stärker gebremst wird, desto weiter bewegen wir uns in Abbildung 35 nach rechts. Der Anfang ist durch einen linearen Bereich gekennzeichnet. Der Schlupf resultiert in diesem Bereich aus dem linear-elastischen Verhalten des Rades.³¹⁸ Irgendwann erreicht der Verlauf ein Maximum. Wird dieser Punkt überschritten, kann nur noch eine immer geringer werdende Tangentialkraft in Längsrichtung im Rad-Schiene-Kontakt übertragen werden, sodass der Kraftschluss abfällt. Der Kontakt geht immer mehr in einen Gleitkontakt über, das Rad dreht immer langsamer, bis es irgendwann vollständig blockiert.³¹⁹ Wenn wir also den Radsatz mit einem Bremsmoment verzögern, welches den aufnehmbaren Kraftschluss überschreitet, landen

³¹⁶ Jänischen (2020): Auf der Suche nach einen stabilen Kraftschluss Rad/Schiene beim Bremsen der Züge, S. 3.

³¹⁷ Polach (2024b): Skript zur Vorlesung Dynamik von Schienenfahrzeugen – Kontakt Rad-Schiene II: Kraftschlusskräfte, S. 3.

³¹⁸ Popov (2015): Kontaktmechanik und Reibung, S. 142.

³¹⁹ Jänischen (2020): Auf der Suche nach einen stabilen Kraftschluss Rad/Schiene beim Bremsen der Züge, S. 3.

wir in dem Bereich mit hohem Schlupf und folglich Gleiten zwischen Rad und Schiene. Dieser Zusammenhang verdeutlicht, dass die Entstehung von Flachstellen allein von den Kontaktbedingungen im Rad-Schiene-Kontakt bestimmt wird und nicht, wie oft behauptet, durch das Verhältnis von gebremsten zu ungebremsten Wagen im Zugverband.

Der in der Abbildung gezeigte maximal übertragbare Kraftschlusswert (μ_{max}) leitet sich aus der Werkstoffpaarung Stahl-Stahl ab und wird durch die Witterungsverhältnisse und dem Verschmutzungsgrad der Schiene beeinflusst. Bei trockenen Bedingungen beträgt er 0,4 bis 0,5, kann aber bei Nässe bis auf 0,1 abfallen und bei Verschmutzungen wie Laub teilweise noch niedriger sein.³²⁰ Die wirkende Bremskraft bei Güterzügen wird bei der Konstruktion des Wagens festgelegt, kann sich folglich nicht dem maximal übertragbaren Kraftschlusswert anpassen. In der Regel wird eine beladungsabhängige Bremskraft vorgesehen, um zu verhindern, dass eine zu geringe Radaufstandskraft zum Überschreiten der maximal ertragbaren Tangentialkraft führt. Gemäß TSI WAG werden Wagen des Schienengüterverkehrs mit einem Grenzkraftschluss von 0,11 ausgelegt (dies ist der Kraftschluss der maximal durch den Wagen beim Bremsen ausgenutzt werden kann).³²¹ Sollte jedoch im Betrieb nur ein geringerer Kraftschluss auftreten, kommt es zum Gleiten. Da der Betrieb keinen Einfluss auf die Witterungsverhältnisse und den Verschmutzungsgrad der Schiene hat, bleibt nur die wirkende Bremskraft als steuerbare Größe übrig. Flachstellen lassen sich also vermeiden, indem die wirkende Bremskraft an die vorherrschenden Kontaktbedingungen angepasst wird. Im Folgenden soll darauf genauer eingegangen werden.

Möglichkeiten zur Vermeidung von Flachstellen

Um wirksam Flachstellen zu vermeiden, muss sichergestellt sein, dass die wirkende Tangentialkraft die maximal ertragbare nicht stark übersteigt, folglich die wirkende Bremskraft den Kontaktbedingungen genügt. Eine Möglichkeit wäre es, die wirkende Bremskraft bei Auslegung des Wagens herabzusetzen. Dies würde die Wahrscheinlichkeit von Flachstellen reduzieren, jedoch würde es trotzdem zu Gleiten bei besonders niedrigen Kraftschlussbedingungen kommen. Zusätzlich ist eine Herabsenkung der maximalen Bremskraft aus betrieblicher Sicht nicht sinnvoll. Eine verminderte Bremskraft hätte zur Folge, dass die Bremsleistung des Fahrzeuges sinkt, sodass je nach Infrastruktur diese nicht oder nur mit verminderter Geschwindigkeit befahren werden darf. EVUs würden ungünstigere Trassen zugewiesen bekommen.

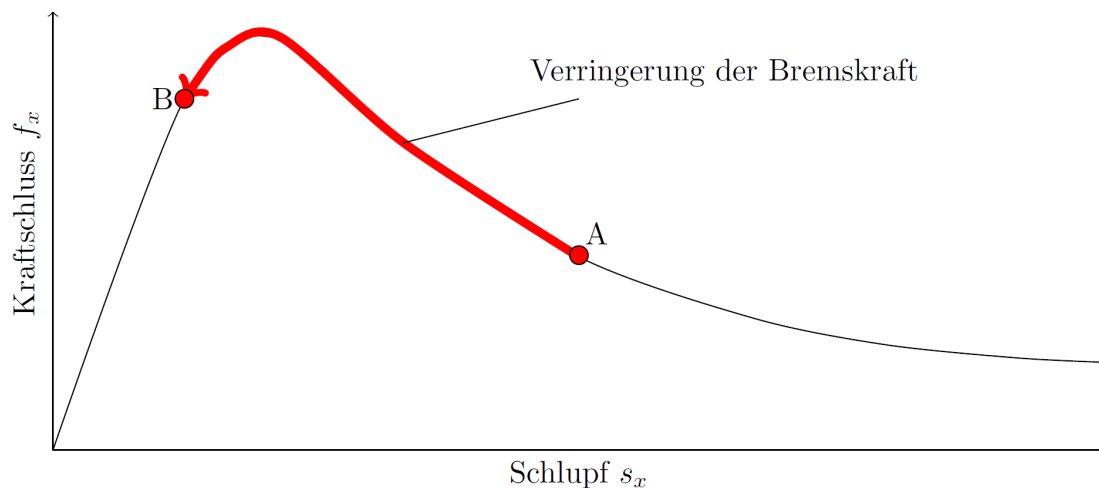
Als Lösung bietet sich der Einsatz von Gleitschutz-Systemen auch im Güterverkehr an. Dieser ist bisher in der Regel nicht mit solchen Systemen ausgerüstet.³²² Mithilfe eines Gleitschutz-Systems kann erkannt werden, wenn ein Radsatz zu stark verzögert und zu blockieren droht. Wenn ein solcher Zustand registriert wird, (teil-)entlüftet das System den Bremszylinder und verringert somit das wirkende Bremsmoment. Dies erfolgt so lange, bis die wirkende Tangentialkraft kleiner als die maximal ertragbare Tangentialkraft ist.

³²⁰ Polach (2024b): Skript zur Vorlesung Dynamik von Schienenfahrzeugen – Kontakt Rad-Schiene II: Kraftschlusskräfte, S. 14.

³²¹ Verordnung Nr. 321/2013 der Kommission vom 13.03.2013.

³²² Jänischen (2020): Auf der Suche nach einen stabilen Kraftschluss Rad/Schiene beim Bremsen der Züge, S. 1.

Abbildung 36: Wirkprinzip des Gleitschutzes



Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 36 wird dieses Wirkprinzip illustriert. Sollte das System eine zu starke Verzögerung des Radsatzes im Vergleich zum Wagen registrieren (Punkt A), wird der Druck im Bremszylinder durch Entlüften so lange herabgesetzt (die Bremse legt weniger stark an), bis ein Zustand wie in Punkt B erreicht wird. Der Radsatz hat sich „gefangen“ und droht nicht mehr zu blockieren. Zusätzlich kann an Punkt B ein höherer Kraftschluss im Rad-Schiene-Kontakt übertragen werden, sodass kürzere Anhaltewege erzielt werden. Hierin liegt auch ein auf den ersten Blick widersprüchlich erscheinendes Phänomen: trotz Absenken der Bremskraft wird ein kürzerer Anhalteweg erreicht. Das Verhalten ist damit erklärbar, dass durch die Absenkung eine verbesserte Kontaktsituation erreicht wird.

Die Funktionsweise des Gleitschutzes lässt sich also so zusammenfassen, dass der Gleitschutz erkennt, wenn ein Radsatz starken Schlupf aufweist (also ins Gleiten übergeht) und durch Entlüftung des Bremszylinders dafür sorgt, dass der Schlupf in einen nicht kritischen Bereich wechselt. Die Steuerung des Drucks im Bremszylinder in Abhängigkeit des Schlupfes erfolgt durch einen Gleitschutzrechner, welcher eine Stromversorgung benötigt. Dies ist auch der Hauptgrund, weshalb ein solches System bisher nicht an Wagen des Güterverkehrs eingesetzt wird, da diese noch nicht über eine Stromversorgung verfügen. Da der Personenverkehr vollständig mit Gleitschutz ausgerüstet ist, hat dieser kaum mit Flachstellen zu kämpfen, sodass Flachstellen ein für den Güterverkehr typisches Phänomen darstellen.³²³

Aktuell rüstet die Hupac AG in einem Projekt zusammen mit der TU Berlin eine Wagenserie des kombinierten Verkehrs mit Gleitschutz aus.³²⁴ Im Rahmen des Projektes konnte gezeigt werden, dass eine Ausrüstung mit Gleitschutz auch ohne durchgehende Energieversorgung, sondern lokal mit Achslagergeneratoren realisiert werden kann. Trotzdem ist Gleitschutz an Wagen des Schienengüterverkehrs Neuland, sodass mit weiteren Anpassungen und Weiterentwicklungen zu rechnen ist. Im Hinblick auf die europaweit geplante Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung wird die Ausrüstung von Güterwagen mit Gleitschutz vereinfacht, da dann auch eine Stromversorgung am Wagen vorliegt (siehe auch Abschnitt 3.6.3.1). Der Einsatz von Gleitschutz hat neben der Vermeidung von Flachstellen auch andere praktische Vorteile. Einerseits könnte der Wagen mit einer höheren maximalen Bremskraft ausgelegt werden, was wiederum höhere

³²³ UBA (2022): Messung von Flachstellen und Ermittlung eines akustischen Instandhaltungskriteriums, S. 33, 44.

³²⁴ Colao (2024): Maßnahmen zur Verminderung von Flachstellen und Ausbröckelungen (=Rollkontaktermüdung) bei scheibengebremsen Güterwagen.

Geschwindigkeiten ermöglichen würde. Andererseits würde die Sicherheit erhöht, weil der vorgesehene Anhaltweg bei ungünstigen Kontaktbedingungen eher eingehalten werden kann.³²⁵

Die Kosten eines Gleitschutzes können mit etwa 10.000 Euro (plus 20 % Aufschlag für die Inflationen der letzten Jahre) für einen üblichen Wagen mit vier Radsätzen abgeschätzt werden. Für Güterwagen mit DAK entfallen die Kosten für die Achslagergeneratoren, und es wird etwas günstiger. Den Kosten des Gleitschutzes stehen einige betriebliche Nutzen gegenüber, so insbesondere auch die Vermeidung von Instandhaltungsrelevanten Flachstellen.

Wenn im Zuge der DAK auch ein elektropneumatisches Bremssystem (ep-Bremse) eingesetzt wird und außerdem auch das Leit- und Sicherungssystem auf ETCS Level 2 umgestellt wird, können die Bremsvorgänge insgesamt besser gesteuert werden, so dass Vollbremsungen der Züge mit Hilfe der pneumatischen Bremsen seltener vorgenommen werden und Flachstellen an den Rädern (wie auch Ausbröckelungen an den Rädern scheibengebremsster Wagen) auch ohne den zusätzlichen Einbau von Gleitschutz seltener auftreten sollten. Siehe dazu Abschnitt 3.6.3.1.

3.6.2.3 Radschallabsorber

Radschallabsorber eignen sich, um Schallemissionen auf gerader Strecke und insbesondere bei Bogenfahrten zu reduzieren. Dabei wird die Schwingung des durch den Rad-Schiene-Kontakt angeregten Rades für den akustisch relevanten Frequenzbereich abgemindert. Je nach Radsatzbauart und Anwendungsfall müssen Schwingungen unterschiedlicher Art gedämpft werden, wobei vordergründig radiale oder axiale Schwingungsmoden eine Rolle spielen.³²⁶

Radschallabsorber sind je nach Hersteller unterschiedlich aufgebaut und bestehen bspw. im Fall von Schrey & Veith aus einer Kombination aus metallischen und elastomeren Schichten. Dabei wirken physikalische Effekte wie Tilgung, Reibungsdämpfung und innere Dämpfung gemeinsam.³²⁷ Lucchini setzt mit seinem System für den Güterverkehr auf die Reibungsdämpfung zwischen montierten Platten, die mit Lüftungsschlitzen zur Kühlung ausgestattet sind.³²⁸ GHH-Bonatrans bietet ein Ringelement an, welches in einer Nut im Radsatz befestigt wird und die Reibung in Wärme umwandeln.³²⁹ Der Bochumer Verein Verkehrstechnik GmbH (BVV) nutzt in seinen Radabsorbern die Dämpfung von Elastomerschichten, die sich mit Stahlblechen abwechseln.³³⁰ In Abbildung 37 sind montierte Radschallabsorber von Schrey & Veith an einem Güterwagenrad dargestellt.

³²⁵ Jänischen (2020): Auf der Suche nach einen stabilen Kraftschluss Rad/Schiene beim Bremsen der Züge, S. 1.

³²⁶ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 74f.

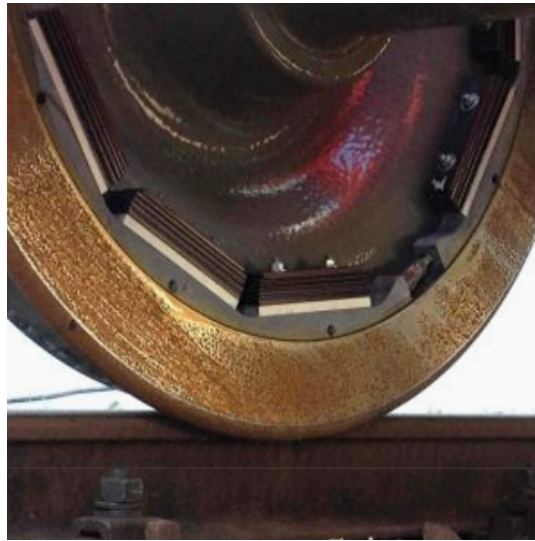
³²⁷ Schrey & Veith GmbH (2023): Radabsorber - Innovative Lärminderung an Eisenbahnradern.

³²⁸ Marazzi et al. (2019): Lucchini RS solutions for quieter freight cars wheels.

³²⁹ DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“. S. 110.

³³⁰ Deutsche Bahn (2012): Innovationsprojekt „Leiser Zug auf realem Gleis“ (LZarG), S. 90.

Abbildung 37: Am Radsatz montierte Radschallabsorber



Quelle: Schrey & Veith (o. D.): Wheel dampers - Each damper exactly matches the wheel.

Wirkung von Radschallabsorbern

Der Minderungseffekt von Radschallabsorbern unterscheidet sich je nach Fahrsituation. Bei Kurvengeräuschen (Kurvenkreischen) wurden in UBA (2017) 10 bis 15 dB(A) angenommen.³³¹ Hersteller sprechen teilweise von bis zu 30 dB(A) im Fall von Kurvenquietschen (bei Straßenbahnen).³³² Für das Vorbeifahrgeräusch sind deutlich geringere Reduktionen realistisch, da dort die Schwingungsanregung breitbandiger und weniger tonal ist. In UBA (2013)³³³ wird von einem Potential von 1 bis 2 dB(A) gesprochen, wobei sich auf verschiedene Forschungsprojekte bezogen wurde, welche Minderungen zwischen 1 und 4 dB(A) erzielten. Diese umfassen die Projekte „Leiser Zug auf realem Gleis“, „Low Noise Train“, „Whispering Train“ und „Dolomit-Shuttle“. In UBA (2017) wird eine Minderung 2,5 dB(A) für den Güterverkehr angenommen.

Im Rahmen der Schweizer Bahlärmforschung 2016 führte Schrey & Veith Vorbeifahrtmessungen von Containertragwagen (leer und mit sogenanntem E-Behälter eines Systems der WASCOSA) mit und ohne Radschallabsorbern durch. Es ergaben sich im Mittel Schallreduktionen von 2,5 dB(A) (mit E-Behälter) bis 4 dB(A) ohne Behälter. Hierzu ist anzumerken, dass die Radschallabsorber mit einem Radsatz vom Typ BA 308, der als akustisch optimiert gilt, kombiniert wurden. Der Wirkeffekt ist also nicht eindeutig auf den Radschallabsorber zurückzuführen. Da die dort untersuchten Radschallabsorber mit diesem Radsatztypen kombiniert werden sollten, kann der Minderungseffekt dem Einsatz dieser beiden, aufeinander abgestimmten Maßnahmen gemeinsam zugeschrieben werden. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass im Bogen Quietschgeräusche mit Radschallabsorber vermieden werden können.³³⁴

Im Rahmen des Projekts „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“³³⁵ wurden ebenfalls unterschiedliche Radschallabsorber getestet. Diese zeigten nur eine leicht positive Wirkung. Die konkreten Effekte unterschieden sich jedoch zwischen den einzelnen Messungen.

³³¹ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 74.

³³² GHH-BONATRANS (o. D.): Schallabsorber – Für Leise Züge.

³³³ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 63.

³³⁴ Gramowski (2016): BAFU-Bahlärmforschung 2016: Radschallabsorption und Entkoppelung von Wagenaufbauten.

³³⁵ DB Cargo AG, VTB AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“.

Da verschiedene potentielle Schallminderungsmaßnahmen, u. a. verschiedene Radsatzbauformen oder Drehgestelle mit variiert wurden, sind Aussagen zur Wirkung der Absorber nur begrenzt möglich.

Anzumerken ist, dass die meisten in der Praxis eingesetzten Radschallabsorber im SPNV (inklusive Straßenbahnen) sowie im SPFV eingesetzt werden. Insbesondere im Straßenbahnbereich tritt das Problem des Kurvenquietschens aufgrund enger Gleisbögen und dichter Bewohnung deutlich öfter und stärker auf als bei der Vollbahn.

Einschränkungen für den Einsatz von Radschallabsorbern

Probleme können für Radschallabsorber bei hoher thermischer Belastung infolge des Bremsens entstehen. Das ist vor allem bei Güterwagen mit Klotzbremsen zu beachten, bei denen sich die Lauffläche der Radsätze auf bis zu 500 °C erhitzen kann.³³⁶ Dies kann zu einer Minderung des Wirkeffekts oder zu einer Beschränkung des Einsatzes führen.³³⁷ Grundsätzlich ist diese Thematik aber durch die unterschiedlichen Hersteller adressiert und konstruktiv berücksichtigt.

Nicht alle Radschallabsorber sind mit allen Radsatzbauformen kombinierbar. Je nach Hersteller sind verschiedene Nuten zur Befestigung der Absorber notwendig. Mögliche Einschränkungen der Festigkeit führten zur Entwicklung von akustisch optimierten Radsätzen, welche auch die Befestigung bestimmter Radschallabsorber erlauben, bspw. dem BA308.³³⁸ Nach UBA (2017) können geklemmte Radschallabsorber ohne zusätzliche Genehmigung mit den Bauformen BA008 und BA009 genutzt werden.³³⁹ Da Radsätze Verschleißteile sind, die während der Lebensdauer eines Wagens oft gewechselt werden, ist ein Austausch von bisherigen Radsätzen mit solchen anderen Typs und mit Radschallabsorbern bestückt zeitnah und ohne Zusatzkosten der Montage möglich. Radschallabsorber und entsprechende Radsatzbauformen können je nach Hersteller eine unterschiedliche Gewichtszunahme bedeuten.

Bei Wagen mit Radscheibenbremsen können Radschallabsorber aus konstruktiven Gründen nicht eingesetzt werden; dafür wird den Radscheibenbremsen selbst eine akustisch günstige Abschirmung des Rades zugeschrieben. Bei Wagen mit Klotzbremsen oder mit Wellenscheibenbremsen sind Radschallabsorber hingegen möglich und sinnvoll, um die Geräuschemissionen weiter zu senken.

Kosten von Radschallabsorbern

Die Angaben der Kosten für Radschallabsorber schwanken. Nach Recherchen von UBA (2013) belaufen sich die Kosten pro Radsatz auf 1.500 Euro.³⁴⁰ Gramowski (2016) kalkuliert je nach Güterwagentyp mit Kosten von 1.125 Euro bis 1.275 Euro pro Radsatz.³⁴¹

Detailliertere Betrachtung findet sich in UBA (2017).³⁴² Dort werden für einen Güterwagen mit vier Radsätzen Anschaffungskosten mit 8.000 bis 10.000 Euro (also 2.000 bis 2.500 Euro pro Radsatz) und zusätzliche laufende Kosten in Höhe von 200 Euro pro Jahr angegeben. Im Projekt „Innovativer Güterwagen“ wurden Radschallabsorber auf der Basis von Kostenangaben aus der

³³⁶ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 56.

³³⁷ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 74.

³³⁸ Gramowski (2016): BAFU-Bahnlärmforschung 2016: Radschallabsorption und Entkoppelung von Wagenaufbauten.

³³⁹ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 75.

³⁴⁰ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 124.

³⁴¹ Gramowski (2016): BAFU-Bahnlärmforschung 2016: Radschallabsorption und Entkoppelung von Wagenaufbauten, S. 29.

³⁴² UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 75.

Branche wirtschaftlich evaluiert, doch wurden die Kostenangaben nicht veröffentlicht.³⁴³ Qualitativ wird neben hohen Anschaffungskosten auch ein deutlicher Mehraufwand bei der Inspektion der Radsätze vermerkt, da die Radschallabsorber u. a. für die Untersuchung der Radsätze abmontiert werden müssen. In Anbetracht dieser Informationen werden im Folgenden für einen Güterwagen mit vier Radsätzen Anschaffungskosten von 9.000 Euro und laufende Kosten von 250 Euro pro Jahr angenommen.

Unter Berücksichtigung einer antizipierten Lebensdauer von 20 Jahren (doch ohne Abzinsungseffekt) bedeutet dies Lebenszykluskosten von 700 Euro pro Jahr. In Bezug auf das Geräuschreduktionspotenzial von 2,5 dB(A) betragen somit die jährlichen Kosten pro dB(A) Schallreduktion bei Radschallabsorbern 280 Euro. Angesichts der Kostensteigerungen der letzten Jahre müssten noch etwa 20 % hinzugerechnet werden.

Abschließende Bewertung von Radschallabsorbern

Der Einsatz von Radschallabsorbern bei Güterwagen ist akustisch sinnvoll, da bereits verschiedene Untersuchungen in den vergangenen Jahrzehnten durchgeführt wurden, die respektable Minderungen des Rollgeräuschs im Bereich von 1 bis 4 dB(A) auf gerader Strecke nachweisen konnten, wobei der Mittelwert von 2,5 dB(A) realistisch ist. Für die Bogenfahrt können Minderungen von 10 bis 15 dB(A) angenommen werden. Radschallabsorber sollten mit akustisch optimierten Radsätzen eingesetzt werden; in dieser Kombination wurden auch die besten Messergebnisse erzielt.

Die Lebenszykluskosten in Höhe von 700 Euro pro Jahr (plus 20 %) erscheinen allerdings recht hoch, insbesondere in Relation zur Geräuschminderung von 2,5 dB(A).

3.6.2.4 Schallschürzen

Im SGV können Schallschürzen (auch Lärmschürzen genannt) genutzt werden, um das Rollgeräusch zu verringern. Diese sind entweder als Schallschürzen am Drehgestell (siehe Abbildung 38) oder als Schallschürzen am Rad (siehe Abbildung 39) ausgeführt. Der Einsatz kann sowohl bei Neu-, als auch bei Bestandswagen erfolgen. Die Funktion der Schallschürze besteht darin, den durch das Rollgeräusch entstehenden Luftschall so zu reflektieren, dass er vom Schotterbett absorbiert wird.³⁴⁴ Zusätzliche Absorptionsmaterialien an der Innenseite der Schürze und Antidröhnbeschichtungen können die Wirksamkeit der Schallschürzen erhöhen.³⁴⁵

³⁴³ SCI Verkehr (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“. Abschlussbericht der Wirtschaftlichkeitsprüfung, S. 53f.

³⁴⁴ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms. S. 73.

³⁴⁵ DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“.

Abbildung 38: Schallschürzen am Drehgestell



Quelle: Johannsen (2005): Der Einfluss der Oberflächenimpedanz auf das Abstrahlverhalten eines Schürze-Niedrigstschallschirm-Systems, S. 4.

Abbildung 39: Schallschürzen an Radsätzen



Quelle: Hecht, Wiemers (2002): Low Noise Train (LNT) Präsentation.

Anforderungen an Schallschürzen

Für den erfolgreichen Einsatz von Schallschürzen ist eine Vielzahl von Anforderungen zu berücksichtigen:³⁴⁶

- ▶ **Abschirmung der Schallquelle:** Eine korrekte Konstruktion und Montage an der idealen Position ist für die Abschirmung der schallabstrahlenden Komponenten Drehgestell und Radscheibe essenziell. Dies beeinflusst maßgeblich den erzielbaren Wirkungseffekt.
- ▶ **Reduktion des Luftspaltes zwischen Boden und Schallschürze:** Für eine maximale akustische Wirkung ist bei der Umsetzung darauf zu achten, dass der Luftspalt zwischen Schienenkopf und Schallschürze so gering wie möglich ist, ohne dass eine Gefahr für den Betrieb entsteht.

³⁴⁶ Folgende Auflistung nach DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“, S. 38; UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 77–79; UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 59f.

- ▶ **Bauweise und Anbringung der Schallschürzen:** Bei der Entwicklung und Anbringung von Schallschürzen an Güterwagen muss beachtet werden, dass diese nicht durch Körperschallanregung über die Kopplung und eigenes Schwingverhalten zu einer erhöhten akustischen Schallabstrahlung beitragen. Eine Schallabstrahlung durch die Schallschürzen kann etwa durch Entdröhnungsmaterial verringert werden. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass hohe aerodynamische Kräfte im Betrieb vertragen werden müssen, die etwa bei Zugbegegnungen mit hohen Geschwindigkeiten auftreten können.
- ▶ **Sicherstellung von Heißläuferdetektion und des Brandschutzes:** Eine weiterhin zuverlässige Funktion von sicherheitsrelevanten Diagnosesystemen, wie Heißläuferortungsanlagen muss durch die Ausführung der Schallschürzen sichergestellt sein. Anforderungen an den Brandschutz müssen etwa für Absorptionsmaterialien eingehalten werden.
- ▶ **Einhaltung verschiedener Lichtraumprofile:** Für die betriebliche Zulassung von Wagen ist die Einhaltung verschiedener Lichtraumprofile essenziell.
- ▶ **Geringes Eigengewicht:** Um die Zuladung im SGV nicht zu sehr zu verringern, sind die Schallschürzen so leicht wie möglich zu konstruieren.

Einschränkungen durch Schallschürzen

Eine betriebliche Einschränkung bei Schallschürzen (insbesondere am Drehgestell) ergibt sich aus dem Verdecken der Bremssysteme. Die Sichtprüfung bei der Bremsprobe wird stark erschwert. Durch Anbringung von Sichtfenstern in den Schallschürzen kann dies abgemildert werden.³⁴⁷ Die ganze Problematik entfällt bei Nutzung einer automatisierten Bremsprobe. Unabhängig davon wird der Aufwand für die Wartung und Instandhaltung der Güterwagen leicht erhöht, da mit den Schallschürzen zusätzliche Elemente berücksichtigt werden müssen und diese den Zugang zu anderen Bereichen im Drehgestell erschweren.

Akustische Wirkung von Schallschürzen

Der Einsatz und die Wirkung von Schallschürzen im Güterverkehr wurden in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht. Eine Übersicht über verschiedene Forschungsprojekte (vor 2013) wird in UBA (2013)³⁴⁸ gegeben:

- ▶ In dem Projekt „Silent freight“ konnte mithilfe von Drehgestellschürzen die Gesamtschall-emission um 1 dB(A) gesenkt werden.³⁴⁹ Dazu wird in UBA (2013) angemerkt, dass dort die Schallabstrahlung des Gleises deutlich über der des Fahrzeugs lag, sodass Minderungseffekte am Fahrzeug kaum in der Gesamtemission zur Geltung kommen konnten.
- ▶ Mit Radschürzen wurde im Projekt „Stiller Treinverkeer“ eine Minderung um 1 dB(A) erreicht. Wobei bereits zuvor eine Minderung um 4 dB(A) mit Radschallabsorbern erreicht wurde.
- ▶ Im Rahmen des Projekts „Low Noise Train“ wurden u.a. auch Schallschürzen am Drehgestell untersucht. Deren Effekt wird auf unter 2 dB(A) beziffert.

³⁴⁷ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 78.

³⁴⁸ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, Kapitel 6.

³⁴⁹ Jones et al. (2000): Vehicle-mounted shields and low trackside barriers for railway noise control in a European context. Proceedings InterNoise.

Neuere Untersuchungen zur Wirksamkeit von Schallschürzen wurden im Rahmen des Projekts „Aufbau und Erprobung Innovativer Güterwagen“ des BMVI durchgeführt.³⁵⁰ Im Januar und Februar 2018 fanden Testfahrten zur Untersuchung der verwendeten Schallminderungsmaßnahmen an den „innovativen Güterwagen“ statt. Neben anderen schallmindernden Maßnahmen wie Radschallabsorbieren und innovativen Radsätzen mit Radsatzbeschichtung wurden auch Schallschürzen (an Drehgestell oder Radsatz) an drei verschiedenen Güterwagentypen eingebaut und untersucht. Dabei handelte es sich um einen Autotransport-, einen Kessel- und einen Containertragwagen. Die Ergebnisse der Testfahrten zeigten keine signifikante Minderung durch den Einsatz der Schallschürzen auf. Lediglich bei dem innovativen Kesselwagen wurde eine Reduzierung des Vorbeifahrpegels um 1,4 dB(A) für die Schallschürze am Drehgestell festgestellt.

Ein Grund für das Ergebnis dürfte die ungünstige Position der Lärmschürzen am Wagenkasten sowie deren konstruktive Ausfertigung sein. Aufgrund der mangelhaften Ausführung der Schallschürzen ist ein größerer Minderungseffekt bei einer verbesserten Umsetzung und erneuten Messungen aus Sicht der Gutachter*innen realistisch.³⁵¹ Die Gutachter*innen setzen demnach für die Wirkung von Schallschürzen am Drehgestell 2 dB(A) an. Dies entspricht dem oberen Wert der in UBA (2013) als Verbesserung der Gesamtschallemission bei Güterwagen formuliert wird (1 bis 2 dB(A)).³⁵²

Kosten von Schallschürzen

Den Recherchen von UBA (2017) zufolge liegen die Anschaffungskosten für Schallschürzen eines vierachsigen Güterwagens bei 8.000 Euro, mit zusätzlichen laufenden Kosten von 20 Euro pro Jahr.³⁵³ Aktuell schätzen die Gutachter*innen die laufenden Kosten auf 50 Euro pro Jahr. Unter Berücksichtigung einer antizipierten Lebensdauer von 20 Jahren entstehen somit Lebenszykluskosten in Höhe von 450 Euro. In Bezug auf einen antizipierten Schallminderungseffekt von 2 dB(A) betragen somit die jährlichen Kosten pro dB(A) Schallreduktion bei Schallschürzen am Drehgestell 225 Euro. Angesichts der Kostensteigerungen der letzten Jahre müssten noch etwa 20 % hinzugerechnet werden

Im Rahmen der Neuentwicklung von Güterwagen können durch konstruktive Lösungen die Kosten von Schallschürzen jedoch auch geringer ausfallen. Dies gilt insbesondere, wenn die Sichtfenster zur Ermöglichung der manuellen Bremsprobe entfallen können, sobald eine automatische Bremsprobe ermöglicht wird.

Kombination von Schallschürzen am Drehgestell mit niedriger Schallschutzwand

Für eine zusätzliche Reduzierung des Schallpegels durch die Geräuschquellen Rad-Schiene ist eine Kombination von Schallschürzen am Drehgestell und niedrigen Schallschutzwänden (nSSW) denkbar. Diese Maßnahmenkombination wird wiederholt vorgeschlagen.³⁵⁴ In einer Diplomarbeit an der TU Berlin³⁵⁵ wurde ein theoretisches Verbesserungsmaß von 15 dB(A) für ein Schürze-Niedrigstschallschirm-System mit schallweichem Aufsatz modelliert. In einer

³⁵⁰ DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“.

³⁵¹ Die TU Berlin war im Rahmen des damaligen Projekts für die Entwicklung der Schallschürzen zuständig, sodass über die Projektberichte hinübergende Kenntnisse existieren.

³⁵² UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen. S. 63.

³⁵³ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 78.

³⁵⁴ Siehe zum Beispiel: UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 78; UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 35.

³⁵⁵ Schulz (1998): Akustische Verbesserung von Niedrigstschallschirmen zum Einsatz im Gütertransport der Bahn.

Dissertation³⁵⁶ wurde das Modell verbessert und eine Reduzierung der abgestrahlten Gesamtschallleistung von bis zu 14,4 dB(A) berechnet. Davon sollen bereits 7 bis 10 dB(A) auf die absorbierend ausgekleidete Schürze entfallen. Es wird einschränkend betont, dass diese Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die Realität übertragen werden können, da etwa der Boden im Modell als schallhart angenommen wurde, während Schotteroberbau absorbierende Eigenschaften aufweist. Diese Einschränkung könnte auch die starke Wirkung der Schürze allein begründen, die bisher nicht in dem Maße in messtechnischen Umsetzungen in der Realität nachgewiesen werden konnte.

Messtechnische Untersuchungen zur Wirksamkeit der Kombination aus Schallschürze und niedriger Schallschutzwand wurden in den 1990er Jahren durchgeführt. Erste Untersuchungen in England durch British Rail³⁵⁷ zeigten 1994 eine Absenkung des Maximalpegels von 8 bis 10 dB(A) bei 25 m Abstand zum Gleis. Untersucht wurden Testfahrzeuge mit Klotz- und Scheibenbremsen zwischen 75 und 145 km/h. Erprobungen der Deutsche Bahn AG im Rahmen des Forschungsprojektes „Low Noise Train“, bei dem verschiedene Schallminderungs-technologien an Güterwagen untersucht wurden, zeigten ein Potential von 6 dB(A) der Schürze-Niedrigstschallschirm-Systeme.³⁵⁸

Abschließende Bewertung von Schallschürzen

Derzeit ist keine Schallschürze für den Güterverkehr als kommerzielles Produkt erhältlich. Daher sind noch Entwicklungen für die verschiedenen Güterwagentypen notwendig, die mit schalltechnischen Untersuchungen verknüpft werden sollten.

Dabei sollten auch neue messtechnische Untersuchungen zur Wirksamkeit von Schallschürzen in Kombination mit niedrigen Schallschutzwänden durchgeführt werden. Hintergrund ist, dass sich gegenüber den Untersuchungen in den 1990er Jahren durch die Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen die Rahmenbedingungen geändert haben, sodass heutzutage ein geringerer Rollgeräuschpegel im Drehgestellbereich entsteht. Theoretische Untersuchungen sind in ihrer Aussagekraft limitiert, sodass an dieser Stelle Forschungsbedarf hinsichtlich praktischer Erprobungen herrscht.

Die Maßnahmenkombination könnte auch für den SPNV im urbanen Raum, bspw. Straßenbahnen interessant sein, da dort bereits vielfach Schallschürzen eingesetzt werden; so sind etwa in Wien alle Straßenbahngarnituren mit Schallschürzen ausgestattet. Hierbei werden im Bereich der Räder die Seitenwände tiefer gezogen, sodass eine durchgängige Seitenverkleidung vorliegt.³⁵⁹

Die Kosten von Schallschürzen pro dB(A) Schallminderung erscheinen aus heutiger Sicht vergleichbar mit denen von Radschallabsorbern. Die Entwicklungsanstrengungen sollten sich auf Schallminderung sowie Kostenreduktion beziehen. Auch das Thema der Zulassungen ist zu adressieren. Wenn es keine genormten Auslegungen gibt, kann für jede Kombination von Güterwagentyp und Schallschürzentyp eine gesonderte Zulassung notwendig werden.

3.6.2.5 Akustisch optimierte Drehgestelle

Ein weiteres Schallminderungspotential im Schienengüterverkehr besteht im Einsatz akustisch optimierter Drehgestelle. Diese weisen gegenüber dem Y25-Drehgestell im Regelfall eine andere

³⁵⁶ Johannsen (2005): Der Einfluss der Oberflächenimpedanz auf das Abstrahlverhalten eines Schürze-Niedrigstschallschirm-Systems.

³⁵⁷ Jones (1994): Bogie shrouds and low barriers could significantly reduce wheel/rail noise.

³⁵⁸ Hugo, Saabel (1998): Implementation of the Noise Abatement Program of the Deutsche Bahn AG.

³⁵⁹ Stadt Wien (o. D.): Maßnahmen zum Schallschutz bei Straßenbahn und U-Bahn.

Primärfederung auf und erlauben zusätzlich die radiale Einstellbarkeit der Räder. Letztere mindert die Schallentstehung in der Bogenfahrt deutlich. Im Folgenden werden mit dem DRRS- und dem RC25NT-Drehgestell zwei Drehgestelle vorgestellt, welche im Güterverkehr bereits genutzt werden und Gegenstand verschiedener akustischer Untersuchungen waren.

Vorstellung des DRRS-Drehgestells

Das DRRS-Drehgestell wurde 1985 von der Waggonfabrik TALBOT entwickelt.³⁶⁰ Es existieren verschiedene Weiterentwicklungen des Drehgestells, die sich unter anderem hinsichtlich zulässiger Radsatzlast, Geschwindigkeit und Bremstyp unterscheiden. Die Besonderheit des Drehgestells besteht in der Umsetzung der Primärfederung (Federung zwischen Radsatz(-lager) und Drehgestell) durch Doppel-Gummi-Rollfedern; siehe Abbildung 40. Das Konstruktionsprinzip erlaubt die Dämpfung stärkerer Schwingungen durch Reibung. Zugleich wird eine freie Einstellung für kleine Bewegungen ermöglicht. Dies bewirkt bei der Bogenfahrt sich radial einstellende Radsätze, was die Schallerzeugung vermindert und für einen geringeren Verschleiß sorgt.³⁶¹

Abbildung 40: Darstellung des DRRS 25LD Drehgestells



Grün: Drehgestell, schwarz: Radsatzlager, blau: Primärfederung durch Doppel-Gummi-Rollfedern. Quelle: Steiner (2015): High Speed Bogie DRRS 25LD for Rail Freight Wagons (TSI).

Im Weiteren wird sich auf zwei verschiedene Ausführungen des DRRS-Drehgestells fokussiert. Es handelt sich dabei um Weiterentwicklungen des Ursprungsmodells durch die WBN Waggonbau Niesky GmbH. Das DRRS25 genannte Drehgestell existiert in einer Variante mit kompakter Klotzbremse CFCB als DRRS 25L sowie einer Variante mit Scheibenbremse als DRRS 25LD. Beide Varianten können laut Hersteller bei Bestandswagen gegen das Y25-Drehgestell ausgetauscht werden.³⁶² Dafür sind aber verschiedene weitere Zulassungen notwendig, bspw. im Bereich der Längsdruckkräfte.

³⁶⁰ Die folgende Darstellung beruht auf Steiner (2015): High Speed Bogie DRRS 25LD for Rail Freight Wagons (TSI). Dieser Artikel entstand aus dem Umfeld des Herstellers, ist also nicht unabhängig. Das Drehgestell wurde in der Folge von der Firma Niesky weiterentwickelt. Nach deren Insolvenz im Jahr 2023 muss die Entwicklung von einem anderen Unternehmen weitergeführt werden.

³⁶¹ Steiner (2015): High Speed Bogie DRRS 25LD for Rail Freight Wagons (TSI). TU Berlin (2018): Minderung der Rollkontakt-ermüdung BoxXpress – Empfehlung für scheibengebremsen CTW.

³⁶² Siehe ebenfalls Steiner (2015): High Speed Bogie DRRS 25LD for Rail Freight Wagons (TSI).

Akustische Wirksamkeit des DRRS Drehgestells

Die Variante mit kompakter Klotzbremse (DRRS 25L) wurde im Rahmen des Projekts „Leiser Zug auf realem Gleis“ (LZarG) untersucht.³⁶³ Dabei wurden Vorbeifahrtmessungen nach DIN EN ISO 3095:2014 auf verschiedenen Gleisabschnitten durchgeführt (normales Gleis, gedämpftes Gleis und ein für Abnahmemessungen konformes Gleis). Es wurden gedeckte Schüttgutwagen der Bauart Tanoos 896 verwendet, die mit DRRS 25L Drehgestellen ausgerüstet waren, also mit CFCB. Als Vergleichsreferenz dienten Wagen mit Y25 Drehgestell und K-Sohle. Für das DRRS 25L konnte keine signifikante Schallminderungswirkung im Terzspektrum gegenüber einem Y25 Drehgestell nachgewiesen werden (unabhängig vom Gleisabschnitt). Für die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel hat sich eine marginale Minderung zwischen 0,1 und 0,6 dB ergeben (in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des Gleisabschnitts). Untersuchungen des Rollwiderstandes haben ergeben, dass bei leeren Güterwagen jene mit DRRS 25L Drehgestellen ungefähr 8 % weniger Zugkraft benötigen. Eine deutliche Schallminderung ist bei der Bogenfahrt zu erwarten, die im Rahmen des Projektes jedoch nicht untersucht wurde.

Für die Variante mit Scheibenbremse (DRRS 25LD) wird eine deutlichere Schallminderung vom Hersteller (WBN) ausgewiesen, die auch durch unabhängige Messungen bestätigt wurde. Für die Geradeausfahrt wurde eine Minderung um 2 dB(A) gegenüber Y25 festgestellt, für die Kurvenfahrt eine deutliche Minderung um 10 bis 14 dB(A). Zudem wird vom Hersteller ausgeführt, dass das DRRS-Drehgestell verschleiß- und wartungsärmer sei.³⁶⁴ In einer dargestellten Lebenszyklusanalyse wird von einem Kostenvorteil eines DRRS 25LD gegenüber einem Y25 Drehgestell ab einer Laufleistung von 50.000 km pro Jahr gesprochen. Zusätzlich sollen Energieeinsparungen zwischen fünf und zehn Prozent möglich sein. Die Angaben können nicht unabhängig überprüft werden. Anzumerken ist jedoch, dass die in Abschnitt 3.6.2.1 angesprochene Ausbröckelungsthematik bei Scheibenbremsen in den entsprechenden Analysen nicht berücksichtigt wurde.

Die Wirksamkeit des DRRS 25LD Drehgestells (Scheibenbremse) gegenüber einem herkömmlichen Y25Lssi-D Drehgestell (ebenfalls mit Scheibenbremse) kann aus einem Vergleich von Messungen der PROSE AG aus den Jahren 2015³⁶⁵ und 2016³⁶⁶ abgeleitet werden.³⁶⁷ In der Messkampagne 2015 werden die Vorbeifahrtpegel des Gelenkdoppeltaschenwagens vom Typ T3000eD mit Y25Lssi-D Drehgestellen, Scheibenbremsen und geraden Radstegen gemessen und berechnet, sowohl nach TSI Noise 2011 als auch TSI Noise 2014.³⁶⁸ Für die Messung 2016 erfolgt die gleiche Messdurchführung und Auswertung für einen Gelenkdoppeltaschenwagen vom Typ T3000eD+. Dieser unterscheidet sich gegenüber dem T3000eD lediglich durch die Nutzung von DRRS 25LD Drehgestellen.³⁶⁹ Bei den Messungen lagen jedoch unterschiedliche Gleisbedingungen vor, die noch im Folgenden angesprochen werden.

³⁶³ Siehe Deutsche Bahn (2012): Innovationsprojekt „Leiser Zug auf realem Gleis“.

³⁶⁴ Steiner (2015): High Speed Bogie DRRS 25LD for Rail Freight Wagons (TSI).

³⁶⁵ PROSE AG (2015): T3000eD, TSI CR Noise Vorbeifahrtmessung.

³⁶⁶ PROSE AG (2016): T3000D+, TSI Noise Vorbeifahrtmessungen.

³⁶⁷ Die Untersuchungen wurden u. a. durchgeführt, um in der Schweiz eine Anerkennung und mögliche finanzielle Förderung als „besonders lärmarmen Güterwagen“ zu erhalten. Zu diesem Förderinstrument siehe BAFU (2021): Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen: Der besonders lärmarme Güterwagen.

³⁶⁸ Der Unterschied zwischen TSI Noise 2011 und TSI Noise 2014 liegt in einem leicht unterschiedlichen Korrekturfaktor (sog. apl-Wert, wobei apl für Achsen pro Länge steht).

³⁶⁹ Die anderen schallrelevanten Komponenten, nämlich Radscheiben, Radsatz-Bauart, Bremssystem und Radprofil unterscheiden sich nicht zwischen T3000eD / PROSE AG (2015) und T3000eD+ / PROSE AG (2016).

In Tabelle 6 sind die Vorbeifahrtpegel für zwei Fahrtrichtungen (Nord bzw. Süd) mit einer Auswertung nach TSI Noise 2014 dargestellt. Der erstgenannte Wert entspricht dem A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel für den Güterwagen mit DRRS 25LD Drehgestellen, der zweitgenannte dem für den Wagen mit Y25Lssi-D Drehgestellen. Beide sind mit Scheibenbremsen und Rädern mit geradem Steg ausgerüstet. In Tabelle 7 sind die gleichen Größen für eine Beurteilung nach TSI Noise 2011 gegeben.

Tabelle 6: Auswertung der Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2014

Geschwindigkeit	Beurteilungsgröße Süd in dB(A)		Beurteilungsgröße Nord in dB(A)	
	DRRS 25LD	Y25Lssi-D	DRRS 25LD	Y25Lssi-D
80 km/h	74	79	73	79
120 km/h	75	79	75	79

Die Daten zu DRRS 25LD (mit Scheibenbremse, Wagentyp T3000eD+) stammen von der Messung 2016. Die Daten zu Y25 Lssi-D (mit Scheibenbremse, Wagentyp T3000eD) stammen von der Messung 2015. Quellen: PROSE AG (2015) sowie PROSE AG (2016).

Tabelle 7: Auswertung der Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2011

Geschwindigkeit	Beurteilungsgröße Süd in dB(A)		Beurteilungsgröße Nord in dB(A)	
	DRRS 25LD	Y25Lssi-D	DRRS 25LD	Y25Lssi-D
80 km/h	73	77	72	78
120 km/h	74	78	74	78

Die Daten zu DRRS 25LD (mit Scheibenbremse, Wagentyp T3000eD+) stammen von der Messung 2016. Die Daten zu Y25 Lssi-D (mit Scheibenbremse, Wagentyp T3000eD) stammen von der Messung 2015. Quellen: PROSE AG (2015) sowie PROSE AG (2016).

Es ergeben sich Differenzen des Vorbeifahrtpegels von 4 bis 6 dB(A) und somit signifikante Unterschiede zwischen beiden Drehgestellen, mit deutlich niedrigeren Vorbeifahrtpegeln für das DRRS-Drehgestell gegenüber dem Y25-Drehgestell. Die Gründe dürften allerdings auch in den niedrigeren Schienenrauheiten und den höheren Gleisabklingraten im Messbereich bei den Messungen 2016 (DRRS 25LD) gegenüber den Messungen 2015 (Y25Lssi-D) liegen. Diese akustisch günstigeren Bedingungen bewirken einen niedrigeren Vorbeifahrtpegel des DRRS 25LD. Da bei beiden Messkampagnen die Schienenrauheiten und Gleisabklingraten die Anforderungen der TSI Noise (2011 sowie 2014) erfüllen und somit gute Gleisbedingungen vorliegen, dürfte jedoch nicht die gesamte Differenz der Vorbeifahrtpegel auf die Gleisbedingungen zurückzuführen sein. Anzumerken ist ferner, dass die Messungen bei der Vorbeifahrt im geraden Gleis durchgeführt wurden, in denen die akustische Wirksamkeit des DRRS 25LD geringer ist als bei der Bogenfahrt.

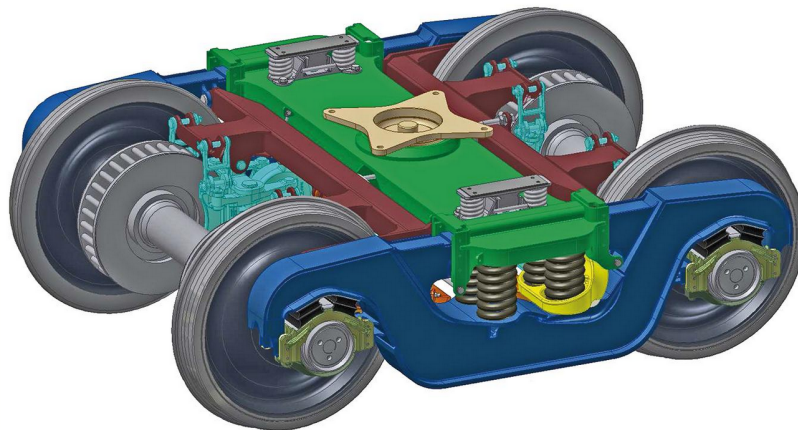
Die deutlichen Unterschiede gegenüber den zuvor beschriebenen Ergebnissen aus dem Projekt LZarG (keine Vorteile von DRRS 25L gegenüber Y25, beide mit Klotzbremse und K-Sohle) sind vermutlich auf den Einsatz von Scheibenbremsen und Rädern mit geradem Steg zurückzuführen. Diese sorgen für eine deutliche Schallminderung. Erst infolge dieser Schallminderung kann es überhaupt zu einem relevanten Einfluss des Drehgestell-Typs bei der Fahrt im geraden Gleis kommen, da ansonsten die Anregung infolge der Radrauheit (bei Klotzbremsen mit K-Sohlen) und die Abstrahlung infolge der Radbauform (glockenförmiger Steg) dominieren.

DRRS Drehgestelle sind daher aus akustischer Sicht grundsätzlich empfehlenswert. Dabei ist insbesondere die Kombination von DRRS Drehgestellen mit Scheibenbremse (DRRS 25LD) und einer akustisch optimierten Radbauform (gerader Radsteg) zu favorisieren. Die Variante mit kompakter Klotzbremse (DRRS 25L) ist aus akustischer Perspektive nicht besonders attraktiv, da nur marginal geringere Vorbeifahrtpegel gegenüber dem Y25 Drehgestell mit Klotzbremse und K-Sohle erreicht werden. Unabhängig vom Bremsentyp weist das DRRS Drehgestell signifikante Vorteile bei der Bogenfahrt auf. Aufgrund der radialen Einstellbarkeit kommt es im Bogen zu einer deutlich geringeren Schallabstrahlung. Die bereits thematisierten Ausbröckelungen treten allerdings auch bei scheibengebremsten DRRS 25LD Drehgestellen auf, sodass eine wirtschaftliche Lösung für dieses Problem gefunden werden muss.

Vorstellung des RC25NT Drehgestells

Das RC25NT Drehgestell wurde bis 2012 von der Firma ELH Eisenbahnlaufwerke Halle GmbH & Co. KG entwickelt.³⁷⁰ Das Drehgestell weist eine Primärfederung mit Gummi-Metall-Federn und als Besonderheit eine Sekundärfederung mit nichtlinearen Schraubenfedern und lastabhängiger Reibungsdämpfung auf. Es kann sowohl mit Scheibenbremse (RC25NT-D) als auch CFCB ausgerüstet werden. Die Radsätze können sich radial einstellen, allerdings ist die Achsführung gekoppelt, sodass die radiale Einstellung limitiert ist. Abbildung 41 zeigt die Darstellung des Drehgestells RC25NT. Auch beim scheibengebremsten RC25NT-D Drehgestell treten Ausbröckelungen auf, sodass die Radsatzlaufleistung in zumindest einem Anwendungsfall gemindert ist.³⁷¹

Abbildung 41: Darstellung des Drehgestells RC25NT



Blau: Drehgestell, gelb-grün: Radsatzlager und schwarz: Primärfederung. Quelle: Scholdan, Spieler (2016): Das neue Güterwagendrehgestell RC25NT – Betriebliche Bewährung und weitere Entwicklungen.

Akustische Wirksamkeit des RC25NT Drehgestells

Die akustische Wirksamkeit wurde u. a. bei der VTG untersucht. Untersuchungsobjekte waren Wagen mit Y25, RC25NT-D und einem neukonzipiertem RC25NT-H-D Drehgestell. Letzteres stellt eine Weiterentwicklung des scheibengebremsten RC25NT-D mit veränderter Sekundärfederung dar, bei welcher statt den Reibungsdämpfern hydraulische Dämpfer verwendet werden, die eine bessere Laufdynamik aufweisen. Diese und weitere Veränderungen führen zusätzlich zu Gewichtseinsparungen. Gemessen wurden nach TSI Noise 2014 sowie eine Fahrt im Bogen (mit 40 km/h). Gegenüber einem Referenzwagen mit Y25 Drehgestell zeigten sich

³⁷⁰ Die folgende Darstellung beruht auf Scholdan, Spieler (2016): Das neue Güterwagendrehgestell RC25NT – Betriebliche Bewährung und weitere Entwicklungen. Dieser Artikel entstand aus dem Umfeld des Herstellers, ist also nicht unabhängig.

³⁷¹ TU Berlin (2018): Minderung der Rollkontaktermüdung BoxXpress – Empfehlung für scheibengebremsten CTW.

insbesondere bei den Messungen nach TSI Noise signifikante Minderungen der Vorbeifahrtpegel von bis zu 15 dB(A). Die Werte können Tabelle 8 entnommen werden. Auch gegenüber dem Wagen mit RC25NT-D zeigten sich kleine Minderungen. Anzumerken ist, dass bei den Messungen Flachstellen an den Radsätzen des Y25 und des RC25NT-D Drehgestells festgestellt wurden, sodass erhöhte Pegel bei diesen Konfigurationen zu erwarten sind. Im Bogen zeigt sich eine Minderung gegenüber dem Y25 Drehgestell von 4 dB(A).

Tabelle 8: Auswertung der Vorbeifahrtpegel nach TSI Noise 2014, für die Positionen TSI Noise, Bogenfahrt und Bahnhof

Wagen	Vorbeifahrtpegel berechnet nach TSI Noise 2014 in dB(A)		
	TSI Noise		Bogen
	80 km/h	115 km/h	40 km/h
Y25	90,9	96,6	79,1
RC25NT-D	81,8	86,6	75,4
RC25NT-H-D	76,5	81,7	74,9

Quelle: Die Daten entstammen aus DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“.

Wie stark sich die Unterschiede der Flachstellen bei den Messungen bemerkbar machen ist unklar. Weiterhin unterschieden sich die Radrauheiten deutlich. Höhere Radrauheiten bewirken höhere Rollgeräusche. Zwar bewirken unterschiedliche Drehgestelle und vor allem unterschiedliche Bremstypen (K-Sohle oder Scheibenbremse) unterschiedliche Radrauheiten, sodass ein Unterschied erwartbar ist und auch in Messungen abgebildet werden sollte. Dass die Differenzen im realen Betrieb so groß sein sollten, erscheint jedoch verwunderlich und sollte in weiteren Untersuchungen verifiziert werden.³⁷²

Das RC25NT wurde auch in einem Projekt zur Erprobung innovativer Güterwagen getestet.³⁷³ Testobjekt war unter anderem ein Containertragwagen, der mit Scheibenbremse und DRRS Drehgestell ausgerüstet wurde. Es wurden u. a. Vorbeifahrtmessungen mit DRRS Drehgestell in Kombination mit einem Radsatz von Bonatrans „BA 314“ mit Ringelement und einem RC25NT Drehgestell ebenfalls mit „BA 314“ durchgeführt. Dabei zeigte sich bei der TSI Messposition der Vorbeifahrt beim DRRS Drehgestell ein um 1,3 dB(A) niedrigerer Schalldruckpegel als beim RC25NT Drehgestell. Bei einer Messung im Bogen wiederum war der Schalldruckpegel mit RC25NT Drehgestell 0,6 dB(A) niedriger.

Kosten der akustisch optimierten Drehgestelle

Im Projekt „Innovativer Güterwagen“ wurden die hier beschriebenen akustisch optimierten Drehgestelle auch wirtschaftlich evaluiert.³⁷⁴ Dies geschah auf der Basis von Kostenangaben aus der Branche, doch wurden die Kostenangaben nicht veröffentlicht. Es wird jedoch berichtet, dass den vergleichsweise hohen Anschaffungskosten der innovativen Drehgestelle Einsparungen bei den Energiekosten gegenüberstehen, die aufgrund der radial einstellenden Räder ermöglicht

³⁷² Vgl. etwa die Annahmen der Radrauheiten für verschiedene Bremstypen nach CNOSSOS-DE.

³⁷³ DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“.

³⁷⁴ SCI Verkehr (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“. Abschlussbericht der Wirtschaftlichkeitsprüfung, S. 45f.

werden. Im Gesamteffekt wurden die höheren Anschaffungskosten durch die Einsparungen beim Energieverbrauch überkompensiert, so dass diese Innovation zwar nicht bei allen betrachteten Güterwagen, aber insbesondere bei denen mit hoher Laufleistung wirtschaftlich ist. Zudem wird auch ein geringerer Radverschleiß vermutet, der allerdings im Projekt nicht nachgewiesen werden konnte. Die Autor*innen des Projektberichts empfehlen daher, diese innovativen Drehgestelle zur kommerziellen Weiterentwicklung zu führen.

Im Gutachten wird deshalb davon ausgegangen, dass die akustisch optimierten Drehgestelle bei Neuwagen mit höheren Laufleistungen keine zusätzlichen Kosten bei den Anwendern verursachen. Allerdings ist zu vermuten, dass Systemkosten in den Bereichen der Wartung und Instandhaltung (Ausbildung, Bereithalten von Ersatzteilen usw.) anfallen.

Abschließende Bewertung der akustisch optimierten Drehgestelle

Es zeigt sich, dass diese beiden innovativen Drehgestelle, RC25NT und DRRS, akustisch ähnliche Eigenschaften haben. Aufgrund der beschriebenen Unterschiede in den Vergleichsmessungen setzen die Gutachter*innen einen akustischen Effekt in der Geraden von 4 dB(A) an, der größtenteils auf den Einsatz von Scheibenbremse und geradem Radsteg zurückzuführen sein dürfte, aber teilweise auch auf die Konstruktionsmerkmale der innovativen Drehgestelle. Bei der Bogenfahrt weisen beide Drehgestelltypen durch die radiale Einstellbarkeit wesentliche akustische Vorteile auf. Eine genaue Bezifferung ist jedoch nicht möglich, da der konkrete Bogen einen entsprechenden Minderungseffekt stark beeinflusst. Aus diesen Gründen ist der Einsatz der radialeinstellbaren Drehgestelle aus akustischer Sicht zu präferieren.

Dies umso mehr, als die akustisch optimierten Drehgestelle bei Neuwagen mit hoher Laufleistung bei den Anwendern keine Zusatzkosten verursachen, so dass nur die Systemkosten der Einführung (auch bei der Instandhaltung) überwunden werden müssen. Allerdings muss sich erst noch ein kommerzieller Anbieter finden, der diese Drehgestelle weiterentwickelt und auf den Markt bringt. Darüber hinaus sind Zulassungen für den Einsatz an entsprechenden Güterwagen notwendig.

3.6.2.6 Vermeidung von Lärmquellen an den Wagenaufbauten

Im Gegensatz zu Fahrzeugen des Personenverkehrs besitzen Güterwagen nur in absoluten Ausnahmefällen eine Sekundärfederung.³⁷⁵ Aus diesem Grund findet keine Entkopplung von Schwingungen des Drehgestells hin zum Wagenkasten oder den Aufbauten statt. Es kann somit bei Güterwagen, je nach Bauart, zu einer Schallabstrahlung auch des Aufbaus kommen. Wie stark dieser Effekt ist und inwiefern er gemindert werden kann ist unklar. Sowohl in Lutzenberger et al (2017) als auch UBA (2013) wird betont, dass eine Entkopplung von Drehgestell und Aufbau insbesondere bei Güterwagen nicht unberücksichtigt bleiben darf.³⁷⁶ Demnach kann die Entkopplung oder Dämpfung durch die Federung oder durch Elastomer- oder Kunststoffzwischenlagen erfolgen.

Die in UBA (2013)³⁷⁷ vorgestellte Auswertung der Vorbeifahrtpegel verschiedener Güterwagen-Fahrzeugtypen auf einer Abnahmestrecke (nach TSI Noise), und somit unter vernachlässigbarem Fahrwegeinfluss, zeigten keinen klaren Zusammenhang zwischen Bauart und

³⁷⁵ Diese stellen bspw. die in Abschnitt 3.5.2 vorgestellten akustisch optimierten Drehgestelle dar, wobei das RC25NT-Drehgestell tatsächlich eine Sekundärfederung aufweist, während beim DRRS-Drehgestell infolge der Gummielemente in der Primärfederung eine stärkere Entkopplung erreicht wird.

³⁷⁶ Lutzenberger et al. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr, S. 23. UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 34.

³⁷⁷ UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, S. 123.

Schallemission. So zeigten Flachwagen (die die kleinsten abstrahlenden Flächen aufweisen) ähnliche Vorbeifahrtpegel wie Schüttgutwagen. Allerdings lag die Streuung innerhalb einer Fahrzeugtyp-Kategorie bei bis zu 8 dB(A). Demnach sehen die Autor*innen der Studie die Schallabstrahlung des Aufbaus eher als von geringer Bedeutung an. Es kann jedoch sein, dass die lauten Fahrzeuge jedes Typs eine schlechte Entkopplung von Drehgestell zu Aufbau aufweisen. Die Autor*innen sehen die Erkenntnis des geringen Anteils im Einklang mit Untersuchungen der DB im Rahmen von „Low Noise Train“ sowie „Silent freight“.

Im Rahmen eines Projekts der BAFU-Bahnlärmforschung 2016³⁷⁸ wurde die Entkopplung des Wagenaufbaus durch den Einsatz von Elastomerplatten unter den Containerzapfen sowie auf den Längsträgern an einem Containertragwagen untersucht. Es ergaben sich je nach Beladung und Geschwindigkeit Pegelerhöhungen oder -senkungen zwischen +0,8 dB(A) und -1,2 dB(A). Da die Ergebnisse innerhalb der Messunsicherheit liegen, betonen die Autor*innen der Studie, dass kein Nachweis einer Entkopplung erfolgt ist, und raten zu weiteren Entwicklungsarbeiten.

Abschließend ist anzumerken, dass ein Einfluss des Wagenaufbaus auf den Vorbeifahrtpegel sowie ein positiver Effekt durch eine Entkopplung zwar technisch erwartbar ist, sich in bisherigen Messungen aber nicht nachweisen ließ. Eine Marktlösung von Entkopplungs-Lösungen für den SGV ist somit weit entfernt, und es sind Untersuchungen notwendig, welche den Einfluss der Qualität der Kopplung von Drehgestell zu Aufbau untersuchen und etwaige fortgeschrittene Entkopplungslösungen, bspw. durch Elastomere testen.

3.6.2.7 Zusammenfassung zu den Maßnahmen bei Güterwagen

Scheibenbremsen in Verbindung mit Rädern mit geradem Radsteg und Gleitschutz

Wenn ein Wagen anstelle von Klotzbremsen in Verbindung mit K-Sohle und Rädern herkömmlicher Radbauform stattdessen mit Scheibenbremsen in Verbindung mit Rädern mit geradem Radsteg ausgestattet wird, so kann ein Minderungseffekt von 3 dB(A) angesetzt werden. Die Ausstattung eines neuen Güterwagens mit Scheibenbremse erfordert höhere Anschaffungskosten im Vergleich zur herkömmlichen Klotzbremse, doch ermöglicht sie aufgrund des geringeren Radverschleißes Kosteneinsparungen in der langen Frist, sofern das bei Scheibenbremsen auftretende Problem der Ausbröckelungen an den Rädern gelöst werden kann. Dies ist vermutlich durch den Einsatz von Gleitschutz möglich.

Gleitschutz hat außerdem den Vorteil, dass auch andere Laufflächenfehler an den Rädern – neben den Ausbröckelungen auch die akustisch lästigen und die instandhaltungsrelevanten Flachstellen – seltener auftreten. Daneben hat Gleitschutz auch einige betriebliche Vorteile. Die Kosten eines Gleitschutzes können bei herkömmlicher Wagentechnologie mit etwa 12.000 Euro (inkl. 20 % Aufschlag für die Inflation der letzten Jahre) für einen Wagen mit vier Radsätzen abgeschätzt werden.

In Anhang A.3.2 wird dargestellt, dass die Kombination aus Scheibenbremsen, Rädern mit geradem Radsteg und Gleitschutz ab einer jährlichen Laufleistung von 69.000 km kostengünstiger ist als eine herkömmliche Klotzbremse mit K-Sohlen. Die in Abschnitt 3.6.2.1 gezeigte Darstellung des Kostenvergleichs aus UBA (2017), Abbildung 32, ist somit trotz veränderter Zahlengrundlage immer noch gültig. Diese kritische Laufleistung wird von den Wagen des kombinierten Verkehrs deutlich überschritten, deren jährliche Laufleistung typischerweise über 150.000 km liegt, während die Laufleistungen der anderen Güterwagen meist darunter liegen (oft unter 50.000 km).

³⁷⁸ Gramowski (2016): BAFU-Bahnlärmforschung 2016: Radschallabsorption und Entkoppelung von Wagenaufbauten, S. 17 – 21.

Somit zeigt sich, dass bei Güterwagen mit hoher Laufleistung ohne Zusatzkosten eine Geräuschminderung von 3 dB(A) sowie eine deutliche Verminderung der Geräuschbelastung durch Flachstellen und andere Laufflächenfehler an den Rädern erreicht werden kann, indem diese Wagen mit Scheibenbremsen, Rädern mit geradem Radsteg und Gleitschutz ausgestattet werden. Dies gilt für neu zu beschaffende Güterwagen. Bei Bestandswagen würde eine nachträgliche Umrüstung des Bremssystems von Klotzbremse auf Scheibenbremse hohe Zusatzkosten verursachen, so dass diese Option wohl nur in Ausnahmefällen in Frage kommt.

Radschallabsorber

Radschallabsorber können auf gerader Strecke Schallminderungseffekte zwischen 1 und 4 dB(A) bewirken, wobei ein Punktwert von 2,5 dB(A) realistisch erscheint. In der Bogenfahrt kann es sogar zu Minderungen zwischen 10 und 15 dB(A) kommen. Die Anschaffungskosten liegen zwischen 1.125 Euro und 2.500 Euro pro Radsatz. Die Gutachter*innen setzen für einen Güterwagen mit vier Radsätzen Anschaffungskosten von insgesamt 9.000 Euro und laufende Kosten in Höhe von 250 Euro pro Jahr an, sodass sich ohne Abzinsung Lebenszykluskosten von 700 Euro pro Jahr ergeben. Bezogen auf die Schallminderung von 2,5 dB(A) betragen somit bei Radschallabsorbern die jährlichen Kosten pro dB(A) Schallreduktion 280 Euro plus 20 % Inflationsaufschlag.

Naheliegender ist ein Vergleich mit der erfolgten Umrüstung von Grauguss- auf LL-Sohlen bei den Bestandswagen. Hierfür können Lebenszykluskosten von etwa 1100 Euro pro Jahr angesetzt werden.³⁷⁹ Bezogen auf eine Lärminderung von 9 dB(A) entsprach dies jährlichen Kosten pro dB(A) Schallreduktion von 122 Euro plus 20 % Inflationsaufschlag.

Schallschürzen am Drehgestell

Für Schallschürzen am Drehgestell kann eine Schallreduktion von 2 dB(A) angenommen werden. Im Gegensatz zu Radschallabsorbern sind sie noch nicht am Markt erhältlich. Die Anschaffungskosten liegen schätzungsweise bei 8.000 Euro für einen vierachsigen Güterwagen; hinzu kommen laufende Kosten von 50 Euro pro Jahr. Hieraus ergeben sich ohne Abzinsung Lebenszykluskosten von 450 Euro pro Jahr. Bezogen auf die Schallminderung von 2 dB(A) ergeben sich bei Schallschürzen am Drehgestell jährliche Kosten pro dB(A) Schallreduktion von 225 Euro plus 20 % Inflationsaufschlag.

Bei Schallschürzen am Drehgestell ist in Zukunft mit Kostensenkungen zu rechnen, insbesondere für Neuwagen durch konstruktive Lösungen und nach Realisierung einer automatischen Bremsprobe.

Akustisch optimierte Drehgestelle

Akustisch optimierte Drehgestelle weisen verbesserte Federungen und radial einstellende Räder auf, die zu Schallminderungen führen. Doch gibt es derzeit hohe Varianz bezüglich des Schallminderungspotenzials auf gerader Strecke und in der Bogenfahrt. In der Bogenfahrt ist aufgrund der radial einstellenden Räder ein hoher Effekt zu erwarten und zeigt sich auch in den bisherigen Messungen. Je nach Situation sind Minderungen bis zu 10 dB(A) erwartbar. In der Geraden kann im Verbund mit Scheibenbremsen und Rädern mit geradem Steg eine Minderung von 4 dB(A) angesetzt werden. Rechnet man davon 3 dB(A) den Scheibenbremsen und Rädern mit geradem Steg zu, so kann 1 dB(A) der verbesserten Federung im Drehgestell zugerechnet werden.

Konkrete Kostenschätzungen zu den Mehrkosten für solche Drehgestelle haben die Gutachter*innen nicht vorgenommen, da im Rahmen des Projektes „Innovativer Güterwagen“

³⁷⁹ ERA (2018): Full Impact Assessment, S. 30 ff.

eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit auf der Basis von vertraulichen Kostenangaben aus der Branche vorgenommen wurde. Diese kommt zu dem Ergebnis, dass die vergleichsweise hohen Anschaffungskosten der innovativen Drehgestelle durch Einsparungen bei den Energiekosten (aufgrund der radial einstellenden Räder) teilweise kompensiert und bei hohen Laufleistungen sogar überkompensiert werden. Zudem wird auch ein geringerer Radverschleiß vermutet.

Allerdings muss sich erst noch ein kommerzieller Anbieter finden, der diese Drehgestelle weiterentwickelt und auf den Markt bringt. Es sollten weitere Entwicklungen und Messungen zu akustisch optimierten Drehgestellen angestoßen werden.

Vermeidung von Lärmquellen an den Wagenaufbauten und genereller Forschungsbedarf

Gleiches gilt hinsichtlich der Vermeidung von Lärmquellen an den Wagenaufbauten. Generell sind die Forschungen zu den Schallminderungsmaßnahmen bei Güterwagen zu verstärken und bis zur Aufnahme in die Schall 03 voranzutreiben. Dabei sind auch Kombinationen von Maßnahmen zu untersuchen. Scheibenbremsen sollten in Verbindung mit Rädern mit geradem Radsteg und Gleitschutz untersucht werden, auch in Hinblick auf die Entstehung von Flachstellen (für die besondere Testverfahren zu entwickeln sind). Schallschürzen am Drehgestell sollten mit Absorptionsmaterial ausgestattet sein und in verschiedenen konstruktiven Lösungen sowie auch im Zusammenhang mit niedrigen Schallschutzwänden untersucht werden. Die vorhandenen akustisch optimierten Drehgestelle sollten weiterentwickelt werden. Hinsichtlich der Lärmquellen an den Wagenaufbauten sollte zunächst grundlegende Forschungen zu deren Ursachen, Relevanz und Vermeidung betrieben werden.

3.6.3 Lärminderung bei den Güterwagen im Kontext von Verkehrswende und Digitalisierung

Wie eingangs dieses Kapitels (Abschnitt 3.6.1) dargestellt wurde, emittiert der SGV im Vergleich zu SPfV und SPNV den meisten Lärm an den großen Nord-Süd-Korridoren und damit an denjenigen Strecken, die vom Eisenbahnlärm am stärksten betroffen sind („Hotspots“). Dies legt nahe, dass die höchste Handlungsnotwendigkeit in der Reduzierung des SGV-Lärms besteht. Daher wird in diesem Gutachten empfohlen, infrastrukturseitige Maßnahmen vorzunehmen, die den SGV-Lärm direkt adressieren. Hierzu zählen neben der „glatten Schiene“ die lärmreduzierten Zwischenlagen und die Fortführung des existierenden Lärmsanierungsprogramms, welches insbesondere den Bau von Schallschutzwänden oder -fenstern an den Hotspots vorsieht. Zudem wird hinsichtlich der Lokomotiven vorgeschlagen, im Rahmen einer breiteren EU-Initiative des Bundes auf eine graduelle Absenkung der Emissionsgrenzwerte in der TSI Noise hinzuwirken (siehe dazu Abschnitt 3.3.3). Einige Argumente, die im Folgenden ausgeführt werden, sprechen dafür, dass auch für lärm mindernde Maßnahmen bei den Wagen des SGV ein längerer Umsetzungszeitraum eingeplant werden sollte.

Zum einen hat der SGV erst vor kurzem eine Anstrengung zur Lärminderung geleistet, indem bei den Bremssohlen der Güterwagen der Übergang von Grauguss auf Verbundstoff gemeistert wurde. Es gibt keine Maßnahme der Lärminderung an der Quelle, die einen ähnlich großen Beitrag zur Minderung des Schienenverkehrslärms leisten kann.

Zum zweiten ist es nicht leicht, den SGV-Lärm bei den Güterwagen weiter zu senken. Wie die Darstellungen in Abschnitt 3.6.2 gezeigt haben, bietet sich aus technisch-akustischer Sicht derzeit nur der Einsatz von Radschallabsorbern bei Neu- und Bestandswagen an, der allerdings recht teuer im Verhältnis zum Minderungseffekt ist und daher aus wirtschaftlicher Sicht nur bedingt empfohlen werden kann. Aus politischer Sicht erscheint zudem das Erreichen einer weiteren Absenkung der TSI Noise-Grenzwerte für (neue) Güterwagen auf EU-Ebene derzeit wenig aussichtsreich, und der nationale Handlungsspielraum zur Beeinflussung der

Lärmemissionen von Fahrzeugen des SGV ist sehr begrenzt. Es sei daran erinnert, dass das Erfordernis der Interoperabilität von Güterwagen eine besonders hohe Bedeutung für das Funktionieren des europäischen SGV hat.

Zum dritten steht der SGV vor wesentlichen technischen Innovationen, die die Voraussetzungen und Notwendigkeiten für den Einsatz lärmmindernder Maßnahmen an den Fahrzeugen grundlegend verändern werden („game changer“). Diese Innovationen werden unabhängig von der Lärmthematik vorgenommen; sie betreffen die Kupplungen, Bremsen und weitere Aspekte des SGV und die allgemeine Leit- und Sicherungstechnik des Eisenbahnsystems. Sie stehen im Kontext der Digitalisierung und des Ausbaus und der Modernisierung des Systems Eisenbahn, mit denen die Bahn fit für die Verkehrswende gemacht werden soll. All diese Systementwicklungen sind integrale Bestandteile der Verkehrswende und Voraussetzung für das Erreichen der Verkehrswendeziele der Bahn.

Die Implikationen dieser Systementwicklungen für die Lärmemissionen und die Maßnahmen und Instrumente zur Lärminderung beim SGV werden in Abschnitt 3.6.3.1 dargestellt, wobei die geplante Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung eine zentrale Rolle spielt. In Abschnitt 3.6.3.2 wird diskutiert, inwieweit noch auf der aktuellen technischen Basis Maßnahmen der Lärminderung vorgenommen werden sollten. In Abschnitt 3.6.3.3 wird das Konzept eines modernen, lärmarmen Güterwagens der Zukunft vorgestellt, der aufbauend auf den genannten Innovationen auch Elemente der Lärminderung umfasst. Dies entspricht der Orientierung dieser ganzen Studie, welche darauf zielt, die angestrebte Verkehrswende mit einer Lärminderung bei der Eisenbahn zu verknüpfen. Für die Umsetzung der lärmmindernden Maßnahmen im Kontext der zu erwartenden Systementwicklungen werden in den nachfolgenden Abschnitten 3.6.4 und 3.6.5 politisch-rechtliche Anreizinstrumente und entsprechende Empfehlungen ausgearbeitet.

3.6.3.1 Auswirkungen der DAK und weiterer Systementwicklungen

Zunächst werden die in der nächsten Zeit zu erwartenden, grundlegenden Innovationen und Entwicklungen zur Effizienzsteigerung des Eisenbahnsystems und im Besonderen des SGV genannt, von denen nachfolgend argumentiert wird, dass sie auch von Relevanz für die Möglichkeiten der Lärminderung sind:³⁸⁰

- ▶ Digitale Automatische Kupplung (DAK) beim SGV mit wichtigen Folgeinnovationen wie automatische Bremsprobe und elektropneumatische-Bremse.
- ▶ Vermehrte Nutzung des elektrischen Bremsens mit der Lokomotive beim SGV zur Rekuperation von Energie.
- ▶ Ausbreitung der „Digitalen Schiene“ mit ETCS ab Level 2³⁸¹, elektronischen Stellwerken und weiteren Aspekten. Damit verbunden ist eine Führerstandssignalisierung, welche ein vorrausschauendes Fahren ermöglicht. Dies soll eine höhere Netzauslastung sowie Kostensenkungen durch den Abbau von herkömmlichen Signalen, geringeren Personalbedarf u. a. ermöglichen.
- ▶ Ausbau und Modernisierung des Schienennetzes, um Engpässe zu verringern und generell die Kapazität zu erhöhen. Dies sollte dazu führen, dass der Güterverkehr bessere Trassen

³⁸⁰ Die Berliner Erklärung der europäischen Verkehrsminister vom September 2020 gibt einen Überblick über die von der europäischen Politik ins Auge gefassten Modernisierungsaspekte in Hinblick auf den SGV. Siehe auch die Internetseite der Bundesregierung zur Digitalen Schiene (o. D.): Die Zukunft der Eisenbahn.

³⁸¹ Im Folgenden ist mit „ETCS“ (European Train Control System) immer das ETCS ab Level 2 gemeint. Dieses steht im Zentrum der geplanten Ausbauten. Siehe DB InfraGO (o. D.): ECTS. Das europaweite standardisierte Zugleit- und Zugsicherungssystem.

erhält, auf denen er gleichmäßiger fahren kann, so dass der Energieverbrauch sinkt und die Durchschnittsgeschwindigkeit steigt. Solche Trassen für Güterzüge sollen auch im Rahmen der Planungen für den Deutschlandtakt vorgesehen werden.

Die DAK beinhaltet nicht nur die eigentliche Kupplung der Wagen, sondern auch die automatische Verbindung von Druckluftschläuchen, Strom- und Datenkabeln zwischen ihnen.³⁸² Damit wird erstmalig im SGV eine durchgehende Strom- und Datenleitung durch den ganzen Zug ermöglicht. Die DAK wird ein schnelleres Rangieren von Zügen und in dessen Folge Zeit- und Personaleinsparungen bei der Zugbildung ermöglichen. Mit der durchgehenden Datenleitung und Stromversorgung wird es möglich sein, die bisher sehr zeit- und personalaufwändige Bremsprobe durch Einführung einer automatischen Bremsprobe deutlich zu verkürzen und auch dadurch die Zugbildung zu vereinfachen.³⁸³ Ferner wird es möglich, eine elektro-pneumatische Bremse (ep-Bremse) einzuführen, bei der die Ansteuerung der pneumatischen Bremsen elektrisch erfolgt. Die ep-Bremse wird ein effektiveres und gleichmäßigeres Bremsen des Güterzuges ermöglichen.

Mit der Einführung von ETCS Level 2 und der damit einhergehenden Führerstandssignalisierung wird ein Halt zeigendes Signal mit deutlichem Vorlauf im Führerstand angezeigt. Dann kann häufiger rein elektrisch durch die Lokomotive gebremst werden, sodass die Anzahl an Vollbremsungen reduziert wird und bei leichten Betriebsbremsungen die pneumatischen Bremsen der Wagen erst gar nicht benötigt werden.³⁸⁴ Neben der Rekuperation von Energie hat dies zur Folge, dass Radsatzschäden zurückgehen und somit die Instandhaltungskosten sinken werden.

Außerdem wird durch die DAK die Ausrüstung der Wagen mit Gleitschutz vereinfacht, da eine zentrale Energieversorgung bereitsteht und nicht an jedem Wagen mittels Achslagergeneratoren realisiert werden muss. Wie in Abschnitt 3.6.2.2 dargestellt wurde, hat Gleitschutz nochmals zur Folge, dass Radsatzschäden zurückgehen, sodass der Instandhaltungsbedarf sinkt, und dass sich allgemein das Bremsverhalten der Züge verbessert.

Besonders erwähnenswert ist, dass die grundlegenden fahrzeugseitigen Komponenten dieser Innovationen auch an den Bestandsfahrzeugen oder jedenfalls den meisten von ihnen umgesetzt werden müssen. Dies gilt für die DAK an den Wagen und Lokomotiven und für die On-Board-Units für ETCS in den Lokomotiven.

Es sind weitere Innovationen zur Effizienzsteigerung voraussehbar, die mit der Digitalisierung verbunden sind und teilweise ebenfalls die Möglichkeiten der DAK (Strom- und Datenkabel in den Zügen) nutzen:

- **Sensorik in den Güterwagen:** Die Zustandsüberwachung der Güterwagen für die Instandhaltung und andere Zwecke kann automatisiert und permanent erfolgen, zum Beispiel für die Identifikation von Laufflächenfehlern.³⁸⁵
- **Bessere Wagendisposition:** Mit Hilfe von Geolokalisierung kann der Standort der einzelnen Güterwagen permanent erfasst werden. Dies kann von Softwaresystemen genutzt werden, um eine bessere Einsatzsteuerung der Güterwagen nach wirtschaftlichen Kriterien vorzunehmen.

³⁸² Zur DAK insgesamt siehe Hagenlocher et al. (2020): Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr.

³⁸³ Reichmann, Wancura (2023): Auswirkungen der DAK auf die Produktivität der Transportketten.

³⁸⁴ Gülker, Hecht, Jobstfinke (2019): Güterzüge mit ep-Bremse und ETCS: Höhere Geschwindigkeiten, weniger Verschleiß; Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten (2016): Intelligente Technik für mehr Energieeffizienz.

³⁸⁵ Petschnig, Lorenzutti (2023): Automation und digitale Zustandsüberwachung im Güterverkehr.

- Fahrerassistenz für die Steuerung der Geschwindigkeit und der Bremsvorgänge: Fahrerassistenzsysteme kommen im Straßenverkehr immer mehr in Gebrauch und können auch als Vorstufen des automatisierten Fahrens gesehen werden, zumal sie auch tatsächlich schon sensorbasierte, teilautonome Aspekte des Fahrens übernehmen (z. B. für das Einparken). Auch bei der Eisenbahn wird an solchen Systemen gearbeitet, um zum Beispiel ein energiesparendes Fahren zu fördern.³⁸⁶

Alle genannten Systementwicklungen befinden sich noch in der technischen Entwicklung. So gibt es derzeit noch keine DAK, die alle gewünschten Anforderungen erfüllt. Doch werden die Entwicklungen aktiv betrieben, und es gibt den politischen Willen, sie zu verfolgen und dann auch umzusetzen. Während der Netzausbau über einen langen Zeitraum erfolgt, ist die Realisierung von ETCS bereits auf dem Weg, und zwar vor allem auf den wichtigen Korridoren; an diesen befinden sich auch viele der Hotspots der Lärmbelastung. Die Umstellung der Kupplungssysteme auf die DAK wird vermutlich noch vor 2030 beginnen.

Der Sektor wird daher in absehbarer Zeit mit der Umsetzung dieser Innovationen beschäftigt sein, was seine finanziellen Ressourcen und Managementkapazitäten beanspruchen wird. Wenn die Innovationen umgesetzt sind, werden sie Auswirkungen auf die Lärmemissionen und auf die Möglichkeiten der Implementierung von Maßnahmen und Instrumenten zur Lärminderung beim SGV haben, die im Folgenden beschrieben werden.

Flachstellen an Rädern

Die Hauptursache für die Entstehung von Flachstellen sind Vollbremsungen mit Hilfe der pneumatischen Bremsen der Wagen bei schlechten Kontaktbedingungen im Rad-Schiene-Kontakt. Eine weitere mögliche Ursache liegt in der Verwendung von Bremschuhen.

Aus folgenden Gründen werden die Systementwicklungen voraussichtlich zur Folge haben, dass Flachstellen in Zukunft deutlich seltener auftreten werden:

- Bessere Trassen für den Güterverkehr, auf denen gleichmäßiger gefahren werden kann, haben zur Folge, dass insgesamt weniger Bremsungen anfallen.
- Die vermehrte Nutzung des elektrischen Bremsens durch die Lokomotive (zur Rekuperation von Energie) bedeutet, dass die pneumatischen Bremsen seltener genutzt werden und dass im Falle ihrer Nutzung eine geringere Bremskraft benötigt wird, so dass Vollbremsungen seltener werden.
- Vollbremsungen mit den pneumatischen Bremsen werden auch deshalb seltener, weil die ep-Bremse ein gleichmäßigeres Bremsen ermöglicht und diese Möglichkeit mit Hilfe des ETCS (Führerstandsignalisierung) und möglicher Fahrerassistenzsysteme auch genutzt werden kann.
- Durch einen Gleitschutz, dessen Einsatz durch die DAK (Stromverbindung) erleichtert wird, können Radsatzschäden sowohl an mit Scheiben- als auch Klotzbremsen ausgerüsteten Güterwagen deutlich reduziert werden.

Wie zuvor dargestellt wurde, sind ein gleichmäßigeres Bremsen und der Einsatz von Gleitschutz schon aus betrieblichen und wirtschaftlichen Gründen vorteilhaft, sollten aber zusätzlich auch gefördert werden, um die Entstehung von akustischen Flachstellen zu vermeiden.

³⁸⁶ Siehe zum Beispiel Mitusch et al. (2023): Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnfahrzeugen: Bewertung der Potenziale von Technologien zum vernetzten Fahren, Abschnitte 2.2.1 und 2.2.3; Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten (2016): Intelligente Technik für mehr Energieeffizienz; DB InfraGO (o. D.): ETCS. Das europaweite standardisierte Zugleit- und Zugsicherungssystem.

In Zukunft kann außerdem Sensorik eingesetzt werden, um Flachstellen zu detektieren, sowie bessere Möglichkeiten der Wagendisposition, um Wagen mit Flachstellen einer akustischen Instandhaltung zuzuführen. Hierzu müssten allerdings entsprechende Anreize gesetzt werden.

Scheibenbremsen

Die Ausstattung der Güterwagen mit Scheibenbremsen kann eine deutliche Reduktion des Rollgeräuschs zur Folge haben, insbesondere in Verbindung mit der dann möglichen Verwendung von Rädern mit geradem Radsteg. Siehe dazu Abschnitt 3.6.2.1 Wie dort ebenfalls dargestellt wurde, tritt bei Scheibenbremsen jedoch derzeit das Problem der Ausbröckelungen an den Rädern auf, die die Instandhaltungskosten der Räder erhöhen. Diese Ausbröckelungen treten mutmaßlich infolge von Vollbremsungen mit der pneumatischen Bremse in Kombination mit schlechten Kontaktbedingungen auf.

Wie gerade beschrieben wurde, werden Vollbremsungen mit der pneumatischen Bremse infolge der Systementwicklungen seltener werden. Somit werden auch Ausbröckelungen an Rädern weniger häufig entstehen. Mit Hilfe eines Gleitschutzes, der bei vorhandener DAK (Stromverbindung) leichter umgesetzt werden kann, kann die Entstehung von Ausbröckelungen weiter reduziert werden.

Schallschürzen

Schallschürzen an den Drehgestellen können eine geeignete Maßnahme zur Reduzierung des Rollgeräuschs von Güterwagen sein. Siehe dazu Abschnitt 3.6.2.4. Derzeit behindern solche Schallschürzen allerdings die Bremsprobe, die vor Abfahrt jedes Zuges erfolgen muss. Dies gilt jedoch nicht mehr, wenn nach Einführung der DAK die Bremsprobe automatisiert wird.

3.6.3.2 Limitierte Lärminderungspotenziale bei Güterwagen vor Einführung der DAK

Spiegelbildlich zu den vorteilhaften Auswirkungen der beschriebenen Systementwicklungen der Verkehrswende auf die zukünftigen Möglichkeiten der Lärminderung an den Güterwagen soll in diesem Abschnitt die Problematik illustriert werden, Maßnahmen und Instrumenten zur Lärminderung noch *vor* Einführung dieser Innovationen – und insbesondere der DAK – in der Praxis umzusetzen.

Radschallabsorber

Der Einsatz von Radschallabsorbern ist eine technische Maßnahme, die an den Bestandswagen heute schon sinnvoll umgesetzt werden kann, da sie von der Nachrüstung mit der DAK nicht beeinflusst wird. Allerdings sind Radschallabsorber recht teuer. Da die Unternehmen des SGV in der nächsten Zeit schon mit der Umrüstung ihrer Bestandswagen auf die DAK (und deren Folge-Innovationen) sowie ihrer Lokomotiven auf das ETCS beschäftigt und belastet sein werden, erscheint eine zusätzliche flächendeckende Ausstattung der Wagen mit Radschallabsorbern derzeit problematisch.

Schallschürzen an den Drehgestellen der Wagen

Neu- und Bestandswagen können mit Schallschürzen an den Drehgestellen ausgestattet werden. Doch müssen Schallschürzen erst von der Industrie entwickelt und auf ihre Schallminderungseffekte hin genauer untersucht werden. Bei Wagen ohne DAK und automatische Bremsprobe behindern Schallschürzen an den Drehgestellen die Bremsprobe, die aus Sicherheitsgründen vor jeder Abfahrt eines Zuges erfolgen muss. Dem kann durch konstruktive Anpassungen bei den Schallschürzen begegnet werden, die jedoch auch nicht ohne Nachteile sind: Die Schallschürzen werden teurer, ihr Schallminderungseffekt wird geringer, die Bremsprobe bleibt beeinträchtigt oder eine Kombination dieser Nachteile.

Es erscheint daher nicht sinnvoll, Schallschürzen für Wagen, die nicht über eine automatische Bremsprobe verfügen, zu entwickeln. Da es bereits Möglichkeiten gibt, eine automatische Bremsprobe in begrenztem Umfang auch ohne DAK zu realisieren, kann die Erprobung von Schallschürzen an solchen Wagen erfolgen. Dabei besteht besonderes Interesse an solchen Schallschürzen, die auch an Bestandswagen angebracht werden können. Die Lärmwirkung sollte auch im Zusammenwirken mit niedrigen Schallschutzwänden untersucht werden.

Flachstellen

Flachstellen entstehen überwiegend bei Vollbremsungen mit den Wagenbremsen in Kombination mit schlechten Kontaktbedingungen. Das Bremsverhalten des SGV zu beeinflussen ist bei den aktuellen Bedingungen (veraltete Wagentechnologie und Unzulänglichkeiten des Schienennetzes, die mit der Notwendigkeit häufiger Vollbremsungen einhergehen) sehr schwierig. Nach Umsetzung der beschriebenen Systementwicklungen wird eine andere Situation vorherrschen. Die Zahl der neu entstehenden Flachstellen kann ohne jedes Zutun deutlich sinken, und da Räder Verschleißteile sind, die oft gewechselt werden, werden früher entstandene Flachstellen bald ausgemerzt sein. Sollte sich herausstellen, dass auch nach Einführung der DAK und des Gleitschutzes Flachstellen weiterhin häufig entstehen, sind auf Basis der veränderten Bedingungen neue Überlegungen über deren Vermeidung anzustellen. Daher ist davon abzuraten, schon jetzt Maßnahmen oder Instrumente in der Praxis umzusetzen, die die Entstehung von Flachstellen aus Bremsvorgängen adressieren.

Allerdings entstehen einige Flachstellen auch aus der Verwendung von Bremsschuhen auf Rangierbetrieben des SGV. Dieser Tatbestand ist jedoch wenig untersucht. Hierzu sollten so schnell wie möglich Untersuchungen vorgenommen werden. Zu prüfen ist, ob Veränderungen an den Bremsschuhen vorgenommen werden sollten.

In einer Studie für das Umweltbundesamt werden Systeme des Monitorings und des Aussortierens von lauten Wagen zur akustischen Instandhaltung vorgeschlagen.³⁸⁷ Diese Bestrebungen sind grundsätzlich zu begrüßen. Allerdings wird es einige Zeit dauern, bis solche Systeme technisch und in Abstimmung mit der EU rechtlich umsetzbar sein werden. Heutzutage kommen Flachstellen so häufig vor, dass vermutlich zu viele Wagen aussortiert werden müssten, mit negativen Auswirkungen auf die Betriebsabläufe und die Kosten. Zudem erscheint es wenig sinnvoll, Flachstellen in dieser Art faktisch zu pönalisieren, wenn die EVU praktisch keine Möglichkeit haben, sie durch Anpassung ihres Fahrverhaltens zu vermeiden. Nach Einführung der DAK und der weiteren Systementwicklungen wird sich dies anders darstellen. Daher wird empfohlen, die technische Entwicklung eines Monitoring- und Aussortierungs- oder Pönalisierungssystems für Wagen mit Laufflächenfehlern jetzt zwar voranzutreiben, es jedoch erst nach Einführung der DAK und einer Übergangszeit in der Praxis umzusetzen.

Scheibenbremsen und lärmarme Drehgestelle

Das lärmmindernde Potenzial von Scheibenbremsen ist beträchtlich, insbesondere wenn diese im Zusammenhang mit Rädern mit geradem Steg eingesetzt werden. Auch lärmarme Drehgestelle haben ein Minderungspotenzial, und zwar insbesondere bei der Kurvenfahrt, aufgrund der bei ihnen eingebundenen radial einstellenden Räder.

Bevor Scheibenbremsen systematisch eingesetzt werden können, ist jedoch zunächst das Problem der Ausbröckelungen an den Rädern zu lösen. Vermutlich kann es mit Hilfe eines Gleitschutzes weitgehend behoben werden. Siehe dazu Abschnitte 3.6.2.1 und 3.6.2.2. Da der Einsatz eines Gleitschutzes im Zusammenhang mit der DAK kostengünstiger wird (da diese eine Stromverbindung im Zug etabliert), wäre somit auch die Scheibenbremse als eine Folge-

³⁸⁷ UBA (2022): Messung von Flachstellen und Ermittlung eines akustischen Instandhaltungskriteriums, Kapitel 10 und 11.

Innovation der DAK zu betrachten. Möglicherweise erübrigt sich langfristig auch der Einsatz von Gleitschutz, wenn Vollbremsungen durch den Einsatz von ep-Bremse (ebenfalls eine Folge-Innovation der DAK) und ETCS so selten werden, dass Laufflächenfehler kaum mehr auftreten. Sollte das Ausbröckelungsproblem durch andere Maßnahmen gelöst werden, wird auch deren Entwicklung noch einige Zeit in Anspruch nehmen, so dass die Scheibenbremse auch dann, rein zeitlich gesehen, im Zusammenhang mit der DAK (deren Entwicklung ja ebenfalls noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird) auftreten wird. Zudem sind Scheibenbremsen nur bei Neuwagen wirtschaftlich in großem Umfang umsetzbar, da eine Umrüstung des Bremssystems teuer ist und daher allenfalls bei sehr neuen Bestandswagen in Frage käme.

Auch lärmarme Drehgestelle benötigen noch einige Zeit, bis sie auf den Markt kommen werden. Siehe dazu Abschnitt 3.6.2.5. Auch sie werden daher rein zeitlich erst im Zusammenhang mit der DAK auftreten. Dies führt auf das Konzept des „modernen, lärmarmen Güterwagens der Zukunft“, der neben der DAK und anderen System-Innovationen auch zentrale lärmindernden Komponenten aufweist.

3.6.3.3 Der moderne, lärmarme Güterwagen der Zukunft

Der moderne Güterwagen der Zukunft wird mit DAK, automatischer Bremsprobe und ep-Bremse ausgestattet sein. Darüber hinaus sollte er jedoch auch lärmarm gestaltet werden: der moderne, *lärmarme* Güterwagen der Zukunft. Dazu sollte er mindestens folgende Ausstattungsmerkmale aufweisen, die sowohl betriebswirtschaftlich sinnvoll (bei hohen Laufleistungen) als auch lärmmindernd sind:

- ▶ Scheibenbremsen und Räder mit geradem Steg, die das Rollgeräusch stark mindern.
- ▶ Gleitschutz, der einen Beitrag zur Vermeidung von Flachstellen und (bei Scheibenbremsen) von Ausbröckelungen an den Rädern leistet.

Ferner sind die folgenden lärmindernden Komponenten in Betracht zu ziehen:

- ▶ Innovative, lärmarme Drehgestelle mit radial einstellenden Rädern zur Vermeidung von Kurvenquietschten und mit elastischen Federungen zur weiteren Minderung des Rollgeräuschs.³⁸⁸
- ▶ Radschallabsorber (und Räder, die mit Radschallabsorbern gut kombiniert werden können) zur weiteren Minderung des Rollgeräuschs.
- ▶ Schallschürzen an den Drehgestellen zur weiteren Minderung des Rollgeräuschs.
- ▶ Vermeidung von Lärmquellen an den Aufbauten durch Entkopplung von Schwingungen des Drehgestells z. B. mit Hilfe von Federungen oder Zwischenlagen.

Von diesen zusätzlichen Komponenten sind die lärmarmen Drehgestelle besonders hervorzuheben, da auch sie nach heutiger Erwartung bei hohen Laufleistungen betriebswirtschaftlich sinnvoll sind und da sie einen besonderen Beitrag zur Lärminderung in den Kurven leisten. Sie müssen aber erst noch zur Marktreife gebracht werden.

Es sei nochmals betont, was mit „**betriebswirtschaftlich sinnvoll**“ gemeint ist: Nach heutiger Erwartung generieren diese Maßnahmen, wenn sie erstmal eingeführt sind, bei hohen Laufleistungen der Wagen, wie sie im kombinierten Verkehr üblich sind, keine volks- oder betriebswirtschaftlichen Kosten, sondern sie sind profitabel für die Unternehmen und erst recht

³⁸⁸ Zudem sollte bei den Drehgestellen auf unnötige, geräuscherzeugende Elemente verzichtet werden. Zu nennen sind Bleche zum Schutz gegen Funkenflug, welche nach Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen nicht mehr nötig sind.

für die Gesellschaft. Dies gilt für das Maßnahmenpaket aus Scheibenbremsen, Rädern mit geradem Steg, Gleitschutz und innovativen Drehgestellen. Es gilt für Neuwagen und insbesondere unter der Voraussetzung, dass bei diesen die DAK und ihre Folge-Innovationen umgesetzt sind.

Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass für die Einführung gewisse **Einführungs- und Systemkosten** zu überwinden sind, die die Umstellung und Feinoptimierung der Betriebsprozesse, die Bereithaltung von Ersatzteilen und Expertise bei den Instandhaltungswerken usw. mit sich bringen. Dies könnte aus individueller, betriebswirtschaftlicher Sicht dazu führen, dass die Profitabilität der Maßnahmen unsicher oder als zu gering erscheint, um sie umzusetzen. Denn Unternehmen ergreifen nicht immer jede Möglichkeit der Gewinnsteigerung, sondern setzen Prioritäten. Da mit dem Technologiewandel Systemkosten verbunden sind, kann es sein, dass ohne Förderung die Prioritäten anders gesetzt würden. Hinzu kommt, dass bei den Herstellern der Komponenten kostensenkende Lern- und Skaleneffekte erst bei höheren Stückzahlen realisiert werden und dass die Nachfrager der Komponenten einen Systemwechsel ungern vornehmen, solange die Komponenten nur von wenigen Herstellern angeboten werden, sich der Wettbewerb also noch nicht entwickelt hat. Aus gesellschaftlicher Sicht kann daher eine politische Förderung auch der betriebswirtschaftlich sinnvollen lärm mindernden Maßnahmen nötig und sinnvoll sein.

Die anderen genannten Maßnahmen (Radschallabsorber, Schallschürzen und Vermeidung von Lärmquellen an den Aufbauten) sind nicht betriebswirtschaftlich sinnvoll, sondern erfordern auch nach ihrer allgemeinen Einführung Zusatzkosten, die jedoch aus volkswirtschaftlicher Sicht aufgrund der erreichten Lärm minderungen vertretbar sein können. Grundsätzlich sind die lärm mindernden Maßnahmen alle miteinander kombinierbar, um die Lärmemissionen von Güterwagen immer weiter zu senken.³⁸⁹ Ob es volkswirtschaftlich sinnvoll ist, alle Maßnahmen bei Neuwagen umzusetzen, kann erst beurteilt werden, wenn die Maßnahmen weiterentwickelt und in ihren lärm mindernden Auswirkungen und Kosten genauer bewertet wurden.

Auch bei Bestandswagen können fast alle Elemente umgesetzt werden, jedoch nur zu hohen Zusatzkosten. Insbesondere eine Umrüstung von Klotzbremsen auf Scheibenbremsen erscheint für die meisten älteren Wagen prohibitiv teuer. Ob bei ihnen Änderungen beim Drehgestell sinnvoll sind, ist zu entscheiden, wenn solche Drehgestelle am Markt angeboten werden.

Die Forschung an den drei zuletzt genannten Maßnahmen (Radschallabsorber, Schallschürzen und Vermeidung von Lärmquellen an den Aufbauten) sollte hinsichtlich der Neuwagen unter der Voraussetzung erfolgen, dass die drei zuerst genannten Maßnahmen bereits umgesetzt sind. Hinsichtlich der Bestandswagen sollte sie hingegen unter der Voraussetzung erfolgen, dass diese Maßnahmen nicht umgesetzt sind. In beiden Fällen sollte die Forschung auch darauf zielen, die Kosten der Maßnahmen zu senken.

Derzeit sind die wenigsten der oben gelisteten Maßnahmen direkt umsetzbar. Nur die Radschallabsorber können sofort eingesetzt werden. Scheibenbremsen und Räder mit geradem Steg sind zwar erhältlich, doch ist das Problem der Ausbröckelungen an den Rädern noch nicht gelöst, sondern es besteht die Hoffnung, dass es durch den Gleitschutz und weitere Verbesserungen bei den Bremsvorgängen (infolge der DAK und anderer Innovationen) gelöst wird. Alle anderen genannten Maßnahmen sind noch nicht technisch voll entwickelt und am Markt erhältlich.

Aber auch die grundlegenden System-Innovationen, also die DAK, ep-Bremse und automatische Bremsprobe, befinden sich noch im Entwicklungsprozess. Die lärm mindernden Komponenten sollten jetzt rasch, parallel zu diesen System-Innovationen entwickelt werden, so dass in

³⁸⁹ Mit der einzigen Ausnahme, dass bei Radscheibenbremsen auf Radschallabsorber verzichtet werden kann.

absehbarer Zeit der moderne, lärmarme Güterwagen angeboten werden kann. Hierauf zielen die politisch-rechtlichen Instrumente, die in Abschnitt 3.6.4 dargestellt werden.

3.6.3.4 Risiken im Zusammenhang mit der DAK

Die flächendeckende Einführung der DAK wird von einigen Akteuren der Branche immer noch infrage gestellt,³⁹⁰ obwohl die DAK in der Berliner Erklärung der europäischen Verkehrsminister vom September 2020 als eine der Hauptprioritäten bezeichnet wurde und sich inzwischen eine große Gruppe von Akteuren im „DAC Delivery Programme (EDDP)“ zusammengetan hat, um die Entwicklung und Umsetzung der DAK zu unterstützen.³⁹¹ Das schafft gewisse Unsicherheiten. Auch angesichts dieser Unsicherheiten ist davon abzuraten, derzeit Maßnahmen zur Lärmmin- derung umzusetzen, die ohne DAK zwar möglich, aber ungünstiger umzusetzen wären.

Innovationen am Güterwagen sind auch ohne DAK möglich. Ein Beispiel wäre die Einführung einer automatischen Bremsprobe auf Basis einer eigenen Stromversorgung der Wagen mittels Achslagergeneratoren (anstelle des durch die DAK ermöglichten Stromkabels im Güterzug). Für die Maßnahmen der Lärmmin- derung und den „lärmarmen Güterwagen der Zukunft“ würde auch dies eine gute Grundlage darstellen, denn die Stromversorgung durch Achslagergeneratoren würde auch dann den Einsatz von Gleitschutz zur Vermeidung von Radsatzschäden (und damit eine vermutliche Voraussetzung für den Einsatz von Scheibenbremsen) ermöglichen.

Wenn aber die Politik von der DAK Abstand nehmen würde, entstünde Unsicherheit über die zukünftigen technischen Grundlagen der Güterwagen. Es wäre dann zum Beispiel nicht sicher, ob und in welchem Ausmaß die automatische Bremsprobe auf der Basis von Achslagergene- ratoren realisiert würde. Wenn gar keine Beschlüsse zur Realisierung von Innovationen gefasst werden, wird die Unsicherheit bestehen bleiben, ob und wann solche Beschlüsse in Zukunft gefasst werden. Denn auf Dauer kann an der Schraubenkupplung nicht festgehalten werden, insbesondere wird irgendwann der zunehmende Arbeitskräfte- und Nachwuchsmangel zum Handeln zwingen.

Daher ist derzeit zu empfehlen, von der Einführung der DAK auszugehen und sich vor allem auf diesen Fall vorzubereiten. Sollte sich die politische Beschlusslage zur DAK ändern, wären auf Basis der neuen Situation Anpassungen bei der Politik der Lärmmin- derung vorzunehmen.

3.6.4 Politisch-rechtliche Instrumente zur Lärmmin- derung bei Güterwagen

Nachdem in den vorigen Abschnitten die möglichen technischen Maßnahmen der Lärmmin- derung ausführlich diskutiert und sodann Auswahlempfehlungen zu diesen gegeben wurden, werden in diesem Abschnitt die möglichen politisch-rechtlichen Instrumente zur Incentivierung lärmmin- dernder Maßnahmen bei Güterwagen ausführlich diskutiert und sodann auch Auswahl- empfehlungen zu diesen herausgearbeitet. Dies kulminiert in den Empfehlungen, die in Abschnitt 3.6.5 gegeben werden.

3.6.4.1 Wirtschaftspolitische Möglichkeiten zur Lärmmin- derung bei Güterwagen

Um die in den vorigen Abschnitten beschriebenen technischen Maßnahmen zur Minderung des Rollgeräuschs von Güterwagen flächendeckend umzusetzen, müssten auf Ebene der EU die in der TSI Noise festgesetzten Emissionsgrenzwerte für das Vorbeifahrtgeräusch von Güterwagen entsprechend abgesenkt werden. Da die TSI nur für Neuwagen gilt, müsste aufgrund der langen Lebensdauer von Güterwagen zudem eine Umrüstung der Bestandswagen angestoßen werden.

³⁹⁰ Siehe AROS, Die Güterbahnen, Hungrail, SPV, ŽESNAD.CZ, ZNPK, ZVKV (2024): Memorandum der mittel- und osteuropäischen Verbände zum weiteren Fortschritt der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK).

³⁹¹ BMDV (2020b): Ministererklärung - Schienengüterverkehrskorridore: Die Zukunft des Schienengüterverkehrs in Europa; Europe's Rail (o. D.): Open European DAC Delivery Programme enabled by Europe's Rail.

Es sind jedoch in Europa – einschließlich Deutschland – keine politischen Bestrebungen zur flächendeckenden Lärminderung von Güterwagen erkennbar, die mit denen zur Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen vor etwa 15 Jahren vergleichbar wären.

Allerdings gibt es vereinzelt die Bereitschaft, weitere Lärminderungen zu ermöglichen oder zu fördern. So gab es in der Schweiz eine Förderung von Scheibenbremsen,³⁹² in Deutschland die Förderrichtlinie TSI+,³⁹³ und die EU-Verordnung 2015/429 sah die Möglichkeit der Förderung „sehr leiser Wagen“ vor, zu denen scheibengebremsste Wagen zählten. Diese Fördermöglichkeiten wurden jedoch von den EVU und Wagenhaltern nur wenig genutzt, unter anderem weil die Förderung (außer in der Schweiz) nur anteilig gewährt wurde und kein weiterer Anreiz zur Lärminderung auf einen Wert strikt unterhalb der Grenzwerte der TSI Noise bestand.

In diesem Gutachten wurden einige Maßnahmen wie insb. Radschallabsorber betrachtet, mit denen Lärminderungen bei Neu- und Bestandswagen möglich sind, die jedoch nicht unerhebliche Kosten bei EVU und Wagenhaltern erzeugen würden. Abgesehen von der Schwierigkeit, solche Maßnahmen im Kontext der europarechtlichen Rahmens ausreichend und ohne Überbeanspruchung des Bundeshaushalts zu incentivieren, raten die Gutachter*innen von diesen Optionen derzeit auch deshalb ab, weil der Sektor sonst angesichts der absehbaren Belastungen durch den baldigen Übergang zur Digitalen Automatische Kupplung wirtschaftlich überfordert werden könnte.

Daher wird in diesem Gutachten ein Paket von Maßnahmen empfohlen, die – nach ihrer allgemeinen Einführung – bei Neuwagen mit geplanter hoher Laufleistung betriebswirtschaftlich sinnvoll, d. h. für die EVU und Wagenhalter auch ohne Förderung profitabel sind: Scheibenbremsen, Räder mit geradem Radsteg, Gleitschutz und möglichst auch innovative, lärmarme Drehgestelle. Dabei wird vorausgesetzt, dass das bei Scheibenbremsen derzeit auftretende Ausbröckelungsproblem gelöst werden kann, zum Beispiel durch den Einsatz des Gleitschutzes. Ausreichend hohe Laufleistungen der Wagen, bei denen das Maßnahmenpaket profitabel ist, sind beim kombinierten Verkehr gegeben, der somit Hauptadressat dieser Politik ist.³⁹⁴ Eine grundsätzliche Notwendigkeit zur Förderung dieser Maßnahmen besteht nur in Hinblick auf die Überwindung ihrer Einführungs- und Systemkosten, um ihnen am Markt zum Durchbruch zu verhelfen (siehe dazu Abschnitt 3.6.3.3). Dies eröffnet neue Perspektiven, Fördermöglichkeiten so zu gestalten, dass sie von der Branche auch wahrgenommen werden. Da bei den Güterwagen zugleich auch die Einführung der Digitalen Automatische Kupplung ansteht, bietet es sich an, entsprechende Förderungen für einen „modernen, lärmarmen Güterwagen der Zukunft“ optional zu kombinieren.

Naheliegend ist daher, die beschriebene lärmarme Ausstattung (Scheibenbremse usw.) von neuen Güterwagen durch eine Direktförderung zu unterstützen, um die Einführungs- und Systemkosten dieser neuen Ausstattungselemente zu überwinden. Wenn dies erfolgreich ist, werden zunehmend lärmarme Wagen in Umlauf kommen. Allerdings werden sie auf lange Zeit nur einen geringen Anteil aller Wagen ausmachen. Damit eine solche Politik zu einer spürbaren Minderung der Lärmbelastung führen kann, ist es daher zum einen notwendig, dass die neuen,

³⁹² Siehe BAFU (2021): Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen: Der besonders lärmarme Güterwagen.

³⁹³ Förderrichtlinie des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur zur Förderung der Beschaffung neuer Güterwagen oder des Umbaus von Bestands Güterwagen, die den Grenzwert für das Vorbeifahrgeräusch der TSI Fahrzeuge - Lärm unterschreiten (Förderrichtlinie „TSI Lärm+“) vom 6. Juli 2017.

³⁹⁴ Das Bundesamt für Logistik und Mobilität (o. D.) definiert: „Kombinierter Verkehr ist der Transport von Gütern in einem Lastkraftwagen oder in Ladeeinheiten (z.B. Wechselbehälter, Container oder Sattelanhänger) bei dem der Transport auf dem überwiegenden Teil der Gesamtstrecke mit der Eisenbahn oder dem Binnen- oder Seeschiff und auf dem anderen, möglichst kurzen Teil mit dem Kraftfahrzeug durchgeführt wird und zudem beim Wechsel der Verkehrsträger nicht die Güter selbst, sondern die beladenen Ladeeinheiten umgeschlagen werden oder die beladenen Kraftfahrzeuge auf dem Eisenbahnwaggon oder auf dem Schiff mitgeführt werden.“

lärmmarmen Wagen zu ganzen Zügen zusammengefasst werden (denn schon wenige laute Wagen in einem Zug führen dazu, dass der ganze Zug laut ist), und zum anderen, dass die lärmmarmen Güterzüge möglichst gezielt an den Hotspots der Lärmbelastung eingesetzt werden, sowohl räumlich (hohe Anzahl von Güterzügen an bewohnten Orten) als auch zeitlich in Hinblick auf die Störwirkung des Lärms, also insbesondere in der Nacht. Eine Lärmschutzpolitik, die auf neue, lärmmarme Wagen setzt, muss daher notwendigerweise auch ein Instrument für eine entsprechende **Einsatzsteuerung** dieser Wagen enthalten. Eine solche Einsatzsteuerung ist nicht perfekt möglich, was bedeutet, dass auf längere Zeit auch immer wieder lautere Güterzüge an den Hotspots fahren werden, auch in der Nacht. Aber es können nach und nach immer weniger werden, und dies kann zu einer spürbaren Erleichterung für die Betroffenen führen.

Somit stellt sich die Frage, mit welchen Anreizinstrumenten eine Einsatzsteuerung der lärmmarmen Güterwagen möglich ist. Das Instrument muss strecken- und zeitbezogen sein, und da dies die Definition einer „Trasse“ ist,³⁹⁵ muss es also trassenbezogen sein. Zudem muss es für einen langen Zeitraum in Kraft bleiben, mehrere Jahrzehnte, da die lärmmarmen Güterzüge vermutlich auf Dauer in der Minderzahl bleiben werden, insbesondere wenn andere Mitgliedstaaten keinen Wert auf weitere Lärminderungen bei Güterwagen legen. Im europäischen Kontext geht es daher auch darum, durch die Einsatzsteuerung die relativ wenigen lärmmarmen Wagen, die europaweit auf dem Wege der Direktförderung in Umlauf kommen können, vor allem zu den Hotspots in Deutschland zu lenken. Dort sollen sie eingesetzt werden und überwiegend auch verbleiben oder dorthin zurückgeführt werden.

Ein mögliches trassenbezogenes Steuerungsinstrument könnte in einer gezielten Trassenvergabe bestehen. Bei Trassen, die in Hinblick auf die Lärmbelastung kritisch sind, könnten lärmmarme Güterzüge gegenüber lauterer Güterzügen bevorzugt werden.³⁹⁶ Eine Bevorzugungsregelung wirkt jedoch sehr ungleichmäßig. Einen Anreizeffekt übt sie nur an solchen lärmbelasteten Strecken aus, bei denen Trassen knapp sind, und an diesen Strecken kann sie sich wiederum zu stark auswirken, wenn herkömmliche Güterzüge dadurch fast ganz ausgeschlossen werden. Abgesehen von den europarechtlichen Hürden für solch eine Vorgehensweise ist daher ein trassenbezogenes Instrument vorzuziehen, welches gleichmäßiger wirkt und für die Akteure sowie in seiner langfristigen Anreizwirkung besser vorhersehbar ist.

Es ist daher naheliegend, die Einsatzsteuerung lärmmarmer Güterwagen mit Hilfe von **lärmabhängigen Trassenpreisen oder Trassenpreisboni** vorzunehmen. Bei einem lärmabhängigen Trassenpreissystem werden für lärmmarme Güterzüge Preisnachlässe gewährt, die durch Preisaufschläge bei anderen Zügen (zum Beispiel bei den herkömmlichen Güterzügen oder bei allen Güter- und Personenzügen) gegenfinanziert werden, so dass die gesamten Trasseneinnahmen des Infrastrukturunternehmens unverändert bleiben. Bei Trassenpreisboni bleiben die Trassenpreise unverändert (so dass auch hier die gesamten Trasseneinnahmen des Infrastrukturunternehmens unverändert bleiben), doch erhalten lärmmarme Güterzüge im Nachhinein eine teilweise Erstattung ihrer Trassenkosten vom Staat.

Die Trassenpreissenkungen bzw. -boni für lärmmarme Güterzüge sollten räumlich und zeitlich an der Lärmbelastung orientiert werden, doch sollten sie nicht verstreut an allen belasteten Orten vorgenommen werden, sondern an wirtschaftlich relevanten **Trassenzusammenhängen**, an

³⁹⁵ Eine Trasse im eisenbahnbetrieblichen Sinne bedeutet, dass auf einer bestimmten Strecke im Schienennetz zu einer bestimmten Zeit die Fahrt eines bestimmten Zuges eingeplant wird. Siehe Jänsch, Lang, Nießen (Hrsg.) (2021): Handbuch. Das System Bahn. Wenn ein EVU eine Trasse erwirbt, so erhält es das Recht, die Trasse zu nutzen, und zahlt dafür einen Trassenpreis.

³⁹⁶ Eine selektive Trassenvergabe wird bei den „Quieter Routes“ in extremer Weise vorgenommen, indem Grauguss-gebremste Wagen dort völlig ausgeschlossen werden.

denen eine Lenkungswirkung erwartet werden kann. Als naheliegender Ausgangspunkt sind die Trassen auf dem Rhein-Alpin-Korridor oder den „Quieter Routes“ in der Nacht zu nennen.

Eine solche Trassenpreispolitik ist in ihrer Wirkung besser vorhersehbar als eine Politik der Trassenvergabe. Ein wichtiger Vorteil einer Trassenpreispolitik besteht in ihrer Flexibilität, wenn sie erstmal eingeführt ist. Hierauf wird in Abschnitt 3.6.5 eingegangen.

Die Gutachter*innen regen daher an, eine Direktförderung mit einer Trassenpreispolitik zu verknüpfen. Die **Direktförderung** soll die lärmarme Ausstattung von Güterwagen adressieren, und es wird erwartet, dass sie europaweit nicht alle, aber einen Teil der Neuwagen (möglicherweise auch einiger Bestandswagen) erreicht, so dass mehr und mehr lärmarme Wagen in Umlauf kommen. Die Trassenpreispolitik soll bewirken, dass diese lärmarmen Wagen zu lärmarmen Güterzügen zusammengefasst und an den Hotspots der Lärmbelastung, vorzugsweise in der Nacht eingesetzt werden. Beide Politikinstrumente, Direktförderung und Trassenpreispolitik, müssen für einen langen Zeitraum Bestand haben. Dies gilt insbesondere für die Trassenpreispolitik, die daher nicht zeitlich befristet werden sollte. Beide Politikinstrumente und insbesondere ihre Verknüpfung sind mit der EU abzustimmen und erfordern gegebenenfalls eine Anpassung des europarechtlichen Umfeldes, um sie zu ermöglichen; dies wird unten thematisiert.

Eine **lärmabhängige Trassenpreispolitik** wurde bereits früher eingesetzt, um die Umrüstung der Bremssohlen von Grauguss auf Verbundstoff zu fördern, und war damals in der Branche sehr unbeliebt.³⁹⁷ In Hinblick darauf ist Folgendes zu sagen:

- ▶ Die zukünftige Einsatzsteuerung lärmarmen Güterzüge sollte entweder durch ein lärmabhängiges Trassenpreissystem oder durch Trassenpreisboni erfolgen. Ein gleichzeitiger Einsatz beider Formen sollte also vermieden werden, da er eine unnötige Doppelung des administrativen Aufwandes nach sich ziehen würde. Ein Wechsel von Trassenpreisboni zu einem lärmabhängigen Trassenpreissystem nach einer gewissen Zeit ist aber vorstellbar.
- ▶ Durch die Verknüpfung mit der Direktförderung für die Ausstattung der lärmarmen Güterwagen wird die Trassenpreispolitik entlastet. Die Spreizung der Trassenpreise bzw. die Trassenpreisboni müssen nur ausreichen, um die gewünschte Einsatzsteuerung der lärmarmen Wagen zu bewirken.
- ▶ Dennoch dürfen die Trassenpreisspreizung oder -boni nicht zu gering veranschlagt werden. Eine trassenpreisorientierte Steuerung des Wageneinsatzes stellt für die EVU ein neuartiges betriebswirtschaftliches Element dar, dessen Einführung sich lohnen muss. Für die Entwicklung und den Einsatz entsprechender Softwaresysteme kann eine Innovationsförderung in Betracht gezogen werden.
- ▶ Die ökonomische Anreizwirkung der Trassenpreisspreizung bzw. -boni wird dadurch erhöht, dass sie sich auf ganze Züge (nicht nur einzelne Wagen) und ausgewählte Trassenzusammenhänge (Korridore) bezieht und langfristig angelegt ist. Hauptadressat sind die sogenannten **Ganzzugverkehre des kombinierten Verkehrs**, die in relativ stabilen Garnituren auf relativ stabilen Routen, vielfach auf den „Quieter Routes“ im Nachtsprung, mit hoher Laufleistung eingesetzt werden. Die EVU, die solche Ganzzugverkehre anbieten, bekommen den Anreiz, eine Garnitur nach der anderen vollständig mit lärmarmen Güterwagen auszustatten, um die Trassenpreisnachlässe zu erhalten. Dafür werden sie bei

³⁹⁷ Siehe zum Beispiel Mofair, NEE, VPI (2017): Wettbewerber-Report Eisenbahn 2017/18, S. 121 und 123. Die Trassenpreisboni, die damals eingeführt wurden, waren jedoch Vorläufer der Trassenpreisboni, die später zur allgemeinen Förderung des SGV eingeführt wurden und in der Branche sehr willkommen geheißen wurden.

den Herstellern oder Wagenhaltern, von denen sie Wagen beziehen, verstärkt lärmarme Wagen nachfragen. Deren Angebote günstiger lärmarmen Wagen werden durch die Direktförderung unterstützt.

- Die großen, europaweit agierenden Wagenhalter können einen Großteil der Neuwagen, die sie ohnehin bestellen, als lärmarme Wagen einkaufen und für den Einsatz in Deutschland vorsehen und dafür nicht-lärmarme Wagen, die bisher in Deutschland eingesetzt wurden, in Ländern einsetzen, die geringeren Wert auf Lärminderung legen.

Lärmabhängige Trassenpreise unterliegen generell den Regelungen der EU. Dies wird in Abschnitt 3.6.4.2 genauer dargestellt. Bis vor kurzem wurden sie von der EU-Verordnung 2015/429 geregelt, die mit Blick auf die Umrüstung der Bremssohlen von Grauguss auf Verbundstoff erlassen wurde.³⁹⁸ Diese Verordnung wurde jedoch im Januar 2024 durch die EU-Verordnung 2024/327 wieder aufgehoben, nachdem das Umrüstungsziel weitgehend und insbesondere auch unter Nutzung anderer Instrumente erreicht wurde.³⁹⁹

Die in diesem Gutachten empfohlene Nutzung des Trassenpreissystems steht in mehrerer Hinsicht im Einklang mit dem Geist der inzwischen aufgehobenen EU-Verordnung 2015/429:

- Die EU-Verordnung wurde erlassen, um den Mitgliedstaaten ein lärmabhängiges Trassenpreissystem als das Instrument der Wahl zur Lärminderung bei Güterwagen an die Hand zu geben und zu empfehlen. Eine neuerliche Trassenpreispolitik steht daher grundsätzlich im Einklang mit der EU-Politik.
- Obgleich die Umrüstung auf Verbundstoffsohlen das Hauptziel der Verordnung war, sah die Verordnung auch die Möglichkeit vor, noch leisere („sehr leise“) Wagen, die etwa mit Scheibenbremsen ausgestattet sind, durch zusätzliche Trassenpreisanreize zu fördern. Dies wird mit dem vorliegenden Vorschlag aufgegriffen.
- Zudem sah die Verordnung die Möglichkeit vor, für ganze Züge, die geräuscharm sind, nochmals zusätzliche Trassenpreisanreize zu geben (Art. 5). Auch dieser Punkt wird mit dem Vorschlag aufgegriffen.
- Auch eine Verknüpfung der lärmabhängigen Trassenpreise mit einer Direktförderung für die lärmarme Ausstattung von Wagen war in der EU Verordnung explizit vorgesehen.⁴⁰⁰

Andererseits enthält der vorliegende Vorschlag auch Elemente, die von der aufgehobenen EU-Verordnung nicht unmittelbar intendiert waren und auch nicht voll im Einklang mit ihr stehen würden. Eine räumlich-zeitliche Steuerung des Einsatzes lärmarmen Wagen oder Züge war mit der EU-Verordnung 2015/429 nicht intendiert und auch nicht zulässig (Art. 4, Abs. 1). Auch ging die Verordnung von einem zeitlich begrenzten System aus, um spezifische Umrüstungsziele zu erreichen.

Um das hier vorgeschlagene System umsetzen zu können, ist es daher von Vorteil, dass die EU-Verordnung 2015/429 inzwischen aufgehoben wurde. Für die Umsetzung erscheint jedoch eine Abstimmung mit der EU und möglicherweise der Anstoß für eine neue, veränderte EU-

³⁹⁸ Erwägungsgrund (2) der Verordnung 2015/429: „Diese Verordnung soll Anreize für die Nachrüstung bieten und es daher ermöglichen, die mit der Installation von Verbundstoff-Bremssohlen verbundenen Kosten zu erstatten.“

³⁹⁹ Erwägungsgrund (7) der Verordnung 2024/327: „Angesichts der begrenzten Wirksamkeit der auf der Grundlage der Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 umgesetzten Systeme für lärmabhängige Wegeentgelte, der Beendigung all dieser Systeme und der Verfügbarkeit anderer Instrumente im Rahmen des EU-Rechts sollte die Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 aufgehoben werden.“

⁴⁰⁰ In Erwägungsgrund (16) der Verordnung wurde sowohl auf die Connecting Europe Facility der EU hingewiesen als auch den Mitgliedstaaten empfohlen, zusätzlich eigene Finanzmittel bereitzustellen.

Verordnung zum Einsatz lärmabhängiger Trassenpreise oder -boni notwendig. Dies sollte von der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der EU-Initiative angestoßen werden.

Zudem ist die finanzielle Wirkung von Direktförderung und Trassenpreispolitik mit der EU abzustimmen. Es sollte eine großzügige Wirkung ermöglicht werden. Zu den Kosten, die mit diesen Instrumenten berücksichtigt werden können, sind auf jeden Fall neben der Ausstattung der Güterwagen auch die Systemkosten für die Bereithaltung von Ersatzteilen und Expertise bei den Instandhaltungswerken sowie die Kosten von Systemen der Wageneinsatzlenkung zu berücksichtigen.

Wettbewerbspolitische Bedenken sind auf Seiten der EU kaum zu befürchten, denn der SGV in Deutschland wird heutzutage zu 60 % der Verkehrsleistung von Wettbewerbern erbracht.⁴⁰¹ Da die DB Cargo einen Schwerpunkt beim Einzelwagenverkehr hat (der gerade jetzt mit Zustimmung der EU wirtschaftlich gefördert wird⁴⁰²), liegt der Anteil der Wettbewerber bei den Ganzzügen des kombinierten Verkehrs noch deutlich über 60 %. Da das vorgeschlagene Politikpaket vor allem den kombinierten Verkehr anspricht, werden vor allem die Wettbewerber in den Genuss dieser Förderpolitik kommen.

3.6.4.2 Rechtliche Möglichkeiten zur Förderung der Lärminderung bei Güterwagen

Die Lärminderung bei Güterwagen durch Einsatz der vorstehend vorgeschlagenen oder künftig möglicher weiterer Lärminderungsmaßnahmen kann rechtlich auf unterschiedliche Weise auf unterschiedlichen Ebenen angestrebt werden.

Strengere Grenzwerte in der TSI Noise und Erstreckung auf Bestandsgüterwagen

Möglich sind entsprechende Verschärfungen der emissionsschutzrechtlichen Regelungen zu den zulässigen Geräuschemissionen von Güterwagen, die bislang auf der Ebene der EU durch die TSI Noise getroffen worden sind und sich bisher lediglich auf Neufahrzeuge beziehen. Hier kommen zum einen die Festlegung von niedrigeren zulässigen Emissionswerten auf europäischer Ebene und zum anderen die Erstreckung der Anwendung dieser Grenzwerte auch auf Bestandsgüterwagen in Betracht.

Sollen also Lärmemissionsgrenzwerte für Güterwagen verschärft und auch für Bestandsgüterwagen eingeführt werden, so sollten entsprechende Initiativen zur Änderung der Vorgaben der TSI Lärm auf europäischer Ebene ergriffen werden. Ein solches Vorgehen erscheint auch angesichts des Umstandes, dass auch auf europäischer Ebene sowohl strengere Grenzwerte als auch eine Ausdehnung des Anwendungsbereichs der TSI auch auf Bestandsfahrzeuge bereits diskutiert worden sind, zur jedenfalls längerfristig zwingenden Absicherung einer umfassenden Umrüstung auch der ausländischen Güterwagen – und damit auch zur Schaffung einheitlicher Wettbewerbsbedingungen auf dem europäischen Eisenbahnmarkt – rechtlich und politisch sinnvoll.

Die EU-Kommission hat in ihrem Arbeitspapier „Rail freight noise reduction“⁴⁰³ im Dezember 2015, das im Kontext der politischen Bemühungen zur Beseitigung der Grauguss-Bremssohlen entstand, hierzu ausgeführt:

“In this context among possible measures reducing rail noise the following ones merit particular attention:

⁴⁰¹ Siehe Bundesnetzagentur (2023): Marktuntersuchung Eisenbahnen 2023, 5. Sonderausgabe Marktentwicklungen 2022 unter den Bedingungen der Covid-19-Pandemie, S. 20.

⁴⁰² Richtlinie zur Förderung des Schienengüterverkehrs über eine anteilige Finanzierung der Betriebskosten im Einzelwagenverkehr (BK-EWV) vom 21. Mai 2024.

⁴⁰³ Leitlinie zur Bekämpfung von Schienengüterverkehrslärm zum internen Dienstgebrauch, SWD (2015): 300 final vom 22.12.2015.

- *Harmonisation of Noise-Charging Principles (...)*
- *European and National Co-Funding of Retrofitting (...)*
- *Application of TSI Noise to Existing Freight Wagons*

Currently, only new wagons have to respect noise limit values set in TSI Noise. This does not allow for a sufficiently rapid transformation of the EU fleet towards silent wagons, as demonstrated above. On the other hand, it would be disproportionate and costly to impose an obligation that all existing noisy wagons comply with TSI Noise limits by a given date without providing an appropriate transition period and financial assistance.

Whilst the Interoperability Directive does not currently allow for the application of TSIs to rolling stock approved for operation before the entry into force of a given TSI, that is, to "existing wagons", the Recast Interoperability Directive, which forms part of the 4th Railway Package⁴⁰⁴, has established the appropriate legal basis.

The gradual introduction of the rail noise limit values set out in TSI Noise through three steps might be an avenue to be considered in the future. It might take a following form:

- *Step 1, the supporting financial measures available for the railway sector will help it to retrofit existing freight wagons, especially the international ones, with composite brake blocks.*
- *Step 2, the TSI Noise limit values might apply to all international freight wagons, with the possibility, under certain conditions, for Member States to allow the circulation on their territory of international freight wagons that do not comply with these values.⁴⁰⁵*
- *Step 3, full applicability of TSI Noise to all existing freight wagons might be considered at certain point in time.⁴⁰⁶ The existence of financial support for retrofitting existing freight wagons coupled with these steps would enable a smooth switch from the current system to the new one."*

Zwar hat damit bereits die Europäische Kommission selbst die – schrittweise einzuführende und durch andere Maßnahmen begleitete – Verschärfung und Anwendung der Grenzwerte der TSI Noise auch auf Bestandsgüterwagen in Erwägung gezogen. Damit kann es insbesondere angesichts des Fehlens eigener nationaler Handlungsmöglichkeiten im Bereich des Emissions-schutzrechts rechtlich sinnvoll und politisch angebracht erscheinen, eine Änderung und Verschärfung der lärmbezogenen technischen Anforderungen an Bestandsgüterwagen durch die Anwendung der bislang nur für neue Güterwagen geltenden und möglicherweise weiter zu verschärfenden Lärmgrenzwerte der TSI Noise künftig auch auf Bestandsgüterwagen auf europäischer Ebene anzustreben. Allerdings erscheinen die tatsächlichen Erfolgsaussichten eines derartigen Vorgehens angesichts der nicht erkennbaren Bereitschaft zahlreicher Mitgliedstaaten zu einem solchen Vorgehen als ausgesprochen begrenzt.

⁴⁰⁴ COM (2013) 30 final – 2013/0015 (COD).

⁴⁰⁵ "For the setting out the transitional period the following elements might be taken into consideration:

- the duration of the EU noise-differentiated track access charges scheme is 2016-21, as provided for in the Commission's implementing Regulation (EU) 2015/429 on noise charges;
- the Environmental Noise Directive requires Member States to prepare strategic noise maps no later than 30 June 2017 and subsequently every five years;
- the usual -year wagon maintenance cycle amounts to 7 years."

⁴⁰⁶ "It is estimated that in case of applying the describe package as many as 97 % of wagons might already be silent by 2026."

Zumindest mittelbar kann daneben die Anwendung der aktuellen oder möglicherweise auch künftig zu verschärfenden Lärmemissionsgrenzwerte der TSI Noise auch für Bestandsfahrzeuge über den weitergehenden Einsatz des Instruments der „Quieter Routes“ bewirkt werden. Nach diesem Konzept gilt ab Dezember 2024 in der EU auf bestimmten besonders güterverkehrslärm-belasteten Strecken ein Verbot des Einsatzes sogenannter „nicht-lärmarmer Güterwagen“.⁴⁰⁷ Erfasst werden dabei grundsätzlich alle auf diesen Strecken verkehrenden Güterwagen, also auch die Bestandsgüterwagen, die damit von der Nutzung dieser Strecken ausgeschlossen sind.

Finanzielle Förderung der lärmreduzierenden Umrüstung von Bestandsgüterwagen und der Anschaffung leiserer Güterwagen durch die EU

Weiter kann die finanzielle Förderung der Umrüstung von Bestandsgüterwagen ebenso wie der Anschaffung leiserer Güterwagen auf europäischer Ebene durch Mittel unmittelbar aus dem EU-Haushalt in Betracht gezogen werden.

Hier kommt eine Nutzung der Mittel der Connecting Europe Facility⁴⁰⁸ für diesen Zweck in Betracht. Auf die bisherige Nutzung dieser Möglichkeit für die Umrüstung von Güterwagen auf Verbundstoff-Bremssohlen – parallel zu einer mitgliedstaatlichen Förderung aus nationalen Mitteln – hat die Europäische Kommission selbst in der VO (EU) 2024/327 der Kommission vom 19. Januar 2024⁴⁰⁹ hingewiesen, mit der sie die Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 der Kommission vom 13. März 2015 zur Festlegung der Modalitäten für die Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen⁴¹⁰ aufgehoben hat. Hierzu könnte spezifisch die Förderung eines leiseren Güterverkehrs auf der Schiene über die Abschaffung der Graugussbremssohle hinaus in das Förderprogramm der Connecting Europe Facility Verkehr aufgenommen werden, und die Bundesrepublik Deutschland könnte eine entsprechende Fördermöglichkeit beantragen. Daneben kann auch eine Förderung über die Europäischen Struktur- und Investitionsfonds in Betracht kommen.

Finanzielle Förderung der lärmreduzierenden Umrüstung von Bestandsgüterwagen und der Anschaffung leiserer Güterwagen durch die Bundesrepublik Deutschland

Die Bundesrepublik Deutschland kann die Umrüstung von Bestandsgüterwagen und die Anschaffung leiserer Güterwagen national aus Mitteln des Bundeshaushaltes im Rahmen der unionalen beihilfenrechtlichen Vorgaben fördern.

Hier kommt zum einen eine Förderung in Anwendung der aktuellen unionalen Gruppenfreistellungsverordnung⁴¹¹ ohne Durchführung eines Beihilfeaufsichtsverfahrens durch die Europäische Kommission in Betracht. Anwendung finden kann Abschnitt 7 § 36 der Gruppenfreistellungsverordnung, nach dessen Absatz 1 *„Investitionsbeihilfen für den Umweltschutz einschließlich Beihilfen zur Verringerung und zum Abbau von Treibhausgas-emissionen (...) im Sinne des Artikels 107 Absatz 3 AEUV mit dem Binnenmarkt vereinbar und von der Anmeldepflicht nach Artikel 108 Absatz 3 AEUV freigestellt (sind), sofern die Voraussetzungen des vorliegenden Artikels und des Kapitels I erfüllt sind.“*

⁴⁰⁷ Vgl. die Art. 5a ff. der Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 der Kommission vom 26. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Lärm“ sowie zur Änderung der Entscheidung 2008/232/EG und Aufhebung des Beschlusses 2011/229/EU, ABl. 2014 L 356/421 in der Fassung der Änderung vom 23.09.2023.

⁴⁰⁸ Regulation (EU) 2021/1153 of the European Parliament and of the Council of 7 July 2021 establishing the Connecting Europe Facility and repealing Regulations (EU) No 1316/2013 and (EU) No 283/2014, OJ L202100249.

⁴⁰⁹ OJ L202400327.

⁴¹⁰ OJ L201500070.

⁴¹¹ Commission Regulation (EU) No 651/2014 of 17 June 2014 declaring certain categories of aid compatible with the internal market in application of Articles 107 and 108 of the Treaty, OJ L20140187.

Auf der Grundlage dieser Vorschrift sind – bei Einhaltung der sonstigen Vorgaben der Gruppenfreistellungsverordnung – Beihilfen bis zu einer Beihilfenintensität von 40 % der Investitionskosten oder bei Beihilfegewährung an mittlere Unternehmen von bis zu 50 % oder bei Beihilfen an kleine Unternehmen von 60 % der Investitionskosten ohne Durchführung eines Beihilfeaufsichtsverfahrens durch die Europäische Kommission zulässig.

Wenn eine höhere Beihilfenintensität angestrebt wird oder Beihilfen zu anderen als den Investitionskosten gewährt werden sollen, reicht hierfür die Gruppenfreistellungsverordnung als unionale Rechtsgrundlage allein nicht aus. In diesem Fall ist dann das in den Art. 107 f. AEUV vorgesehene Beihilfeaufsichtsverfahren durchzuführen.

Lärmabhängige Trassenpreise

Finanzielle Anreize für eine lärmreduzierende Umrüstung von Bestandsgüterwagen oder die Anschaffung leiserer Güterwagen können – allein oder kumulativ mit anderen Maßnahmen – durch ein System lärmabhängiger Trassenpreise gesetzt werden, dass zusätzlich die Möglichkeit der lärmabhängigen regionalen und temporalen Differenzierung der Trassenpreise vorsehen kann.

Die grundlegenden Vorgaben für die mögliche Gestaltung der Trassenpreise im Eisenbahnbinnenmarkt stellt das EU-Recht in der Richtlinie 2012/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. November 2012 zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Eisenbahnraums⁴¹² auf. Nach Art. 29 Abs. 1 UAbs. 1 dieser Richtlinie schaffen die Mitgliedstaaten eine Entgeltrahmenregelung, wobei die Unabhängigkeit der Geschäftsführung nach Art. 4 der Richtlinie zu wahren ist. Vorbehaltlich dieser Bedingung können die Mitgliedstaaten nach Art. 29 Abs. 1 UAbs. 2 auch einzelne Entgeltregelungen selbst festlegen oder diese Befugnis an den Infrastrukturbetreiber delegieren.

Die maßgeblichen Entgeltgrundsätze werden dann in Art. 31 der Richtlinie festgelegt. Dessen Abs. 3 UAbs. 1 regelt: *„Unbeschadet der Absätze 4 und 5 dieses Artikels und unbeschadet des Artikels 32 ist das Entgelt für das Mindestzugangspaket und für den Zugang zu Infrastrukturen, durch die Serviceeinrichtungen angebunden werden, in Höhe der Kosten festzulegen, die unmittelbar aufgrund des Zugbetriebs anfallen.“*

Dieser zentrale Entgeltgrundsatz wird dann mit Blick auf lärmabhängige Trassenpreise in Art. 31 Abs. 5 UAbs. 1 wie folgt modifiziert: *„Die Wegeentgelte nach Absatz 3 können geändert werden, um den Kosten umweltbezogener Auswirkungen aufgrund des Zugbetriebs Rechnung zu tragen. Solche Änderungen müssen nach Maßgabe der verursachten Auswirkungen differenziert werden.“*

Damit besteht nach den maßgeblichen EU-rechtlichen Vorgaben für die Festlegung der Wegeentgelte, also der Trassenpreise, die EU-rechtliche Möglichkeit, bei den Trassenpreisen im Hinblick auf die umweltbezogenen Auswirkungen aufgrund des Zugbetriebes zu differenzieren und den angesprochenen umweltbezogenen Auswirkungen bei den Trassenpreisen Rechnung zu tragen. Normativ vorgegeben wird weiter, dass die Abweichungen von der Bestimmung des Trassenpreises nach Absatz 3, also nach den Kosten, die unmittelbar aufgrund des Zugbetriebs anfallen, nach Maßgabe der verursachten Auswirkungen differenziert werden müssen, also eine Differenzierung der Abweichung nach der Intensität der umweltbezogenen Auswirkungen erfolgen soll.

Diese relativ unbestimmte Vorgabe für die konkrete Ermittlung der unionsrechtlich zulässigen Differenzierung der Trassenpreise sollte die Europäische Kommission nach Art. 31 Abs. 5 UAbs.

⁴¹² OJ L 2012 343/32.

2 der Richtlinie konkretisieren, der vorgibt: *„Gestützt auf die Erfahrungen der Infrastrukturbetreiber, der Eisenbahnunternehmen, der Regulierungsstellen und der zuständigen Behörden und in Anerkennung bestehender Regelungen über lärmabhängige Wegeentgelte erlässt die Kommission Durchführungsmaßnahmen mit Modalitäten für die Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen einschließlich der Anwendungsdauer und mit Bestimmungen, die es gestatten, dass bei der Differenzierung der Wegeentgelte gegebenenfalls die Schutzwürdigkeit des betreffenden Gebiets berücksichtigt wird, insbesondere hinsichtlich des Umfangs der betroffenen Bevölkerung und der Zugzusammensetzung und ihrer Auswirkung auf die Lärmemissionen. Diese Durchführungsrechtsakte werden gemäß dem Prüfverfahren nach Artikel 62 Absatz 3 erlassen. Sie dürfen weder zu einer unzulässigen Wettbewerbsverzerrung zwischen den Eisenbahnunternehmen führen noch die allgemeine Wettbewerbsfähigkeit des Eisenbahnsektors beeinträchtigen.“*

Auf dieser Grundlage hat die Europäische Kommission die **Durchführungsverordnung (EU) 2015/429** der Kommission zur Festlegung der Modalitäten für die Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen⁴¹³ erlassen, in der ein System möglicher lärmabhängiger Trassenpreise eingeführt und festgelegt worden ist, welche Wagen als lärmarm, nachgerüstet oder lärmintensiv eingeordnet werden sollen, und auch die Dauer der Trassenpreisdifferenzierung sowie ihre Mindesthöhe festgelegt worden sind. Diese Durchführungsverordnung ist nach dem Auslaufen des durch sie etablierten Systems lärmabhängiger Trassenpreise Ende 2021 und einer anschließenden Bewertung durch die Kommission im Januar 2024 durch die Durchführungsverordnung (EU) 2024/327 der Kommission vom 19. Januar 2024 zur Aufhebung der Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 der Kommission zur Festlegung der Modalitäten für die Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen⁴¹⁴ aufgehoben worden, so dass aktuell keine sekundärrechtliche Konkretisierung der Modalitäten einer Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen existiert.

Für die Beurteilung der aktuellen unionsrechtlichen Zulässigkeit lärmabhängiger Trassenpreise relevant ist ergänzend auch Art. 31 Abs. 5 UAbs. 3 der Richtlinie 2012/34/EU, der bestimmt: *„Jede derartige Änderung von Wegeentgelten, die dazu dient, den Kosten von Lärmauswirkungen Rechnung zu tragen, unterstützt die Nachrüstung von Wagen mit der wirtschaftlich sinnvollsten verfügbaren geräuscharmen Bremstechnik.“*

Aus einer **Gesamtschau dieser unionsrechtlichen Rechtslage** ergibt sich, dass das einschlägige Unionsrecht grundsätzlich der Einführung lärmabhängiger Trassenpreise nicht entgegensteht. Allerdings stellen solche lärmabhängigen Trassenpreise eine Abweichung vom Grundprinzip der Wegeentgeltfestsetzung, nämlich der Festlegung in Höhe der Kosten, die unmittelbar aufgrund des Zugbetriebs anfallen, dar, für die prinzipiell eine Regelung der Modalitäten durch eine Durchführungsverordnung der Kommission vorgesehen ist, damit weder Wettbewerbsverzerrungen zwischen den Eisenbahnunternehmen verursacht werden noch die Wettbewerbsfähigkeit des Eisenbahnsektors beeinträchtigt wird. Gleichzeitig macht Art. 31 Abs. 5 UAbs. 3 der Richtlinie 2012/34/EU deutlich, dass die Möglichkeit zur Einführung lärmabhängiger Trassenpreise spezifisch für die Umrüstung von Güterwagen auf Verbundstoffbremssohlen und nicht generell für alle vorstellbaren Lärmreduktionsmaßnahmen eingeführt worden ist, wie auch in den Erwägungsgründen 45 und 46 der Richtlinie 2012/34/EU zum Ausdruck kommt.

Damit stellt sich die Frage, ob das einschlägige EU-Recht die Einführung lärmabhängiger Trassenpreise, die möglicherweise nicht nur nach den Lärmemissionen der Güterwagen, sondern auch nach den befahrenen Strecken, dem Zeitpunkt der Streckennutzung und dem Vorhandensein eines insgesamt leisen Zuges differenzieren sollen und die auf andere

⁴¹³ OJ 2015 L70/36.

⁴¹⁴ OJ 2024 L327/1.

lärmmindernde Maßnahmen als auf die Umrüstung auf Verbundstoffbremsen abzielen, ohne den in Art. 31 Abs. 5 UAbs. 2 der RL 2012/34/EU vorgesehenen Durchführungsrechtsakt der Kommission und damit ohne EU-rechtliche Festlegung der leisen oder lauten Fahrzeugkategorien, der möglichen Systemausgestaltungen oder der Dauer der Anwendung eines solchen Systems zulässt.

Trotz der grundsätzlichen Akzeptanz der Notwendigkeit der weiteren Reduktion des Schienenverkehrs-lärms auch im Güterverkehr auf europäischer Ebene ist diese Frage angesichts der naheliegenden Gefahr von Wettbewerbsverzerrungen bei einer Abweichung von den grundlegenden Entgeltregelungen und der ausdrücklichen Vorgabe einer präzisierenden Festlegung der Modalitäten eines Systems lärmabhängiger Trassenpreise durch die Kommission eher zu verneinen.

Deshalb sollte **die erneute Einführung eines Systems lärmabhängiger Trassenpreise in Deutschland** nur dann und erst dann erfolgen, wenn auf europäischer Ebene geklärt ist, ob die EU oder ob zumindest die Europäische Kommission die Einführung eines solchen Systems allein auf der Grundlage des Art. 31 Abs. 5 der RL 2012/34/EU für zulässig hält oder, falls dies nicht der Fall ist, ob sie eine Änderung auch der RL 2012/34/EU für erforderlich hält oder ob sie bereit ist, eine erneute Durchführungsverordnung mit Festlegung der Modalitäten einer erneuten Einführung eines lärmabhängigen Trassenpreissystems auf der Grundlage des derzeitigen Art. 31 Abs. 5 der RL 2012/34/EU zu erlassen, die ein entsprechendes neues deutsches lärmabhängiges Trassenpreissystem ermöglicht.

Erst wenn diese Fragen zur unionsrechtlichen Zulässigkeit der erneuten Einführung lärmabhängiger Trassenpreise in Deutschland positiv geklärt sind, stellt sich die Frage nach den deutschen nationalen Vorgaben und Instrumenten zur Einführung lärmabhängiger Trassenpreise.

Im **deutschen Recht** sind für die Festlegung der Trassenpreise die Vorgaben insbesondere des Eisenbahnregulierungsgesetzes (ERegG)⁴¹⁵ maßgeblich. Dieses ERegG legt in seinem § 34 die Entgeltgrundsätze fest und bestimmt in § 34 Abs. 3 ERegG in Übereinstimmung mit den unionsrechtlichen Vorgaben des Art. 31 Abs. 3 der RL 2012/34/EU, dass das Entgelt für das Mindestzugangspaket und für den Zugang zu Eisenbahnanlagen, durch die Serviceeinrichtungen angebunden werden, in Höhe der Kosten festzulegen sind, die unmittelbar aufgrund des Zugbetriebs anfallen. Eine Ausnahme von diesem zentralen Entgeltgrundsatz sieht § 35 Abs. 2 ERegG vor, der die einschlägigen unionsrechtlichen Vorgaben des Art. 31 Abs. 5 der RL 2012/34/EU in deutsches Recht umsetzt und bestimmt: *„Die Wegeentgelte nach § 34 Absatz 3 können geändert werden, um den Kosten umweltbezogener Auswirkungen auf Grund des Zugbetriebs Rechnung zu tragen. Solche Änderungen müssen nach Maßgabe der verursachten Auswirkungen differenziert werden. Das Wegeentgelt für den Schienengüterverkehr ist nach den Lärmauswirkungen zu differenzieren. Die Differenzierung soll Anreize für die Umrüstung vorhandener Wagen auf eine Lärm mindernde Technik, insbesondere Bremstechnik setzen. Die Höhe des Gesamterlöses eines Betreibers der Schienenwege darf dadurch nicht verändert werden. Eine Anlastung umweltbezogener Kosten, die eine Erhöhung der Gesamterlöse eines Betreibers der Schienenwege mit sich bringt, ist nur dann zulässig, wenn auch im Straßengüterverkehr in Einklang mit dem Recht der Europäischen Union eine solche Anlastung erfolgt. Informationen, die erforderlich sind, um den Ursprung umweltbezogener Abgaben und ihre Anwendung verfolgen zu können, müssen aufbewahrt und der Regulierungsbehörde auf Anfrage übermittelt werden, damit diese sie der Europäischen Kommission auf deren Anfrage hin zur Verfügung stellt.“*

⁴¹⁵ Eisenbahnregulierungsgesetz vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2082), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 9. Juni 2021 (BGBl. I S. 1737) geändert worden ist.

Damit sieht das für die Grundsätze der Trassenpreisfestlegung maßgebliche deutsche Recht in Übereinstimmung mit den Vorgaben der maßgeblichen Richtlinie des Unionsrechts die Möglichkeit lärmabhängiger Trassenpreise und die Notwendigkeit der Differenzierung nach Maßgabe der verursachten Auswirkungen vor. Vorgegeben wird weiter, dass die Trassenpreisdifferenzierung Anreize für die Umrüstung der vorhandenen Wagen auf eine lärmmindernde Technik, insbesondere aber nicht ausschließlich Bremstechnik, geben soll. Ferner sieht das deutsche Recht vor, dass die danach mögliche Anlastung umweltbezogener Kosten nicht die Höhe des Gesamterlöses des Infrastrukturbetreibers verändern darf, es sei denn, dass auch im Straßengüterverkehr unionsrechtskonform eine Anlastung der umweltbezogenen Kosten erfolgt. Eine Anlastung der Lärmbelastungskosten für den Straßengüterverkehr erfolgt mittlerweile dadurch, dass nach dem Bundesfernstraßenmautgesetz ein Mautteilsatz für die verursachten Lärmbelastungskosten je Kilometer differenziert nach technisch zulässiger Gesamtmasse und Achsanzahl für mautpflichtige Fahrzeuge oder Fahrzeugkombinationen erhoben wird,⁴¹⁶ so dass durch die Einführung lärmabhängiger Trassenpreise aktuell auch eine Erhöhung des Gesamterlöses des Infrastrukturbetreibers bewirkt werden dürfte. Über die Verwendung der zusätzlichen Erlöse durch lärmabhängige Trassenpreise muss im Falle ihrer Erzielung dann allerdings der Mitgliedstaat und darf nicht das Infrastrukturunternehmen entscheiden.⁴¹⁷

Damit eröffnet das deutsche ERegG in seinen §§ 34 und 35 in Deutschland die Möglichkeit der Einführung lärmabhängiger Trassenpreise, die nach Maßgabe der verursachten Auswirkungen differenziert werden müssen und die auch zu einer Erhöhung der Summe der erhobenen Trassenpreise über die Kosten, die unmittelbar aufgrund des Zugbetriebs anfallen, führen darf. Über die Verwendung des Mehrerlöses muss die Bundesrepublik Deutschland entscheiden.

Fraglich ist allerdings, ob diese Bestimmungen des deutschen Rechts mit Blick auf die Vorgaben der RL 2012/34/EU angewendet werden dürfen, wenn und solange ein Durchführungsrechtsakt der Europäischen Kommission nach Art. 31 Abs. 5 UAbs. 2 der RL 2012/34/EU nicht vorhanden ist, wie dies aktuell nach Aufhebung der Durchführungsverordnung 2015/429/EU der Fall ist. Das deutsche Recht geht davon aus, indem es in § 35 Abs. 3 ERegG regelt, dass § 35 Abs. 2 ERegG insoweit nicht anzuwenden ist, als ein auf Grund des Artikels 31 Abs. 5 der Richtlinie 2012/34/EU erlassener Durchführungsrechtsakt eine inhaltsgleiche oder entgegenstehende Regelung trifft. Damit bringt der deutsche Gesetzgeber zum Ausdruck, dass er einen solchen Durchführungsrechtsakt nicht für erforderlich hält, damit die Mitgliedstaaten von der grundsätzlich in Art. 31 Abs. 5 der RL 2012/34/EU eröffneten Möglichkeit zur Erhebung lärmabhängiger Trassenpreise Gebrauch machen dürfen, und für den Fall des Fehlens eines solchen Durchführungsrechtsaktes selbst die weiteren unionalen Vorgaben des Art. 31 Abs. 5 der RL 2012/34/EU in deutsches Recht umsetzt.

Bei Zugrundelegung dieser Rechtsauffassung ist nach deutschem Recht bereits aktuell die Möglichkeit zur Erhebung lärmabhängiger Trassenpreise eröffnet, wenn und soweit die Kriterien für diese lärmabhängigen Trassenpreise unter Beachtung der Vorgaben der RL 2012/34/EU und der Vorgaben des § 35 Abs. 2 ERegG ausgestaltet werden und auch mit allen sonstigen Vorgaben des EU-Rechts wie des nationalen deutschen Rechts vereinbar sind.

Ein derartig ausgestaltetes, EU-rechtskompatibles lärmabhängiges Trassenpreissystem könnte gegebenenfalls auch mit einer Direktförderung lärmarmer Güterwagen kombiniert werden, ohne dass die Förderhöhe der Direktförderung um den Vorteil des Trassenpreisvorvermindert

⁴¹⁶ Vgl. Anlage 1 Ziffer 3 (zu § 3 Absatz 3) Berechnung der Höhe des Mautsatzes zum Gesetz über die Erhebung von streckenbezogenen Gebühren für die Benutzung von Bundesautobahnen und Bundesstraßen (Bundesfernstraßenmautgesetz - BFStrMG).

⁴¹⁷ Vgl. Art. 31 Abs. 5 UAbs. 5 der RL 2012/34/EU.

werden müsste, wenn und soweit diese Direktförderung mit allen Vorgaben des EU-Rechts kompatibel ist.

3.6.5 Empfehlungen

Die Empfehlungen beinhalten einen europapolitischen und einen nationalen Teil.

Europapolitischer Teil

Die Bundesrepublik Deutschland sollte in einer EU-Initiative darauf hinwirken, dass eine Förderung besonders lärmarmen Güterwagen und Güterzüge durch einen Mix aus Direktförderung, lärmabhängigen Trassenpreisen oder Trassenpreisboni und zusätzlicher Innovationsförderung nach folgenden Grundprinzipien von der EU ermöglicht und mitgetragen wird.

- ▶ Die **Direktförderung** dient der Finanzierung lärmmindernder Maßnahmen verschiedener Art für alte und neue Güterwagen. Sie erfolgt sowohl durch die EU selbst als auch, additiv, durch die Mitgliedstaaten, wenn diese das beschließen. Die zu fördernde Summe für einen Wagen darf großzügig bemessen werden und kann auch Systemkosten für die Einführung der neuen Komponenten berücksichtigen, aber natürlich bleibt es bei einer anteiligen Direktförderung.
- ▶ Förderfähig sind Maßnahmen, von denen in Zulassungsmessungen eine signifikante Lärminderung nachgewiesen wurde. Insbesondere ist die Ausstattung von Güterwagen mit Scheibenbremsen in Verbindung mit Rädern mit geradem Steg und Gleitschutz förderfähig. Auch der Einsatz von Radschallabsorbern ist förderfähig. Im Falle des Nachweises einer signifikanten Lärminderung kommen weiterhin in Frage: Schallschürzen, lärmarme Drehgestelle oder deren Komponenten wie zusätzliche Federungen oder radialeinstellende Räder, Maßnahmen zur Vermeidung von Lärmquellen an den Wagenaufbauten und andere Maßnahmen. Die Förderfähigkeit von solchen Maßnahmen wird vom jeweiligen Geldgeber bestimmt. Dies gilt auch für den Grad der Förderung.
- ▶ Die **lärmabhängigen Trassenpreise oder Trassenpreisboni** werden von den Mitgliedstaaten gestaltet und ggf. finanziert, wenn diese das wollen. Sie dienen in erster Linie der **Einsatzlenkung** für lärmarme Güterwagen und -züge, indem sie Anreize setzen, die vorhandenen lärmarmen Wagen zu lärmarmen Zügen zusammenzustellen und diese vorrangig an den Hotspots der Lärmbelastung (oder anderen von den Nationalstaaten zur Bevorzugung ausgewählten Trassen) einzusetzen. Entsprechend können die lärmabhängigen Trassenpreise oder Trassenpreisboni **räumlich und zeitlich differenziert** werden. Da sie langfristig angelegt sind, sollte ihre Gültigkeit nicht zeitlich begrenzt werden. Die Trassenpreisförderung⁴¹⁸ gilt grundsätzlich für alle Züge, die aus Güterwagen bestehen, deren rechnerische Lärmemissionen, wie sie in den Zulassungsmessungen ermittelt wurden, unter einer vom Mitgliedstaat festgelegten Grenze liegen. Daher ist die Trassenpreisförderung grundsätzlich technologieoffen. Möglich sind auch gestaffelte Trassenpreisförderungen für unterschiedlich stark lärmgeminderte Güterzüge. Güterzüge, deren Wagen Scheibenbremsen (in Verbindung mit Rädern mit geradem Steg und Gleitschutz) aufweisen, sollten eine relativ starke Trassenpreisförderung erhalten.
- ▶ Ergänzende Programme der **Innovationsförderung** zum Zweck der Minderung von Lärmbelastungen können von der EU oder den Mitgliedstaaten eingerichtet werden. Zum

⁴¹⁸ Mit Trassenpreisförderung ist im Falle eines lärmabhängigen Trassenpreissystems der abgesenkte Trassenpreis für lärmarme Güterzüge gemeint. Im Falle staatlich geförderter Trassenpreisboni für lärmarme Güterzüge sind diese Boni gemeint.

Beispiel kann sich eine Innovationsförderung an EVU, Wagenhalter oder unabhängige Firmen richten, um Dispositionssysteme (Soft- und Hardware) zur Einsatzlenkung von Güterwagen angesichts räumlich-zeitlich differenzierter Trassenpreise oder -boni zu entwickeln. Innovationsförderung kann sich auch an EVU, Wagenhalter oder Betreiber von Instandhaltungswerken richten, um Dispositionssysteme und Ausbildungsprogramme für den effizienten Umgang mit neuartigen Komponenten wie Scheibenbremsen, Gleitschutz usw. zu entwickeln. Innovationsförderung kann auch für die Entwicklung neuartiger lärmindernder Maßnahmen und die damit verbundenen Zulassungsmessungen gewährt werden.

Nationaler Teil

Nach der Abstimmung mit der EU sollte die Bundesregierung diese Instrumente im nationalen Rahmen umsetzen. Lärmarme Güterzüge sind sofort auch in der Schall 03 zu berücksichtigen. Als politische Überschrift für das Programm wäre **„die Schaffung des modernen, lärmarmen Güterwagens der Zukunft“** sachgerecht, denn es werden hauptsächlich neue Güterwagen, die auch mit der DAK und ihren Folge-Innovationen ausgestattet werden, Gebrauch von dieser Förderung machen. Sicherlich wird es daneben auch Förderprogramme für die Ausstattung von neuen und gebrauchten Güterwagen mit der DAK und ihren Folge-Innovationen selbst geben. Dann könnte die genannte Überschrift auch für das Gesamtprogramm der Förderungen gewählt werden. Wichtig ist in dem Fall jedoch, dass die Förderung der lärmarmen Komponenten freiwillig und zusätzlich zur Förderung der DAK gewährt wird. Denn die Umstellung auf DAK ist essenziell für die Zukunft des SGV und der Verkehrswende; sie darf nicht durch eine erzwungene, draufgesattelte Ausstattung mit lärmindernden Maßnahmen erschwert oder behindert werden.

Während ein lärmabhängiges Trassenpreissystem zeitlich unbegrenzt gültig sein kann, müssen alle Fördermaßnahmen mit budgetärer Wirkung sowohl zeitlich als auch budgetär begrenzt sein. Daher ist, wenn mit Trassenpreisboni begonnen werden soll, nach einer gewissen Zeit ein Wechsel zu einem selbstfinanzierenden lärmabhängigen Trassenpreissystem vorzusehen, sofern die Trassenpreisboni dann nicht verlängert werden. Auch die Direktförderungen und Innovationsförderungen werden grundsätzlich auslaufen, können aber verlängert oder durch neue Programme ersetzt werden.

Hinsichtlich der Scheibenbremsen (in Verbindung mit Rädern mit geradem Steg und Gleitschutz) wurde in Abschnitt 3.6.2.7 argumentiert, dass diese bei hohen Laufleistungen der Wagen nach ihrer Einführung selbstfinanzierend sind, so dass eine Direktförderung nicht nötig erscheint, zumal diese Wagen anschließend in den Genuss der Trassenpreisförderung kommen, sofern sie entsprechend eingesetzt werden. Doch sind mit der Einführung und anfänglichen Verbreitung dieser Technologie Einführungs- und Systemkosten verbunden, die zunächst zu überwinden sind (siehe Abschnitt 3.6.3.3). Daher wird vor allem eine **anfängliche Direktförderung der Scheibenbremse** empfohlen, da es besonders wichtig ist, dieser Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. Die Förderung der Scheibenbremse sollte am Anfang besonders hoch ausfallen, kann dann aber recht schnell degressiv gestaltet werden und schließlich auslaufen.

In den Genuss der **Trassenpreisförderung** sollten **lärmarme Güterzüge** kommen, die zu 100 % aus solchen Wagen bestehen, deren rechnerische Lärmemissionen höchstens den Zulassungsmessungen für Wagen mit Scheibenbremsen in Verbindung mit Rädern mit geradem Steg und Gleitschutz entsprechen. Nach derzeitigen Erkenntnissen liegt dies etwa 3 dB(A) unterhalb der Grenzwerte der TSI Noise. Über darüberhinausgehende, gestaffelte Trassenpreisförderungen für

noch stärker abgesenkte Lärmemissionen kann entschieden werden, wenn Zulassungsmessungen und Erkenntnisse für weitere lärmindernde Maßnahmen vorliegen. Die Trassenpreisförderung sollte für Trassen gelten, die an den besonders belasteten Strecken in der Nacht liegen. In räumlicher Hinsicht wird dies vermutlich mit den anerkannten „Quieter Routes“ weitgehend übereinstimmen, wobei anfänglich der deutsche Abschnitt des Rhein-Alpin-Korridors im Vordergrund stehen sollte.

Hauptadressat für diese Politik sind **die Ganzzüge des kombinierten Verkehrs**, die überwiegend aus Containertragwagen und Taschenwagen bestehen. Diese Züge des kombinierten Verkehrs absolvieren jährliche Laufleistungen über 150.000 Kilometer.⁴¹⁹ Sie machen einen Anteil von etwa 25 % allen Güterwagen aus. Aufgrund ihrer sehr hohen Laufleistung beträgt ihr Anteil an Verkehrsleistung (in tkm) aller Güterwagen etwa 40 %. Da die Wagen im Kombinierten Verkehr oft relativ leichte Ladungen transportieren, wird dies etwa 50 % der Laufleistung (in Wagen-Kilometer) aller Güterwagen entsprechen.

Es sei betont, dass diese Verbesserung ohne volkswirtschaftliche Kosten erreicht wird, sondern sogar einen volkswirtschaftlichen Gewinn bringt, ebenso wie er auch einen betriebswirtschaftlichen Gewinn für die Eisenbahnverkehrsunternehmen bringt. Denn bei diesen hohen Laufleistungen über 150.000 Kilometer pro Jahr sind die vorgeschlagenen Maßnahmen (Scheibenbremse, Räder mit geradem Radsteg, Gleitschutz und innovatives Drehgestell) aufgrund von Einsparungen bei den laufenden Kosten (Radverschleiß und Energiekosten) betriebswirtschaftlich günstiger als herkömmliche Klotzbremsen. Siehe dazu Anhang A.3.2. Da der angestrebte Technologiewandel in Hinblick auf die externen Effekte der Lärmbelastung volkswirtschaftlich höher bewertet wird als aus betriebswirtschaftlicher Sicht, sollte man ihn dennoch fördern. Denn Unternehmen ergreifen nicht immer jede Möglichkeit der Gewinnsteigerung, sondern setzen Prioritäten. Da mit dem Technologiewandel Systemkosten verbunden sind, kann es sein, dass ohne Förderung die Prioritäten anders gesetzt würden.

Setzt man die Kostendifferenz zwischen einem Neuwagen mit Scheibenbremse und Gleitschutz gegenüber einem Neuwagen mit Klotzbremse mit 40.000 Euro an, so impliziert eine 40-prozentige Förderung dieser Differenz eine Fördersumme von 16.000 Euro (die Kostenersparnis für die Verwendung von Rädern mit geradem Steg ebenso wenig eingerechnet, wie die Zusatzkosten für ein innovatives Drehgestell, welches sich bei hohen Laufleistungen ebenfalls selbst finanziert). Wenn insgesamt 3.500 Neuwagen gefördert werden sollen (dies entspricht etwa 10 % aller Wagen des kombinierten Verkehrs), so ergibt sich eine budgetäre Belastung des Staates in Höhe von 56 Mio. Euro (an der sich die EU beteiligen könnte, zum Beispiel im Rahmen der CEF). Für den Güterverkehrssektor ist dies entsprechend gewinnsteigernd, wie jede gelungene Innovationsförderung. Mit 3.500 Wagen sollte der Durchbruch für die neuen Technologien, also insbesondere die Überwindung der Systemkostenhürde, gelungen sein, so dass weitere Neuwagen allein schon wegen der Trassenpreisförderung mit dieser Technologie nachgefragt werden.

Das Trassenpreisinstrument ist, sobald es einmal eingeführt wurde, **ein flexibles Instrument**. Sollte ein gewähltes Trassenpreisdifferenzial eine zu geringe Wirkung entfaltet, kann es erhöht werden. Es besteht auch die Möglichkeit, nicht-lärmarme Güterzüge mit Trassenpreisaufschlägen an den Hotspots zu sanktionieren. Die trassenpreisliche Bevorzugung lärmarmen Güterzüge sollte am Anfang stark sein und kann danach reduziert werden, wenn die Unternehmen die Einsatzlenkung dieser Wagen – insbesondere ihre Zusammenstellung zu lärmarmen Zügen – gelernt haben. Das **Trassenpreisdifferenzial** kann zuerst auf wenige

⁴¹⁹ In DB Cargo AG, VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“, wird für einen Containertragwagen eine Laufleistung von 150.000 km pro Jahr angenommen.

Strecken beschränkt werden, bei denen erstens eine Lärminderung besonders nötig ist und zweitens ein sinnvoller Business Case für die EVU erkennbar ist, sich an dem Trassenpreisdifferenzial gewinnbringend auszurichten. Es sollte also nicht verstreut an allen kleinen Streckenabschnitten mit Hotspots gelten, sondern könnte anfangs kompakt auf den Rhein-Alpin-Korridor beschränkt werden. Wenn im Laufe der Zeit mehr leise Güterzüge in Umlauf kommen, kann es auf alle „Quieter Routes“ oder einen Großteil von ihnen erweitert werden. Wenn zunehmend auch lärmarme Güterzuglokomotiven in Umlauf kommen (siehe dazu Abschnitt 3.3.3), dann kann die Definition des lärmarmen Güterzuges angepasst werden, so dass er auch eine lärmarme Lok aufweisen muss. Bei solchen Änderungen ist darauf zu achten, dass die Politik dennoch berechenbar bleibt und eine einmal eingeführte trassenpreisliche Bevorzugung für einen ausreichend langen Zeitraum garantiert bleibt, sodass Verhaltensanpassungen für die EVU betriebswirtschaftlich sinnvoll sind.

3.7 Lärminderung bei Abstellanlagen

3.7.1 Handlungsbedarf bei Abstellanlagen

Eine Abstellanlage ist eine Gleisanlage zur Abstellung von Zügen, insbesondere in der Nacht. Die Abstellung von Zügen geschieht teilweise verstreut auf Einzelgleisen der EIU in der Nähe zum jeweiligen Einsatzort am nächsten Morgen. In diesem Fall gilt das Einzelgleis als Abstellanlage. Es gibt jedoch auch größere Ausfädelungen von Abstellgleisen, auf denen mehrere Züge abgestellt werden. In diesem Fall gilt der ganze Bereich von Abstellgleisen als Abstellanlage.

Gemäß dem Bericht „Managing Noise from Parked Trains“ für den Internationalen Eisenbahnverband (Union Internationale des Chemins de fer, UIC)⁴²⁰ stellen Abstellanlagen, insbesondere die des Schienenpersonenverkehrs, einen Hotspot der Lärmbelastung dar. Vor allem in der Nacht werden viele Fahrzeuge weiterhin mit elektrischer Energie versorgt (über die Oberleitung oder per Elektrant), damit diese schnell für den Betriebsbeginn am nächsten Morgen betriebsbereit sind und Aggregate des Fahrzeugs vor zu hohen oder niedrigen Temperaturen geschützt werden. Dann können auch die verschiedenen Aggregate wie beispielsweise Kühl- und Heizsystem oder Klimaanlage angeschaltet bleiben und entsprechend Schall emittieren.

Die Lärminderung an Abstellanlagen und abgestellten Fahrzeugen ist in der jüngeren Vergangenheit stärker in den Fokus gerückt und war Forschungsgegenstand verschiedener internationaler Studien. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) gab im Jahr 2017 die VDV-Mitteilung 1541 „Geräusche von Eisenbahnfahrzeugen in der Fahrzeugabstellung einschließlich Vorbereitungs- und Abschlussdienst“ heraus (im Folgenden mit Kurzzitat VDV (2017) verwiesen).⁴²¹ Zu nennen ist ferner die jüngst erschienene Studie „Noise from parked and stationary trains: An analysis of operational and technical solutions“ für den UIC Sustainability⁴²² (im Folgenden zitiert als UIC Sustainability (2023)), die sich explizit diesem Thema widmet und bisherige Studien wie die VDV-Mitteilung 1541 miteinbezieht.

Bei stehenden Zügen, die nicht abgeschaltet sind, können gemäß UIC Sustainability (2023) folgende Aggregate als Schallquellen in Erscheinung treten:

- Heizung sowie Kühlsysteme (Lüfter und Pumpen) für Motoren, Generatoren und Antriebssysteme

⁴²⁰ UIC (2014): Managing Noise from parked Trains: UIC Research Project.

⁴²¹ VDV (2017): Geräusche von Eisenbahnfahrzeugen in der Fahrzeugabstellung einschl. Vorbereitungs- und Abschlussdienst.

⁴²² UIC Sustainability (2023): Noise from parked and stationary trains: An analysis of operational and technical solutions: Noise and Vibration Technical Advice (NOVITA) Project.

- ▶ Klimaanlage für Fahrgastraum und Führerraum
- ▶ Druckluftkompressoren
- ▶ Lufttrockner
- ▶ Systeme der Energiebereitstellung (Motoren, Generatoren, Batterie und Pantograf)
- ▶ Transformatoren und Konverter
- ▶ Kühlsysteme für Restaurantwagen und Güterwagen

Im Allgemeinen sind die zuerst genannten Kühlsysteme des Fahrzeugs die dominanten Schallquellen. Ergänzend sind außerdem Warnsignale zu nennen. Diese umfassen Türgeräusche, die bspw. infolge der Fahrzeugreinigung auftreten, und den Makrofontest.

Der emittierte Schall ist abhängig vom Betriebszustand, den das Fahrzeug im Zusammenhang mit der Abstellung einnimmt. Grundsätzlich sind folgende **Betriebszustände** zu unterscheiden:

- ▶ **Abrüstung:**⁴²³ Das Fahrzeug wird aus dem fahrbereiten, aufgerüsteten Zustand in einen der abgestellten Betriebszustände gebracht, die in den folgenden Punkten genannt werden.
- ▶ **Standby:** Das Fahrzeug befindet sich in einem abgestellten Betriebszustand, der ein schnelles Aufrüsten in den fahrbereiten Zustand ermöglicht. Einige Aggregate werden in einem reduzierten Betriebsmodus betrieben.
- ▶ **Schlummern:** Das Fahrzeug befindet sich in einem Energiesparmodus. Die emittierenden Aggregate sind entweder abgeschaltet oder werden, sofern möglich, in einem reduzierten Modus betrieben. Dies hat zur Folge, dass die vom Fahrzeug emittierten Geräusche reduziert sein können.
- ▶ **Abgeschaltet:** Alle Aggregate sind abgeschaltet. Der Pantograf ist heruntergefahren. Kein Schall wird durch das Fahrzeug emittiert.
- ▶ **Aufrüstung:** Das Fahrzeug wird aus einem der drei genannten abgestellten Betriebszustände in den fahrbereiten Zustand gesetzt. Hierbei dauert der Prozess aus dem abgeschalteten Zustand am längsten, während er aus dem Standby am kürzesten ist. Insbesondere beim Aufrüsten aus dem abgeschalteten Zustand können höhere Schallemissionen erwartet werden, da hier z. B. der Kompressor länger im Betrieb sein muss, um den nötigen Druck in der Druckluft-Anlage herzustellen und es bei diesem Vorgang auch zu impulshaften Kondensat/Luft-Ausblasungen kommen kann. Siehe dazu auch die Veröffentlichung „Lärmmanagement abgestellter Züge“ von Isert et al., im Folgenden zitiert als Isert et al. (2016).⁴²⁴

Für die genannten Aggregate und Betriebszustände können verschiedene Maßnahmen der Lärminderung in Betracht kommen.

3.7.2 Technische und betriebliche Maßnahmen zur Lärminderung bei der Abstellung von Fahrzeugen insb. des SPNV

Für Lärminderungen kommen sowohl technische als auch betriebliche Maßnahmen in Betracht. Weiterhin können auch an der Infrastruktur Maßnahmen ergriffen werden. Die

⁴²³ Dieser Betriebszustand wird in VDV (2017) als „Technikschutz zu Beginn der Abstellung“ definiert.

⁴²⁴ Isert et al. (2016): Lärmmanagement abgestellter Züge.

Auswahl der geeigneten Maßnahmen ist stark vom konkreten Anwendungsfall abhängig. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieses Gutachtens eine Übersicht über verschiedene Maßnahmen gegeben.

Technische Maßnahmen am Fahrzeug

Der Bericht UIC Sustainability (2023) verweist für die technischen Maßnahmen auf diejenigen, die in der VDV-Mitteilung VDV (2017, S. 11f) genannt werden. Diese werden nachfolgend weitestgehend zitiert, mit wenigen Abwandlungen.

Technisch-mechanische Auslegungen oder Maßnahmen:

- ▶ Einsatz von schalloptimierten Komponenten, wie z. B.:
 - Ventilatoren mit sphärisch ausgerichteten Blättern oder Schaufeln
 - Druckluftherzeuger (Schraubenkompressor)
- ▶ Kapselung von schallemittierenden Aggregaten
- ▶ Anordnung von schallemittierenden Aggregaten in Maschinenräumen
- ▶ Anpassung der Dimensionierung und Positionierung von emittierenden Aggregaten oder Gehäusen, wie z. B.:
 - Wärmetauscher mit damit verbundenen Lüftern (u. a. Einsatz von Reflektoren oder Spoilern zur Ablenkung von Schallwellen, wie z. B. Dachblenden)
 - Ausrichtung des Druckluftausritts (z. B. Austritt von Kondensat, Hauptschaltersteller) in Fahrzeuglängsrichtung
- ▶ Gezielter Einsatz von Schalldämpfern für Luft- oder Kondensat-Auslässe
- ▶ Verringerung von Innenraumerhitzung in Folge von Sonneneinstrahlung⁴²⁵, z. B. durch:
 - Nutzung von Sonnenschutzsystemen bei Seitenfenstern (z. B. verdunkelte Gläser, Schutzfolien)
 - Einsatz (automatisch) absenkbarer Sonnenschutzrollos im Fahrerstand
- ▶ Gezielte Nutzung des Umluftbetriebs zu Kühl- und Heizzwecken. Die Nutzung von Umluft ist in der Regel energiesparender im Vergleich zum Frischluftbetrieb. Dadurch kann die Klimaanlage in einem Betriebszustand mit geringerer Last und damit geringeren Geräuschemissionen betrieben werden.

⁴²⁵ Durch eine geringere Innenraumerhitzung kann die erforderliche Kühlleistung im Innenraum vermindert werden, folglich können die Kühlsysteme in einem lastreduzierten und damit schallgeminderten Betriebsmodus arbeiten.

Technisch-funktionale Auslegungen oder Maßnahmen:

- ▶ Komponenten sollten so steuerbar sein, dass ein bedarfsoptimierter Betrieb während der Abstellung möglich ist (energie- und schalloptimierte Abstellung). Hierfür sind ggf. sowohl an der Hardware als auch an der Software Anpassungen erforderlich.
- ▶ Steuerung von Funktionen oder Komponenten zur Reduzierung der Häufigkeit und Dauer von akustischen Wirkungen vor und nach der Abstellung bzw. aus dem und zum Fahrbetrieb, z. B. durch:
 - Optimierte Nachlaufen der Lüfter (z. B. zur Kühlung der Traktions- bzw. Energieversorgungstechnik)⁴²⁶
 - Vorwiegendes Lüften mit reduzierten Drehzahlen für Luftwechsel im Fahrzeuginnenraum (Fahrerstand, Fahrgastraum) bei höheren Außentemperaturen, z. B. bei über 35°C und direkter Sonneneinstrahlung
- ▶ Regelungssysteme zur bedarfsorientierten Temperierung des Fahrzeuginnenraumes. Das Eisenbahnverkehrsunternehmen definiert anhand ggf. vorhandener Regelwerke oder Rechtsnormen, wie die Temperierung für die einzelnen Prozesse (z. B. Reinigung) oder Fahrzeugzustände einzustellen ist und welche Person dafür verantwortlich ist. Hierbei kommen als lärm mindernde Maßnahmen infrage:
 - Der Einsatz sollte konfigurierbar sein, z. B. Einstellmöglichkeit des Zeitpunkts, zu dem voll klimatisiert sein soll
 - Herstellung optimierter Fahrzeugzustände, z. B. ist für den Fahrzeugzustand „Fahrzeuginnenraum für Reinigung“ ggf. keine Lüftung in einem definierten Temperaturfeld erforderlich. Die Bedienung könnte z. B. über einen Schalter „Fahrzeug Aktivieren für Fahrzeugreinigung“ erfolgen
 - Unterstützung von Personal-/betrieblichen Handlungen durch Assistenzsysteme, z. B. unter Nutzung von geeigneten Mensch-Maschine-Schnittstellen

Das Lärm minderungspotenzial der verschiedenen genannten Maßnahmen ist sehr unterschiedlich und auch abhängig von der jeweiligen Problemstellung. In UIC (2023, S. 46) werden Beispiele für nachgerüstete, technische Maßnahmen dargelegt, die eine Schallminderung von 6 dB(A) bis 15 dB(A) gegenüber dem Ursprungszustand erzielen.⁴²⁷

Sofern die Nachrüstungen von Lärm minderungsmaßnahmen nicht Sicherheitsanforderungen betreffen, ist davon auszugehen, dass keine umfangreichen Zulassungen erforderlich sind.⁴²⁸ Ein Nachweis der Schallminderung durch die getätigten Maßnahmen sollte allerdings erbracht werden.

⁴²⁶ Durch das Nachlaufen des Lüfters sollen Beschädigungen der Technik vermieden werden, die bspw. infolge von Wärmenestern auftreten können. Daher wird oft zu stark gekühlt, da dies keinen Schaden anrichten kann.

⁴²⁷ So wurde das Auslassventil eines Kompressors mit einem Dämpfer ausgerüstet, sodass sich 6 dB(A) Minderung ergaben. Durch den Einbau eines Lüfters einer Klimaanlage, welcher unterschiedliche Lüftergeschwindigkeiten erlaubt, und entsprechende Softwareanpassungen konnten 9 dB Minderung erzielt werden. 15 dB Minderung konnten beim Austausch einer Klimaanlage durch eine Wärmepumpe erzielt werden, die in der Abstellung abgeschaltet wird. Das Fahrzeug wird in diesem Fall lediglich elektrisch beheizt.

⁴²⁸ Siehe Durchführungsverordnung (EU) 2018/545 der Kommission vom 4. April 2018 über die praktischen Modalitäten für die Genehmigung für das Inverkehrbringen von Schienenfahrzeugen und die Genehmigung von Schienenfahrzeugtypen gemäß der Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates, 06.04.2018.

Betriebliche Maßnahmen an der Abstellanlage

In der Veröffentlichung „Lärmmanagement abgestellter Züge“ (Isert et al. 2016) werden denkbare betriebliche Maßnahmen vorgeschlagen, die sich grundsätzlich in drei Kategorien zusammenfassen lassen:

- **Lärmoptimierte Fahrzeugabstellung:** Die Fahrzeuge werden so zueinander positioniert, dass sie an den relevanten Immissionsorten die geringsten Immissionen verursachen. Laute Fahrzeuge werden also möglichst weit von Wohnhäusern entfernt abgestellt. Es können auch leisere Fahrzeuge so platziert werden, dass lautere Fahrzeuge abgeschirmt werden. Je nach Abstellanlage können sich hieraus höhere Kosten in Form von längeren Dienstzeiten ergeben, wenn sich die Wege verlängern. Die Lärminderung ist abhängig von der Abstellanlage (Anzahl Gleise, Lage zu Immissionsorten), der Anzahl abzustellender Fahrzeuge und den Fahrzeugen selbst. Hierfür können Berechnungstools zum Einsatz kommen, mit denen man für einzelne Immissionsorte die Beurteilungspegel bestimmen kann.⁴²⁹
- **Optimierung der Betriebsprozesse:** Das Zugpersonal wird geschult, Aggregate so einzustellen, dass sie in der Abstellung möglichst geräuscharm sind. Die Lärminderung ist abhängig von den eingesetzten Fahrzeugen und den Steuerungsmöglichkeiten. Diese Optimierung kann auch durch automatisierte Systeme erfolgen, die bei den technisch-funktionalen Maßnahmen beschrieben wurden.
- **Rückmelde- und Beschwerdesysteme:** Das Zugpersonal und Anwohnende erhalten die Möglichkeit, laute Züge oder Aggregate zu melden, die daraufhin einer Inspektion und, falls möglich, Instandhaltung oder Änderung unterzogen werden. Ein automatisiertes Monitoring ist ebenfalls denkbar und auch realisiert worden. In Isert et al. (2016) wird die Lärminderung solcher Maßnahmen allerdings als gering eingestuft.

Technische Maßnahmen an der Infrastruktur

Die Veröffentlichung Isert et al. (2016) enthält auch eine Zusammenstellung von Maßnahmen an der Infrastruktur zur Minderung des Lärms an Abstellanlagen. Mögliche Maßnahmen sind der Bau von Schallschutzwänden und die Abstellung der Fahrzeuge in Abstellhallen. Zu den Nachteilen von Schallschutzwänden in diesem Zusammenhang zählt, dass die Wände besonders hoch sein müssen, um den Schall von auf dem Dach befindlichen Aggregaten zu mindern. Bei gegebenem Abstand von der Emissionsquelle zum Immissionsort sinkt zudem die Minderungswirkung der Schallschutzwand, je weiter diese vom geräuschemittierenden Fahrzeug entfernt ist. Dies erfordert, dass die Schallschutzwand besonders nah am Abstellort der Fahrzeuge errichtet werden sollte, um eine hohe Minderungswirkung zu erreichen. Dies ist jedoch nicht immer möglich. Ein Problem beim Bau von Schallschutzwänden an bestehenden Abstellanlagen stellt aktuell die Finanzierung dar, für welche es keine Förderungen analog zur Lärmsanierung gibt.

Darüber hinaus sollte auch in Abstellanlagen eine gute Pflege der Gleisinfrastruktur stattfinden. Dazu gehören die Korrektur von Abnutzungserscheinungen an der Schiene, sowie der Einsatz von Schmieranlagen bei engen Radien. Weiterhin sollten Druckluftanlagen korrekt gepflegt werden.

In Isert et al. (2016) wird außerdem eine zentrale Luft- und Stromversorgung als Maßnahme benannt, die insbesondere bei Dieselfahrzeugen zur Anwendung kommen kann, um die Dieselmotoren im abgestellten Zustand abschalten und dennoch warmhalten zu können.

⁴²⁹ Zum Beispiel BAFU, EMPA (2021): Beurteilung und Begrenzung des Lärms von abgestellten Zügen: Zusammenfassung des Empa-Berichtes und Excel zur Berechnung des Lärms von abgestellten Zügen basierend auf den Untersuchungen der Empa.

3.7.3 Empfehlungen zu Grenzwerten und lärmindernden Maßnahmen

Aktueller Stand zu Emissionsgrenzwerten von Fahrzeugen bei der Abstellung

Die TSI Noise thematisiert das Szenario Abstellung von Fahrzeugen noch nicht und enthält demgemäß auch keine Emissionsgrenzwerte hierfür. Für die 2028 anstehende Revision der TSI Noise ist vorgesehen, Grenzwerte für Geräuschemissionen bei der Abstellung mit aufzunehmen.

Der VDV hat in der **VDV-Mitteilung 1541** die Geräuschemissionen moderner Fahrzeuge bei der Abstellung dokumentiert. Die daraus abgeleiteten Werte, die sich auf den Stillstand und andere bei der Abstellung übliche Betriebszustände beziehen, wurden mit explizitem Bezug zu Triebwagen und Triebzügen ermittelt (eine Erweiterung auf weitere Fahrzeugtypen ist vorgesehen). Die VDV-Mitteilung definiert dabei keine Grenzwerte, hält jedoch fest, welche Werte mit modernen Fahrzeugen erreicht werden können (wobei die vorgestellten Werte nicht vollständig an einem einzigen Fahrzeugtyp ermittelt wurden). Die Werte können genutzt werden, um die akustische Qualität neuer Fahrzeuge nachhaltig zu sichern. Demnach ist bis zu einer Außentemperatur von 25°C ein Mittelungspegel⁴³⁰ des Fahrzeugs von 52 dB(A) möglich, bei einer Temperatur von 25°C bis 35°C sind 62 dB(A) bereits bei existierenden Fahrzeugen möglich.⁴³¹ Nach UIC (2023, S. 24) werden jedoch die Werte des VDV inzwischen seitens der Fahrzeughersteller abgelehnt, nach deren Auffassung eine mangelnde Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse des VDV vorliege, zudem bemängeln sie die darin vorgenommene Definition der Betriebszustände.

Verschiedene europäische Eisenbahnverkehrsunternehmen haben gemeinsam die Spezifikation „**EuroSpec**“ entwickelt, welche die Abstellgeräusche von elektrischen Triebzügen adressiert.⁴³² Die Spezifikation kann im Rahmen der Fahrzeugbeschaffung genutzt werden und soll die Erfahrungen verschiedener Eisenbahnverkehrsunternehmen teilen. Ziel ist es auch, die Emissionen der Fahrzeuge in der Abstellung zu reduzieren und Emissionswerte für Immissionsrechnungen zu erhalten.

Im Rahmen der EuroSpec werden unterschiedliche Messungen verlangt, die über die in DIN EN ISO 3095:2014 vorgesehenen Messungen für das Standgeräusch hinausgehen und bspw. auch eine Darstellung in Terzbändern verlangen. Die Messungen sollen für den Zustand Standby und Schlummern und dabei für jede Schallquelle separat durchgeführt werden. Die Messpositionen entsprechen dabei u. a. DIN EN ISO 3095:2014 (freiwillige Positionen, nicht verpflichtend im Rahmen der TSI Noise) was bedeutet, dass im Abstand von 7,5 m und in einer Höhe von 1,2 m und 3,5 m gegenüber den einzelnen Schallquellen gemessen wird. Dabei wird vom Standard-Messraster⁴³³ für die Standgeräusche abgewichen, um jede einzelne Schallquelle quantifizieren zu können. Sollten Geräuschquellen nicht ohne den Einfluss anderer vermessen werden können (bzw. sich die anderen Quellen nicht ausschalten lassen), so soll näher an der Geräuschquelle gemessen werden (bspw. im Abstand von 1 m). Der Vorteil der EuroSpec besteht darin, dass anhand der Messungen die Schallleistung jeder einzelnen Schallquelle für einen breiten Frequenzbereich von 25 Hz bis 10 kHz bestimmt werden kann. Diese kann für Immissionsrechnungen notwendig sein.

⁴³⁰ A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel über die Dauer einer Stunde energetisch gemittelt über alle Messpunkte für den ungünstigsten Betriebsfall. Dabei werden alle Geräusche berücksichtigt, und es werden Zuschläge gemäß TA Lärm u. a. für Impuls- und Tonhaltigkeit aufgeschlagen. Für die lautesten Messpositionen sind die Werte demnach 55 dB(A) und 65 dB(A).

⁴³¹ VDV (2017): Geräusche von Eisenbahnfahrzeugen in der Fahrzeugabstellung einschl. Vorbereitungs- und Abschlussdienst, S. 13.

⁴³² SNCF-Mobilites et al. (2019): EuroSpec. Specification Parking Noise.

⁴³³ Beim Standard-Messraster nach DIN EN ISO 3095:2014 werden die Messpunkte entlang des Fahrzeugs in gleichmäßigen Abständen verteilt. Es wird dabei nicht auf die Positionierung gegenüber einzelnen Schallquellen geachtet.

Die EuroSpec schlägt auch Grenzwerte vor. Dabei wird für Fahrzeuge mit Höchstgeschwindigkeit über und unter 250 km/h sowie zwischen den Modi Standby und Schlummern unterschieden. Diese Grenzwerte sind in Tabelle 9 dargestellt, dabei wird auch zwischen kontinuierlichen und intermittierenden Schallquellen unterschieden sowie auch Anforderungen an impulshaltige Geräusche und den Bremstest gestellt. Nach UIC (2023, S. 25) sehen die Fahrzeughersteller die Spezifikation der EuroSpec jedoch als überflüssig an, während die Eisenbahnverkehrs- und -infrastrukturunternehmen große Vorteile aufgrund der Bestimmung der Schallabstrahlung der einzelnen Schallquellen für Immissionsprognosen sehen.

Tabelle 9: Empfohlene Grenzwerte der EuroSpec für verschiedene Schallquellen in verschiedenen Betriebsphasen

Betriebsphase	Schallquelle: $v_{\max}$	Kontinuierlich $L_{pAeq,T}$	Intermittierend $L_{pAeq,T}$	Impulshaltig L_{pAFmax}	Bremstest L_{pAFmax}
Standby	< 250 km/h	64 dB(A)	58 dB(A)	75 dB(A)	80 / 90* dB(A)
Standby	≥ 250 km/h	67 dB(A)	62 dB(A)	75 dB(A)	80 / 90* dB(A)
Schlummern	< 250 km/h	50 dB(A)	55 dB(A)	75 dB(A)	
Schlummern	≥ 250 km/h	55 dB(A)	62 dB(A)	75 dB(A)	

EuroSpec-Grenzwerte für die Messposition in 7,5 m Entfernung von der Gleismitte und in 1,2 und 3,5 m Höhe, gültig für jede einzelne Schallquelle in Abhängigkeit von der maximalen Geschwindigkeit des Fahrzeugs $v_{\max}$, der Betriebsphase in der Abstellung sowie der entsprechenden Kategorien verschiedener Schallquellen (kontinuierlich, intermittierend, impulshaltig) und den Bremstest. * 90 dB(A) innerhalb Deutschlands und 80 dB(A) außerhalb Deutschlands. Quelle: SNCF-Mobilites et al. (2019): EuroSpec. Specification Parking Noise.

Im aktuellen Entwurf „prEN ISO 3095:2023“ zur Überarbeitung der DIN EN ISO 3095:2014 ist in Anhang G ein Verfahren zur Bestimmung der Parkgeräusche enthalten. Dabei werden unterschiedliche Bedingungen an die Umgebung gestellt sowie die konkreten Zustände des Fahrzeugs bei der Messung definiert. Hinsichtlich der Messpositionen wird am bisherigen Standard-Messraster für das Standgeräusch der DIN EN ISO 3095:2014 festgehalten, welches gleichmäßig um das Fahrzeug herum verteilte Messpositionen vorsieht. Dabei wird nicht auf die Positionierung einzelner Schallquellen geachtet. Gemessen werden soll in einer Höhe von 3,5 m, wobei eine zusätzliche Messung bei 1,2 m Höhe bei Bedarf zusätzlich genutzt werden kann. Als Bewertungsgröße soll der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel mit einer Messdauer von 20 Sekunden genutzt werden. Darüber hinaus sind Bewertungen anhand des AF-bewerteten Maximalpegels möglich. Nach prEN ISO 3095:2023 soll das Fahrzeug als Ganzes (ohne Kompressor) sowie im speziellen der Kompressor, der Lufttrockner sowie das Aus- und Einschalten des Fahrzeugs mit dem Hauptschalter gemessen werden. Zusätzliche Messungen der Bremsprobe sind möglich. Festzuhalten ist jedoch, dass die Ausführungen in der prEN ISO 3095:2023 nicht, wie die EuroSpec, auf die Quantifizierungen jeder einzelnen Schallquelle des Fahrzeugs in der Abstellung und deren entsprechende Schallleistungspegel abstellen.

Empfehlungen zu Emissionsgrenzwerten

Im Rahmen der Revision der TSI Noise sollen auch Grenzwerte für die Fahrzeugabstellung festgelegt werden. Den Gutachter*innen ist jedoch die Höhe möglicher Grenzwerte und das anzuwendende Messverfahren nicht bekannt. Die Vermutung ist naheliegend, dass auf die prEN ISO 3095:2023 verwiesen wird, da diese ein Messverfahren für Parkgeräusche enthält. Aus Sicht der Gutachter*innen sind jedoch die Messungen und Grenzwerte der EuroSpec zu favorisieren.

Diese sollten Einzug in die TSI Noise erhalten oder anderweitig in Deutschland umgesetzt werden.

In diesem Gutachten wird empfohlen, den **Empfehlungen der EuroSpec** weitestgehend zu folgen. Demnach sollen Elektrotriebwagen mit einer Höchstgeschwindigkeit unter 250 km/h bei jeder kontinuierlichen Schallquelle einen äquivalenten Dauerschallpegel von maximal 50 dB (Zustand Schlummern) bzw. 64 dB (Zustand Standby) einhalten. Für jede intermittierende Schallquelle ist ein A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel von 58 dB (Zustand Schlummern sowie Standby) vorgesehen. Davon wird der Makrofontest ausgenommen; dieser Ausnahme folgen die Gutachter*innen. Für impulsartige Geräusche wird, abgesehen von Bremstests, ein AF-bewerteter Maximalpegel von 75 dB vorgeschlagen.

Als weitere kurzfristige Maßnahme empfehlen die Gutachter*innen, die **Empfehlungen des VDV-Arbeitskreises zum Makrofontest** umzusetzen. Ziel ist es, eine tägliche Funktionsprüfung zu vermeiden, sodass diese aufgrund einer risikobasierten Sicherheitsanalyse in größeren Intervallen stattfinden wird. Weiterhin soll der Test dann am Tag zwischen 8 und 18 Uhr durchgeführt werden.

Lärmmindernde Maßnahmen zur Begrenzung der Immissionen bei Abstellanlagen

Die konkrete Umsetzung von Lärmminderungsmaßnahmen für Abstellanlagen hängt stark von der Anlage an sich und den darauf abgestellten Fahrzeugen ab.

Für Neufahrzeuge regen die Gutachter*innen die Durchsetzung der vorgestellten Grenzwerte an. Demnach ist es den Fahrzeugherstellern überlassen, auf welche Art und Weise sie entsprechende Geräuschpegel sicherstellen. Entsprechende Ansatzpunkte technisch-mechanischer und technisch-funktionaler Art sind in Abschnitt 3.7.2 vorgestellt worden.

Bei Bestandsfahrzeugen sind technische Maßnahmen am Fahrzeug, welche einen starken konstruktiven Eingriff benötigen, keine realistische Möglichkeit. Bei ihnen dürften sich durch Softwareanpassungen Verbesserungen bei der Abstellung erzielen lassen. Dabei ist in Abhängigkeit der Baureihe zu prüfen, inwiefern Minderungen erreicht werden können.

Die Umsetzung von betrieblichen Maßnahmen hängt stark von den individuellen Bedingungen auf den Abstellanlagen ab. Der Betreiber der Abstellanlage muss jedoch einen ordnungsgemäßen Zustand der Schieneninfrastruktur auf der Anlage sicherstellen.

Für Abstellanlagen mit zahlreichen verschiedenen Fahrzeugen sollten auch streckenseitige Maßnahmen wie Schallschutzwände in Erwägung gezogen werden, sofern die lokale Wirkung der Schallschutzwand eine ausreichende Minderung erreicht. Auf diese Weise könnte das Anpassen zahlreicher (verschiedener) Fahrzeugtypen vermieden werden.

3.7.4 Rechtliche Gestaltung des Immissionsschutzes bei der Abstellung

3.7.4.1 Rechtliche Ausgangssituation

Die rechtliche Behandlung der mit Abstellanlagen in Verbindung stehenden Immissionen ist insoweit problematisch, als hinsichtlich der rechtlichen Einordnung des zur Abstellung genutzten Gleiskörpers **zwischen dem anlagenbezogenen Immissionsschutz und dem Verkehrsimmissionsschutz differenziert werden muss**.⁴³⁴ Anders formuliert, sind die auf Gleisen, die als Abstellanlagen genutzt werden, stattfindenden Vorgänge rechtlich unterschiedlich danach zu beurteilen, ob sie der verkehrlichen Nutzung des Schienenkörpers zuzuordnen sind und damit nach § 3 Abs. 5 Nr. 3 a.E. BImSchG als öffentlicher Verkehrsweg vom

⁴³⁴ Die bei der Nutzung der Gleiskörper von den Zügen anfallenden Emissionen sind dem Gleiskörper als „indirekte Quelle“ zurechenbar. Vgl. Jarass, (2022): BImSchG, § 2 Rn. 9; § 41 Rn. 1.

Anlagenbegriff des BImSchG ausgenommen sind oder ob sie im Hinblick auf eine andere Nutzung als diejenige als öffentlicher Verkehrsweg dem Anlagenbegriff des § 3 Abs. 5 BImSchG unterfallen.

Nach der derzeitigen Rechtslage richtet sich die Abgrenzung danach, ob das Gleis als Verkehrsweg oder als bloßer Stellplatz, und damit außerhalb von Fortbewegungs- und Transportzwecken, genutzt wird. Nur in letzterem Falle handelt es sich nach der Rechtsprechung des BVerwG um eine ortsfeste Einrichtung i.S.d. § 3 Abs. 5 Nr. 1 BImSchG, und damit um eine Anlage i.S.d. BImSchG, und nicht um einen vom Anlagenbegriff des BImSchG ausgenommenen Verkehrsweg i.S.d. § 3 Abs. 5 Nr. 3 a.E. BImSchG.⁴³⁵ Dies wird maßgeblich damit begründet, dass der Verkehrslärmschutz aus systemimmanenten Gründen nur die typischen verkehrsbedingten Immissionen des jeweiligen Verkehrsträgers umfasst.⁴³⁶ Hierunter fallen neben den mit dem Fahrbetrieb selbst verbundenen Immissionen zwar auch solche, die lediglich auf mit dem Fahrbetrieb in unmittelbarem Zusammenhang stehenden Vorgängen beruhen, wie etwa Maßnahmen, die diesen nur vorbereiten, begleiten oder ihm nachfolgen.⁴³⁷ Jedoch werden die von technischen Nebeneinrichtungen, wie bspw. von Bahnsteigen oder Abstell- sowie Instandhaltungsanlagen ausgehenden Emissionen, nicht den typischen verkehrsbedingten Immissionen zugerechnet, womit sie letztlich dem anlagenbezogenen Immissionsschutz unterfallen.⁴³⁸ Somit handelt es sich bei Abstellanlagen bei nicht verkehrlicher Nutzung im Ergebnis um nichtgenehmigungsbedürftige Anlagen i.S.d. BImSchG.

Demnach ist der Anwendungsbereich der §§ 22 ff. BImSchG eröffnet, und somit sind nachträgliche immissionsschutzrechtliche Messanordnungen durch das EBA auf der Grundlage des §§ 4 Abs. 6 S. 1 Nr. 2 AEG, 26 BImSchG ebenso möglich wie nachträgliche lärm mindernde Anordnungen im Einzelfall gem. §§ 4 Abs. 6 S. 1 Nr. 2 AEG, 24 BImSchG. Somit können die Eisenbahninfrastrukturbetreiber verpflichtet werden, angeordnete technische oder betriebliche Maßnahmen zur Lärmreduktion von Abstellanlagen umzusetzen.

Grundlegend sind die Eisenbahninfrastrukturbetreiber nach § 22 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BImSchG verpflichtet, die Anlagen so zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind. Diese generelle Schutzpflicht wird für den Bereich des Lärms durch die TA Lärm konkretisiert, vgl. Nr. 4.1 der TA Lärm.⁴³⁹ Nach Nr. 4.2 a) der TA Lärm ist sicherzustellen, dass die Geräuschimmissionen der zu beurteilenden Anlage die Immissionsrichtwerte nach Nr. 6 der TA Lärm nicht überschreiten. Diese stellen das maßgebliche Kriterium zum Vorliegen einer schädlichen Umwelteinwirkung dar. Jedoch handelt es sich hierbei nur um Richtwerte, was heißt, sie gelten nur für den Regelfall, sodass bei Vorliegen besonderer Umstände des Einzelfalls von ihnen im Rahmen einer Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 der TA Lärm abgewichen werden kann.⁴⁴⁰ Eine solche Abweichung kann grundsätzlich in beide Richtungen erfolgen, also als Abschwächung oder Verschärfung der Anforderungen aus den Richtwerten, je nach Bewertung des Einzelfalls.

Selbst wenn es sich bei einzelnen Geräuschquellen um unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen handeln sollte, so ist nach Nr. 4.1. b) der TA Lärm das Geräusch auf ein Mindestmaß zu beschränken. Die hierbei zu ergreifenden Maßnahmen sind in Nr. 4.3 der TA

⁴³⁵ BVerwG, Urt. v. 22.11.2018 – 7 C 7.17, Rn. 9 ff. Der Ausschluss i.S.d. § 3 Abs. 5 Nr. 3 a.E. zielt auf eine umfassende Abgrenzung von anlagen- und verkehrsbezogenen Immissionen ab; vgl. BVerwG, Urt. v. 22.11.2018 – 7 C 7.17, Rn. 18 m.w.N.

⁴³⁶ BVerwG, Urt. v. 22.11.2018 – 7 C 7.17, Rn. 20; Jarass(2022): BImSchG, § 3 Rn. 85.

⁴³⁷ Knauff: § 38 Rn. 42, in: Führ (2024): GK-BImSchG; Hansmann, Hofmann: § 38 Rn. 19, in: Landmann, Rohmer (2024): Umweltrecht.

⁴³⁸ Schultze-Fielitz, Knauff: § 41 Rn. 13 in: Führ (2024): GK-BImSchG; Jarass (2022): BImSchG, § 41 Rn. 19 f.

⁴³⁹ Jarass (2022): BImSchG, § 22 Rn. 60.

⁴⁴⁰ Hansmann: TA Lärm 6 Rn. 2, in: Landmann, Rohmer (2024): Umweltrecht.

Lärm aufgezählt. Diese stellen aktuell einen Anknüpfungspunkt für die Umsetzung der zur Lärmreduktion vorgeschlagenen Maßnahmen dar.

Die derzeitige Rechtslage bietet, wie eben dargestellt, Möglichkeiten, gegen Abstellanlagen, welche schädliche Umwelteinwirkungen verursachen, vorzugehen. Praktisch bestehen jedoch erhebliche Schwierigkeiten im Hinblick auf die Abgrenzung, ob es sich bei der jeweils konkreten Abstell-situation um eine nichtgenehmigungsfähige Anlage oder bereits um eine Verkehrs-situation handelt. Gerade die Frage, was noch den Fahrvorgang begleitende, vorbereitende oder ihm nachfolgende Tätigkeiten sind, ist mit Unschärfen behaftet.⁴⁴¹ Letztlich bestehen somit erhebliche Unsicherheiten auf das jeweils anwendbare Rechtsregime, also im Hinblick darauf, ob für konkrete Vorgänge auf Abstellanlagen die TA Lärm oder die 16. BImSchV Anwendung findet.

Daher erscheint es im Interesse eines effektiven Verkehrslärmschutzes als erforderlich, für Abstellanlagen eine umfassende einheitliche Regelung im Hinblick auf die einzuhaltenden immissionsschutzrechtlichen Vorgaben zu erlassen.

3.7.4.2 Rechtliche Ausgestaltungsoptionen

Als einschlägige Regelung kommt insbesondere in Betracht, die **Abstellanlagen insgesamt dem eisenbahnspezifischen Immissionsschutzrecht zu unterwerfen** und innerhalb dieses einheitlichen Rechtskreises zwischen der Nutzung von Gleisen für den Verkehr einerseits und für die Abstellung andererseits zu unterscheiden. Bei einer verkehrlichen Nutzung unterliegen Gleisanlagen bereits jetzt den Vorgaben der 16. BImSchV, die allerdings nach der aktuellen Rechtslage nur für den Bau oder die wesentliche Änderung von Schienenwegen Anwendung findet. Dieses eisenbahnspezifische Immissionsschutzrecht, das bislang in der 16. BImSchV geregelt ist, sollte so umgestaltet werden, dass es einerseits den Immissionsschutz gegenüber allen durch Abstellanlagen verursachten Immissionen gewährleistet, also sowohl die durch eine verkehrliche Nutzung der Gleisanlagen als auch die durch eine Nutzung der Gleisanlagen für eine von der verkehrlichen Nutzung abtrennbare reine Abstellnutzung erfasst, und dass es andererseits – mit entsprechenden zeitlichen Übergangsfristen – nicht nur den Bau und die wesentliche Änderung, sondern auch den Betrieb und damit die bestehenden Abstellanlagen regelt. Dazu muss die Nutzungsform der Abstellung von der neu zu fassenden Regelung des § 41 Abs. 1 BImSchG sowie vom in § 1 dieser Verordnung geregelten Anwendungsbereich der 16. BImSchV erfasst werden und die über die 16. BImSchV anwendbare Schall 03 um entsprechende spezifische Vorgaben für die Abstellung ergänzt werden.

Im Zuge dieser Umgestaltung kann im Hinblick auf die immissionsschutzrechtlichen Vorgaben auch in Zukunft zwischen der verkehrlichen Nutzung und der Nutzung als Abstellanlage differenziert werden. Zugleich kann normativ vorgegeben werden, welche Vorgänge der verkehrlichen Nutzung und welche Vorgänge der Nutzung als Abstellanlage zuzuordnen sind. Insbesondere sind auch die immissionsschutzrechtstypischen Differenzierungen der zumutbaren Lärmbelastungen zwischen Tag und Nacht und je nach betroffenem Gebietstyp (Wohngebiet, Gewerbegebiet usw.) vorzusehen. Auf diese Weise können Rechtssicherheit und Rechtsklarheit im Hinblick auf die jeweils anwendbaren Vorgaben gewährleistet, erforderliche immissionsschutzrechtliche Differenzierungen weiterhin vorgenommen und ein einheitlicher Vollzug des Immissionsschutzrechts sichergestellt werden. Gleichzeitig soll hierdurch der bisherige Dualismus verschiedener Regelungen für die Auf- und Abrüstung einerseits und die eigentliche Ruhephase andererseits überwunden werden, indem zukünftig alle betrieblichen Vorgänge auf den als Abstellanlagen genutzten Gleisen nach einem einheitlichen Regelwerk zu beurteilen sind.

⁴⁴¹ Vgl. VG Stuttgart, Beschluss v. 18.10.23 – 6 K 5390/23; Hessischer VGH, Beschluss v. 30.08.2021 – 9 A 1635/18.Z.

Das bisherige Prinzip der Lärmvorsorge an Eisenbahnstrecken (dort bisher für Neubauten und wesentliche Änderungen) soll damit auch auf die Abstellanlagen übertragen werden, wonach die voraussichtliche Lärmbelastung rechnerisch ermittelt wird und Grenzwerte einhalten muss. Hierfür bedarf es einer **Erweiterung der Schall 03** für die sachgerechte Erfassung der zu erwartenden Lärmbelastungen durch Abstellanlagen. Für diese Vorgehensweise sprechen verschiedene Gründe, insbesondere die ebenfalls in diesem Gutachten vorgeschlagene Erweiterung des Immissionsschutzes auch auf Bestandsstrecken, die ebenfalls auf dieser Verfahrensweise beruhen soll, so dass eine einheitliche Vorgehensweise für den Schutz vor Lärmimmissionen der Eisenbahn erreicht wird. Auch scheint diese Vorgehensweise besser geeignet zu sein, um die Wahl der lärm mindernden Maßnahmen zur Erreichung der Immissionsgrenzwerte zu beeinflussen. Zur Erfüllung des Immissionsschutzes bei Abstellanlagen sollten vorrangig Maßnahmen am Fahrzeug umgesetzt werden, ergänzt um Maßnahmen an der Quelle an der Infrastruktur und dem Übertragungsweg.

Die auf die Abstellung zu beziehenden Regelungen des Immissionsschutzes sollten (nach gewissen Übergangszeiten) universelle Gültigkeit auf dem Schienennetz haben. Dies hat einige Implikationen. Erstens ist eine Abstellung verboten, die den Anforderungen der Lärminderung für die entsprechende Gleiskategorie nicht entspricht. Zweitens ist bei einer dauerhaften und signifikanten Nutzungsänderung (zum Beispiel die Art der abgestellten Fahrzeuge betreffend) die rechnerische Einhaltung der Immissionsgrenzwerte neu zu prüfen. Drittens wird (nach einer Übergangszeit) zwischen neu und schon früher benutzten Abstellorten nicht mehr unterschieden; es gibt dann also keinen Bestandsschutz oder Ausnahmetatbestand für Altabstellanlagen.⁴⁴²

3.7.5 Empfehlungen

Es folgt eine Liste von konkreten Vorschlägen, um die Lärmbelastung durch Abstellanlagen zu reduzieren. Dabei wird als Abstellanlage jeder Ort im Schienennetz bezeichnet, an dem ein Fahrzeug abgestellt werden soll.

1. Für den Vorgang der Abstellung sind Emissionsgrenzwerte in der TSI Noise festzulegen, die sich an der VDV-Mitteilung 1541 oder an der EuroSpec orientieren sollten und die für Neufahrzeuge die zulässigen Geräuschemissionen im Zustand der Abstellung begrenzen.
2. Abstellanlagen sind – wie die Infrastruktur generell (vgl. Abschnitt 3.2.6) – in einem ordnungsgemäßen Zustand zu halten. Dies betrifft insbesondere die Gestaltung und den Zustand der Gleisinfrastruktur (Schienen, Weichen und Schmieranlagen). Zusätzlich sind Druckluftanlagen entsprechend den Vorgaben zu warten.
3. Einbeziehung von Abstellvorgängen in den eisenbahnspezifischen Immissionsschutz auf Basis der 16. BImSchV für neue und bestehende Abstellanlagen des SPNV, SPfV und SGV (im Folgenden Fokus auf SPNV) unter Berücksichtigung einer Übergangsfrist. Dies sollte im Rahmen der in Kapitel 4 vorgeschlagenen Erstreckung des eisenbahnspezifischen Immissionsschutzrechts auf das gesamte Eisenbahnnetz erfolgen, die eine zehnjährige Übergangsfrist und eine daran anschließende sukzessive, also zeitlich gestaffelte Ausweitung des Immissionsschutzes auf die einzelnen Abstellanlagen beinhaltet.
4. Die Immissionsgrenzwerte für Abstellanlagen sollten denjenigen der übrigen Schienenwege der Eisenbahn entsprechen, wie sie in § 2 der 16. BImSchV festgelegt sind.
5. Die Erfüllung der immissionsschutzrechtlichen Vorgaben wird rechnerisch ermittelt, und für jede Abstellanlage werden die erforderlichen Maßnahmen und Vorgaben durch Verwaltungsakt konkretisiert. Die Berechnung des Beurteilungspegels auch für Abstellanlagen

⁴⁴² Ein Bestandsschutz ist auch aktuell nach der TA Lärm nicht gegeben.

erfolgt nach Maßgabe der Schall 03. Für jede Abstellanlage ist auf dieser Grundlage festzulegen, welche Fahrzeuge unter welchen Voraussetzungen wie in dieser Abstellanlage abgestellt werden dürfen.

6. In die Schall 03 werden die relevanten Faktoren für die Berechnung des Beurteilungspegels bei der Abstellung von Fahrzeugen aufgenommen, entsprechend den möglichen Maßnahmen am Fahrzeug, an der Infrastruktur oder beim Abstellvorgang.⁴⁴³ Dabei sind insbesondere zu berücksichtigen:
 - ▶ Im Falle einer Erweiterung der TSI Noise die den Vorgaben der TSI Noise für die Abstellung entsprechenden Emissionen für Neufahrzeuge, die diese Emissionsgrenzwerte einhalten.
 - ▶ Der ordnungsgemäße Zustand der Infrastruktur der Abstellanlage.
7. Ist bei einer Abstellanlage bei Abstellung von Fahrzeugen, die nicht den (neuen) Vorgaben der TSI Noise für die Abstellung entsprechen, die Einhaltung der immissionsschutzrechtlichen Vorgaben nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand möglich, so ist in dieser Abstellanlage die zulässige Abstellung auf Fahrzeuge zu beschränken, die den Vorgaben der TSI Noise entsprechen. Andere Fahrzeuge sind auf andere Abstellanlagen zu verweisen, bei denen auch bei Abstellung nicht den Vorgaben der TSI Noise für die Abstellung entsprechender Fahrzeuge die Einhaltung des Immissionsschutzrechts mit verhältnismäßigem Aufwand möglich ist.
8. Eine wesentliche Änderung der Nutzung einer Abstellanlage, insbesondere eine signifikante Abweichung der Abstellvorgänge von der dem maßgeblichen Verwaltungsakt zugrundegelegten Abstell-situation, kann den Erlass nachträglicher Anordnungen oder die Aufhebung des Verwaltungsakts erforderlich machen.⁴⁴⁴

Durch diese Regelungen soll mit einem einheitlichen rechtlichen Ansatz ein wirksamer Immissionsschutz der Anwohner von für die Abstellung von Fahrzeugen genutzten Gleisen sichergestellt werden. In Hinblick auf den administrativen Aufwand für die Genehmigungsverfahren sowie die Abstellmöglichkeiten der EVU ist von Bedeutung, dass gemäß den Empfehlungen aus Abschnitt 3.5 dieses Gutachtens die Bundesländer im Rahmen der Bestellungen von Verkehrsverträgen nur noch lärmarme Fahrzeuge akzeptieren sollten, deren lärmarme Eigenschaften sich auch auf die Geräuschemissionen während der Abstellung beziehen (die strikt unterhalb der Emissionen liegen können, welche in Zukunft möglicherweise von der TSI Noise für Neufahrzeuge verlangt werden).

Die Anforderungen der Länder bzw. Aufgabenträger an die Fahrzeuge sollten so gesetzt werden, dass die Grenzwerte des Immissionsschutzes bei der Abstellung bei vielen von den EVU gewünschten Abstellorten ohne den Bau von Schallschutzwänden (sondern somit durch Maßnahmen an der Quelle an den Fahrzeugen) erfüllbar sind.

Wenn in Zukunft die Immissionsgrenzwerte entsprechend den Erkenntnissen des Gesundheitsschutzes weiterentwickelt werden, sollten parallel dazu die im Rahmen der Verkehrsbestellungen gestellten Anforderungen an die Fahrzeuge entsprechend angepasst werden.

⁴⁴³ Siehe dazu Ausführungen in Abschnitt 3.7.2.

⁴⁴⁴ Dies entspricht der in Kapitel 4 vorgeschlagenen Vorgehensweise im Rahmen der Erstreckung des eisenbahnspezifischen Immissionsschutzrechts auf das gesamte Eisenbahnnetz.

4 Umfassender Immissionsschutz bei Neu- und Bestandsstrecken

4.1 Handlungsbedarf

Eine Reduktion des Schienenverkehrslärms kann rechtlich prinzipiell durch Vorgaben zu den zulässigen Emissionen der Eisenbahn oder durch die Festlegung von Immissionsgrenzwerten für Eisenbahnlärm, also durch gegenüber von Eisenbahnen verursachten Schallimmissionen anwendbares Immissionsschutzrecht, erfolgen.

Die zulässigen Emissionen der Fahrzeuge des Schienenverkehrs sind unionsrechtlich durch die TSI Noise geregelt. Zur Reduktion des Eisenbahnlärms ist es rechtlich sinnvoll, hier auf europäischer Ebene eine Reduktion der zulässigen Emissionsgrenzwerte für die Fahrzeugzulassung anzustreben, die die bestehenden technischen Möglichkeiten für leisere Fahrzeuge aufgreift, und längerfristig auch die Anwendung der Vorgaben der TSI Noise auf Bestandsfahrzeuge. Solange diese Änderungen auf europäischer Ebene nicht vorgenommen worden sind, laufen weitergehende nationale fahrzeugemissionsbezogene Anforderungen Gefahr, als unionsrechtswidrig und deshalb unzulässig eingeordnet zu werden.⁴⁴⁵

Vorstellbar sind demgegenüber emissionsschutzrechtliche nationale Anforderungen nicht an die Fahrzeuge, sondern an die lokale Infrastruktur für den Schienenverkehr, die eine Reduktion des Schienenverkehrslärms bewirken. Insoweit kommt insbesondere in Betracht, generell oder jedenfalls dann, wenn Schienen in der Nähe von Wohnbebauung verlaufen, einen akustisch einwandfreien Zustand des Gleiskörpers vorzuschreiben (vgl. Abschnitt 3.2).

Auf nationaler Ebene können Regelungen zur Reduktion des Schienenverkehrslärms ohne die vorgenannten unionsrechtlichen Schranken im Bereich des Immissionsschutzrechts getroffen werden. Aufgrund dessen kommt ein verstärkter Schutz vor Schienenverkehrslärm auf nationaler Ebene vor allem durch nationales Immissionsschutzrecht in Betracht.

Das nationale, deutsche Immissionsschutzrecht sieht Lärmschutzanforderungen für den Schienenverkehr bislang ausschließlich für den Neubau und die wesentliche Änderung von Eisenbahnen in § 41 Abs. 1 BImSchG vor. **Lärmschutz für Strecken, die weder neu gebaut noch wesentlich geändert werden**, ist demgegenüber bislang in Deutschland nicht spezifisch immissionsschutzrechtlich geregelt. Für diese Strecken findet aktuell allein die sogenannte freiwillige Lärmsanierung mit Finanzmitteln des Bundes statt, mit der bei Überschreitung der Auslösewerte und im Rahmen der budgetären Möglichkeiten für eine Lärmsanierung aktive und passive Schallschutzmaßnahmen an den betroffenen Strecken finanziert werden.⁴⁴⁶ Hier erscheint es zur Reduktion des Schienenverkehrslärms naheliegend, auch für Strecken der Eisenbahn in Deutschland, die weder neu gebaut noch wesentlich geändert werden, verbindliche immissionsschutzrechtliche Grenzwerte vorzusehen, die den Schienenverkehrslärm auch auf diesen Strecken verbindlich begrenzen würden.

Darüber hinaus sollten im Sinne eines wirksamen umfassenden Eisenbahnverkehrslärmschutzes zwei weitere bislang problematische Konstellationen immissionsschutzrechtlich neu

⁴⁴⁵ Die insoweit in Betracht kommenden Ermächtigungsgrundlagen des nationalen Eisenbahn- und Immissionsschutzrechts, § 26 AEG und § 38 BImSchG, sind deshalb wegen der Existenz unionsrechtlicher Vorgaben für die Schallemissionen der Fahrzeuge hier insoweit unanwendbar, vgl. näher Pache: § 16 Rn. 383 ff. m.w.N. in: Koch, Hofmann, Reese (2024): Handbuch Umweltrecht.

⁴⁴⁶ Vgl. hierzu Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen der Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes (2022): VdB. 2022, 402 ff.

geregelt und normativ so ausgestaltet werden, dass die Möglichkeit zum Ergreifen erforderlicher Immissionsschutzmaßnahmen besteht:

Zum einen bestehen wegen der Wirkung eines vorhandenen Planfeststellungsbeschlusses bei einer Eisenbahnstrecke, für die entsprechend den Vorgaben des § 41 Abs. 1 BImSchG in Verbindung mit der 16. BImSchV ein Planfeststellungsbeschluss erlassen worden ist, keine Vorgaben zur Anpassung der lärmindernden Maßnahmen an die tatsächliche Nutzungs- und Betriebssituation und an die durch diese verursachten Immissionen, wenn sich das **Betriebsprogramm auf der Strecke** (also die Zahl oder Art oder die zeitlichen Lagen der dort eingesetzten Züge) immissionsschutzrechtlich signifikant anders entwickelt als bei der Planfeststellung angenommen wurde. Hier sollte eine nicht voraussehbare Abweichung des tatsächlichen Betriebsprogramms von den der Planfeststellung zugrundegelegten Verkehrsprognosen als „nicht voraussehbare Wirkung des Vorhabens“ im Sinne des § 75 Abs. 2 S. 2 und 3 VwVfG erfasst werden, die die Planfeststellungsbehörde, also das EBA, zu nachträglichen Anordnungen und damit zu einer Anpassung des Planfeststellungsbeschlusses an die reale immissionsschutzrechtliche Belastungssituation ermächtigt.

Zum anderen bedürfen auch Planfeststellungsbeschlüsse für Eisenbahnstrecken, die auf einer zum Zeitpunkt ihres Erlasses maßgeblichen abweichenden früheren Fassung der relevanten immissionsschutzrechtlichen Vorgaben und insbesondere der einzuhaltenden Immissionsgrenzwerte beruhen, einer **Anpassung an die aktuellen Immissionsgrenzwerte** und die zu deren Einhaltung erforderlichen Immissionsschutzmaßnahmen, die ebenfalls durch eine Ermächtigung zum Erlass nachträglicher Anordnungen geschaffen werden sollte. Hier sind Vertrauensschutz und Rechtssicherheit mit Blick auf den vorhandenen Planfeststellungsbeschluss mit den Erfordernissen des Lebens- und Gesundheitsschutzes und den neueren Erkenntnissen der Lärmwirkungsforschung in dem Sinne abzuwägen, dass eine Festlegung des Maßes der Abweichung der aktuell maßgeblichen Immissionsgrenzwerte mit den zum Zeitpunkt der Planfeststellung angewendeten Immissionsgrenzwerten erfolgen sollte, ab deren Erreichung dem Gesundheitsschutz Vorrang vor der Rechtssicherheit und dem Vertrauensschutz einzuräumen ist und ab der deshalb der Erlass nachträglicher Anordnungen zulässig sein soll.

4.2 Rechtliche Gestaltung einer Ausweitung des Immissionsschutzes

Das BImSchG enthält die wesentlichen vorhandenen Lärmschutzanforderungen im Hinblick auf die Eisenbahninfrastruktur. Konkret sieht § 41 Abs. 1 BImSchG vor, dass bei dem Bau oder der wesentlichen Änderung von Schienenwegen keine solchen schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsräusche hervorgerufen werden dürfen, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, soweit erforderliche Schutzmaßnahmen keine unverhältnismäßigen Kosten im Sinne des § 41 Abs. 2 BImSchG verursachen würden.

Zur Konkretisierung dieser abstrakten Vorgaben finden sich in § 2 Abs. 1 der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) bestimmte, die Schädlichkeit und damit die Grenzen der Zumutbarkeit des Schienenverkehrslärms bestimmende Immissionsgrenzwerte. Dem Anwendungsbereich des § 41 Abs. 1 BImSchG entsprechend gelten diese Grenzwerte gem. den §§ 1 Abs. 1, 2 Abs. 1 der 16. BImSchV jedoch nur bei dem Bau oder der wesentlichen Änderung von Schienenwegen und damit nur im Bereich der sog. Lärmvorsorge.

Für Streckenabschnitte, bei deren Bau oder deren wesentlicher Änderung entweder das BImSchG noch keine Anwendung gefunden hat oder noch frühere höhere Immissionsgrenzwerte für die Planfeststellung maßgeblich waren (sog. Bestandsstrecken), gelten daher weder die Immissionsgrenzwerte des § 2 Abs. 1 der 16. BImSchV noch die Pflicht zur Vermeidung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Lärm unmittelbar aus § 41 Abs. 1 BImSchG noch

sonstige immissionsschutzrechtliche Vorgaben. Dies hat zur Folge, dass für solche Bestandsstrecken entweder keine gesetzlich verpflichtenden Lärmschutzvorgaben existieren oder mit den zum Zeitpunkt der Planfeststellung geltenden früheren Immissionsgrenzwerten nach aktueller Rechtslage zu hohe Lärmimmissionen zulässig sind⁴⁴⁷ und kein Anspruch auf die Ergreifung aktiver Schutzmaßnahmen besteht.⁴⁴⁸ Lärmschutz an bestehenden Schienenwegen wird bislang als Lärmsanierung lediglich als freiwillige Leistung des Bundes nach Haushaltsrecht gewährt,⁴⁴⁹ wobei die Art der Lärmschutzmaßnahmen weitgehend denen der Lärmvorsorge entspricht, die Auslösewerte für die freiwillige Lärmsanierung aber zum Teil erheblich über den Immissionsgrenzwerten für Neubau und wesentliche Änderungen von Eisenbahnen liegen.

Beispielsweise betragen nach Nr. 2.1 des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms die Auslösewerte bei Krankenhäusern, Schulen, Kindertagesstätten, Kurheimen und Altenheimen, reine und allgemeinen Wohngebieten sowie Kleinsiedlungsgebieten 64/54 dB(A) Tag/Nacht, wohingegen die Werte sich nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 der 16. BImSchV an Krankenhäusern, Schulen, Kurheimen und Altenheimen auf 57/47 dB(A) Tag/Nacht und nach § 2 Abs. 1 Nr. 2 der 16. BImSchV in reinen und allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten auf 59/49 dB(A) Tag/Nacht belaufen. Damit sind die Auslösewerte des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms im Hinblick auf die genannten Gebietstypen nicht nur deutlich höher als die Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV, sondern unterscheiden sich auch nicht derart differenziert im Hinblick auf die Schutzwürdigkeit der Betroffenen der einzelnen Gebietstypen. Auch die nach Nr. 2.1 des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms geltenden Auslösewerte für Kerngebiete, Dorfgebiete und Mischgebiete liegen mit 66/56 dB(A) Tag/Nacht ebenso wie die für Gewerbegebiete geltenden Werte von 72/62 dB(A) Tag/Nacht zwar nicht mehr ganz so erheblich, dennoch signifikant über den Werten des § 2 Abs. 1 Nr. 3 und 4 der 16. BImSchV, wonach die Werte in Kerngebieten, Dorfgebieten, Mischgebieten und Urbanen Gebieten 64/54 dB(A) Tag/Nacht und in Gewerbegebieten 69/59 dB(A) Tag/Nacht betragen.

Eine wesentliche Reduktion des Schienenverkehrslärms könnte daher rechtlich durch die Einführung gesetzlich verpflichtender Immissionsgrenzwerte für Bestandsstrecken erreicht werden,⁴⁵⁰ die nach Ablauf einer aus Vertrauensschutz- und Praktikabilitätsgründen vorzuziehenden Übergangsfrist den Grenzwerten der 16. BImSchV für Neubau und wesentliche Änderungen von Eisenbahnen entsprechen sollten.

Rechtlich ließe sich dies zum einen durch entsprechende Änderungen und Ergänzungen der relevanten Regelungen des BImSchG und der 16. BImSchV erreichen, oder zum anderen durch eine Ausklammerung und Neufassung entsprechender Vorschriften in einem Verkehrslärmschutzgesetz.⁴⁵¹ Ein solches gesetzgeberisches Vorgehen wäre über den Gesundheitsschutz zu begründen, so wie dies auch bei den bisherigen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben der Fall war.

⁴⁴⁷ Schulze-Fielitz, Knauf: § 41 BImSchG Rn. 21, in: Führ (2024): GK-BImSchG; Storost: § 41, in: Ule, Laubinger, Repkewitz (2024): BImSchG Band 5; Reese: § 41 BImSchG Rn. 3, in: BeckOK (2017): Umweltrecht.

⁴⁴⁸ Näher zum Begriff der aktiven Schutzmaßnahmen Schulze-Fielitz, Knauff: § 41 Rn. 36, in: Führ (2024): GK-BImSchG; Jarass (2022): BImSchG, § 41 Rn. 55; Durinke: § 41 Rn. 105 ff., in: Appel, Ohms, Saurer (2021): BImSchG; Michler: § 10 Rn. 4, in: Ziekow (2024): Handbuch des Fachplanungsrechts.

⁴⁴⁹ Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen der Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes (2022), VkB. 2022, 402 ff.; vgl. hierzu näher BMDV (2022b): Gesamtkonzept der Lärmsanierung 2022, S. 4.

⁴⁵⁰ So auch LAI (2022): Eckpunkte zur Verbesserung des Verkehrslärmschutzes, S. 5

⁴⁵¹ Zu den bisherigen Entwicklungen zu einem Verkehrslärmschutzgesetz siehe näher Bracher: § 41 BImSchG Rn. 12 ff., in: Landmann, Rohmer (2024): Umweltrecht.

Inhaltlich sollte der Anwendungsbereich der für den Neubau und die wesentliche Änderung von Schienenwegen geltenden Grenzwerte des § 2 Abs. 1 der 16. BImSchV auch auf Bestandsstrecken ausgedehnt werden, sodass man entweder explizit die bislang nicht den aktuellen Vorgaben des BImSchG zum Immissionsschutz für Neubau und wesentliche Änderungen unterliegenden Strecken in den Anwendungsbereich der Normen aufnehmen oder die Verpflichtung des § 41 Abs. 1 BImSchG auf die Nutzung oder den Betrieb aller Schienenwege, und nicht nur auf den Neubau oder die wesentliche Änderung, ausdehnen müsste.

Dies hätte zur Konsequenz, dass auch für die Bestandsstrecken die Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV gelten würden und dass der Beurteilungspegel nach § 4 Abs. 1 der 16. BImSchV berechnet werden müsste. Für die Berechnung maßgeblich würde dann die als Anlage 2 zu § 4 der 16. BImSchV ergangene „Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)“.

Bei einer Überschreitung der zulässigen Grenzwerte müssten sodann im Rahmen der Vermeidungspflicht i. S. d. § 41 Abs. 1 BImSchG i. V. m. § 2 Abs. 1 der 16. BImSchV die in der Schall 03 enthaltenen aktiven Schallschutzmaßnahmen getroffen und bei der Berechnung entsprechend in Abzug gebracht werden. Hier gilt es, die in diesem Gutachten als besonders wirkungsvoll und kostengünstig identifizierten Maßnahmen als abweichende Bahntechnik oder als schalltechnische Innovationen im Sinne des § 5 der 16. BImSchV anzuerkennen und deren Einsatz zur Erzielung der erforderlichen Immissionsreduktion entsprechend den Vorgaben des § 41 Abs. 1 BImSchG zu ermöglichen. Dabei erscheint es im Fall der Erstreckung der immissionschutzrechtlichen Vorgaben auch auf Bestandsstrecken als naheliegend, insbesondere Maßnahmen am Zug zur Immissionsreduktion einzusetzen, da durch deren Einsatz eine Immissionsreduktion nicht nur punktuell lokal für einzelne Streckenabschnitte, sondern generell beim gesamten Einsatz des leiseren Zuges auf allen von diesem befahrenen Streckenabschnitten erreicht werden kann.

4.2.1 Aufnahme von schallmindernden Maßnahmen in die Schall 03

Eine Aufnahme von weiteren schallmindernden Maßnahmen in die Schall 03, um in dem dort geregelten Berechnungsverfahren des Beurteilungspegels für Schienenwege berücksichtigt zu werden, lässt sich auf zwei Arten realisieren: Zum einen können solche Maßnahmen im Wege einer Änderung der 16. BImSchV im Verordnungsweg in die Schall 03 aufgenommen werden, zum anderen können sie als abweichende Bahntechnik oder als schalltechnische Innovationen in einem in der 16. BImSchV geregelten Verwaltungsverfahren vom EBA anerkannt werden und so materiell Einzug in die Schall 03 erhalten. Beide Vorgehensweisen werden nachfolgend kurz skizziert.

4.2.1.1 Änderung der 16. BImSchV im Verordnungsweg

Die Schall 03 ist als Anlage 2 ein Teil der 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (16. BImSchV). Insofern beruht die Schall 03 ebenso wie die 16. BImSchV auf der in § 43 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BImSchG eingeräumten Verordnungsermächtigung. Hiernach wird die Bundesregierung nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 51 BImSchG) und mit Zustimmung des Bundesrates zum Erlass von Vorschriften berechtigt, die bestimmte Grenzwerte enthalten, die zum Schutz der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche nicht überschritten werden dürfen, sowie über das Verfahren zur Ermittlung der Emissionen oder Immissionen. Letzteres entspricht der Schall 03 und dem dort geregelten Berechnungsverfahren.

Ein solches Vorgehen der Einfügung abweichender Bahntechnik oder schalltechnischer Innovationen in die Schall 03 durch Erlass einer entsprechenden Änderungsverordnung zur 16. BImSchV kann, insbesondere auch wegen des Erfordernisses der Anhörung der beteiligten

Kreise, langwierig sein. Zusätzlich besteht die Unsicherheit, ob der Bundesrat einer solchen Änderung der Verordnung im jeweiligen Einzelfall zustimmen wird.

4.2.1.2 Anerkennung als abweichende Bahntechnik oder schalltechnische Innovation

Alternativ möglich, und im Hinblick auf das Verfahren einfacher durchführbar, wäre eine Anerkennung von abweichender Bahntechnik und von schalltechnischen Innovationen und die Festlegung der für diese zugrunde zu legenden akustischen Kennwerte über das in § 5 der 16. BImSchV geregelte **Verfahren durch das EBA**. Dieses Verfahren soll gerade dazu dienen, abweichende Bahntechnik und zukünftige schalltechnische Innovationen möglichst zeitnah nach ihrer Entwicklung berücksichtigen zu können.⁴⁵² Vereinfacht beschrieben umfasst **abweichende Bahntechnik** solche Technik, die bisher nicht in der Schall 03 enthalten, jedoch einem der in § 5 Abs. 1 S. 1 der 16. BImSchV genannten Bereiche zuzuordnen ist,⁴⁵³ wohingegen man unter **schalltechnischen Innovationen** die Neu- und Weiterentwicklung von bereits in der Schall 03 geregelter Bahntechnik versteht.⁴⁵⁴

Abweichende Bahntechnik und schalltechnische Innovationen sind erst nach der Festlegung akustischer Kennwerte bei der Berechnung des Beurteilungspegels nach § 4 Abs. 1 S. 1 der 16. BImSchV, und damit im Rahmen der Schall 03, zu berücksichtigen, vgl. § 5 Abs. 1 S. 1 der 16. BImSchV. Nach § 5 Abs. 2 S. 1 der 16. BImSchV ist das EBA für die Festlegung dieser akustischen Kennwerte zuständig.⁴⁵⁵ Das hierbei zu berücksichtigende Verfahren richtet sich nach § 5 Abs. 2 bis 4 der 16. BImSchV.

Nach § 5 Abs. 2 S. 2 der 16. BImSchV ist im Hinblick auf das weitere Vorgehen bei der Festlegung akustischer Kennwerte zwischen abweichender Bahntechnik und schalltechnischen Innovationen zu differenzieren.⁴⁵⁶ Nach dem Wortlaut ist beiden gemein, dass die Emissionsdaten für die jeweilige Technik „bezeichnend“ sein müssen. Einzig bei schalltechnischen Innovationen müssen darüber hinaus die akustischen Kennwerte von den in Anlage 2 Nrn. 3 bis 6 oder Beiblatt 1 bis 3 jeweils genannten Kennwerten wesentlich abweichen.

Wann die Emissionsdaten bezeichnend sind, ergibt sich für die abweichende Bahntechnik aus Nr. 9.2.1 Abs. 2 der Schall 03 (Anlage 2 zur 16. BImSchV). Der für schalltechnische Innovationen maßgebliche Abschnitt, Nr. 9.2.2. der Schall 03, enthält im Hinblick auf das bezeichnend sein der Emissionsdaten keine ausdrückliche Regelung.⁴⁵⁷ Dieser regelt allein die Frage der **Wesentlichkeit der Abweichung** der akustischen Kennwerte bei den schalltechnischen Innovationen. Nach § 5 Abs. 2 S. 3 der 16. BImSchV muss eine wesentliche Abweichung

⁴⁵² BMDV (2015): Erläuterungen zur Anlage 2 der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV), S. 40.

⁴⁵³ Der Begriff der abweichenden Bahntechnik ist ausführlicher in § 5 Abs. 1 S. 2 der 16. BImSchV legaldefiniert. Danach versteht man hierunter solche Technik, die nicht in Anlage 2 Nummer 3 bis 6 oder Beiblatt 1 bis 3 aufgeführt ist und die einem der folgenden Bereiche zuzuordnen ist: 1. Fahrbahnarten, 2. Schallminderungsmaßnahmen am Gleis oder am Rad sowie 3. bahnspezifische Schallminderungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg.

⁴⁵⁴ Der Begriff der schalltechnischen Innovationen ist § 5 Abs. 1 S. 3 der 16. BImSchV legaldefiniert. Danach versteht man hierunter solche technischen Neu- und Weiterentwicklungen zu der in Anlage 2 Nummer 3 bis 6 oder Beiblatt 1 bis 3 aufgeführten Bahntechnik, die Auswirkungen auf die Geräuschemission und -immission dieser Bahntechnik haben. Siehe außerdem BMDV (2015): Erläuterungen zur Anlage 2 der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV), S. 39.

⁴⁵⁵ Die Zuständigkeit des EBA ist auf Eisenbahnen des Bundes begrenzt. Für sonstige Bahnen besteht eine Zuständigkeit der jeweils nach Landesrecht zuständigen Behörde, vgl. § 5 Abs. 2 Satz 1 der 16. BImSchV.

⁴⁵⁶ Bracher: 16. BImSchV § 5 Rn. 5, in: Landmann, Rohmer (2024): Umweltrecht.

⁴⁵⁷ Bracher: 16. BImSchV § 5 Rn. 6, in: Landmann, Rohmer (2024): Umweltrecht. Nach Bracher hat dies für schalltechnische Innovationen wegen des zusätzlichen Erfordernisses der wesentlichen Abweichung der akustischen Kennwerte keine praktische Bedeutung hat.

mindestens die in der Anlage 2 Nummer 9.2.2 genannten Werte erreichen. Der messtechnische Nachweis des Lärminderungseffekts muss für eine Teilquelle mindestens 2 dB betragen.⁴⁵⁸

Antragsberechtigt zur Einleitung der Durchführung eines solchen Verfahrens durch das EBA nach § 5 Abs. 3 der 16. BImSchV sind:

1. Eisenbahninfrastrukturunternehmen,
2. Inhaber der Schutzrechte von abweichenden Bahntechniken oder von schalltechnischen Innovationen und
3. Lizenznehmer von abweichenden Bahntechniken oder von schalltechnischen Innovationen.

Die zu berücksichtigenden inhaltlichen Anforderungen richten sich im Detail nach § 5 Abs. 4 der 16. BImSchV. Danach muss der Antrag folgende Unterlagen enthalten:

1. eine Beschreibung der abweichenden Bahntechnik oder schalltechnischen Innovation, für die die Festlegung akustischer Kennwerte beantragt wird, wobei insbesondere darzulegen ist, worin sich die abweichende Bahntechnik oder schalltechnische Innovation von der in Anlage 2 aufgeführten entsprechenden Technik unterscheidet,
2. das Gutachten einer anerkannten Messstelle nach Anlage 2 Nummer 9.3,
3. einen Vorschlag, zu welcher Regelung der Anlage 2 Nummer 3 bis 6 oder Beiblatt 1 bis 3 die abweichende Bahntechnik ergänzend oder die schalltechnische Innovation abweichend beschrieben werden kann, unter Beifügung eines Datenblattes, das die in der vorgeschlagenen Zuordnung üblichen akustischen Kennwerte darstellt,
4. eine Beschreibung, wie sich die akustische Wirksamkeit durch betriebsüblichen Verschleiß verändert.

Auf der vorstehend geschilderten rechtlichen Grundlage ist damit bei Einhaltung der geschilderten gesetzlichen Anforderungen eine zeitlich effiziente Integration neuer schallmindernder Maßnahmen in die Schall 03 möglich.

4.2.1.3 Priorisierung der Maßnahmen

Im Rahmen dieses Gutachtens werden verschiedene mögliche Maßnahmen vorgeschlagen, die direkt in die Schall 03 aufgenommen werden können oder die als abweichende Bahntechnik oder als schalltechnische Innovationen zu den bereits bisher in der Schall 03 anerkannten Schallminderungsmaßnahmen hinzutreten und die kumulativ oder alternativ mit oder zu diesen zur Einhaltung der normativ vorgegebenen Immissionsgrenzwerte eingesetzt werden können.

Empfehlung dieses Gutachtens ist es, für die Immissionsbegrenzung auf Bestandsstrecken primär die effizientesten Instrumente zur Immissionsbegrenzung einzusetzen, die möglichst effektiv und kostengünstig eine möglichst weitreichende Immissionsreduktion bewirken. Um diese Empfehlung normativ zu verankern, empfiehlt es sich, normativ eine Priorisierung der zur Verfügung stehenden Immissionsbegrenzungsmaßnahmen festzulegen, die den Vorgaben des Verursacherprinzips und des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes entspricht.

Vor diesem Hintergrund erscheint es vorstellbar, für die Immissionsreduktion bei Bestandsstrecken normativ einen grundsätzlichen Vorrang des Einsatzes schalltechnischer **Maßnahmen an der Quelle, also insbesondere am Fahrzeug**, vor dem Einsatz schalltechnischer Maßnahmen am Gleis, die über die generell vorzusehende Verpflichtung zur Gewährleistung eines akustisch guten Zustandes des Gleises⁴⁵⁹ hinausgehen, vor anderen schalltechnischen Maßnahmen vorzusehen und damit rechtlich vorzugeben, welche

⁴⁵⁸ BMDV (2015): Erläuterungen zur Anlage 2 der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV), S. 40.

⁴⁵⁹ Siehe dazu den Vorschlag der Gutachter*innen in Abschnitt 3.2.

Maßnahmen prioritär eingesetzt werden sollen. Diese normativ vorgegebene Reihenfolge sollte unter Berücksichtigung des verfassungsrechtlichen Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit durch die Einbeziehung von Aufwands- und Kostengesichtspunkten als Begrenzung der Verpflichtung zur Einhaltung der vorgegebenen Reihenfolge der einzusetzenden Maßnahmen für den Fall unverhältnismäßiger Belastungen ergänzt werden.

Eine derartige Regelung könnte gesetzessystematisch etwa bei der gesetzlichen Regelung der Erstreckung der immissionsschutzrechtlichen Vorgaben auch auf Bestandsstrecken, also im Regelungszusammenhang des § 41 BImSchG, erfolgen. Hier kommt eine Ergänzung des bisherigen § 41 Abs. 2 BImSchG, der schon jetzt den Verhältnismäßigkeitsgrundsatz für immissionsschutzrechtliche Schutzmaßnahmen konkretisiert, durch eine dem aktuellen Wortlaut dieses Absatzes vorangestellte Regelung in Betracht, die für die Auswahl möglicher Schutzmaßnahmen die Vorgaben des Verursacherprinzips und des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes operationalisiert. § 41 Abs. 2 BImSchG könnte dann etwa wie folgt lauten: „Kommen unterschiedliche Maßnahmen zur Erfüllung der Vorgaben des Abs. 1 in Betracht, sind vorrangig Maßnahmen an der Quelle zu ergreifen, soweit diese nicht erheblich höhere Kosten als andere in Betracht kommende Maßnahmen verursachen. Absatz 1 gilt nicht, soweit die Kosten möglicher Schutzmaßnahmen außer Verhältnis zu dem angestrebten Schutzzweck stehen“.

4.2.2 Normatives und administratives Vorgehen bei der Erstreckung des Immissionsschutzrechts auf Bestandsstrecken

Wenn die Immissionsschutzgrenzwerte des aktuell nach § 41 Abs. 1 BImSchG nur für den Bau und die wesentliche Änderung von Eisenbahnen geltenden Immissionsschutzrechts auf Bestandsstrecken erstreckt werden sollen und dadurch ein einheitlicher wirksamer Immissionsschutz gegenüber Eisenbahnen erreicht werden soll, so ist ein solches Vorgehen **nicht unmittelbar ohne zeitliche Übergangsphase und/oder materielle Zwischenschritte bundesweit einheitlich möglich**.

Gegen eine unmittelbare bundesweit einheitliche Erstreckung des aktuell nur begrenzt einschlägigen eisenbahnspezifischen Immissionsschutzrechts auf alle Eisenbahnstrecken ohne zeitliche Übergangsphase und/oder materielle Zwischenschritte sprechen die tatsächliche Unmöglichkeit eines solchen Vorgehens im Hinblick auf die erforderlichen technischen Ressourcen und Materialien und das erforderliche Personal, die finanzielle Unmöglichkeit im Hinblick auf die absehbaren Kosten, die rechtliche Unmöglichkeit im Hinblick auf entgegenstehende rechtliche Grundprinzipien wie Bestands- und Vertrauensschutz, Rechtssicherheit und Verhältnismäßigkeit sowie die administrative Unmöglichkeit im Hinblick auf die durchzuführenden Verwaltungsverfahren und deren absehbare Dauer und die erforderliche Verwaltungskapazität.

Daher kann die in diesem Gutachten vorgeschlagene Erstreckung des Immissionsschutzrechts auf alle dem BImSchG und der 16. BImSchV unterfallenden Eisenbahnstrecken tatsächlich wie rechtlich und administrativ nur mit einer ausreichend langen zeitlichen **Übergangsphase** erfolgen, und auch nach Ablauf dieser Übergangsphase kommt eine sofortige einheitliche Anwendung der aktuellen Immissionsschutzgrenze auf das gesamte Eisenbahnnetz aus tatsächlichen und administrativen Gründen nicht in Betracht. Vielmehr muss die angestrebte Anwendung der Immissionsschutzgrenzwerte entweder noch einmal zeitlich in der Höhe abgestuft erfolgen, oder die Anwendung kann regional sukzessive, somit also zeitlich gestaffelt, nach dem Ausmaß der Lärmbelastung der neu erfassten Eisenbahnstrecken erfolgen.

Die konkret vorhandenen aktuellen Immissionsgrenzwerte für den Neubau und die wesentliche Änderung von Eisenbahnen sollten also nicht unmittelbar mit der Einführung immissionsschutzrechtlicher Anforderungen auch für Bestandsstrecken, also mit der Verkündung entsprechender normativer Vorgaben, in unveränderter Höhe Geltung auch für die Bestandsstrecken beanspruchen.

Vielmehr empfiehlt es sich, nach Ablauf der Übergangsphase eine **schrittweise oder zeitlich versetzte Umsetzung** der Verpflichtung zur Beachtung einheitlicher immissionsschutzrechtlicher Vorgaben für Neubau, wesentliche Änderung und Bestandsstrecken dadurch anzustreben, dass für Bestandsstrecken erst ab einem in der Zukunft liegenden Zeitpunkt und dann entweder materiell schrittweise, durch zunächst gegenüber den aktuellen Immissionsschutzgrenzwerten der 16. BImSchV erhöhte Grenzwerte, die zeitlich gestreckt auf die Grenzwerte der 16. BImSchV abgesenkt werden, oder regional schrittweise, indem vom Zeitpunkt des Inkrafttretens der Neuregelung an von vornherein die Einhaltung der Grenzwerte der 16. BImSchV vorgeschrieben wird, diese Vorgabe aber administrativ erst sukzessive, priorisiert nach dem Ausmaß der durch die jeweilige Eisenbahnstrecke bewirkten Lärmbelastungen, die etwa nach Maßgabe der aktuellen Lärmkartierung oder des im Rahmen des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms entwickelten Gesamtkonzepts ermittelt werden können, für die konkreten Eisenbahnstrecken konkretisiert und dadurch umgesetzt wird.

Zugleich kann durch eine derartige gestufte Vorgehensweise sichergestellt werden, dass die angestrebte Aufnahme der im Projekt vorgeschlagenen Maßnahmen in die Schall 03 oder als abweichende Bahntechnik oder als schalltechnische Innovation im Sinne des § 5 der 16. BImSchV rechtzeitig erfolgt und deren Einsatz zur Erzielung der erforderlichen Immissionsreduktion ermöglicht.

4.2.2.1 Verkündung und Inkrafttreten der Neuregelung

Erster Schritt der angestrebten Erstreckung der bisher nur für den Bau und die wesentliche Änderung von Eisenbahnen geltenden immissionsschutzrechtlichen Anforderungen auf das gesamte Eisenbahnnetz muss die gesetzliche Verankerung dieser Erstreckung im geltenden Immissionsschutzrecht sein.

Hierzu ist eine gesetzliche Regelung zu erlassen, die exakt diese Erstreckung vorsieht. Dies kann durch eine entsprechende Anpassung des § 41 Abs. 1 BImSchG sowie des § 1 der 16. BImSchV erfolgen, nach denen die Vorgaben dieser Regelwerke nicht mehr nur für den Bau und die wesentliche Änderung von Eisenbahnen gelten sollen, sondern schlicht für Eisenbahnen generell. Damit würden auch für die Bestandsstrecken die Vorgaben des BImSchG sowie der 16. BImSchV anwendbar.

Eine derartige Regelung sollte möglichst zeitnah beschlossen und nach Art. 82 Abs. 1 GG verkündet werden. Damit wäre für die Normadressaten so bald wie möglich erkennbar, wie die Rechtslage für Eisenbahnen in Deutschland zukünftig gestaltet ist.

Zugleich sollte die Regelung des Inkrafttretens in den zu verabschiedenden Rechtsakten im Sinne des Art. 82 Abs. 2 GG einen hinreichend langen Zeitraum für die erforderlichen Schritte zur Vorbereitung der tatsächlichen Umsetzung der neuen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben sowie zur Ermöglichung auch des Einsatzes etwa der in diesem Gutachten vorgeschlagenen technischen Maßnahmen im Rahmen der Schall 03 bieten, also die Anwendbarkeit der neuen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben erst von einem in der Zukunft liegenden Zeitpunkt an vorsehen, der einen hinreichenden Übergangszeitraum bis zur Anwendung der neu begründeten Anforderungen vorsieht.

Angesichts des Umfangs und der Intensität der erforderlichen Vorbereitungsmaßnahmen kann hier ein Zeitraum zwischen Verkündung und Inkrafttreten von 10 Jahren durchaus als erforderlich erscheinen.

Alternativ kann eine Regelung des verkehrsbezogenen Immissionsschutzes und insbesondere des Schutzes vor Eisenbahnlärm auch im vorstehend dargestellten Sinne eigenständig in einem entsprechenden Verkehrslärmschutzgesetz erfolgen. Auch für eine derartige Regelung bleiben aber die Überlegungen zum erforderlichen Übergangszeitraum gleich.

4.2.2.2 Stufung der Immissionsschutzgrenzwerte oder Stufung der Anwendung

Auch nach dem Inkrafttreten der neu zu erlassenden Regelung zu einem einheitlichen Immissionsschutz bei Neubau, wesentlichen Änderungen und Bestandsstrecken muss sich an die Übergangsphase zwischen Verkündung und Inkrafttreten der Regelung eine weitere Übergangsphase anschließen, in der die vom Inkrafttreten der maßgeblichen Regelung an einschlägigen normativen Vorgaben dann angewendet und umgesetzt werden.

Im Hinblick auf die konkrete Ausgestaltung des erforderlichen Übergangszeitraums gibt es verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten, die je unterschiedliche Vor- und Nachteile mit sich bringen. Zum einen ist denkbar, für einen Übergangszeitraum zunächst erhöhte Auslösegrenzwerte festzulegen, bei deren Überschreitung zunächst lediglich eine Verpflichtung zur Reduktion der Immissionen auf ein Niveau unterhalb der Auslösegrenzwerte eingriffe, um so eine schrittweise Angleichung an die derzeit geltenden Immissionsgrenzwerte zu erreichen. Zum anderen ist denkbar, die derzeit geltenden Immissionsgrenzwerte gleich der Höhe nach verbindlich für alle Streckenabschnitte festzusetzen, jedoch die Einhaltung dieser Werte erst zeitlich versetzt und sukzessive für einzelne Streckenabschnitte zu fordern und administrativ durchzusetzen.

Die Möglichkeit, für einen Übergangszeitraum von den aktuellen Immissionsgrenzwerten der 16. BImSchV abweichende **höhere Auslösegrenzwerte** festzulegen, hätte zur Folge, dass erst bei deren Überschreitung eine Handlungsverpflichtung ausgelöst würde. Dies birgt den Vorteil, dass zunächst solche Streckenabschnitte von den neuen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben erfasst würden, durch die im Vergleich zu neugebauten oder wesentlich geänderten Streckenabschnitten signifikant höhere Immissionen verursacht werden. Eine solche Regelungstechnik ist bereits dem Grunde nach aus dem Fluglärmschutzrecht bekannt. Beispielsweise wird nach § 2 Abs. 2 Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärmG) im Hinblick auf die einzuhaltenen Immissionsgrenzwerte zwischen Neubau- bzw. Erweiterungsvorhaben und bereits bestehenden Flugplätzen differenziert, vgl. Nr. 1 und Nr. 2 sowie Nr. 3 und Nr. 4 des § 2 Abs. 2 FluglärmG. Insoweit ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich bei den dort geregelten Grenzwerten für Bestandsflughäfen nicht nur um für einen bestimmten Übergangszeitraum geltende erhöhte Auslösewerte handelt, sondern dass diese dauerhaft verbindlich einzuhaltende Grenzwerte darstellen, womit sie sich insoweit von dem hiesigen Regelungsvorschlag unterscheiden. Diese Unterscheidung beruht jedoch maßgeblich auf Gründen der Praktikabilität, da angenommen wird, dass bei neuen oder wesentlich erweiterten Flughäfen ein verbessertes Lärmschutzniveau einfacher erreicht werden kann als bei schon bestehenden Flughäfen.⁴⁶⁰ Jedoch ist im Hinblick auf einen effektiven Gesundheitsschutz und den sich aus Art. 2 II GG ergebenden staatlichen Schutzauftrag ein einheitlich geltendes, an den Anforderungen des Gesundheitsschutzes orientiertes Schutzniveau zu bevorzugen.

⁴⁶⁰ Bundestag (2006): Entwurf eines Gesetzes zur Verbesserung des Schutzes vor Fluglärm in der Umgebung von Flugplätzen, S. 18; Reidt, Fellenberg: § 2 FluglärmG Rn. 24, in: Landmann, Rohmer (2024): Umweltrecht.

Ungeachtet dessen könnte die sich aus § 2 des FluglärmG ergebende Differenz zwischen neuen bzw. baulich erweiterten und bestehenden Flugplätzen in Höhe von 2 und 5 dB jedoch ein Anhaltspunkt für die Bestimmung der Höhe der Auslösegrenzwerte im Schienenverkehr sein.

Ob eine solche Differenz auch auf den Schienenverkehr übertragbar ist, erscheint fraglich, insbesondere im Hinblick auf die bisher geltenden Vorgaben des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms des Bundes. Derzeit beträgt die Differenz zwischen den Werten der Lärmvorsorge und denen der Lärmsanierung je nach Gebietsart zwischen 2 und 7 dB, sodass sich aus dieser Differenz ein geeigneterer Auslösegrenzwert ergeben könnte. Diese Werte des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms wurden erst jüngst mit dem Haushaltsgesetz 2021 um weitere 3 dA(A) abgesenkt, sodass diese im Hinblick auf die praktische Durchführbarkeit und die Besonderheiten des Schienenverkehrs geeigneter erscheinen als die Werte des FluglärmG.⁴⁶¹

Gegen die Festlegung von höheren Auslösegrenzwerten für einen Übergangszeitraum spricht jedoch, dass die einzelnen Streckenabschnitte, die die Auslösegrenzwerte übersteigende Immissionen verursachen, im Laufe der Zeit doppelt im Hinblick auf ihre Lärmverträglichkeit hin überprüft werden müssen. Zum einen müssen nämlich ab Geltung der Auslösegrenzwerte Maßnahmen ergriffen werden, um unterhalb deren Schwelle zu gelangen, zum anderen müssen später erneut Maßnahmen ergriffen werden, um die Einhaltung der nach dem Übergangszeitraum geltenden Grenzwerte des § 2 der 16. BImSchV sicherzustellen. Dies wäre nicht nur mit einem erhöhten Verwaltungs- und Planungsaufwand verbunden, sondern birgt zugleich die Gefahr eines erhöhten Kostenrisikos, da es sein kann, dass im zweiten Schritt teurere Maßnahmen ergriffen werden müssen, welche die vorangegangenen Bestrebungen der ersten Stufe obsolet machen würden.

Alternativ möglich und vorzugswürdig erscheint daher die Option, direkt die derzeit geltenden Immissionsgrenzwerte des § 2 der 16. BImSchV für verbindlich zu erklären, deren Einhaltung jedoch erst **zeitlich gestaffelt und schrittweise** für einzelne Streckenabschnittsgruppen zu fordern. Dies erscheint aus Gründen der Verhältnismäßigkeit, der Rechtssicherheit und vor dem Hintergrund der tatsächlichen Realisierbarkeit geboten, da jede einzelne Phase der Anwendung neuer immissionsschutzrechtlicher Anforderungen auf Bestandsstrecken mit einem nicht unerheblichen Kosten- und Verwaltungsaufwand verbunden ist.

Im Hinblick auf die schrittweise Erfassung einzelner Streckenabschnitte der Eisenbahnen des Bundes empfiehlt es sich, auf die Vorgaben der **Priorisierung der Lärmsanierungsabschnitte** des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms des Bundes zurückzugreifen, welche nach Nr. 2.2 des freiwilligen Lärmsanierungsprogramms durch das BMDV unter Beteiligung der EIU im Rahmen eines Gesamtkonzepts der Lärmsanierung bestimmt werden. Danach sollen vorzugs solche Streckenabschnitte saniert werden, die eine besonders hohe Lärmbelastung aufweisen und eine Vielzahl von Anwohnenden betreffen.⁴⁶² Insbesondere ergibt sich aus den Anlagen zu dem Gesamtkonzept der Lärmsanierung, welche Streckenabschnitte bereits saniert worden sind, in Zukunft saniert werden müssen und in welcher Reihenfolge die Sanierung zu erfolgen hat. Von besonderer Relevanz ist hierbei die Anlage 3 des Gesamtkonzepts der Lärmsanierung, welche eine Priorisierung der einzelnen Streckenabschnitte enthält. Diese richtet sich nach einer Personenkennziffer (PKZ), welche sich nach einer Formel insbesondere aus der Lärmbelastung in dB(A), der Zahl der betroffenen Personen im Lärmsanierungsbereich und der Länge des zu sanierenden Abschnittes errechnet.⁴⁶³ Anhand dieser PKZ könnten sodann mehrere Gruppen gebildet werden, für die sukzessive nach einer bestimmten Übergangsfrist die

⁴⁶¹ BMDV (2022b): Gesamtkonzept der Lärmsanierung 2022, S. 14.

⁴⁶² BMDV (2022b): Gesamtkonzept der Lärmsanierung 2022, S. 7.

⁴⁶³ BMDV (2022b): Gesamtkonzept der Lärmsanierung 2022, S. 10.

Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV gelten. Beispielsweise könnten für gewisse Streckenabschnitte, deren PKZ den Wert (x) übersteigt, nach einer festzulegenden Übergangsfrist die Immissionsgrenzwerte verbindlich gelten.

Für die Strecken der **nichtbundeseigenen Eisenbahnen** ist die soeben dargestellte Vorgehensweise untauglich, da diese Streckenabschnitte nicht von der Förderrichtlinie zur Lärmsanierung umfasst sind und somit auch nicht in dem der Förderrichtlinie zugrundeliegenden Gesamtkonzept berücksichtigt werden. Aus diesem Grund muss sich bei nichtbundeseigenen Strecken das konzeptionelle Vorgehen nach anderen Kriterien richten. Hierfür bietet sich ein nach Streckenabschnitten gestaffeltes Vorgehen an, welches sich nach den Vorgaben zur Lärmkartierung richtet. Danach könnten zunächst solche Streckenabschnitte nichtbundeseigener Eisenbahnen erfasst werden, die „Haupteisenbahnstrecken“ i.S.d. § 47b BImSchG sind, also solche Schienenwege von Eisenbahnen nach dem Allgemeinen Eisenbahngesetz mit einem Verkehrsaufkommen von über 30.000 Zügen pro Jahr. Dies würde sicherstellen, dass zunächst die besonders stark frequentierten Abschnitte den Immissionsgrenzwerten des § 2 der 16. BImSchV unterfallen würden, was i.d.R. auch die Strecken mit besonders lärmbelasteten Anwohnenden sind. Falls es innerhalb der Gruppe der nichtbundeseigenen „Haupteisenbahnstrecken“ noch einer weiteren Staffelung einzelner Streckenabschnitte bedarf, könnte hierzu auf die Ergebnisse der Lärmkartierung zurückgegriffen werden und zunächst die besonders lärmbelasteten Streckenabschnitte dem Anwendungsbereich der Immissionsgrenzwerte des § 2 der 16. BImSchV unterworfen werden, bevor diese Regelungen dann sukzessive auf die übrigen nichtbundeseigenen „Haupteisenbahnstrecken“ und anschließend auf die restlichen Strecken der nichtbundeseigenen Eisenbahnen ausgeweitet werden. Verhältnismäßigkeit der immissionschutzrechtlichen Anforderungen

Nach dem derzeitigen und auch für die vorgeschlagene Neuregelung insoweit beizubehaltenden § 41 Abs. 2 BImSchG gilt Absatz 1 der Vorschrift und damit die Pflicht, sicherzustellen, dass durch Eisenbahnen keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche hervorgerufen werden können, nicht, soweit die Kosten der Schutzmaßnahme außer Verhältnis zu dem angestrebten Schutzzweck stehen würden.⁴⁶⁴

Für die Erstreckung des eisenbahnspezifischen Immissionsschutzrechts auf Bestandsstrecken wird in diesem Gutachten als sachbereichs- und situationsspezifische besondere Ausprägung der Verhältnismäßigkeit in Betracht kommender Schallschutzmaßnahmen vorgeschlagen, insoweit zu berücksichtigen, ob gegebenenfalls im Hinblick auf die in Betracht gezogenen Maßnahmen **substantiell begründete konkrete Aussicht auf zeitnah zu erwartende kostengünstig realisierbare wesentliche Reduktionen** bei den Fahrzeugen oder andere wesentliche Neuentwicklungen technischer Maßnahmen besteht, die in einem absehbaren Zeitraum signifikant günstigere Lösungen für die erforderliche Minderung der zu vermeidenden Immissionen der Eisenbahn bieten. In einem solchen Fall ist diese Möglichkeit in die vorzunehmende Kosten-Nutzen-Abwägung einzubeziehen und sind die einzusparenden Kosten in Relation zu der durch das Zuwarten auf die Realisierbarkeit der neuen technischen Möglichkeiten eintretenden zeitlichen Verschiebung der Umsetzung des Immissionsschutzes zu setzen. Je höher die zu erwartenden finanziellen Einsparungen und je kürzer der absehbare Zeitraum bis zur praktischen Einsatzbarkeit der in Betracht gezogenen Maßnahmen sein werden und je geringer die Anzahl der Betroffenen und das Ausmaß der Überschreitung der einzuhaltenden immissionsschutzrechtlichen Vorgaben ist, desto eher wird in derartigen Situationen aus Verhältnismäßigkeitsgesichtspunkten ein Zuwarten auf die Einsetzbarkeit der

⁴⁶⁴ Zu der Begrenzung der Verpflichtung zum Ergreifen von Schallschutzmaßnahmen durch den Verhältnismäßigkeitsgrundsatz und zu den bislang angewendeten Grundsätzen und Prinzipien der anzustellenden Kosten-Nutzen-Abwägung ausführlicher etwa Reese: § 41 BImSchG Rn. 35 ff., in: BeckOK (2017): Umweltrecht.

absehbar zu erwartenden neuen Möglichkeiten zur Immissionsreduktion als die rechtlich gebotene Vorgehensweise erscheinen.

4.2.2.3 Administrative Umsetzung und Verwaltungsverfahren

Die konkrete Umsetzung der immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für die einzelnen Streckenabschnitte sollte administrativ **durch das EBA** erfolgen, das auch bislang für die nach § 18 AEG durchzuführenden Planfeststellungsverfahren zuständig ist.

Im Hinblick auf die Art des durchzuführenden Verfahrens ist dabei nach der Art bzw. dem bisherigen Rechtsstatus des jeweils betroffenen Streckenabschnitts zu unterscheiden. Für bereits planfestgestellte Streckenabschnitte kommt der **Erlass nachträglicher Anordnungen** auf der Grundlage eines zu modifizierenden § 75 Abs. 2 S. 2 VwVfG in Betracht, für bislang nicht planfestgestellte Streckenabschnitte die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens, eines neu vorzusehenden eisenbahn- oder immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens oder des Erlasses immissionsschutzrechtlicher Anordnungen.

Planfestgestellte Strecken

Bei Streckenabschnitten, für die bereits ein Planfeststellungsbeschluss ergangen ist, der aber in Anwendung von **immissionsschutzrechtlichen Vorschriften** ergangen ist, die wesentlich höhere Immissionsgrenzwerte vorgesehen haben als die aktuell geltenden, ab dem Zeitpunkt ihres Inkrafttretens auch für die Bestandsstrecken maßgeblichen Grenzwerte kommt der Erlass von nachträglichen Anordnungen zum Planfeststellungsbeschluss in Betracht, die auf der Grundlage des Regelungsgedankens von § 75 Abs. 2 S. 2 VwVfG ergehen könnten. Hierfür erforderlich wäre eine Ergänzung des § 75 Abs. 2 VwVfG um eine Regelung, nach der nicht nur wie bisher nicht voraussehbare Auswirkungen eines Vorhabens, sondern auch die schwerwiegende Unvereinbarkeit eines Vorhabens mit nach Eintritt der Unanfechtbarkeit des Planfeststellungsbeschlusses erlassenen drittschützenden Vorschriften einen Anspruch der Betroffenen auf Vorkehrungen oder die Errichtung und Unterhaltung von Anlagen begründen, die die nachteiligen Auswirkungen des Vorhabens ausschließen und die dem Träger des Vorhabens durch Beschluss der Planfeststellungsbehörde aufzuerlegen sind. Im Falle der Untunlichkeit von Vorkehrungen und Anlagen oder ihrer Unvereinbarkeit mit dem planfestgestellten Vorhaben träte ein Entschädigungsanspruch in Geld an die Stelle des Anspruchs auf nachträgliche Anordnungen.

Ebenso kommt auch für Streckenabschnitte, für die ein Planfeststellungsverfahren in Anwendung der aktuellen Immissionsschutzgrenzwerte durchgeführt worden ist, bei denen aber etwa die **aktuelle Verkehrsentwicklung** signifikant von den dem Planfeststellungsbeschluss zugrundegelegten Verkehrsprognosen abweicht, der Erlass nachträglicher Anordnungen auf der Grundlage des § 75 Abs. 2 S. 2 VwVfG in Betracht.⁴⁶⁵ Hier erscheint nicht einmal eine Änderung oder Ergänzung des aktuell geltenden Verwaltungsverfahrenrechts erforderlich, denn eine von den zugrundegelegten Verkehrsprognosen signifikant abweichende Verkehrsentwicklung kann unschwer als „nicht voraussehbare Wirkung des Vorhabens“ im Sinne des bestehenden § 75 Abs. 2 S. 2 VwVfG eingeordnet werden, die einen Anspruch der Betroffenen auf den Erlass nachträglicher Anordnungen oder im Falle der Untunlichkeit solcher nachträglicher Anordnungen oder ihrer Unvereinbarkeit mit dem Vorhaben einen Anspruch auf Schadensersatz begründet.

Es sei angemerkt, dass dies auch zur Folge haben kann, dass lärm mindernde Maßnahmen, die zu einem früheren Zeitpunkt ergriffen wurden, reduziert werden können. So ist es denkbar, dass baufällig gewordene Schallschutzwände, die mit hohen Kosten erneuert werden müssten,

⁴⁶⁵ So auch BVerwG, Urt. v. 07.03.2007 – Az. 9 C 2.06, Rn. 26 und 28.

stattdessen entfernt werden, wenn inzwischen die Verkehrsaktivität auf der Strecke gesunken ist oder wenn sie von leiseren Zügen erbracht wird.

Schließlich kommt für alle planfestgestellten Streckenabschnitte für den Fall, dass nachträgliche Anordnungen für den Streckenabschnitt unzureichend sind, als ultima ratio die Aufhebung des Planfeststellungsbeschlusses auf der Grundlage von § 49 Abs. 2 Nr. 5 VwVfG in Betracht, wenn dies erforderlich ist, um schwere Nachteile für das Gemeinwohl zu verhüten oder zu beseitigen.⁴⁶⁶

Nicht Planfestgestellte Strecken

Anders stellt sich die Rechtslage für bislang nicht planfestgestellte Strecken dar. Hier kommen als administrative Verfahren zur Gewährleistung der Einhaltung der neu zu erfüllenden immissionsschutzrechtlichen Grenzwerte unterschiedliche Verfahrensarten in Betracht: Vorstellbar ist die Durchführung des in § 18 Abs. 1 S. 1 AEG bislang nur für den Bau oder die wesentliche Änderung von Eisenbahninfrastruktur vorgesehenen Planfeststellungsverfahrens, das eine weitgehende Partizipation der Betroffenen sichert, aber administrativ und prozedural die weitestreichenden Anforderungen stellt, ohne dass wesentliche Elemente der Eisenbahnstrecke, auf die die immissionsschutzrechtlichen Grenzwerte neu Anwendung finden, wie etwa die Linienführung der Strecke oder deren Betriebsprogramm, tatsächlich neu planfestgestellt werden könnten. Wenn die Durchführung eines solchen Planfeststellungsverfahrens unabhängig von Bau oder wesentlicher Änderung der baulichen Anlagen wegen der neuen Erstreckung der immissionsschutzrechtlichen Anforderungen auf nicht planfestgestellte Bestandsstrecken stattfinden soll, ist hierzu eine entsprechende Änderung des § 18 AEG erforderlich. Mit einer solchen Änderung könnte dann nach Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens in einem Planfeststellungsbeschluss festgelegt werden, welche Vorkehrungen zur Einhaltung der immissionsschutzrechtlichen Grenzwerte erforderlich sind.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob andere Verfahrensarten für die administrative Konkretisierung der erforderlichen Maßnahmen zur Einhaltung der neu geltenden immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für bislang nicht planfestgestellte Eisenbahnstrecken zur Verfügung stehen oder vorgesehen werden können.

In Betracht kommt diesbezüglich etwa eine **Erweiterung der Befugnisse des EBA** im Rahmen von § 5a Abs. 2 AEG, die Maßnahmen zur Beseitigung festgestellter Verstöße und zur Verhütung künftiger Verstöße nicht nur gegen die in § 5 Abs. 1 AEG genannten Vorschriften zu treffen, sondern ebenso bei Verstößen oder zur Verhütung künftiger Verstöße gegen das für die Eisenbahnstrecke maßgebliche eisenbahnspezifische Immissionsschutzrecht. Ein solches Vorgehen könnte die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens entbehrlich machen und dadurch den administrativen Aufwand der sukzessiven Erstreckung der aktuellen immissionsschutzrechtlichen Grenzwerte auch auf nicht planfestgestellte Eisenbahnstrecken deutlich reduzieren.

4.3 Empfehlungen

Auf Grundlage der vorherigen Überlegungen empfehlen die Gutachter*innen, die Immissionsgrenzwerte des § 2 Abs. 1 der 16. BImSchV durch entsprechende Änderung des § 41 BImSchG sowie des § 1 der 16. BImSchV auch auf bislang nicht den aktuellen immissionsschutzrechtlichen Anforderungen des BImSchG für Neubau und wesentliche Änderung von Schienenwegen unterliegende Schienenwege auszuweiten.

Dabei sollte zunächst ein **Übergangszeitraum von 10 Jahren** bis zum Inkrafttreten der neuen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben vorgesehen werden, in dem die entsprechenden

⁴⁶⁶ BVerwG, Urt. v. 28.04.2016 – Az. 4 A 2/15, Rn. 31 f.

Vorbereitungsmaßnahmen ergriffen werden können. Insbesondere sollte in dieser Zeit für die Vermeidung der Überschreitung der vorgegebenen Grenzwerte der Katalog der möglichen schalltechnischen Maßnahmen um die in diesem Gutachten vorgeschlagenen effizienten und kostengünstigen Maßnahmen insbesondere am Fahrzeug ergänzt werden. Zugleich sollten bei der Auswahl der geeigneten Mittel zur Lärminderung bei gleicher Eignung der Mittel schalltechnischen Maßnahmen am Fahrzeug ein Vorrang vor anderen Möglichkeiten der Immissionsreduktion eingeräumt werden, was so auch als Prinzip normativ geregelt werden sollte. Dies bietet den Vorteil, dass der Einsatz dieser Maßnahmen eine Lärmreduktion nicht nur lokal, sondern auf dem gesamten befahrenen Schienennetz bewirkt.

Nach Ablauf der Übergangsphase zwischen Verkündung und Inkrafttreten der neuen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben sollten diese administrativ **sukzessive und priorisiert** nach der nach Maßgabe der Lärmkartierung ermittelten Lärmbelastung auf die neu zu erfassenden Eisenbahnstrecken angewendet und die jeweils streckenbezogen erforderlichen Maßnahmen festgelegt werden, und zwar jeweils in einem der planungsrechtlichen Situation der jeweils betroffenen Strecke entsprechenden Verfahren. Dabei kann ggf. auch ein Zuwarten auf die Einsetzbarkeit von absehbar zu erwartenden neuen Möglichkeiten zur Immissionsreduktion einbezogen werden.

Da der Prozess der Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandsstrecken somit langwierig ist, sollte die **Lärmsanierung** zunächst weitergeführt werden. Sie sollte so geregelt werden, dass eine Strecke der Eisenbahnen des Bundes, die in den Immissionsschutz einbezogen wurde, aus dem Anwendungsbereich der Lärmsanierung herausfällt. Somit wird mit der sukzessiven Umsetzung des Immissionsschutzes die Lärmsanierung nach und nach abgelöst.

Die Betreiber der Schienenwege führen ein Nutzungsregister, in dem das tatsächliche Betriebsprogramm auf einer Strecke (also die Zahl und Art und die zeitlichen Lagen der dort eingesetzten Züge) festgehalten wird und das von der Aufsichtsbehörde eingesehen werden kann. Bei einer dauerhaften und signifikanten Änderung des Betriebsprogramms ist die rechnerische Einhaltung der Immissionsgrenzwerte neu zu prüfen. In der Folge sind ggf. die Anforderungen an lärm mindernde Maßnahmen anzupassen. Ähnlich ist zu verfahren, wenn die aus dem Gesundheitsschutz folgenden normativen Anforderungen an den Lärmschutz geändert werden.

Trotz des langen Umsetzungszeitraums **erfüllt die Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandsstrecken vier Aufgaben:**

- ▶ Sie setzt einen kontinuierlichen Anreiz für die Politik, den Lärmschutz langfristig mit Nachdruck zu betreiben und mit *anderen* Instrumenten auf langfristig kostengünstige Maßnahmen hinzuwirken. Solche Instrumente wurden in Kapitel 3 dieses Gutachtens herausgearbeitet, und in der Zukunft können daran anschließend weitere Instrumente dieser Art entwickelt werden.
- ▶ Sie gibt Rechtssicherheit und Klarheit über die konkret einzuhaltenden zukünftigen Anforderungen. Dies ist Gründen des Vertrauensschutzes sowohl gegenüber den Akteuren des Bahnsektors als auch gegenüber den Anwohnenden notwendig und unterstützt auch effiziente Verfahren bei Verwaltungen und Politik.
- ▶ Sie gibt den Anwohnenden die Perspektive, dass ihr Anspruch auf Gesundheitsschutz ernst genommen wird.

- Sie vereinheitlicht und dynamisiert den auf Schienenverkehrslärm bezogenen Immissionsschutz in einer adäquaten Art, da auf Änderungen in den Verkehrsverhältnissen oder den Anforderungen des Lärmschutzes langsam und sukzessive reagiert wird.

5 Zusammenfassung und zentrale Pfeiler der Lärmschutzpolitik

5.1 Zusammenfassung und zeitliche Wirkungsperspektive

5.1.1 Instrumente und Maßnahmen bei den Fahrzeugen

Lärminderungen bei Triebfahrzeugen und Reisezugwagen

Es wird empfohlen, dass der Bund eine EU-Initiative ergreift, um auf eine Senkung der Grenzwerte der TSI Noise für alle Lokomotiven und Elektrotriebzüge sowie auch für Reisezugwagen hinzuwirken. Eine deutliche Absenkung der Grenzwerte wurde seit Einführung der TSI Noise im Jahre 2006 trotz mehrerer Änderungen in den Jahren 2011, 2014, 2019 und 2023 bisher versäumt. Vorgeschlagen werden folgende Absenkungen der Grenzwerte:

- ▶ Lokomotiven: Für das Anfahrgeräusch bei Elektrolokomotiven Grenzwert 78 dB(A) und bei Diesellokomotiven 81 dB(A), was jeweils einer Absenkung um 6 dB(A) für die höhere Leistungsklasse entspricht. Für das Vorbeifahrgeräusch Grenzwert 79 dB(A), eine Minderung um 5 bzw. 6 dB(A). Für das Standgeräusch sind deutlich stärkere Absenkungen vorgesehen, die in Tabelle 4 in Abschnitt 3.3.3 gelistet werden.
- ▶ Elektrotriebzüge: Für das Anfahrgeräusch Grenzwert 71 dB(A), was einer Absenkung um 9 dB(A) für Fahrzeuge mit Geschwindigkeit unter 250 km/h und um 12 dB(A) für Fahrzeuge mit Geschwindigkeit über 250 km/h entspricht. Für das Vorbeifahrgeräusch Grenzwert 75 dB(A) für Geschwindigkeit 80 km/h und 90 dB(A) für Geschwindigkeit 250 km/h, was jeweils einer Minderung um 5 dB(A) entspricht. Für das Standgeräusch werden deutliche Minderungen von 10 bis 15 dB(A) angeregt.
- ▶ Reisezugwagen: Für das Standgeräusch werden Minderungen um 5 bis 15 dB(A) vorgeschlagen, während das Vorbeifahrgeräusch moderat um 2 dB(A) auf 77 dB(A) gesenkt werden soll.

Die Grenzwertabsenkungen gelten für Neufahrzeuge und zielen in erster Linie auf lärmmindernde Maßnahmen hinsichtlich ihrer Aggregatgeräusche und ihres Rollgeräuschs. Hierfür steht den Fahrzeugherstellern eine Vielzahl lärmmindernder Maßnahmen zur Verfügung, welche bei Kompressoren, Lüftern, Umrichtern, Motoren, Getrieben, Bremssystemen, Rädern und Drehgestellen ansetzen können. Beim Hochgeschwindigkeitsverkehr können zudem auch aerodynamische Geräusche auftreten, die durch aerodynamisch optimierte Pantographen oder Schürzen am Drehgestell und im Dachbereich gemindert werden können.

Insbesondere sollen die Lärmemissionen von zukünftig neu in Betrieb zu nehmenden Güterzuglokomotiven gesenkt werden. Außerdem soll sichergestellt werden, dass neu entwickelte Elektrotriebfahrzeuge nicht lauter werden als einige bisher angebotene Modelle, die die aktuell gültigen Grenzwerte der TSI Noise noch nicht ganz ausschöpfen.

Die genannten Emissionsminderungen sind aus Sicht der Gutachter*innen bei Neuwagen erreichbar. Die Kosten bestehen in erster Linie in Entwicklungskosten, während die Einzelkosten der lärmmindernden Maßnahmen im Verhältnis zu den Gesamtkosten neuer Triebfahrzeuge nicht ins Gewicht fallen. Bei den Reisezugwagen sind die überschaubaren Grenzwertminderungen leicht zu erfüllen und werden daher ebenfalls nur geringe Kosten verursachen. Die notwendigen Kostensteigerungen werden sehr unterschiedlich ausfallen, je nach Art der Maßnahmen, die von der Industrie zur Erfüllung der Grenzwerte getroffen werden

müssen. Wenn Anpassungen im Bereich der Lüfter ausreichend sind, sind die Kostensteigerungen minimal. Am teuersten sind Anpassungen im Bereich der Getriebekonstruktionen, die bei den Neufahrzeugen zu Preiserhöhungen um 4 % führen können (ca. 160.000 Euro).⁴⁶⁷

Die Absenkung der Grenzwerte der TSI Noise sollte auch für Elektrotriebfahrzeuge, die im SPNV eingesetzt werden, angestrebt werden. Dessen ungeachtet soll die anschließend beschriebene koordinierte Vorgehensweise der Länder für den SPNV bewirken, dass schon in absehbarer Zeit im deutschen SPNV für neu bestellte Verkehre nur solches Zugmaterial eingesetzt wird, dessen Lärmemissionen deutlich unterhalb der aktuellen Grenzwerte der TSI Noise liegen. Dies gilt für Neu- und Gebrauchtfahrzeuge.

Beim SGV (und, nachgeordnet, auch beim SPFV) bleibt dann das Problem bestehen, dass auch nach einer Absenkung der Grenzwerte der TSI Noise, die für Neufahrzeuge gelten, noch auf viele Jahre oder gar Jahrzehnte alte und deutlich lautere Triebfahrzeuge im Einsatz bleiben. Je nachdem, wie gravierend das Problem sein wird, kann dies in der Zukunft mit verschiedenen Instrumenten adressiert werden. In Frage kommen Einschränkungen ihres Einsatzes auf den „Quieter Routes“ des Schienennetzes in Verbindung mit Förderangeboten zur Aus- oder Umrüstung mit lärm mindernden Maßnahmen. In Frage kommen auch lärmabhängige Trassenpreise für laute Elektrotriebfahrzeuge. Dies ist jedoch später zu entscheiden.

Lärmminderungen bei den Fahrzeugen des SPNV

Es wird empfohlen, dass die Länder in einer **koordinierten Vorgehensweise** eine Minderung des Lärms der Fahrzeuge des SPNV anstreben. Hierbei ist auch eine Abstimmung mit dem Bund erforderlich, so dass sie sich im Idealfall zu einer Bund-Länder-Agenda für die Lärmminderung zusammenfinden.

In diesem Rahmen verpflichten sich die Länder – nach Vorgesprächen mit der Industrie und anderen Akteuren – per Erklärung, nach einer Übergangszeit von 5 Jahren bei den **Bestellungen von Verkehrsverträgen** den Einsatz lärm armer Fahrzeuge von den Eisenbahnverkehrsunternehmen zu verlangen (das heißt ihre Aufgabenträger entsprechend anzuweisen). Diese Anforderung gilt also für alle nach der fünfjährigen Übergangsphase anfallenden Neuverträge. Die im Rahmen dieser Bestellungen geforderten lärmarmen Fahrzeuge erfüllen Emissionsgrenzwerte, welche deutlich unterhalb der aktuellen Grenzwerte der TSI Noise liegen und weitgehend schon in den Fahrzeugempfehlungen des BSN von 2023 zur freiwilligen Einhaltung den Aufgabenträgern empfohlen werden.

Die lärm mindernden Maßnahmen werden bei Neufahrzeugen und auch bei Bestandsfahrzeugen anlässlich ihrer Grunderneuerung für Neuverträge vorgenommen, allerdings mit unterschiedlichen Emissionsgrenzwerten. Sie umfassen Maßnahmen die bei den Kompressoren, Lüftern, Umrichtern, Motoren, Getrieben, Bremssystemen, Rädern und Drehgestellen ansetzen können und führen zu folgenden Emissionsminderungen gegenüber den aktuellen Grenzwerten der TSI Noise:

- Entsprechend den Fahrzeugempfehlungen des BSN ist für das Vorbeifahrgeräusch an der graden Strecke bei neuen Elektrotriebzügen eine Emissionsminderung um 5 dB(A) und bei gebrauchten Elektrotriebzügen um 4 dB(A) vorgesehen. Für das Anfahrgeräusch sind Minderungen von 9 bzw. 6 dB(A) vorgesehen.⁴⁶⁸

⁴⁶⁷ Siehe EMPA, Technische Universität Berlin (2023): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven, S. 51.

⁴⁶⁸ Beim Anfahrgeräusch für Gebrauchtfahrzeuge empfehlen die Gutachter*innen aus Gründen der Machbarkeit eine etwas geringere Minderung als die Fahrzeugempfehlungen des BSN.

- Für die nächtliche Abstellung existieren derzeit noch keine Grenzwerte in der TSI Noise. Die Gutachter*innen schlagen vor, dass die Fahrzeuge in Zukunft die in den Empfehlungen der EuroSpec vorgeschlagenen Werte einhalten sollen. Dies bedeutet u. a. die Einhaltung eines Dauerschallpegels von 50 dB(A) im Zustand Schlummern für kontinuierliche Schallquellen sowie 64 dB(A) im Zustand Standby. Darüber hinaus sind weitere Anforderungen an intermittierende und impulsive Schallquellen sowie den Bremstest definiert, die im Detail in Abschnitt 3.7.3 genannt werden. Die Besonderheit der Vorschläge der EuroSpec ist, dass alle Schallquellen einzeln vermessen werden, sodass jeweils die entsprechende Schallleistung ausgewiesen werden kann. Diese kann auch für Immissionsrechnungen genutzt werden.
- Für das Türwarnsignal sollte die nach TSI PRM zulässige anpassungsfähige Warneinrichtung gefordert werden, wonach sich das Signal an den vorliegenden Umgebungsgeräuschen orientiert und mindestens 5 dB(A) über diesen liegt (während nicht anpassungsfähige Warnsignale konstant 70 dB(A) emittieren).

Die vorgeschlagene **Bund-Länder-Agenda** dient als Organisationsform für das langfristige, gemeinsame und gegenüber der Industrie glaubhafte Vorgehen von Bund, Ländern und den vielen beteiligten Aufgabenträgern.

Gleichzeitig mit der gemeinsamen Erklärung von Bund und Ländern wird im Regionalisierungsgesetz ein Förderbetrag ausgelobt, der an Aufgabenträger gezahlt wird, die lärmarme Fahrzeuge verlangen und dadurch mögliche Nachteile wie Mehrkosten oder eine Verringerung der Zahl der Bieter in Kauf nehmen. Der Förderbetrag ist unabhängig von den eigentlichen Regionalisierungsmitteln, die der Finanzierung der Verkehrsbedienung dienen, und kommt additiv hinzu. Er wird 10 Jahre lang ausgezahlt, beginnend nach Ablauf der fünfjährigen Übergangszeit. Er dient zum einen der Aufwandsteilung zwischen Bund und Ländern, da sowohl der Bund als auch die Länder ein Interesse am Lärmschutz der Bevölkerung haben. Zum anderen dient er der Selbstbindung der Länder, sich an die Erklärung zu halten. Zur detaillierten Gestaltung des Förderprogramms in Hinblick auf die Stärkung der Selbstbindung siehe Abschnitt 3.5.5.

Die fünfjährige Übergangszeit soll in Verbindung mit der koordinierten und verpflichtenden Erklärung der Länder und der im Rahmen des Regionalisierungsgesetzes vorgenommenen Förderung derjenigen Aufgabenträger, die sich an die Erklärung halten, dazu führen, dass die Industrie entsprechende Maßnahmen der Lärminderung entwickelt und in den Neufahrzeugen oder für die Grunderneuerung von Gebrauchtfahrzeugen standardmäßig und preisgünstig anbietet.

Ähnlich wie bei den zuvor angesprochenen Triebfahrzeugen bestehen die Kosten in erster Linie in Entwicklungskosten, während bei Neufahrzeugen die Einzelkosten der lärm mindernden Maßnahmen im Verhältnis zu den Gesamtkosten neuer Triebfahrzeuge nicht stark ins Gewicht fallen. Hinsichtlich der Anpassungen bei Gebrauchtfahrzeugen können die Kosten etwas höher ausfallen, doch werden sie sich ebenfalls in Grenzen halten, da die Anforderung nur anlässlich von Neuverträgen zu erfüllen sind, wenn Gebrauchtfahrzeuge ohnehin einer Grundrevision unterzogen werden.

Die rechtliche Zulässigkeit einer koordinierten Vorgehensweise wird in Abschnitt 3.5.4 ausführlich diskutiert. Es könnte Einwände der EU gegen eine nationale, koordinierte Bestellpolitik geben, bei der die Einhaltung von Grenzwerten unterhalb derer der TSI Noise verlangt wird. Dies bedarf einer Abklärung mit der EU, doch gibt es einige Argumente, die dafür sprechen, dass die EU diese Vorgehensweise nicht als Umgehung der TSI Noise auffassen wird. Es kann auch, auf nationaler Ebene, Einwände gegen die Verankerung der Förderpolitik innerhalb des Regionalisierungsgesetzes geben. Doch auch hier gibt es Argumente, die dafür

sprechen, dass dies möglich ist, da die eigentlichen Regionalisierungsmittel hiervon nicht betroffen sind. Im Übrigen könnte eine Förderung auch im Rahmen eines separaten Förderprogramms, außerhalb des Regionalisierungsgesetzes, umgesetzt werden.

Lärmminderungen bei den Güterwagen

Nachdem die Schienengüterverkehrsbranche erst vor kurzem mit der Abschaffung der Grauguss-Bremssohlen bei den Bestandswagen eine beträchtliche Anstrengung zur Lärmminderung geleistet hat und ihr zudem in absehbarer Zeit eine weitere Anstrengung zur Umstellung der Neu- und Bestandsfahrzeuge auf die DAK und weitere damit verknüpfte Innovationen wie automatische Bremsprobe und ep-Bremse bevorsteht, ist es im Sinne der Verkehrswende bis auf Weiteres nicht sinnvoll, ihr noch zusätzliche beträchtliche Kosten für weitergehende lärmmindernde Maßnahmen aufzubürden (wie es etwa durch den verpflichtenden Einsatz von Radschallabsorbern bei den Bestandswagen denkbar wäre⁴⁶⁹).

Für Neuwagen gibt es jedoch zusätzlich Optionen der Lärmminderung, welche sich bei hoher Laufleistung der Wagen langfristig infolge von Einsparungen bei den laufenden Kosten selbst finanzieren und daher insbesondere bei den Wagen des kombinierten Verkehrs (welche eine sehr hohe jährliche Laufleistung aufweisen) nur vergleichsweise geringer zusätzlicher Anreize durch politische Instrumente bedürfen, um ihnen zum Durchbruch zu verhelfen. Gemeint ist der Einsatz von Scheibenbremsen in Verbindung mit Rädern mit geradem Radsteg und einem Gleitschutz, dazu möglichst auch ein innovatives Drehgestell. Dieses Maßnahmenpaket lässt eine Lärmminderung von bis zu 5 dB(A) in der Geraden und bis zu 10 dB(A) in der Bogenfahrt erwarten⁴⁷⁰ (Minderungseffekte seitens der infrastrukturseitigen Maßnahmen kommen hinzu) und gleichzeitig Einsparungen bei den laufenden Kosten, die die höheren Anschaffungskosten kompensieren.⁴⁷¹ In wirtschaftlicher Hinsicht profitieren diese Innovationen zukünftig auch vom Vorhandensein der DAK und den weiteren damit verknüpften Innovationen, insbesondere von der durch die DAK bereitgestellten Stromversorgung im Güterzug. Zur Innovationsperspektive bei den Güterwagen siehe Abschnitt 3.6.3.

Allerdings ist bei den Scheibenbremsen zuvor das bei hohen Laufleistungen derzeit auftretende Problem der Ausbröckelungen an den Rädern zu lösen, welches den Einsparungseffekt bei den laufenden Kosten umzudrehen droht. Der Einsatz von Gleitschutz verspricht hier eine Lösung, die auch weitere Vorteile mit sich bringt. Entsprechende Erprobungen sind bereits angelaufen. Auch die innovativen Drehgestelle müssen noch weiterentwickelt und -untersucht und dann als kommerzielle Produkte auf den Markt gebracht werden. Dies entspricht dem Entwicklungsstand der DAK. Doch kann in schon wenigen Jahren der moderne, lärmarme Güterwagen der Zukunft, der alle diese innovativen Komponenten vereint, auf den Markt kommen.

Obwohl die lärmmindernden Komponenten bei hohen Laufleistungen aller Voraussicht nach selbstfinanzierend sein werden, wird es ohne staatliche Förderung nicht gehen, da der positive

⁴⁶⁹ Radschallabsorber sind die einzige erprobte Maßnahme an den Güterwagen, die eine beträchtliche Minderung des Rollgeräuschs erreicht, nämlich bis zu 4 dB(A) in der Geraden und bis zu 15 dB(A) in der Kurve (als Mittelwert der Erkenntnisse wird für die Gerade 2,5 dB(A) angesetzt). Ihre Anschaffungskosten liegen jedoch bei ca. 9.000 Euro pro Wagen; zudem ziehen sie laufende Kosten von ca. 250 Euro pro Jahr und Wagen nach sich.

⁴⁷⁰ Minderung des Rollgeräuschs um 3 dB(A) durch glatte Räder und geraden Radsteg (beides durch Scheibenbremse ermöglicht). Reduzierung der akustisch relevanten Flachstellen, im Durchschnitt anrechenbar mit 1 dB(A), infolge des Gleitschutzes und weiterer Innovationen und Entwicklungen des Bahnsystems (ep-Bremse, ETCS mit Führerstandssignalisierung und vorausschauendes Fahren, Fahrerassistenzsysteme, Nutzung des Rekuperationsbremsens durch die Lok, zukünftig bessere Trassen für gleichmäßigeres Fahren des SGV). Das innovative Drehgestell bewirkt durch die Primärfederung eine Minderung von 1 dB(A) in der Geraden, durch radial einstellende Räder zusätzlich 4 bis 10 dB(A) in der Bogenfahrt.

⁴⁷¹ Einsparung bei den Instandhaltungskosten ergeben sich durch geringeren Radverschleiß infolge der Scheibenbremse und durch Reduzierung der instandhaltungsrelevanten Flachstellen (siehe vorige Fußnote). Die Räder mit geradem Radsteg sind zudem billiger als konventionelle Räder, aber nur bei Scheibenbremse möglich. Energieeinsparungen ergeben sich durch besseres Fahren und Bremsen (siehe vorige Fußnote) und, bei Einsatz eines innovativen Drehgestells, auch durch radial einstellende Räder im Bogen.

wirtschaftliche Effekt nicht sicher und nicht groß genug ist, als dass man sich darauf verlassen könnte, dass die Unternehmen dieses Potenzial von sich aus erschließen. Es sind auch Einführungs- und Systemkosten zu überwinden, die aufgrund einer Steigerung der Variantenvielfalt der Wagenkomponenten auftreten, auch im Bereich der Wartungs- und Instandhaltungsprozesse. Diese Hürden können aber mit einer überschaubaren staatlichen Förderung, die gut durchdacht ist, überwunden werden.

Empfohlen wird daher eine lärmorientierte **Innovations- und Investitionsförderung** für den modernen, lärmarmen und wirtschaftlichen Güterwagen der Zukunft. Diese soll neben Elementen einer klassischen Innovationsförderung für Entwicklung und Erprobung auch eine begrenzte Investitionsförderung für die Umsetzung dieser Maßnahmen bei den einzelnen Wagen beinhalten. Die Gutachter*innen empfehlen eine Direktförderung für die Ausstattung der ersten 3.500 Neuwagen mit dem genannten Maßnahmenpaket (also: Scheibenbremsen, Räder mit geradem Radsteg, Gleitschutz, innovative Drehgestelle) in Höhe von 16.000 Euro pro Wagen, sodass sich eine Fördersumme von etwa 56 Mio. Euro ergibt, an der sich die EU beteiligen sollte, zum Beispiel im Rahmen der CEF. Damit sollen vor allem die Neuwagen des kombinierten Verkehrs (Containertragwagen und Taschenwagen) angesprochen werden, die aufgrund ihrer hohen Laufleistung von mehr als 150.000 km pro Jahr die wirtschaftlichen Vorteile dieser Maßnahmen bei den laufenden Kosten ausschöpfen. Die Wagen des kombinierten Verkehrs machen einen Anteil von etwa 25 % aller Güterwagen aus, doch absolvieren sie aufgrund ihrer sehr hohen Laufleistungen etwa 50 % der Laufleistung (in Wagen-Kilometer) aller Güterwagen, sodass ihnen auch etwa die Hälfte der Lärmemissionen der Güterwagen zugerechnet werden kann.

Wenn der Durchbruch gelingt und die wirtschaftlichen Vorteile zutage treten, dann profitiert die Branche von dieser Politik – wie es bei jeder gelungenen Innovations- und Wirtschaftsförderung der Fall ist. Hier handelt es sich also um eine Form der Lärmschutzpolitik, die den betroffenen Sektor nicht belastet, sondern wirtschaftlich fördert. Da der betroffene Sektor der SGV ist, steht diese Förderung ganz im Einklang mit den Zielen der Verkehrswende.

Allerdings geht es nicht ohne ein zusätzliches, differenzierendes, **lärmabhängiges Trassenpreissystem oder staatliche Trassenpreisboni**. In letzterem Fall wird die Branche nochmals gefördert. Aber auch ohne diesen zusätzlichen Förderaspekt, also im Falle eines selbstfinanzierenden Trassenpreissystems, sollte die Branche diesem nicht allzu kritisch gegenüberstehen, da sie ja insgesamt durch die Lärmschutzpolitik diesmal nicht belastet, sondern wirtschaftlich gefördert wird.

Das zusätzliche Trassenpreisinstrument ist notwendig, um einen Anreiz zu setzen, die lärmarmen Güterwagen zu lärmarmen Güterzügen zusammenzustellen. Denn für die Anwohnenden ist ein akustischer Effekt kaum bemerkbar, wenn ein Güterzug nur vereinzelt lärmarme Güterwagen enthält. Da die lärmarmen Güterwagen Neuwagen sind, werden sie nur langsam in den Markt kommen. Verstreut eingesetzt müsste man an die 40 Jahre warten, bis sich ein spürbarer Effekt auf die Lärmbelastung ergibt. Wenn hingegen die lärmarmen Neuwagen sofort zu lärmarmen Güterzügen kombiniert werden, dann werden diese Züge von den Anwohnenden als leise wahrgenommen. Dies kann nur durch eine Trassenpreisförderung für 100 % lärmarme Güterzüge angereizt werden, die nicht befristet werden darf, sondern über Jahrzehnte aufrechterhalten werden muss.

Die Trassenpreisförderung zielt deshalb primär auf die sogenannten Ganzzüge des kombinierten Verkehrs ab, die in recht stabilen Garnituren operieren und vielfach auf den hochbelasteten Strecken – auch im sogenannten Nachtsprung – eingesetzt werden. Diese Züge sollen nach und nach lärmarm werden, indem die neuen, lärmarmen Güterwagen zunächst nur bei ihnen zum

Einsatz kommen. Viele Nachteile, die in Hinblick auf das frühere, für die Umrüstung von Grauguss- auf Verbundstoffbremssohlen eingesetzte lärmabhängige Trassenpreissystem diskutiert wurden, treten bei einem langfristigen und auf Ganzzüge abstellenden System nicht auf; siehe dazu Abschnitt 3.6.4.1.

Das Trassenpreisinstrument ist zudem notwendig, um einen Anreiz zu setzen, die lärmarmen Güterzüge vorzugsweise an den Hotspots der Lärmbelastung und dort besonders in der Nacht einzusetzen, damit für die Anwohnenden gerade dort Aussicht auf eine einigermaßen zügige Besserung der Situation besteht. Um einen Anreizeffekt zu erzielen, sollte die Trassenpreisförderung aber nicht verstreut für alle Hotspots gelten, sondern zunächst auf ausgewählte, längere Strecken konzentriert werden. Insbesondere ist der Rheinkorridor zu nennen, wo es viele Betroffene gibt und viele Ganzzüge des kombinierten Verkehrs eingesetzt werden. Als nächste größere Einheit bietet sich die Menge der „Quieter Routes“ (gemäß der TSI Noise) oder eine Teilmenge davon an.

Der neuartige Aspekt dieses Instruments besteht somit darin, dass die lärmabhängigen Trassenpreise auf eine *Einsatzlenkung* der lärmarmen Güterwagen und Güterzüge zielt, nicht primär auf die Umrüstung oder Ausstattung der Wagen. Dies hat auch eine europaweite Perspektive. Aufgrund der dann in Deutschland errichteten Förderkulisse wird ein großer Teil der europaweit beschafften Neuwagen des kombinierten Verkehrs als lärmarme Wagen ausgestattet und vorzugsweise in lärmarmen Güterzügen in Deutschland eingesetzt werden. Der Bedarf für zusätzliche Güterwagen in anderen Mitgliedstaaten der EU, die keinen Wert auf Lärminderung legen, kann dann durch (lautere) Bestandswagen gedeckt werden, die bisher in Deutschland eingesetzt wurden. Dieser Sortiereffekt wird die Transformation der deutschen Wagenflotte des kombinierten Verkehrs in Richtung auf lärmarme Wagen beschleunigen.

Das Trassenpreissystem ist zudem ein flexibles Instrument, welches im Laufe der Zeit den wechselnden Bedingungen angepasst werden kann. Zum Beispiel ist es möglich, wenn zu einem späteren Zeitpunkt auch lärmarme Loks auf dem Markt sind (siehe oben zu Triebfahrzeugen), den trassenpreislich geförderten „lärmarmen Güterzug“ umzudefinieren, sodass er auch eine lärmarme Lok enthalten muss. Allerdings muss die Trassenpreispolitik für die Akteure berechenbar bleiben, um einen Anreizeffekt zu erzielen. Genaueres siehe Abschnitt 3.6.5.

Wenn die beschriebene Politik erfolgreich ist, erzeugt sie netto keine betriebs- oder volkswirtschaftlichen Kosten, sondern einen **betriebs- und volkswirtschaftlichen Gewinn**, selbst ohne Berücksichtigung des volkswirtschaftlichen Nutzens der Lärminderung. Siehe dazu Anhang A.3.2. Denn der Vorteil bei den laufenden Kosten wird die überschaubaren Einführungs- und Systemkosten sowie den administrativen Aufwand für die Förderpolitik überwiegen. Die genannte Fördersumme selbst (56 Mio. Euro) ebenso wie die Trassenpreisförderung sind reine Umverteilungen und berühren die volkswirtschaftliche Bewertung nicht.

5.1.2 Instrumente und Maßnahmen bei der Infrastruktur und Ausweitung des Immissionsschutzes

Akustisch ordnungsgemäßer Zustand der Eisenbahninfrastruktur

Es wird empfohlen, eine gesetzliche Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen zur Gewährleistung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustandes ihrer Eisenbahninfrastruktur einzuführen. Diese Verpflichtung kann im Allgemeinen Eisenbahngesetz oder in der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung (EBO) oder beiden verankert werden. Die Verpflichtung soll sich sowohl auf die bauliche Gestaltung als auch auf die Instandhaltung und Pflege der Eisenbahninfrastrukturen erstrecken, allerdings beschränkt auf Strecken an bewohnten Gebieten. Die Kosten zur Aufrechterhaltung des akustisch ordnungsgemäßen Gleiszustands trägt das

Eisenbahninfrastrukturunternehmen, so wie es auch die Kosten zur Erfüllung von Sicherheitsanforderungen trägt. Der Bund kann im Rahmen seiner allgemeinen Infrastrukturverantwortung einen Teil dieser Kosten refinanzieren.

Hinsichtlich der **Instandhaltung und Pflege der Infrastruktur** beinhaltet der akustisch ordnungsgemäße Zustand neben der Beseitigung von Unregelmäßigkeiten der Fahrfläche (wie Schlammstellen und Unregelmäßigkeiten bei Schienenschweißstellen und Schienenstößen mit Lücke) vor allem die Einhaltung eines Standards der Schienenrauheit im Sinne einer „**glatten Schiene**“. Dieser Standard soll sich weitgehend an der EN ISO 3095:2014 orientieren und darf von den Infrastrukturunternehmen nicht überschritten werden. Die Eisenbahninfrastrukturunternehmen haben der zuständigen Aufsichtsbehörde (im Fall der Eisenbahnen des Bundes, also der DB InfraGO, ist dies das Eisenbahn-Bundesamt) regelmäßig über den akustischen Zustand ihrer Infrastrukturen zu berichten und bei Überschreitungen der Schienenrauheit den ordnungsgemäßen Zustand innerhalb einer unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Belange des Unternehmens sinnvoll gesetzten Frist wiederherzustellen. Als Teil dieser Verpflichtung ist auch das übliche Instandhaltungsschleifen, das oft zu hohe Schienenrauigkeiten hinterlässt, mit einem nachfolgenden akustischen Schleifen zu verbinden.

Da diese Verpflichtung an allen bewohnten Gebieten gilt, umfasst die „glatte Schiene“ mit schätzungsweise 10.000 Streckenkilometern einen wesentlich größeren Teil des Netzes als derjenige Teil, der gegenwärtig den Regelungen des „besonders überwachten Gleises“ unterliegt (dies sind nur etwa 1.500 Streckenkilometer). Daneben kann das „besonders überwachte Gleis“, welches noch schärfere Anforderungen stellt, an besonders belasteten Orten weiterhin existieren. Die Kosten zur Umsetzung der „glatten Schiene“ werden mit 40 Mio. Euro pro Jahr abgeschätzt. Dies ist weniger als 2 % der Instandhaltungskosten der DB InfraGO, Geschäftsbereich Fahrweg. Es entspricht den jährlichen Kosten zur Aufrechterhaltung von 333 km Schallschutzwänden üblicher Bauart. Zu den Berechnungen siehe Anhang A.3.1.

Hinsichtlich der **baulichen Gestaltung der Infrastruktur** beinhaltet der akustisch ordnungsgemäße Zustand der Infrastruktur vor allem die Einhaltung eines Standards für die Gleisabklingrate, der sich ebenfalls an der DIN EN ISO 3095:2014 orientiert und nicht unterschritten werden darf. Zu diesem Zweck sind die akustischen Eigenschaften von baulichen Komponenten und Eigenschaften der Gleise und des Oberbaus gemäß wissenschaftlichen Untersuchungen in der EBO festzuhalten. Daraus ergeben sich zulässige Bauformen, welche den Standard zur Gleisabklingrate einhalten. Nur diese dürfen bei Neubauten oder wesentlichen baulichen Änderungen von Gleisen verwendet werden.

Hinsichtlich der Gleisabklingrate kann die DIN EN ISO 3095:2014 eingehalten werden, wenn an Strecken mit Höchstgeschwindigkeiten über 160 km/h **innovative, hochdämpfende Zwischenlagen** verwendet werden, die bereits entwickelt wurden oder sich in Entwicklung befinden. Es zeichnet sich schon jetzt ab, dass die teilweise in der Betriebserprobung befindlichen innovativen Zwischenlagen keine oder nur unwesentliche Zusatzkosten in Form eines erhöhten Oberbauverschleißes generieren. Die Gutachter*innen gehen davon aus, dass dies der Fall ist oder dass solche hochdämpfenden Zwischenlagen zeitnah entwickelt werden können. Die Zusatzkosten für die innovativen Zwischenlagen selbst sind mit jährlich unter einer Mio. Euro vernachlässigbar.

Die Gutachter*innen gehen davon aus, dass sich infolge der Einführung der „glatten Schiene“ eine Reduktion des Vorbeifahrtpegels von im Schnitt 2 dB(A) gegenüber dem durchschnittlichen Schienenzustand 2021 (nach CNOSSOS) ergibt. Diese Reduktion wird an Orten mit bisher höherer Schienenrauheit deutlich stärker ausfallen, während er an Orten mit bereits niedriger Schienenrauheit nur einen geringen Effekt erzielt. Hinsichtlich der Gleisabklingrate gehen die

Gutachter*innen davon aus, dass eine Minderung des Vorbeifahrgeräuschs um 3 dB(A) auf allen Strecken mit Höchstgeschwindigkeit über 160 km/h erzielt werden kann, da dort der Einsatz der elastischen Zwischenlage, die eine niedrige Gleisabklingrate nach sich zieht, vermieden wird. Beide Maßnahmen sind notwendig, um Bedingungen des Gleises herzustellen, welche die angestrebte Wirkung der zuvor vorgestellten fahrzeugseitigen Maßnahmen erlauben, da diese unter TSI Noise-konformen Gleisbedingungen akustisch nachgewiesen wurden.

Die Verpflichtung zur Einhaltung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustandes der Eisenbahninfrastruktur ist ein allgemeines und langfristig angelegtes Konzept der Emissionsregulierung für die Eisenbahninfrastrukturen, welches die Emissionsregulierung für die Fahrzeuge (in der TSI Noise) komplementär ergänzt. Für die Zukunft ist beim DZSF ein permanentes Forschungsprogramm aufzusetzen (inhaltlich vergleichbar mit dem Projekt I-LENA, zeitlich vergleichbar mit dem Forschungsprogramm mFund für digitale Anwendungen in der Mobilität), um die technischen Möglichkeiten der Lärminderung an der Infrastruktur kontinuierlich unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Aspekte weiterzuentwickeln. In Nutzen-Kosten-Analysen sind parallel dazu auch die Anforderungen an den akustisch ordnungsgemäßen Infrastrukturzustand selbst weiterzuentwickeln, wobei die DIN EN ISO 3095:2014 den Ausgangspunkt bildet. Nähere Ausführungen dazu enthält Abschnitt 3.2.7.

Immissionsschutz bei Abstellanlagen

Es wird empfohlen, Abstellanlagen – oder allgemeiner die Abstellung von Fahrzeugen auf Gleisanlagen – einem einheitlichen Immissionsschutz zu unterziehen. Der Vorgang der Abstellung unterliegt derzeit je nach Betriebszustand (kurz vor, während oder kurz nach der nächtlichen Abstellung) zwei verschiedenen Regelungsbereichen, wobei sich Abgrenzungsfragen stellen. Im Ruhezustand der Fahrzeuge unterliegen die zur Abstellung genutzten Gleiskörper als ortsfeste Einrichtung i. S. d. § 3 Abs. 5 Nr. 1 BImSchG dem anlagenbezogenen Immissionsschutz (TA Lärm). Hingegen unterliegen Aktivitäten, die den Fahrbetrieb vorbereiten, begleiten oder ihm nachfolgen, dem Verkehrsimmissionsschutz nach § 3 Abs. 5 Nr. 3 a. E. BImSchG.

Die Gutachter*innen empfehlen, diesen ambivalenten Zustand zu überwinden, indem alle diese Vorgänge dem Verkehrsimmissionsschutz zugeordnet werden, und den Verkehrsimmissionsschutz so weiterzuentwickeln, dass ein wirksamer Immissionsschutz der Anwohnenden von Abstellanlagen garantiert wird. Dazu muss die Nutzungsform der Abstellung von einer neu zu fassenden Regelung des § 41 Abs. 1 BImSchG sowie vom in § 1 dieser Verordnung geregelten Anwendungsbereich der 16. BImSchV erfasst werden und die über die 16. BImSchV anwendbare Schall 03 um entsprechende spezifische Vorgaben für die Abstellung ergänzt werden. Die Erfüllung des einzuführenden Immissionsschutzes wird demzufolge rechnerisch ermittelt, nicht auf Basis von Messungen vor Ort. Im Rahmen des neugefassten Verkehrsimmissionsschutzes kann auch in Zukunft zwischen der verkehrlichen Nutzung und der Nutzung als Abstellanlage differenziert werden, und insbesondere sind auch die immissionsschutzrechtstypischen Differenzierungen der zumutbaren Lärmbelastungen zwischen Tag und Nacht und je nach betroffenem Gebietstyp (z. B. bewohntes Gebiet versus Gewerbegebiet) vorzusehen.

Die Art der Einbeziehung der Abstellanlagen in den Verkehrsimmissionsschutz wird in Abschnitt 3.7.5 zusammenfassend skizziert. Sie beinhaltet auch, dass die Abstellanlagen – wie die Infrastruktur generell (vgl. Abschnitt 3.2.6) – in einem ordnungsgemäßen Zustand zu halten sind. Dies betrifft insbesondere die Gestaltung und den Zustand der Gleisinfrastruktur (Schienen, Weichen und Schmieranlagen). Zusätzlich sind Druckluftanlagen entsprechend den Vorgaben zu warten. Für jede Abstellanlage ist auf Grundlage der erweiterten Schall 03 festzulegen, welche Fahrzeuge unter welchen Voraussetzungen wie in dieser Abstellanlage abgestellt werden dürfen.

Die Einbeziehung von Abstellvorgängen in den eisenbahnspezifischen Immissionsschutz auf Basis der 16. BImSchV für neue und bestehende Abstellanlagen sollte im Rahmen der in Kapitel 4 vorgeschlagenen Erstreckung des eisenbahnspezifischen Immissionsschutzrechts auf das gesamte Eisenbahnnetz erfolgen, die eine zehnjährige Übergangsfrist und eine daran anschließende sukzessive, also zeitlich gestaffelte Ausweitung des Immissionsschutzes auf die einzelnen Abstellanlagen beinhaltet. In dieser Zeit sollten gemäß den Empfehlungen aus Abschnitt 3.5 dieses Gutachtens die Bundesländer im Rahmen der Bestellungen von Verkehrsverträgen nur noch lärmarme Fahrzeuge akzeptieren sollten, deren lärmarme Eigenschaften sich auch auf die Geräuschemissionen während der Abstellung beziehen (die strikt unterhalb der Emissionen liegen können, welche in Zukunft möglicherweise von der TSI Noise für Neufahrzeuge verlangt werden). Eine wesentliche Änderung der Nutzung einer Abstellanlage kann zu nachträglichen Anordnungen führen.⁴⁷²

Durch diese Regelungen soll mit einem einheitlichen rechtlichen Ansatz ein wirksamer Immissionsschutz der Anwohner von für die Abstellung von Fahrzeugen genutzten Gleisen sichergestellt werden. In Hinblick auf den administrativen Aufwand für die Genehmigungsverfahren sowie die Abstellmöglichkeiten der EVU ist von Bedeutung, dass gemäß den Empfehlungen aus Abschnitt 3.5 dieses Gutachtens die Bundesländer im Rahmen der Bestellungen von Verkehrsverträgen nur noch lärmarme Fahrzeuge akzeptieren sollten, deren lärmarme Eigenschaften sich auch auf die Geräuschemissionen während der Abstellung beziehen (die strikt unterhalb der Emissionen liegen können, welche in Zukunft möglicherweise von der TSI Noise für Neufahrzeuge verlangt werden).

Wenn in Zukunft die Immissionsgrenzwerte entsprechend den Erkenntnissen des Gesundheitsschutzes weiterentwickelt werden, sollten parallel dazu die im Rahmen der Verkehrsbestellungen gestellten Anforderungen an die Fahrzeuge entsprechend angepasst werden.

Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandsstrecken

Ein gesetzlicher Lärmimmissionsschutz der Anwohner von Eisenbahninfrastrukturen existiert derzeit nur für den Neubau oder die wesentliche Änderung von Schienenwegen (sog. Lärmvorsorge, § 41 Abs. 1 BImSchG). Demgegenüber bestehen für Bestandsstrecken keine generellen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben. Bei Bestandsstrecken, die zu einem früheren Zeitpunkt planfestgestellt wurden, waren ggf. Grenzwerte einzuhalten, die nach aktueller Rechtslage nicht mehr zulässig wären. In diesen Fällen und auch bei Änderungen des Betriebsprogramms einer Strecke (also der Zahl, Art und den zeitlichen Lagen der darauf verkehrenden Züge) gibt es derzeit kein routinemäßiges Verfahren zur Überprüfung und Anpassung der Lärmschutzmaßnahmen.

Lärmschutz an bestehenden Schienenwegen wird bislang als Lärmsanierung lediglich als freiwillige Leistung des Bundes nach Haushaltsrecht gewährt, wobei die Art der Lärmschutzmaßnahmen denen der Lärmvorsorge weitgehend entspricht, die Auslösewerte für die freiwillige Lärmsanierung aber zum Teil erheblich über den Immissionsgrenzwerten für Neubau und wesentliche Änderungen von Schienenwegen liegen. Zudem wird jedes Jahr nur ein Teil der Fälle, die die Auslösewerte erfüllen, tatsächlich lärmsaniert, abhängig vom jeweiligen Finanzrahmen des Lärmsanierungsprogramms. Dabei geschieht die Auswahl der zu sanierenden Strecken hauptsächlich nach dem Grad der Lärmbelastung.

Im Gutachten wird empfohlen, den gesetzlichen Anspruch auf Lärmimmissionsschutz langfristig auf die Bestandsstrecken auszuweiten und damit auch eine Vorgehensweise zur schrittweisen

⁴⁷² Dies entspricht der in Kapitel 4 vorgeschlagenen Vorgehensweise im Rahmen der Erstreckung des eisenbahnspezifischen Immissionsschutzrechts auf das gesamte Eisenbahnnetz.

Überprüfung und Anpassung von Lärmschutzmaßnahmen bereits planfestgestellter Strecken zu etablieren. In Kapitel 4 des Gutachtens wird dargestellt und empfohlen, wie dies rechtlich umgesetzt werden kann. Die Immissionsgrenzwerte sollten für Bestandsstrecken und Neubaustrecken identisch sein, da sie durch den Gesundheitsschutz begründet sind. Doch sollten die Einschränkungen des § 41 Abs. 1 BImSchG gültig bleiben, wonach der gesundheitsschädliche Verkehrslärm nach dem Stand der Technik überhaupt vermeidbar sein muss und die Kosten der Schutzmaßnahme nicht außer Verhältnis zu dem angestrebten Schutzzweck stehen dürfen. Die Schutzmaßnahmen sollen wie bisher rechnerisch gemäß der Schall 03 (Anlage der 16. BImSchV) bewertet werden, die damit zum zentralen Instrument zur Umsetzung des Immissionsschutzes wird. Es sollte auch als Konkretisierung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes eine normative Priorisierung der Maßnahmen erfolgen, welche sich an Kriterien wie Effektivität, Kosten, Reichweite der bewirkten Immissionsreduktion, Verhältnismäßigkeit der Belastungen und weiteren relevanten Aspekte der betrachteten Maßnahmen orientiert. Dies lässt erwarten, dass im Ergebnis vor allem Maßnahmen an der Quelle priorisiert werden.

Die Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandsstrecken kann jedoch nur nach einer längeren Übergangsfrist von etwa zehn Jahren und auch danach nur sukzessive im Verlaufe eines weiteren Jahrzehnts erfolgen. Gegen eine unmittelbare bundesweit einheitliche Erstreckung des eisenbahnspezifischen Immissionsschutzrechts auf alle Eisenbahnstrecken ohne zeitliche Übergangsphase sprechen die tatsächliche Unmöglichkeit eines solchen Vorgehens im Hinblick auf die erforderlichen technischen Ressourcen und Materialien und das erforderliche Personal, die finanzielle Unmöglichkeit im Hinblick auf die absehbaren Kosten insb. angesichts eines noch unzureichenden Katalogs lärmindernder Maßnahmen in der Schall 03, die rechtliche Unmöglichkeit im Hinblick auf entgegenstehende rechtliche Grundprinzipien wie Bestands- und Vertrauensschutz, Rechtssicherheit und Verhältnismäßigkeit sowie die administrative Unmöglichkeit im Hinblick auf die durchzuführenden Verwaltungsverfahren und deren absehbare Dauer und die erforderliche Verwaltungskapazität.

Die Abfolge der sukzessiven, zeitlich gestaffelten Umsetzung des Immissionsschutzes bei den einzelnen Streckenabschnitten muss in normativ festgelegter Weise nach einer lärmbelastungsorientierten Priorisierung erfolgen, ähnlich der jetzigen Lärmsanierung.

Trotz des langen Umsetzungszeitraums **erfüllt die Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandsstrecken vier Aufgaben:**

- Sie setzt einen kontinuierlichen Anreiz für die Politik, den Lärmschutz langfristig mit Nachdruck zu betreiben und mit *anderen* Instrumenten auf langfristig kostengünstige Maßnahmen hinzuwirken. Solche Instrumente wurden in Kapitel 3 dieses Gutachtens herausgearbeitet, und in der Zukunft können daran anschließend weitere Instrumente dieser Art entwickelt werden.
- Sie gibt Rechtssicherheit und Klarheit über die konkret einzuhaltenden zukünftigen Anforderungen. Dies ist Gründen des Vertrauensschutzes sowohl gegenüber den Akteuren des Bahnsektors als auch gegenüber den Anwohnenden notwendig und unterstützt auch effiziente Verfahren bei Verwaltungen und Politik.
- Sie gibt den Anwohnenden die Perspektive, dass ihr Anspruch auf Gesundheitsschutz ernst genommen wird.

Sie vereinheitlicht und dynamisiert den auf Schienenverkehrslärm bezogenen Immissionsschutz in einer adäquaten Art, da auf Änderungen in den Verkehrsverhältnissen oder den Anforderungen des Lärmschutzes langsam und sukzessive reagiert wird.

Dann wird Deutschland auch gut vorbereitet sein, wenn die EU einmal eine Umsetzung eines Immissionsschutzes vor Schienenverkehrslärm fordert, so wie dies hinsichtlich der NOX-Belastungen durch den Straßenverkehr in den Städten geschah.

Fortführung und spätere Ablösung der freiwilligen Lärmsanierung

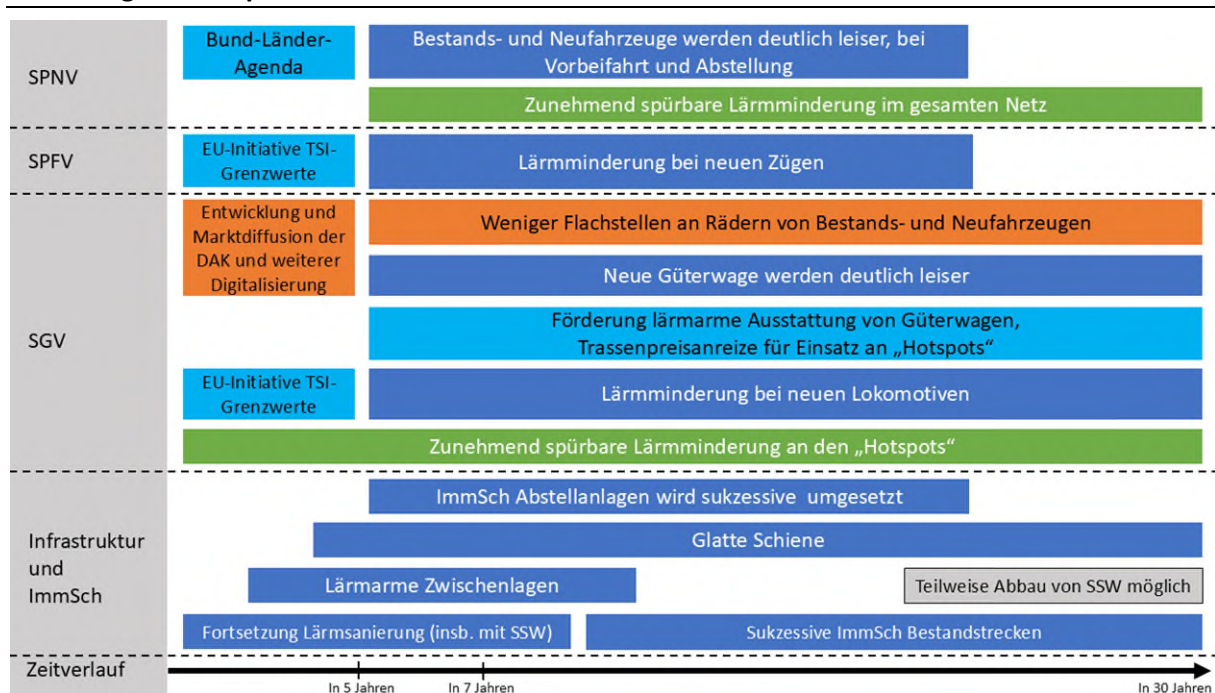
Aufgrund der langen Zeiträume sollte die Lärmsanierung für Bestandsstrecken bis auf Weiteres fortgeführt und erst entsprechend der zeitlichen Staffelung streckenweise vom Immissionsschutz abgelöst werden. Bis dahin wurde sie für einige Zeit das einzige wirksame Instrument der Lärminderung an den Hotspots bleiben, denn die in diesem Gutachten vorgeschlagenen Maßnahmen an der Infrastruktur und an den Fahrzeugen werden sich erst nach geraumer Zeit auswirken.

5.2 Auswirkungen der empfohlenen Instrumente und Maßnahmen

5.2.1 Die zeitliche Wirkungsperspektive

Die folgende Abbildung 42 illustriert die intendierte Wirkung der in diesem Gutachten empfohlenen Instrumente und Maßnahmen zur Lärminderung des Schienenverkehrs. Die politischen Instrumente sind hellblau eingetragen. Deren Auswirkungen auf die Umsetzung lärmindernder Maßnahmen und auf die Reduzierung der Lärmemissionen sind dunkelblau eingetragen. In Hellgrün werden die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Lärmimmissionen, also die Lärmbelastung der Menschen, eingetragen. Wichtige Vorgänge, die unabhängig von den Empfehlungen dieses Gutachtens auftreten, sind in Ocker hinterlegt.

Abbildung 42: Zeitpfad der lärmindernden Maßnahmen



ImmSch: Immissionsschutz. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Abbildung wird von unten nach oben erläutert. Die Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandsstrecken erfolgt erst nach einer langen Übergangszeit und wird auch dann nur sukzessive bei den einzelnen Bestandsstrecken umgesetzt. Doch schon ihre Ankündigung wird sich auf die Politik auswirken, das Tempo der politischen Umsetzung der anderen hier empfohlenen Instrumente steigern, und in der Folge auch zu Anpassungen bei den Akteuren des

Sektors führen. Vorerst wird die laufende freiwillige Lärmsanierung fortgesetzt. Dies wird in diesem Gutachten für einen gewissen Zeitraum empfohlen, um die Lärmbelastung an den Hotspots zu verringern, bevor andere hier empfohlene Maßnahmen greifen können. Sodann wirken sich die Vorgaben zum akustisch ordnungsgemäßen Zustand des Gleises positiv aus („glatte Schiene“ und lärmarme Zwischenlagen).

In dem Maße, in dem nach einer Übergangszeit die Ausweitung des Immissionsschutzes auf Bestandstrecken umgesetzt wird, löst sie die freiwillige Lärmsanierung sukzessive ab. Der Immissionsschutz hat übergreifenden Charakter, da er sich auf alle Bereiche auswirkt. Wenn nach einer längeren Zeit die Lärminderung bei den Fahrzeugen gelungen ist, können einige Schallschutzwände (SSW), die früher errichtet wurden und auffällig geworden sind, statt erneuert, abgebaut werden. Die Abstellanlagen werden unten angesprochen.

Dem SGV steht in den kommenden Jahren eine technische Modernisierung bevor, die vor allem durch die Umstellung auf DAK und ihre Folge-Innovationen (automatische Bremsprobe, ep-Bremse u. a.) geprägt ist. Diese technischen Neuerungen befinden sich derzeit noch in der Entwicklung. Wenn sie umgesetzt sind, wird sich das Bremsverhalten der Güterzüge stark verbessern, so dass schon aus diesem Grunde, also unabhängig von einer spezifischen Lärmschutzpolitik, die akustisch störenden Flachstellen an den Rädern seltener werden. Die vorgeschlagenen Fördermaßnahmen für lärmarme Ausstattungen von Güterwagen werden dazu führen, dass nach und nach immer mehr neue, lärmarme Güterwagen des kombinierten Verkehrs beschafft werden, die überwiegend mit Scheibenbremsen in Verbindung mit Rädern mit geradem Radsteg und Gleitschutz ausgestattet sind, sowie möglichst auch mit innovativen, lärmarmen Drehgestellen. Obwohl ihr prozentualer Anteil an der Gesamtheit der Güterwagen für längere Zeit gering bleiben wird, werden die Trassenpreisanreize dafür sorgen, dass die existierenden lärmarmen Güterwagen zu lärmarmen Güterzügen des kombinierten Verkehrs zusammengefasst und vorzugsweise an den Hotspots der Lärmbelastung in der Nacht eingesetzt werden. Außerdem wird es aufgrund einer EU-Initiative auch zur Absenkung der Lärmemissionsgrenzwerte (TSI Noise) für neue Güterlokomotiven kommen, was sich ebenfalls langfristig positiv auswirken wird. Wenn ausreichend viele lärmarme Lokomotiven in Betrieb genommen wurden, können die Trassenpreisanreize auf lärmarme Güterzüge, die auch über eine lärmarme Lok verfügen, beschränkt werden, so dass diese Züge noch leiser sind. Später kann auch über lärmindernde Instrumente und Maßnahmen für Bestandslokomotiven nachgedacht werden.

In der Gesamtheit ist infolge der Maßnahmen an der Infrastruktur und an den Fahrzeugen des SGV eine zunehmend spürbare Lärminderung an den Hotspots zu verzeichnen. Anfänglich wird diese allein auf die Fortsetzung der freiwilligen Lärmsanierung zurückzuführen sein. Als nächstes werden sich die „glatte Schiene“ und die lärmarmen Zwischenlagen an der Infrastruktur auswirken. Sodann wird ein Rückgang der Lärmbelastung durch Flachstellen an den Rädern der Güterwagen spürbar werden. Danach werden die in diesem Gutachten empfohlenen Instrumente und Maßnahmen zur Reduktion der Lärmemissionen von Fahrzeugen des Güterverkehrs in den Vordergrund rücken.

Beim SPFV wird es aufgrund der EU-Initiative zur Absenkung der Lärmemissionsgrenzwerte (TSI Noise) für neue Lokomotiven und Reisezugwagen sowie für neue Elektrotriebzüge des Hochgeschwindigkeitsverkehrs kommen. In der Folge werden deren Aggregatgeräusche (stärker) und aerodynamischen Geräusche (leichter) gesenkt. Zudem wird verhindert, dass Baureihen, deren Emissionen heute noch unter den Grenzwerten der TSI Noise liegen, durch technische Änderungen an diese heranrücken und lauter werden. Die Rollgeräusche der Fernzüge werden aufgrund der Maßnahmen zum akustisch ordnungsgemäßen Zustand des Gleises („glatte Schiene“ und lärmarme Zwischenlagen) sinken. Später kann auch über lärmindernde Instrumente und Maßnahmen für Fahrzeuge des Bestands nachgedacht werden.

Beim SPNV wird die Bund-Länder-Agenda dazu führen, dass lärmarme Fahrzeuge von den Herstellern entwickelt und von den Bestellern von Verkehrsverträgen verlangt werden. Dies gilt nicht nur für Neufahrzeuge, sondern auch – etwas abgeschwächt – für gebrauchte Fahrzeuge in Neuverträgen. Die Lärminderungen beziehen sich vor allem auf die Aggregatgeräusche und das Rollgeräusch (auch im Zusammenhang mit dem akustisch ordnungsgemäßen Zustand des Gleises), zusätzlich aber auch auf die Geräusche bei der nächtlichen Abstellung. Die Ausweitung des Immissionsschutzes auf Abstellanlagen wird dafür sorgen, dass auch die Betreiber der Abstellanlagen lärmindernde Vorkehrungen treffen und dass sehr laute Fahrzeuge nicht mehr auf Abstellanlagen oder Gleisen an bewohnten Gebieten abgestellt werden können, sondern ausweichen müssen. Insgesamt wird es zu einer spürbaren Lärminderung im ganzen Netz kommen.

5.2.2 Auswirkungen auf die Zahl der Belasteten und volkswirtschaftlicher Nutzen

Für die Abschätzung der Auswirkungen der hier empfohlenen Maßnahmen auf die Zahl der von Schienenverkehrslärm belasteten Menschen wird in diesem Gutachten zwischen den Umsetzungsgraden mittel, hoch und vollständig unterschieden. Diese korrespondieren mit verschiedenen Intensitäten der politischen Umsetzung der Vorschläge und / oder verschiedenen Umsetzungszeiträumen. Für die Belastetenzahlen wird im Folgenden die vereinfachte Gesamtprognose der Lärmimmissionen zugrunde gelegt, die in Abschnitt 6.3.3 dargestellt wird. Die detailliertere Prognose unter Berücksichtigung von Struktureffekten in Teilgebieten (Abschnitt 6.3.4) führt auf strukturell ähnlich Ergebnisse, jedoch auf Basis einer kleineren Grundgesamtheit.

In der vereinfachten Gesamtmissionsprognose, die alle Effekte bei allen Verkehrsträgern überschlägig behandelt, ergeben sich durchschnittliche Minderungen von 1 dB beim mittleren Umsetzungsgrad, 2,5 dB beim hohen Umsetzungsgrad und 5 dB bei vollständiger Umsetzung (Tabelle 17). Entsprechend der Vorgehensweise bei der vereinfachten Gesamtprognose der Lärmimmissionen ist dies für jeden Umsetzungsgrad die durchschnittliche Entlastung, die für alle von Schienenlärm betroffenen Menschen anzusetzen ist; dahinter steht natürlich, dass einige Menschen deutlich mehr und andere weniger entlastet werden.

Hieraus ergibt sich folgende Lärmmissionsprognose (Tabelle 18 und Tabelle 19). Unterstellt man eine Trendprognose der Verkehrsentwicklung und die Fortführung der Lärmsanierung in der bisherigen Intensität, doch keine weiteren der hier empfohlenen Maßnahmen, so *steigt* infolge des Verkehrswachstums die Zahl der Belasteten um 8,8 % von 2,45 Mio. auf 2,7 Mio. Menschen. Unterstellt man hingegen eine Verkehrsentwicklung entsprechend den Zielen der Verkehrswende, so steigt die Zahl der Belasteten sogar um 30,7 % auf 3,2 Mio. Menschen. Ein solches Szenario wäre nicht kompatibel mit der Idee der Verkehrswende (vgl. Abschnitt 1.2).

Bereits beim mittleren Umsetzungsgrad der hier empfohlenen Maßnahmen (und parallel der Fortführung der Lärmsanierung) *verringert* sich hingegen die Zahl der Belasteten im Fall einer Verkehrsentwicklung gemäß der Trendprognose, nämlich um 8,2 %. Im Fall einer Verkehrsentwicklung gemäß der Verkehrswende würde die Zahl der Belasteten allerdings auch dann noch steigen, nämlich um 9,7 %.

Beim hohen Umsetzungsgrad der hier empfohlenen Maßnahmen (und parallel der Fortführung der Lärmsanierung oder ihrer sukzessiven Ablösung durch den Immissionsschutz für Bestandsstrecken) sinkt die Zahl der Belasteten in jedem Fall. Im Fall einer Verkehrsentwicklung gemäß der Trendprognose sinkt sie um 44,3 %, im Fall der Verkehrswende um 16,3 %.

Bei vollständiger Umsetzung der hier empfohlenen Maßnahmen (und parallel zunächst der Fortführung der Lärmsanierung und sodann ihrer Ablösung durch den Immissionsschutz für

Bestandsstrecken) sinkt die Zahl der Belasteten im Fall der Verkehrsentwicklung gemäß der Trendprognose um 72,8 %, im Fall der Verkehrswende um 63,4 %.

Zur Berechnung des volkswirtschaftlichen Nutzens der hier empfohlenen Maßnahmen (ohne Berücksichtigung der Lärmsanierung) wird ein mittlerer Fall der Verkehrsentwicklung zugrunde gelegt, der zwischen der Trendprognose und der Verkehrswendprognose liegt. Im Status quo (keine empfohlene Maßnahme, keine Fortführung der Lärmsanierung) steigt die Zahl der Belasteten aufgrund der Verkehrsentwicklung auf 3,1 Mio. Menschen. Siehe hierzu und zu den weiteren Berechnungen Anhang A.3.3. Unter Annahme der genannten Lärminderungen und dem Wert von 77 Euro pro dB-Minderung und Person und Jahr ergibt sich ein jährlicher volkswirtschaftlicher Nutzen in Höhe von knapp 250 Mio. Euro bei mittlerer Umsetzung und 600 Mio. Euro bei hoher Umsetzung. Da dieser Nutzenstrom zeitlich unbegrenzt anfällt, ergibt sich unter der Annahme einer volkswirtschaftlichen Diskontrate von 5 % ein Gegenwartswert der hier empfohlenen Maßnahmen in Höhe von fast 5 Mrd. Euro bei mittlerer Umsetzung und 12 Mrd. Euro bei hoher Umsetzung. Bei vollständiger Umsetzung beträgt der Gegenwartswert 24 Mrd. Euro.

Dem stehen überschaubare Kosten der Maßnahmen gegenüber. Für die Kosten des akustisch ordnungsgemäßen Zustandes der Eisenbahninfrastruktur werden jährlich weniger als 41 Mio. Euro ermittelt (Anhang A.3.1). Die lärmarmen Güterwagen generieren negative volkswirtschaftliche Kosten, da sie sogar betriebswirtschaftlich profitabel sind (Anhang A.3.2). Die Kosten lärmarmen Triebfahrzeuge für den Personen- und Güterverkehr werden sehr unterschiedlich ausfallen, je nach Art der Maßnahmen, die von der Industrie zur Erfüllung der Grenzwerte (bzw. im SPNV der bei den Bestellungen geforderten Werte) getroffen werden müssen. Wenn Anpassungen im Bereich der Lüfter ausreichend sind, sind die Kostensteigerungen minimal. Am teuersten sind Anpassungen im Bereich der Getriebekonstruktionen. Für solche Fälle, in denen grundlegende Neukonstruktionen zur Lärminderung notwendig werden, wurden bei den Neufahrzeugen Preiserhöhungen von bis zu 4 % geschätzt, welche bei 160.000 Euro liegen können oder 7.500 Euro pro Jahr über die Lebensdauer der Lok (siehe Fußnote 226).

5.3 Zentrale Pfeiler der Lärmschutzpolitik zum Schienenverkehr

Nach der Zusammenfassung der Empfehlungen für die einzelnen Aktivitätsfelder der Politik sollen abschließend und querschnittsartig die zentralen Pfeiler der empfohlenen Lärmschutzpolitik nochmal hervorgehoben werden.

Einheitliche Herangehensweise und Schließung von Regelungslücken

Die Empfehlungen zielen auf eine einheitliche Herangehensweise zur Lärmschutzpolitik für die Schiene und damit auf die Schließung einiger bisheriger Regelungslücken. So gibt es Emissionsbeschränkungen heutzutage nur für Fahrzeuge, nicht für die Infrastruktur. Durch die vorgeschlagene Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen zur Einhaltung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustandes der Eisenbahninfrastruktur soll diese Lücke geschlossen werden.

Einen gesetzlichen Anspruch auf Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Lärm gibt es aktuell für den Fall des Neubaus oder der wesentlichen Änderung von Schienenwegen (Lärmvorsorge) und daneben für den Ruhezustand auf Abstellanlagen im Rahmen des anlagenbezogenen Immissionsschutzes (TA Lärm). Daneben gibt es nur noch die freiwillige Lärmsanierung des Bundes, mit der Investitionsmaßnahmen zur Lärminderung an Bestandsstrecken gefördert werden.

Durch die vorgeschlagene Einbeziehung des Ruhezustandes in den Verkehrsimmissionsschutz und dessen Weiterentwicklung zu einem effektiven Instrument sollen die Anwohnenden von

Abstellanlagen wirksam vor Lärm geschützt werden. Da sich dies vor allem auf die Fahrzeuge des SPNV bezieht, sollen die für den SPNV verfolgten Zielwerte der Fahrzeuge hinsichtlich der Betriebszustände, die bei der Abstellung relevant sind, mit den Grenzwerten des Immissionsschutzes eng abgestimmt werden.

Die angestrebte Ausweitung des Immissionsschutzes auch auf Bestandsstrecken vervollständigt den einheitlichen Ansatz und den Anspruch, allen Menschen Schutz vor Schienenverkehrslärm gleichermaßen zu gewähren. Auch wenn dies nur nach langen Übergangszeiten greifen kann, wird doch ein Ziel formuliert, an dem sich zuerst die Politik selbst und in der Folge auch die Akteure des Sektors langfristig orientieren können.

Die Einheitlichkeit der Herangehensweise und die Konsistenz der Maßnahmen sollen – wie bisher – mit Hilfe des Prinzips der Schall 03 organisiert werden, nach dem alle lärmmindernden Maßnahmen wissenschaftsbasiert und rechtlich verbindlich in ihrer Wirksamkeit festgestellt werden und dementsprechend zum Einsatz kommen können, während Lärmmessungen vor Ort – also bei den Anwohnenden – so weit wie möglich vermieden werden. Dem DZSF kommt dabei die wichtige Rolle zu, die rasche Aufnahme neuer Maßnahmen in die Schall 03 durch geförderte Untersuchungen zu ermöglichen und auch schon bei der Entwicklung von Maßnahmen zu unterstützen.

Bund-Länder-Agenda

Ausgangspunkt der empfohlenen Bund-Länder-Agenda ist die Einsicht bei Bund und Ländern, dass sie gemeinsam Verantwortung für den Lärmschutz der Bevölkerung tragen. Der Bund als Hauptverantwortlicher für das System Eisenbahn und insbesondere der Eisenbahninfrastruktur verpflichtet sich, einen Regelungsrahmen für einen akustisch ordnungsgemäßen Zustand der Infrastruktur aufzusetzen und diesen zu finanzieren. Außerdem wird er im Rahmen einer EU-Initiative auf eine Absenkung der Grenzwerte der TSI Noise für alle Triebfahrzeuge und für Reisezugwagen hinwirken. Zudem wird er mit Förder- und Trassenpreisinstrumenten auch auf Lärminderungen bei den Güterwagen hinwirken und auch dafür bei der EU den europarechtlichen Rahmen abklären.

In diesem Kontext verpflichten sich die Länder, die Voraussetzungen für relativ rasche Lärminderungen bei den Fahrzeugen des SPNV zu schaffen und dabei auch finanziell und vor allem bei der Bestellung von Verkehrsverträgen des Nahverkehrs mitzuwirken. Die Lärminderungen beziehen sich auf die Aggregatgeräusche und das Rollgeräusch neuer und gebrauchter Fahrzeuge in Neuverträgen des SPNV und umfassen auch die Geräusche bei der Abstellung dieser Fahrzeuge.

Bund und Länder einigen sich zudem auf die Ausweitung des Immissionsschutzes auf den Fall der Abstellung von Fahrzeugen. Für die Länder bedeutet dies, dass neben der Einhaltung der Anforderungen an die Fahrzeuge (im Rahmen ihrer Bestellpolitik) gegebenenfalls auch Restriktionen hinsichtlich der Abstellung von Fahrzeugen in Kauf zu nehmen sind. Für den Bund bedeutet es, dass auch die Betreiber der Abstellgleise oder -anlagen (überwiegend also die DB InfraGO AG) verschärfte Verpflichtungen für den akustisch ordnungsgemäßen Zustand der Infrastrukturen einzuhalten haben.

Der Bund übernimmt darüber hinaus die weiterreichenden Verpflichtungen, die sich aus der sukzessiven Ausweitung des Immissionsschutzes auf praktisch alle Bestandsstrecken des Eisenbahnnetzes ergeben. Um diese Verpflichtungen auf eine wirtschaftlich angemessene Weise zu erfüllen, ist er hinsichtlich der Lärmemissionen des SPNV auf die Mitwirkung der Länder angewiesen, doch ist er deshalb auch bereit, diesen eine gewisse Aufwandsentschädigung in Form eines im (zustimmungspflichtigen) Regionalisierungsgesetz verankerten Förderprogramms zu gewähren.

Trassenpreise als flexibles Lenkungsinstrument für die Internalisierung von Lärmexternalitäten

Umweltabgaben gehören zu den klassischen Instrumenten der Umweltpolitik zur Internalisierung von externen Effekten. Als aktuelle Beispiele seien genannt die CO₂-Abgabe auf Kraftstoffe, die an den EURO-Schadstoffemissionsklassen und den CO₂-Emissionen von Lkw orientierten Ausdifferenzierungen der Lkw-Maut und die mit Umweltsteuern verwandten CO₂-Zertifikate für Kraftwerke und die Industrie.

Umweltabgaben bei der Eisenbahn können meist als Bestandteil oder Zusatzkomponenten des Trassenpreissystems betrachtet oder gestaltet werden. Lärmabhängig differenzierte Trassenpreise sind daher ein naheliegendes Instrument der Lärmschutzpolitik, von dem bei Bedarf Gebrauch gemacht werden sollte. Da die Emissionsgrenzen von Fahrzeugen im Eisenbahnsektor (zurecht) auf Ebene der EU bestimmt werden, Trassenpreise hingegen innerhalb europarechtlicher Grenzen auf Ebene der Mitgliedstaaten bestimmt werden, sind lärmabhängig differenzierte Trassenpreise auf nationaler Ebene das Instrument der Wahl zur Beeinflussung der Lärmemissionen von Fahrzeugen.

In diesem Gutachten wird ein lärmabhängiges Trassenpreissystem zur Beeinflussung der Lärmemissionen von Güterwagen empfohlen, nicht nur, weil es im EU-Kontext sonst praktisch keinen anderen Zugang zu den Güterwagen gibt, sondern insbesondere, weil es das einzig sinnvolle Instrument zur *Einsatzlenkung* von Güterwagen ist. Mit ihm können Anreize zur Zusammenstellung der relativ wenigen lärmarmen Neuwagen zu lärmarmen Güterzügen und zur räumlich-zeitlichen Einsatzlenkung der lärmarmen Güterzüge gesetzt werden.

Darüber hinaus sind Trassenpreise ein sehr flexibles Instrument. So können sie später genutzt werden, um auch gezielt Anreize zum Einsatz lärmarmen Lokomotiven zu setzen. Sie können auch auf den SPFV ausgeweitet werden. Sollte sich der erhoffte Einfluss auf das Verhalten der Eisenbahnverkehrsunternehmen zunächst nicht einstellen, so können die Trassenpreisdifferenziale vergrößert werden. Sie können auch vom Staat genutzt werden, um als Trassenpreisboni die Verkehrsunternehmen zu fördern. Zukünftig wird Lärmschutzpolitik im Schienenverkehr ohne Trassenpreispolitik kaum auskommen.

EU-Initiative

Lärmschutzpolitik für den Schienenverkehr ist ohne europapolitische Flanke nur in sehr engen Grenzen möglich. Daher sollte der Bund immer eine über die Ressorts hinweg koordinierte Strategie der Europapolitik zur Lärminderung beim Schienenverkehr formulieren und verfolgen, die mit der nationalen Politik harmoniert.

Konkret empfehlen die Gutachter*innen eine EU-Initiative der Bundesregierung mit folgenden Elementen:

- ▶ Eine Initiative zur Senkung von Lärmemissionsgrenzwerten der TSI Noise.
- ▶ Europarechtliche Abstimmung und ggf. Rechtsänderung hinsichtlich einer koordinierten und mit dem Bund abgestimmten Vorgehensweise der Bundesländer bei der Bestellung von Fahrzeugen des SPNV (Bund-Länder-Agenda).
- ▶ Eine Beteiligung der EU an der Direktförderung von lärmarmen Güterwagen.
- ▶ Europarechtliche Abstimmung und ggf. Rechtsänderung hinsichtlich der Einführung eines lärmabhängigen Trassenpreissystems zur dauerhaften Einsatzlenkung von lärmarmen Güterwagen und -zügen.

Die Elemente sollten der EU gemeinsam als Teile eines Gesamtkonzepts zur Minderung des Schienenverkehrslärms vorgestellt werden, im Kontext mit den anderen vorgesehenen

nationalen Maßnahmen wie der Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen zur Einhaltung eines akustisch ordnungsgemäßen Zustandes der Eisenbahninfrastruktur und der Ausweitung des Immissionsschutzes auf Abstellanlagen und langfristig auch auf Bestandsstrecken.

Besonders die Verpflichtung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen zum akustisch ordnungsgemäßen Zustand der Eisenbahninfrastruktur und die vorgesehene Einführung eines lärmabhängigen Trassenpreissystems sind aller Voraussicht nach ganz im Sinne der EU. Im Gegenzug könnte die EU Bereitschaft zeigen, die Bund-Länder-Agenda für die Fahrzeuge des SPNV zu akzeptieren und sich an der Direktförderung von lärmarmen Güterwagen zu beteiligen.

6 Abschätzung des Lärminderungspotenzials der empfohlenen Maßnahmen

In diesem Kapitel werden die Lärminderungseffekte der in diesem Gutachten empfohlenen Maßnahmen abgeschätzt. Um die Auswirkungen auf die lärmbelasteten Menschen zu ermitteln, werden verschiedene Betrachtungen vorgenommen. Als Quelle für die Zahl der lärmbelasteten Menschen dienen die Ergebnisse der aktuellen **Lärmkartierung** der vierten Runde, die sich auf den Jahresfahrplan für 2021 bezieht. Im Rahmen dieser Studie können jedoch nur sehr grobe Abschätzungen auf Grundlage der Lärmkartierung vorgenommen werden.

Entsprechend dem Titel dieses Forschungsprojektes „Verkehrswende und Konzept für einen leiseren Schienenverkehr bis 2030“ soll die Abschätzung der Lärminderungseffekte auf **das Jahr 2030** projiziert werden, welches in Hinblick auf die Verkehrswendepolitik und auch die allgemeine Klimapolitik eine besondere Rolle spielt. Insbesondere gibt es konkrete Ziele für die Steigerung der Schienenverkehrsleistung bis 2030, die auch Auswirkungen auf die Lärmbelastung haben werden.⁴⁷³ Von besonderem Interesse ist daher ein Vergleich der Lärmentwicklung mit und ohne die in diesem Gutachten empfohlenen lärmmindernden Maßnahmen für den Fall, dass die Ziele der Verkehrswende erreicht werden.

Andererseits gibt es begründete Zweifel, ob die Verkehrswendeziele erreicht werden. Die Zweifel beziehen sich vor allem auf den Zeitpunkt der Erreichung, da das Jahr 2030 nun schon in greifbarer Nähe liegt.⁴⁷⁴ Allerdings korrespondiert dies zu der Tatsache, dass auch die in diesem Gutachten empfohlenen lärmmindernden Maßnahmen erst nach 2030 die größte Wirkung entfalten werden. Jedoch gibt es darüber hinaus auch Zweifel, ob die Verkehrswendeziele des Eisenbahnverkehrs überhaupt jemals vollständig erreicht werden. Daher scheint es sinnvoll, einen Vergleich der Lärmentwicklung mit und ohne die in diesem Gutachten empfohlenen lärmmindernden Maßnahmen auch für den Fall einer reinen Trendprognose der Verkehrsentwicklung vorzunehmen. Dieser Vergleich soll aufzeigen, dass die lärmmindernden Maßnahmen auch im Kontext einer eher konservativen Verkehrsentwicklung sinnvoll sind. Die Trendprognose des Eisenbahnverkehrs wird dabei ebenfalls auf das Jahr 2030 bezogen. Damit spannen die beiden Fälle Trendprognose und Verkehrswendeprognose den Raum auf, in dem sich die Lärminderungseffekte im Kontext der zukünftigen Verkehrsentwicklung letztlich bewegen werden.⁴⁷⁵

Ausgangspunkt der Prognoserechnungen sind daher **Prognosen zur Betriebsleistung** des Schienenpersonennahverkehrs, Schienenpersonenfernverkehrs und Schienengüterverkehrs, zum einen als Trendprognosen, also als reine Fortführung von Trends aus der Vergangenheit, zum anderen unter der Annahme, dass die Ziele der Verkehrswende vollständig erreicht werden. Auf Basis dieser prognostizierten Betriebsleistungen wird in einem zweiten Schritt der mit dem Schienenverkehr verbundene Lärm jeweils für den Fall mit und ohne die in diesem Gutachten empfohlenen Maßnahmen zur Lärminderung berechnet.

⁴⁷³ Die Ziele der Verkehrswende lauten: Im Personenverkehr soll im Zeitraum 2019 bis 2030 eine Verdoppelung der Verkehrsleistung (in Personenkilometer) erreicht werden. Im Güterverkehr soll im selben Zeitraum der Modal Split des Schienengüterverkehrs, also dessen Anteil an der Verkehrsleistung (in Tonnenkilometer) des gesamten Güterverkehrs, auf 25 % gesteigert werden (von 18,6 % im Jahr 2019). Siehe hierzu Bundesregierung (2023): Fragen und Antworten zur Verkehrspolitik: So funktioniert der Schienenverkehr; Deutschlandtakt (o. D.): Fakten und Intraplan (2023): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr. Mittelfristprognose Winter 2022/23, S. 56.

⁴⁷⁴ Die Ziele für die Ausweitung des Schienenverkehrs wurden in ähnlicher Form wie heute bereits vor einigen Jahren formuliert. Siehe zum Beispiel Koalitionsvertrag von 2018 CDU, CSU, SPD (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa Eine neue Dynamik für Deutschland Ein neuer Zusammenhalt für unser Land.

⁴⁷⁵ Eine Prognose der politischen Entscheidungsprozesse für Verkehrswende und Lärminderung sowie deren sukzessive Auswirkungen im Feld wäre überaus schwierig und mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Demzufolge werden in diesem Kapitel insgesamt vier auf das Jahr 2030 bezogene Prognoserechnungen vorgenommen:

- **Szenario 1:** Prognose der Lärmentwicklung auf Grundlage einer reinen Trendprognose des Eisenbahnverkehrs und ohne Umsetzung der in diesem Gutachten empfohlenen Lärmminierungsmaßnahmen („Basis-Szenario“)
- **Szenario 2:** Prognose der Lärmentwicklung in Hinblick auf die Verkehrswendeziele des Eisenbahnverkehrs, doch ohne Umsetzung der in diesem Gutachten empfohlenen Lärmminierungsmaßnahmen
- **Szenario 3:** Prognose der Lärmentwicklung auf Grundlage einer reinen Trendprognose des Eisenbahnverkehrs, jedoch mit Umsetzung der in diesem Gutachten empfohlenen Lärmminierungsmaßnahmen
- **Szenario 4:** Prognose der Lärmentwicklung in Hinblick auf die Verkehrswendeziele des Eisenbahnverkehrs und mit Umsetzung der in diesem Gutachten empfohlenen Lärmminierungsmaßnahmen

Das Hauptaugenmerk liegt auf dem Vergleich der Szenarien 2 und 4. Doch hat das Basis-Szenario eine grundlegende Bedeutung, und auch der Vergleich der Szenarien 1 und 3 ist von Interesse, da nicht sicher ist, ob die Verkehrswendeziele des Eisenbahnverkehrs erreicht werden.

6.1 Prognosen des Eisenbahnverkehrs

Es existieren verschiedene Verkehrsprognosen, die den Eisenbahnverkehr berücksichtigen, zum Beispiel die Verkehrsverflechtungsprognose von 2014 für den aktuellen Bundesverkehrsweplan BVWP 2030, die Gleitende Langfristprognose 2021/2022 und die Gleitende Mittelfristprognose 2023/2024 (diese alle für das BMDV).⁴⁷⁶ Diese Prognosen sind jedoch als Ausgangspunkt für die Lärmprognosen unter anderem aus den folgenden Gründen weniger gut geeignet.

Zum einen wird in diesen Prognosen die Entwicklung des Schienenverkehrs für Verkehrsleistungskennzahlen (insb. Personenkilometer und Tonnenkilometer) prognostiziert und nicht die lärmrelevante Betriebsleistung (Zugkilometer). Daher könnten diese Prognosen nur als Ausgangsbasis für eine Umrechnung in die Betriebsleistung verwendet werden und müssten zudem für das Jahr 2021 der letzten Lärmkartierung kalibriert werden. Jedoch werden zugrundeliegende Modellparameter, die für die Kalibrierung und auch die weitere Lärmentwicklung relevant sein können (insb. Zugauslastung und Kapazitäten), entweder nicht modelliert oder nicht veröffentlicht. Zum anderen überlappen die Prognosezeiträume bis 2030 nur teilweise. Daher wären weitere Anpassungen nötig, was die Gefahr von Vermischungen unterschiedlicher Prognoseansätze und zugrundeliegenden Annahmen birgt.

Außerdem sind ältere Langfristprognosen wie insbesondere die Verkehrsverflechtungsprognose für den BVWP 2030 teilweise bereits heute überholt (Prognose SPV für 2030: 100,1 Mrd. Pkm; hingegen Ist-Situation 2019: 102 Mrd. Pkm). Doch wurden die Prognosen auf Basis des in den nachfolgenden Abschnitten dargestellten Ansatzes anhand der veröffentlichten Verkehrsprognosen plausibilisiert. Hier zeigt sich beispielsweise, dass die hier erstellte SGV-Prognose für das Jahr 2030 (Mittelwert Trendprognose: 150,3 Mrd.) kaum von der Verkehrsverflechtungsprognose abweicht (153,7 Mrd.).

⁴⁷⁶ Siehe Intraplan, BVU (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030; BMDV (2023): „Prognose 2022“, Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021-2022; Intraplan (2024): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr Mittelfristprognose Winter 2023/24.

Die Verkehrsprognosen werden für die drei Haupt-Schienenverkehrsmärkte Schienenpersonen-nahverkehr (SPNV), Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) und Schienengüterverkehr (SGV) separat erstellt, jeweils als Trendprognose und als Verkehrswendeprognose. Diese können dann zu Gesamtprognosen aggregiert werden.

Die Prognoseergebnisse werden für jeden Schienenverkehrsmarkt am Ende des jeweiligen Unterabschnitts zusammengefasst. In Abschnitt 6.1.4 werden die Ergebnisse in Tabelle 13 und Tabelle 14 gemeinsam dargestellt.

Aufgrund unterschiedlicher möglicher Entwicklungspfade von Einflussparametern und deren kumulativen Wirkungen bei langen Prognosezeiträumen werden für die Prognosen des Eisenbahnverkehrs jeweils Ober- und Untergrenzen der Entwicklung betrachtet. Für die anschließende Berechnung der Lärmentwicklung wird dann jeweils einer dieser beiden oder ein mittlerer Fall zugrunde gelegt.

Die zentrale Größe für die zukünftige Entwicklung der Lärmbelastung ist die Entwicklung der Betriebsleistung, d. h. der zurückgelegten Zugkilometer (Zug-km) auf dem Netz. Ausgangspunkt für die Prognose des Eisenbahnverkehrs bildet jedoch in allen drei Schienenverkehrsmärkten die Verkehrsleistung, die in Personenkilometern (Pkm) bzw. Tonnenkilometern (tkm) gemessen wird. Denn die Zielwerte der Verkehrswende orientieren sich an der Verkehrsleistung, und für einige Schienenverkehrsmärkte liegen für die Verkehrsleistung bessere Daten der bisherigen Entwicklung vor als für die Betriebsleistung.

Um sodann von der Verkehrsleistung auf die prognostizierte Betriebsleistung zu schließen, sind Einflussfaktoren zu betrachten, die das Verhältnis von Verkehrs- zu Betriebsleistung maßgeblich beeinflussen können, und Annahmen über die Entwicklung dieser Faktoren zu treffen.⁴⁷⁷ Die entscheidenden Einflussfaktoren im Personenverkehr sind die Sitzplatzkapazität pro Zug und die Auslastung dieser Sitzplatzkapazität: Wenn einer dieser Faktoren ansteigt, dann entwickelt sich die Betriebsleistung weniger dynamisch als die Verkehrsleistung. Beim Güterverkehr wird neben Auslastungseffekten auch eine Veränderung der Güterstruktur als ein wesentlicher Einflussfaktor berücksichtigt.

Die Trendprognosen des Eisenbahnverkehrs basieren auf den Entwicklungen der jüngsten Vergangenheit. Die zentralen Quellen für die verwendeten Daten sind: Für die Verkehrsleistungen der BMDV (2022d): Verkehr in Zahlen 2022/2023. 51. Jahrgang, für die aktuellen Betriebsleistungen Statistisches Bundesamt (2023): Verkehr, Eisenbahnschienenverkehr, Betriebsdaten des Schienenverkehrs, Fachserie 8 Reihe 2.1. Für jeden Schienenverkehrsmarkt wird separat begründet, dass die Entwicklungen der Jahre 2010 bis 2019 die beste Grundlage bieten, um die Trendprognosen zu erstellen (nur für den SPNV kann auch schon das Jahr 2009 berücksichtigt werden). Dadurch wird der Einfluss der Finanzkrise von 2008-2009 und der COVID-19-Pandemie von 2020-2022 sowie anschließend der Energiepreiskrise infolge des Ukrainekriegs 2022 ausgeklammert.

Die Verkehrswendeprognosen werden unter der Annahme erstellt, dass die für 2030 politisch gesetzten Ziele der Verkehrswende als Beitrag zur Emissionsfreiheit vollständig umgesetzt werden. Sie beinhalten unter anderem die Verdopplung der Verkehrsleistung im schienen-gebundenen Personenverkehr gegenüber dem Ausgangsjahr 2019. Daher wird für die Verkehrswendeprognose angenommen, dass sich die Verkehrsleistungen sowohl im SPNV als auch im SPFV bis zum Jahr 2030 im Vergleich zum Ausgangsjahr 2019 verdoppeln. Die Ausgangswerte der Verkehrsleistung betragen 57,3 Mio. Personenkilometer im SPNV und 44,7

⁴⁷⁷ Beispielsweise emittieren ein leerer und ein voll besetzter Zug unter sonst gleichen Bedingungen (wie Zuglänge bzw. Achsenanzahl, Geschwindigkeit, Antriebsart etc.) den gleichen Lärm.

Mio. Personenkilometer im SPFV.⁴⁷⁸ Des Weiteren besteht das Ziel, den Anteil des Schienengüterverkehrs am gesamten Güterverkehr zu steigern. Angestrebt wird ein Zielwert von 25 % des Modal Splits, der bis 2030 auf die Verkehrsleistung des Eisenbahnverkehrs (in Tonnenkilometern) entfallen soll. Der Ausgangswert des Jahres 2019 beträgt 18,6 %. Daher wird für die Verkehrswendeprognose zunächst die Entwicklung des gesamten Güterverkehrs bis 2030 prognostiziert und dann der Anteil von 25 % als Schienengüterverkehrsleistung angesetzt.

Für die Prognosen des Schienenverkehrslärms ist **das Jahr 2021** von besonderer Bedeutung, da dies das Bezugsjahr der aktuellsten Lärmkartierung ist. Die Entwicklung des Schienenverkehrslärms wird daher in allen vier Szenarien, die am Beginn dieses Kapitels genannt wurden, als Differenz zwischen den Jahren 2021 und 2030 dargestellt. Da jedoch SPNV und SPFV im Jahr 2021 stark unter dem Einfluss der COVID-19-Pandemie standen, wird in Hinblick auf die Verkehrsleistung dieses Jahres eine Korrekturrechnung vorgenommen (dies wird bei Tabelle 13 und Tabelle 14 erläutert).

6.1.1 Schienenpersonenfernverkehr

6.1.1.1 Trendprognose

Bei der Trendprognose sollen die Entwicklungstrends der Verkehrsleistung im SPFV bis zum aktuellen Rand abgebildet und fortgeschrieben werden. Um den Rückgang der Verkehrsleistung im Jahr 2009 von -2,1 % (globale Finanzkrise), der über den üblichen jährlichen Schwankungen liegt, bei der Berechnung des langfristigen Wachstumstrends auszuschließen, beginnt die relevante Zeitreihe erst im Jahr 2010. Um außerdem den Zusammenbruch der Verkehrsleistung im Jahr 2020 infolge der COVID-19-Pandemie (und die nur geringfügige Erholung in den beiden Folgejahren) unberücksichtigt zu lassen, wird als letzte unverzerrte Wachstumsrate die des Jahres 2019 verwendet. Daher wird zum einen die Trendwachstumsrate der Verkehrsleistung (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate p. a., auch als Compound Annual Growth Rate (CAGR) bezeichnet) von 2010 bis 2019 verwendet.⁴⁷⁹ Diese betrug 2,4 %.

Aufgrund der guten wirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland von 2014 bis 2019 hat sich auch die SPFV-Nachfrage (Geschäfts- und Freizeitreisen) stärker als in den Vorjahren entwickelt. Um eine Obergrenze für die zu erwartende Verkehrsleistung bei günstigen Rahmenbedingungen abzubilden, wird daher auch das durchschnittliche jährliche Wachstum von 2014 bis 2019 in Höhe von 4,4 % verwendet. Ein Trendwachstum in dieser Größenordnung scheint auch aus Angebotssicht der EVU und der dafür benötigten Produktionskapazitäten realistisch. So hat die marktbeherrschende DB Fernverkehr⁴⁸⁰ ihre Sitzplatzkapazität seit 2018 stark ausgebaut und im Jahr 2022 mit 15.706 zusätzlichen Sitzplätzen einen neuen Spitzenwert erreicht (2021: Zuwachs 15.058).⁴⁸¹ Außerdem ist ein Ausbau der ICE-Flotte von 367 Fahrzeugen im Jahr 2022 auf über 430 im Jahr 2026 geplant.⁴⁸²

Nachdem die Trendwachstumsraten der Verkehrsleistung bestimmt sind, müssen Einflussfaktoren betrachtet werden, die das Verhältnis von Verkehrs- zu Betriebsleistung maßgeblich beeinflussen können. Dass sich Verkehrs- und Betriebsleistung in der Vergangenheit nicht im

⁴⁷⁸ BMDV (2022d): Verkehr in Zahlen 2022/2023, S. 219.

⁴⁷⁹ Alle Daten zur Verkehrsleistung basieren auf: BMDV (2022d): Verkehr in Zahlen 2022/2023, 51. Jahrgang.

⁴⁸⁰ Deutscher Marktanteil im SPFV zwischen 96 und 99 % (2018 bis 2022). Siehe Bundesnetzagentur (2023): Marktuntersuchung Eisenbahnen 2023, 5. Sonderausgabe Marktentwicklungen 2022 unter den Bedingungen der Covid-19-Pandemie.

⁴⁸¹ Bei einer Fortschreibung der Kapazitätsausweitung der Jahre 2022 bis 2030 könnte das Sitzplatzangebot im Vergleich zum Jahr 2021 (268.517 Sitzplätze) um 141.354 auf 409.871 Sitze ausgeweitet werden, was einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 4,8 % p. a. entspricht.

⁴⁸² Deutsche Bahn (2023c): Integrierter Konzernbericht 2022, S. 55.

gleichen Schritt verändert haben, zeigen Daten des Statistischen Bundesamtes, die auf deutlich geringere Wachstumsraten der Betriebsleistung hinweisen.⁴⁸³ Ein solcher Einflussfaktor ist die Steigerung der durchschnittlichen Auslastung der Züge, da bei einer Auslastungssteigerung die Verkehrsleistung auch bei einer konstanten Betriebsleistung erhöht werden kann. Die durchschnittliche Auslastung der DB Fernverkehr hat zwischen 2010 (48,0 %) und 2019 (56,1 %) erheblich zugenommen.

Als weiterer Faktor für eine Veränderung des Verhältnisses von Verkehrs- zu Betriebsleistung kommt eine Erhöhung der Sitzplatzkapazität pro Zug in Frage. Hier wirkt sich insbesondere eine Erhöhung des Anteils von Doppelstockwagen (DoStos) im Wagenbestand aus. Tatsächlich hat die DB Fernverkehr den Anteil von DoStos bei den IC / EC-Zügen seit 2014 stark erhöht, doch spielen diese Zuggattungen gegenüber den (einstöckigen) ICE-Zügen nur eine untergeordnete Rolle im Verkehrsangebot der DB Fernverkehr.⁴⁸⁴ Bei letzteren ist eine Erhöhung der Sitzplatzkapazität pro Zug nur in sehr engen Grenzen möglich. Insgesamt gab es daher in der jüngeren Vergangenheit nur eine geringe Erhöhung der Sitzplatzkapazität pro Zug.

Für die zukünftige Entwicklung der beiden Faktoren, die das Verhältnis von Verkehrs- zu Betriebsleistung beeinflussen, werden folgende Überlegungen angestellt. In Hinblick auf die durchschnittliche Auslastung pro Zug ist damit zu rechnen, dass diese nach der Steigerung im letzten Jahrzehnt nun zunehmend an Grenzen stößt. Darauf deuten auch die nur noch geringen Auslastungssteigerungen zwischen 2017 und 2019 hin.⁴⁸⁵ Im Fall einer stärkeren Zunahme der Verkehrsleistung als bisher ist sogar damit zu rechnen, dass die Auslastung der Züge wieder sinken wird. Denn eine weitere Ausweitung des Verkehrsangebots wird zunehmend stärker außerhalb der Ballungsräume erfolgen, wo Züge über den täglichen Fahrzyklus tendenziell weniger gut ausgelastet sind (geringere „Dichtevorteile“ oder „Economics of Density“). Hinsichtlich der Sitzplatzkapazität pro Zug ist auch in Zukunft mit keiner größeren Veränderung zu rechnen, da nach aktuellen Planungen der Großteil der Verkehrsleistung im SPFV durch (einstöckige) ICE erbracht werden soll,⁴⁸⁶ weshalb selbst eine erhebliche Zunahme des Einsatzes von DoStos bei IC / EC den Anstieg der Betriebsleistung nur gering dämpfen wird.

Auf Grundlage der Trendwachstumsraten der Zeiträume 2010 bis 2019 und 2014 bis 2019 sowie der angenommenen Entwicklung der oben genannten Einflussfaktoren ergeben sich folgende Grenzen der Bandbreite für die Trendprognose der Betriebsleistung des Jahres 2030:

- **Untergrenze Trendprognose SPFV:** Die angenommene durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Verkehrsleistung entspricht der niedrigeren der beiden Trendwachstumsraten der Vor-COVID-Zeit (2010 bis 2019: 2,4 % p. a.). Außerdem wird die Annahme getroffen, dass die Auslastung der Züge auf dem Niveau von 2021 verbleibt und sich die Sitzplatzkapazität pro Zugkilometer leicht erhöht, so dass die Betriebsleistung um 0,2 Prozentpunkte p. a. weniger zunimmt als die Verkehrsleistung.⁴⁸⁷ Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung um 2,2 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 20,7 %.

⁴⁸³ Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Betriebsleistung des SPFV zwischen 2014 und 2019 hat 0,7 % betragen; zwischen 2010 und 2019 betrug sie 0,1 %. Siehe Statistisches Bundesamt (2023): Verkehr, Eisenbahnschienenverkehr, Betriebsdaten des Schienenverkehrs, Fachserie 8 Reihe 2.1.

⁴⁸⁴ Ein immer größerer Teil der Verkehrsleistung im SPFV wird von ICE erbracht. 2023 betrug er 83,5 %.

⁴⁸⁵ Von 2017 auf 2018 stieg die Auslastung nur noch um 0,6 Prozentpunkte (von 55,5 % auf 56,1 %), von 2018 auf 2019 gar nicht mehr. Im Jahr 2023 betrug die Auslastung 49,1 % (Deutsche Bahn (2024a): Daten und Fakten 2023, S. 18).

⁴⁸⁶ SMA, Intraplan, VIA Consulting (2021): Abschlussbericht zum Zielfahrplan Deutschlandtakt Grundlagen, Konzeptionierung und wirtschaftliche Bewertung, Entwurf vom 31.08.2021, S. 61.

⁴⁸⁷ Die 0,3 Prozentpunkte ergeben sich aus den Annahmen, dass bei den IC / EC-Zügen der Anteil von Doppelstockwagen auf 75,0 % im Jahr 2030 steigt (2022: 39,6 %) und dass diese eine um 25 % höhere Sitzplatzkapazität aufweisen. Der Anteil der IC / EC-Züge an der Verkehrsleistung wird als konstant und entsprechend dem des Jahres 2021 (20,7 %) angenommen. Die Annahme der um 25 % höheren Sitzplatzkapazität von DoStos steht im Einklang mit Intraplan (2020): Validierung einer Verdopplung der Fahrgastzahlen

- **Obergrenze Trendprognose SPFV:** Die angenommene durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Verkehrsleistung entspricht der höheren der beiden Trendwachstumsraten der Vor-COVID-Zeit (2014 bis 2019: 4,4 % p. a.). Außerdem wird die Annahme getroffen, dass sich von den oben genannten Einflussfaktoren die durchschnittliche Sitzplatzkapazität pro Zugkilometer nicht erhöht und dass die Auslastung aufgrund des beschriebenen Effekts der abnehmenden Verkehrsdichte auf das durchschnittliche Niveau von 2014 bis 2019 zurückgeht, so dass die Betriebsleistung um 0,5 Prozentpunkte p. a. stärker zunimmt als die Verkehrsleistung. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung um 4,9 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 53,5 %.

Die Ober- und Untergrenzen der Trendprognose fallen stark auseinander. Trotz der Validität der verwendeten Methodik sind die Prognosen mit einer erhöhten Unsicherheit behaftet, die insbesondere aus dem langen Zeithorizont resultiert, wodurch sich Abweichungen bei den Wachstumsraten über den Zeitraum stark kumulieren. Es sei angemerkt, dass das Ziel der Verkehrswende, eine Verdoppelung der Verkehrsleistung im SPFV gegenüber dem Stand von 2019, bei Fortschreibung der unteren Trendprognose erst im Jahr 2049 erreicht würde, bei Fortschreibung der oberen Trendprognose hingegen schon im Jahr 2036. Demgemäß kann die obere Trendprognose auch als ein Fall mit erhöhten Anstrengungen zur Erreichung des Verkehrswendeziels aufgefasst werden.

Nach unserer Einschätzung ist für die Trendprognose bis 2030 jedoch die geringere Trendwachstumsrate für die Verkehrsleistung wahrscheinlicher, und zwar vor allem aufgrund von Kapazitätsengpässen bei der Eisenbahninfrastruktur. Denn nach Plänen des BMDV und der Deutschen Bahn sollen erst gegen 2030 die geplante Modernisierung und der Ausbau des sog. „Hochleistungsnetzes“ abgeschlossen sein.⁴⁸⁸ Daher gehen die Gutachter*innen davon aus, dass im Falle einer anhaltend hohen Nachfrage (Trendwachstumsrate 2014 bis 2019) diese durch reparatur- und ausbaubedingte Einschränkungen der Netzkapazität bis 2030 nicht ausreichend bedient werden kann. Für die Prognosen der Lärmentwicklung in den Szenarien 1 und 3 wird daher für den SPFV die Untergrenze der Trendprognose der Betriebsleistung zugrunde gelegt.

Die Werte der Trendprognosen für die Verkehrs- und Betriebsleistungen von 2021 bis 2030 sind in Tabelle 10 dargestellt.

6.1.1.2 Verkehrswendeprognose

Die Verkehrswendeprognose wird über eine angenommene Verdopplung der Verkehrsleistung im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2019 (44.703 Mio. Personenkilometer) modelliert. Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate seit 2021 von 7,8 %.

Hinsichtlich des Verhältnisses von Betriebs- zu Verkehrsleistung werden die beiden Haupteinflussfaktoren, Sitzplatzkapazität und Auslastung pro Zug, voraussichtlich gegenläufig wirken. Denn einerseits werden – wann immer möglich – DoSto eingesetzt, was die Sitzplatzkapazität pro Zug tendenziell erhöht; dies allerdings weiterhin nur bei den Zuggattungen IC / EC, nicht bei den ICE. Andererseits wird eine Steigerung der Verkehrsleistung in dieser Größenordnung nur möglich sein, wenn Angebot und Nachfrage auch in der Fläche, d. h. außerhalb von dicht besiedelten Metropolregionen, entsprechend steigen, was die durchschnittliche Auslastung

im Deutschlandtakt, S. 9. Sie kann außerdem anhand des folgenden Beispiels motiviert werden: Ein IC 1 (einstöckig, Länge inkl. Lok 151 m) verfügt über 374 Sitzplätze. Ein IC 2 (Doppelstockwagen, Länge inkl. Lok 153 m) verfügt über 468 Sitzplätze (inkl. 6 Klappsitze) und somit 25 % mehr als der IC 1.

⁴⁸⁸ Siehe z. B. BMDV (2022a): Eckpunkte zur Zukunft der DB und der Schiene und BMDV (2020a): Deutschlandtakt: die erste große Etappe bis Mitte der 2020er-Jahre – Potentialkonzept.

verringern wird. Die Grenzen der Bandbreite für die Verkehrswendeprognose der Betriebsleistung des Jahres 2030 ergeben sich wie folgt:

- ▶ **Untergrenze Verkehrswendeprognose SPFV:** Ausgehend von der genannten jährlichen Wachstumsrate der Verkehrsleistung von 7,8 % wird die Annahme getroffen, dass die Auslastung der Züge auf dem Niveau von 2021 verbleibt und sich die Sitzplatzkapazität pro Zugkilometer erhöht,⁴⁸⁹ so dass die Betriebsleistung um 0,2 Prozentpunkte p. a. weniger zunimmt als die Verkehrsleistung. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung von 7,6 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 93,1 %.
- ▶ **Obergrenze Verkehrswendeprognose SPFV:** Ausgehend von derselben jährlichen Wachstumsrate der Verkehrsleistung von 7,8 % wird die Annahme getroffen, dass sich von den oben genannten Einflussfaktoren die durchschnittliche Sitzplatzkapazität pro Zugkilometer nicht erhöht und die Auslastung auf das durchschnittliche Niveau von 2014 bis 2019 zurückgeht, so dass die Betriebsleistung um 0,6 Prozentpunkte p. a. stärker zunimmt als die Verkehrsleistung. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung von 8,4 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 106,1 %.

Im Gegensatz zur Trendprognose liegen die Ober- und Untergrenzen der Verkehrswendeprognose sehr nah beieinander, da die Einflussfaktoren auf das Verhältnis von Verkehrs- zu Betriebsleistung keinen starken Effekt entfalten. Für die Prognose der Lärmentwicklung in den Szenarien 2 und 4 wird daher als mittlerer Wert ein Zuwachs der Betriebsleistung des SPFV von 100 % von 2021 bis 2030 zugrunde gelegt.

Die Werte der Verkehrswendeprognosen für die Verkehrs- und Betriebsleistungen von 2021 bis 2030 sind in Tabelle 10 dargestellt.

⁴⁸⁹ Annahme: bei den IC / EC steigt der Anteil der Doppelstockwagen auf 75,0 % in 2030 (2022: 39,6 %).

6.1.1.3 Zusammenfassung Verkehrsprognosen SPFV

Tabelle 10: Trend- und Verkehrswendeprognosen für den Schienenpersonenfernverkehr

		Trendprognose			Verkehrswendeprognose		
	2021	2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*	2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*
Prognose Verkehrsleistung (in Mio. Pkm)							
Untergrenze	45.315**	56.098	23,8 %	2,4 %	89.406	97,3 %	7,8 %
Obergrenze		66.765	47,3 %	4,4 %			
Prognose Betriebsleistung (in Mio. Zug-km)							
Untergrenze	148	179	21,2 %	2,2 %	286	93,1 %	7,6 %
Obergrenze		227	53,5 %	4,9 %	305	106,1 %	8,4 %
Verwendete Prognose	148	179	21,2 %	2,2 %	296	100 %	8,0 %

Anmerkungen: Wenn anstelle einer Unter- und Obergrenze nur ein einziger Wert verwendet wird, ist dieser zwischen den Zeilen für Unter- und Obergrenze angegeben. Die „verwendete Prognose“ der Betriebsleistung ist diejenige Verkehrsprognose, die der Prognose der Lärmentwicklung zugrunde gelegt wird. * CAGR (Compound Annual Growth Rate) ist die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate im Zeitraum 2021 bis 2030 in Prozent pro Jahr (% p. a.). ** Für die Verkehrsleistung im Jahr 2021 wird ein hypothetischer Wert auf Basis der tatsächlichen Betriebsleistung des Jahres 2021 und dem Verhältnis von Betriebs- und Verkehrsleistung des Jahres 2019 angesetzt, um den Einfluss der COVID-19-Pandemie herauszurechnen. Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der in Abschnitt 6.1 genannten Datenquellen.

6.1.2 Schienenpersonennahverkehr

6.1.2.1 Trendprognose

Bei der Trendprognose sollen die unverzerrten Entwicklungstrends der Verkehrsleistung im SPNV bis zum aktuellen Rand abgebildet und fortgeschrieben werden. Um den Zusammenbruch der Verkehrsleistung im Jahr 2020 infolge der COVID-19-Pandemie (und die nur geringfügige Erholung in den beiden Folgejahren) unberücksichtigt zu lassen, kommt als letzte unverzerrte Wachstumsrate die des Jahres 2019 in Betracht. Als Beginn für einen langen Betrachtungszeitraum (10 Jahre) kann das Jahr 2009 verwendet werden, da im Gegensatz zum SPFV die Verkehrsleistung des SPNV durch die globale Finanzkrise nicht negativ beeinflusst war. Daher kommt für die Trendprognose der Verkehrsleistung die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (CAGR) des Zeitraums von 2009 bis 2019 in Betracht.⁴⁹⁰ Diese betrug 1,9 % p. a.

Jedoch zeigt eine Betrachtung des kürzeren Zeitraums von 2014 bis 2019, dass die Verkehrsleistung im SPNV zwischenzeitlich deutlich schwächer zugenommen hat (0,9 % p. a.). Es ist nicht ersichtlich, auf welche Faktoren diese unterschiedlichen (und für diese Zeiträume im Vergleich zum SPFV gegensätzlichen) Entwicklungen zurückzuführen sind. Denn in beiden Zeiträumen wurde das Angebot des SPNV, gemessen an der Betriebsleistung, in ähnlichem Umfang ausgeweitet (2009 bis 2019: 0,7 % p. a.; 2014 bis 2019: 0,6 % p. a.). Nachvollziehbar wäre noch, dass die Nachfrage des SPNV auf das stärkere Wirtschaftswachstum der Phase 2014 bis 2019 weniger stark positiv reagierte als die Nachfrage des SPFV, da Fernreisen (Freizeit- und Geschäftsreisen) stärker mit der Konjunktur korrelieren als insbesondere der Pendelverkehr des SPNV. Doch eine zur Konjunktur gegenläufige Bewegung der Nachfrage ist auch im SPNV

⁴⁹⁰ Alle Daten zur Verkehrsleistung basieren auf: BMDV (2022d): Verkehr in Zahlen 2022/2023, 51. Jahrgang.

unwahrscheinlich. Möglicherweise war die Nachfrageentwicklung verhaltener, da das Angebot in diesem Zeitraum stärker außerhalb der Ballungsräume ausgeweitet wurde, wo Züge über den täglichen Fahrzyklus tendenziell weniger gut ausgelastet sind (geringere „Dichtevorteile“ oder „Economics of Density“).

Andererseits könnte jedoch auch die höhere der beiden Steigerungsraten (1,9 % p. a.) das mögliche zukünftige Wachstum bis 2030 unterschätzen. Denn aus einer Befragung von Aufgabenträgern im Rahmen der Arbeiten für dieses Gutachten kann eine erwartete Wachstumsrate der Verkehrsleistung von ca. 4,0 % abgeleitet werden.⁴⁹¹ Dieser Ansatz ist auch insofern plausibel, da der SPNV in den Jahren 2010 bis 2013 mit durchschnittlich ca. 3,5 % p. a. in ähnlicher Größenordnung gewachsen ist. Auch im Jahr 2021 stieg die Betriebsleistung um 3,2 % gegenüber 2020, was verdeutlicht, dass Angebotsausweitungen im SPNV in dieser Größenordnung selbst im noch stark durch die COVID-Pandemie beeinflussten Zeitraum tatsächlich umgesetzt wurden und daher solche Nachfragesteigerungen von der Angebotsseite (insb. Produktionskapazität rollendes Material und Personal) in Zukunft voraussichtlich auch abgedeckt werden können. Daher wird für die Obergrenze der Trendprognose der Verkehrsleistung der Wert von 4,0 % verwendet, während für die Untergrenze der Wert von 0,9 % des Zeitraums 2014 bis 2019 verwendet wird.

Es werden außerdem die gleichen Einflussfaktoren wie beim SPFV betrachtet, die das Verhältnis von Verkehrs- und Betriebsleistung maßgeblich beeinflussen, nämlich die Auslastung und die Sitzplatzkapazität pro Zug. Gemäß den befragten Aufgabenträgern bestehen bis 2030 noch hohe Potenziale für Auslastungssteigerungen, die jedoch mit den Antworten nicht genau quantifiziert werden können.⁴⁹² Für den Effekt der Auslastungssteigerung wird ein Wert von 0,5 Prozentpunkten p. a. bis 2030 angenommen; dies entspricht einer Auslastungssteigerung von 7,8 % im Jahr 2030 gegenüber 2021. Hinsichtlich des Einflussfaktors Sitzplatzkapazität pro Zug kommt es auf die erwartete Entwicklung beim Einsatz von Doppelstockzügen (DoStos) an. Hier erwarten zwei der drei befragten Unternehmen einen starken und eines einen leichten Anstieg bis 2030. Dieser Effekt wird jedoch ausschließlich bei der Verkehrswendeprognose modelliert, da für die Trendprognosen angenommen werden kann, dass die Zunahme bei den DoStos dadurch kompensiert oder abgeschwächt wird, dass Angebotsausweitungen verstärkt außerhalb der Ballungsräume stattfinden werden, wo eine geringe Nachfrage-Dichte herrscht (geringere „Dichtevorteile“).

Auf Grundlage der Trendwachstumsrate von 2014 bis 2019 bzw. der Herleitung aus den in der Umfrage geäußerten Erwartungen der Aufgabenträger sowie der angenommenen Entwicklung der oben genannten Einflussfaktoren ergeben sich folgende Grenzen der Bandbreite für die Trendprognose der Betriebsleistung des Jahres 2030:

⁴⁹¹ Die Umfrage ist nicht repräsentativ und beruht auf einer Stichprobe von drei Aufgabenträgern. Doch hat sie nach Einschätzung der Gutachter*innen einen hohen informativen Wert im Sinne einer Delphi-Befragung. Konkret wurde gefragt: „Mit welchem Anstieg der Fahrgäste und Verkehrsleistung (Pkm) (gegenüber 2021) rechnen Sie ungefähr bis 2030, 2035 und 2040 (Angabe in %)?" Bis 2030 rechnen diese Unternehmen mit einer Zunahme der Verkehrsleistung um 20 %, 65 % bzw. 90%. Da letztere Einschätzung von einem Aufgabenträger für eine städtische Region stammt, erscheint eine Hochrechnung für den bundesweiten SPNV nach gutachterlicher Einschätzung unplausibel. Daher wird der Mittelwert der beiden anderen Schätzungen herangezogen (42,5 %) und daraus die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate bis 2030 abgeleitet (4,0 %).

⁴⁹² Konkret wurde gefragt: „Bitte nennen Sie eine grobe Abschätzung, wie sich folgende Parameter (Anzahl Fahrgäste pro Zug, Auslastung, Einsatz von Doppelstockzügen) tendenziell gegenüber 2021 für die Jahre 2030, 2035, 2040 verändern (starke Abnahme, leichte Abnahme, unverändert, leichte Zunahme, starke Zunahme).“ Die drei Aufgabenträger antworteten hinsichtlich der Auslastung mit „starke Zunahme“ über den gesamten Zeithorizont. Auch die Deutsche Bahn AG schreibt im Integrierten Konzernbericht für das Jahr 2022, dass die zusätzliche Nachfrage im Regionalverkehr unter anderem durch eine mittelfristige Steigerung der Auslastung erreicht werden soll. Deutsche Bahn (2023c): Integrierter Konzernbericht 2022, S. 56.

- **Untergrenze Trendprognose SPNV:** Die angenommene durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Verkehrsleistung entspricht der niedrigeren der beiden Trendwachstumsraten der Vor-COVID-Zeit (2014-2019: 0,9 % p. a.). Außerdem wird die Annahme getroffen, dass die durchschnittliche Auslastung der Züge steigt, so dass die Betriebsleistung um insgesamt 0,5 Prozentpunkte p. a. weniger zunimmt. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung um ca. 0,4 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 3,4 %.
- **Obergrenze Trendprognose SPNV:** Die angenommene durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Verkehrsleistung leitet sich aus den Schätzungen der befragten Aufgabenträger ab (4,0 % p. a.). Außerdem wird die Annahme getroffen, dass von den oben genannten Einflussfaktoren die durchschnittliche Sitzplatzkapazität pro Zugkilometer steigt, so dass die Betriebsleistung um 0,5 Prozentpunkte p. a. weniger zunimmt als die Verkehrsleistung. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung um 3,5 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 36,5 %.

Die Werte der Trendprognosen für die Verkehrs- und Betriebsleistungen von 2021 bis 2030 sind in Tabelle 11 dargestellt.

Wie beim SPFV fallen die Ober- und Untergrenzen der Trendprognose sehr stark auseinander. Es sei angemerkt, dass das Ziel der Verkehrswende, eine Verdoppelung der Verkehrsleistung im SPNV, bei Fortschreibung der unteren Trendprognose erst im Jahr 2099 erreicht würde, bei Fortschreibung der oberen Trendprognose hingegen schon im Jahr 2038. Demgemäß kann die obere Trendprognose auch als ein Fall mit erhöhten Anstrengungen zur Erreichung dieses Ziels aufgefasst werden.

Nach gutachterlicher Einschätzung liegt die Trendwachstumsrate für die Betriebsleistung bis 2030 voraussichtlich leicht über der Mitte der Prognoseszenarien für die Unter- und Obergrenze bei 2,0 % p. a. und kumuliert bei 19,5 %. Denn zum einen ist damit zu rechnen, dass das SPNV-Angebot bei einer bundesweiten Betrachtung (mit teilweise starken regionalen Unterschieden) weiter ausgebaut wird und daher die Betriebsleistung in den nächsten Jahren stetig steigen wird. Andererseits kann aufgrund der Kapazitätsengpässe bei der Eisenbahninfrastruktur das SPNV-Angebot bis 2030 auf den besonders stark frequentierten Strecken in den Ballungsräumen kaum ausgebaut werden, wodurch die Potenziale für Angebotsausweitungen mittelfristig beschränkt sind.

6.1.2.2 Verkehrswendeprognose

Die Verkehrswendeprognose wird über eine Verdoppelung der Verkehrsleistung gegenüber dem Jahr 2019 (57.323 Mio. Personenkilometer) modelliert. Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate seit 2021 von 7,9 %.

Die Einflussfaktoren Sitzplatzkapazität pro Zug und Auslastung werden voraussichtlich gegenläufig auf das Verhältnis von Betriebs- zu Verkehrsleistung wirken, ähnlich wie beim SPFV (vgl. Abschnitt 6.1.1.2). Für die Ermittlung der Obergrenze der Verkehrswendeprognose wird angenommen, dass sich diese Effekte gerade ausgleichen. Für die Ermittlung der Untergrenze wird hinsichtlich der Auslastung eine Studie zum Deutschlandtakt herangezogen (Intraplan, 2020), in der ein Potenzial für Auslastungssteigerungen von 20 bis 30 % für den SPNV unter Berücksichtigung von Spitzauslastungen im Tagesverlauf hergeleitet wird. Hinsichtlich der Sitzplatzkapazität wird die Annahme getroffen, dass der Anteil von DoStos an der gesamten Sitzplatzkapazität von 30 % im Jahr 2021 auf 40 % im Jahr 2030 zunimmt.⁴⁹³ Daraus lässt sich

⁴⁹³ Der aktuelle Anteil von 30 % Sitzplatzkapazität von DoSto wurde aus öffentlich zugänglichen Daten der DB Regio zu den Sitzplätzen aus doppelstöckigen und einstöckigen Reisezugwagen hergeleitet, siehe Deutsche Bahn (2023a): Daten und Fakten 2022,

ein gemeinsamer Effekt dieser beiden Einflussfaktoren von ca. 3,5 Prozentpunkten p. a. quantifizieren, welche bei der Untergrenze der Verkehrswendeprognose von der Wachstumsrate der Verkehrsleistung abzuziehen sind.

Die Grenzen der Bandbreite für die Verkehrswendeprognose der Betriebsleistung des Jahres 2030 ergeben sich wie folgt:

- ▶ **Untergrenze Verkehrswendeprognose SPNV:** Ausgehend von der genannten jährlichen Wachstumsrate der Verkehrsleistung von 7,9 % wird die Annahme getroffen, dass die Auslastung der Züge auf dem Niveau von 2021 verbleibt und sich die Sitzplatzkapazität pro Zugkilometer erhöht, so dass die Betriebsleistung um 3,5 Prozentpunkte p. a. weniger zunimmt als die Verkehrsleistung. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung von 4,4 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 47,7 %.
- ▶ **Obergrenze Verkehrswendeprognose SPNV:** Ausgehend von derselben jährlichen Wachstumsrate der Verkehrsleistung von 7,9 % wird die Annahme getroffen, dass von den oben genannten Einflussfaktoren weder die durchschnittliche Sitzplatzkapazität pro Zugkilometer noch die Auslastung der Züge zunehmen, so dass Betriebs- und Verkehrsleistung im selben Ausmaß steigen. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung von 7,9 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 97,8 %.

Angesichts der gegenläufigen Wirkungen der Einflussfaktoren Sitzplatzkapazität und Auslastung erscheint eine Betriebsleistung um den Mittelwert zwischen der Unter- und Obergrenze am realistischsten. Daher wird für die Verkehrswendeprognose ein Wert nahe am Mittelwert verwendet, nämlich 6,0 % p. a., so dass sich kumuliert von 2021 bis 2030 ein Zuwachs von 68,9 % ergibt.

Die Werte der Verkehrswendeprognosen für die Verkehrs- und Betriebsleistungen von 2021 bis 2030 sind in Tabelle 11 dargestellt.

S. 22. Mangels einer vergleichbaren bundesweiten Datengrundlage wird angenommen, dass sich dies bei den übrigen EVU ähnlich verhält.

6.1.2.3 Zusammenfassung Verkehrsprognosen

Tabelle 11: Trend- und Verkehrswendeprognosen für den Schienenpersonennahverkehr

	2021	Trendprognose			Verkehrswendeprognose		
		2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*	2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*
Prognose Verkehrsleistung (in Mio. Pkm)							
Untergrenze	57.954**	62.687	8,2 %	0,9 %	114.646	97,8 %	7,9 %
Obergrenze		82.585	42,5 %	4,0 %			
Prognose Betriebsleistung (in Mio. Zug-km)							
Untergrenze	1.010	1.045	3,4 %	0,4 %	1.492	47,7 %	4,4 %
Obergrenze		1.378	36,5 %	3,5 %	1.998	97,8 %	7,9 %
Verwendete Prognose	1.010	1.207	19,5 %	2,0 %	1.706	68,9 %	6,0 %

Anmerkungen: Wenn anstelle einer Unter- und Obergrenze nur ein einziger Wert verwendet wird, ist dieser zwischen den Zeilen für Unter- und Obergrenze angegeben. Die „verwendete Prognose“ der Betriebsleistung ist diejenige Verkehrsprognose, die der Prognose der Lärmentwicklung zugrunde gelegt wird. * CAGR (Compound Annual Growth Rate) ist die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate im Zeitraum 2021 bis 2030 in Prozent pro Jahr (% p. a.). ** Für die Verkehrsleistung im Jahr 2021 wird ein hypothetischer Wert auf Basis der tatsächlichen Betriebsleistung des Jahres 2021 und dem Verhältnis von Betriebs- und Verkehrsleistung des Jahres 2019 angesetzt, um den Einfluss der COVID-19-Pandemie herauszurechnen. Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der in Abschnitt 6.1 genannten Datenquellen.

6.1.3 Schienengüterverkehr

6.1.3.1 Trendprognose

Bei der Trendprognose sollen die unverzerrten Entwicklungstrends der Verkehrsleistung im SGV bis zum aktuellen Rand abgebildet und fortgeschrieben werden. Um die Verwerfungen infolge der globalen Finanzkrise von 2008 und 2009 und der Erholung unmittelbar danach, die insbesondere den Güterverkehr betroffen haben, nicht in die Datenbasis für den langfristigen Trend aufzunehmen, beginnt die relevante Zeitreihe erst mit der Wachstumsrate vom Jahr 2010 auf 2011. Um außerdem die verzerrenden Effekte der COVID-19-Pandemie auszuschließen, mit dem erheblichen Einbruch der Verkehrsleistung im Jahr 2020 und der starken Erholung im Jahr 2021, endet die relevante Zeitreihe mit der Wachstumsrate vom Jahr 2018 auf 2019. Daher wird zum einen die Trendwachstumsrate der Verkehrsleistung (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate p. a.) von 2010 bis 2019 verwendet.⁴⁹⁴ Diese betrug 1,5 %.

In der zweiten Hälfte dieses Zeitraums hat sich die Wirtschaftslage in Deutschland sehr gut entwickelt, mit positiven Auswirkungen auf den SGV. Um eine Obergrenze für die zu erwartende Verkehrsleistung beim SGV bei günstigen Rahmenbedingungen abzubilden, wird daher auch das Trendwachstum der Verkehrsleistung von 2014 bis 2019 verwendet. Diese betrug 1,8 %.

Um von der prognostizierten Verkehrsleistung (in tkm) auf die Betriebsleistung (in Zug-km) zu schließen, werden einige strukturelle Faktoren betrachtet, die das Verhältnis von Verkehrs- zu Betriebsleistung maßgeblich beeinflussen können, und Annahmen über die Entwicklung dieser Faktoren getroffen. Beispielsweise ändert sich als Folge der weiteren Veränderung von

⁴⁹⁴ Alle Daten zur Verkehrsleistung basieren auf: BMDV (2022d): Verkehr in Zahlen 2022/2023, 51. Jahrgang.

Deutschland hin zu einer Dienstleistungsgesellschaft mit hohem Technologiestandard und der damit einhergehenden Auswirkungen auf die Industrie- und Handelslandschaft (z. B. starkes Wachstum des Online-Handels) auch die Zusammensetzung der transportierten Waren im Straßen- und Schienengüterverkehr. Zudem können neue technologische Entwicklungen oder Veränderungen im Transportwesen wie eine stärkere Containerisierung zu Produktivitätssteigerungen führen. Folgende Einflussfaktoren sind nach unserer Einschätzung gemäß der Literatur⁴⁹⁵ und Fachgesprächen⁴⁹⁶ am wichtigsten für das zukünftige Verhältnis von Verkehrs- und Betriebsleistung und sollten bei der Prognose berücksichtigt werden:

- ▶ **Güterstruktureffekt:** Weitere Veränderung der Güterstruktur hin zu leichteren Gütern und kleinteiligen Kurier-, Express- und Paketsendungen (KEP-Sendungen) bei gleichzeitiger Abnahme von traditionell bahnaffinen Massengütern wie Kraftwerkskohle. Auch die weiter voranschreitende Zergliederung und räumliche Aufteilung der Produktionsprozesse (Logistikeffekt) führt dazu, dass tendenziell mehr leichtere Güter transportiert werden, wobei der Effekt durch eine Zunahme kombinierter Verkehre (Containerisierung) begünstigt und verstärkt wird. Als Folge dieses Effektes wird die Betriebsleistung (Zug-km) stärker zunehmen als die Verkehrsleistung (tkm).
- ▶ **Produktivitäts- und Auslastungssteigerungen:** Durch Optimierungen wird zukünftig die Transportkapazität der Züge besser ausgenutzt (z. B. durch Verringerung von Leerfahrten). Als Folge dieses Effektes braucht die Betriebsleistung nicht so stark zu steigen, wie die Verkehrsleistung.

Auf Grundlage der Trendwachstumsraten der Zeiträume 2010 bis 2019 und 2014 bis 2019 sowie der angenommenen Entwicklung der oben genannten Einflussfaktoren ergeben sich folgende Grenzen der Bandbreite für die Trendprognose der Betriebsleistung des Jahres 2030:

- ▶ **Untergrenze Trendprognose SGV:** Die angenommene durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Verkehrsleistung entspricht der niedrigeren der beiden Trendwachstumsraten der Zeit vor der COVID-19-Pandemie (2010-2019: 1,5 % p. a.). Außerdem wird die Annahme getroffen, dass sich die oben genannten Einflussfaktoren auf das Verhältnis von Betriebs- und Verkehrsleistung gegenseitig aufheben, d. h. Produktivitäts- und Auslastungssteigerungen kompensieren die Effekte aus dem Güterstruktureffekt. Dadurch steigt die Betriebsleistung in gleichem Maße wie die Verkehrsleistung, d. h. um 1,5 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 14,5 %.
- ▶ **Obergrenze Trendprognose SGV:** Die angenommene durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Verkehrsleistung entspricht der höheren der beiden Trendwachstumsraten der Zeit vor der COVID-19-Pandemie (2014-2019: 1,8 % p. a.). Außerdem wird die Annahme getroffen, dass von den oben genannten Einflussfaktoren auf das Verhältnis von Betriebs- und Verkehrsleistung die Produktivitäts- und Auslastungssteigerungen vom Güterstruktureffekt überwogen werden, so dass die Betriebsleistung um 0,5 Prozentpunkte p. a. stärker zunimmt als die Verkehrsleistung. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung um 2,3 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 22,3 %.

Es sei angemerkt, dass das Ziel der Verkehrswende, ein Anteil des SGV von 25 % am gesamten Güterverkehr, bei Fortschreibung der unteren Trendprognose erst im Jahr 2048 erreicht würde,

⁴⁹⁵ Siehe z. B. Netzwerk europäischer Eisenbahnen e.V. (2019): Studie 35 – Güterverkehrsverlagerung aus Betreibersicht, S. 12 ff.

⁴⁹⁶ Im Rahmen des Projekts wurden Gespräche sowohl mit Vertretern privater als auch im staatlichen Eigentum befindlicher Unternehmen geführt.

bei Fortschreibung der oberen Trendprognose hingegen schon im Jahr 2044.⁴⁹⁷ Demgemäß kann die obere Trendprognose auch als ein Fall mit erhöhten Anstrengungen zur Erreichung des Verkehrswendeziels aufgefasst werden.

Nach unserer Einschätzung ist für die Trendprognose bis 2030 jedoch die geringere Trendwachstumsrate für die Verkehrsleistung wahrscheinlicher, und zwar vor allem aufgrund von Kapazitätsengpässen bei der Eisenbahninfrastruktur, wie schon bei der Diskussion des Schienenpersonenverkehrs dargestellt wurde. Für die anschließenden Prognosen der Lärmentwicklung wird daher für den SGV ein Wachstum der Betriebsleistung von 1,5 % p. a. und kumuliert von 14,5 % als Trendprognose zugrunde gelegt, also in der Nähe der Untergrenze der oben beschriebenen Bandbreite.

Die Werte der Trendprognosen für die Verkehrs- und Betriebsleistungen von 2021 bis 2030 sind in Tabelle 12 dargestellt.

6.1.3.2 Verkehrswendeprognose

Die Verkehrswendeprognose wird über die angenommene Erreichung des Modalsplit-Ziels modelliert, wonach die Verkehrsleistung des SGV im Jahr 2030 bei 25 % des gesamten Güterverkehrs liegen soll. Für die gesamte Güterverkehrsleistung wird auf die gleitende Langfristprognose des BMDV zurückgegriffen, die eine Wachstumsrate (CAGR) von 1,2 % p. a. prognostiziert.⁴⁹⁸ Für den Zeitraum von 2021 bis 2030 führt dies auf einen kumulierten Zuwachs von 11,3 % und erreicht 782.450 Mio. tkm. Die sich hieraus ergebende Verkehrsleistung des SGV (Anteil 25 % entspricht 195.612 Mio. tkm im Jahr 2030) impliziert eine jährliche Wachstumsrate des SGV von 4,6 % p. a. und kumuliert 50,3 % im selben Zeitraum.

- **Untergrenze Verkehrswendeprognose SGV:** Ausgehend von der genannten jährlichen Wachstumsrate der Verkehrsleistung von 4,6 % wird die Annahme getroffen, dass sich die Einflussfaktoren auf das Verhältnis von Betriebs- und Verkehrsleistung gegenseitig aufheben, d. h. Produktivitäts- und Auslastungssteigerungen kompensieren den Güterstruktureffekt. Dadurch steigt die Betriebsleistung in gleichem Maße wie die Verkehrsleistung, d.h. um 4,6 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 50,3 %.
- **Obergrenze Verkehrswendeprognose SGV:** Ausgehend von derselben jährlichen Wachstumsrate der Verkehrsleistung von 4,6 % wird die Annahme getroffen, dass von den Einflussfaktoren auf das Verhältnis von Betriebs- und Verkehrsleistung die Produktivitäts- und Auslastungssteigerungen vom Güterstruktureffekt überwogen werden, so dass die Betriebsleistung um 1,0 Prozentpunkte p. a. stärker zunimmt als die Verkehrsleistung. Somit ergibt sich eine Steigerung der Betriebsleistung um 5,6 % p. a. und kumuliert von 2021 bis 2030 um 63,7 %.

Im Gegensatz zur Trendprognose liegen die Ober- und Untergrenzen der Verkehrswendeprognose sehr nah beieinander, da die Einflussfaktoren auf das Verhältnis von Verkehrs- zu Betriebsleistung keinen starken Effekt entfalten. Für die Prognose der Lärmentwicklung in den Szenarien 2 und 4 wird daher als mittlerer Wert ein Zuwachs der Betriebsleistung des SGV von 5,0 % pro Jahr zugrunde gelegt, somit ein kumulativer Zuwachs von 55,1 % von 2021 bis 2030.

Die Werte der Verkehrswendeprognosen für die Verkehrs- und Betriebsleistungen von 2021 bis 2030 sind in Tabelle 12 dargestellt.

⁴⁹⁷ Hierbei wird entsprechend der gleitenden Langfristprognose des BMDV für die gesamte Güterverkehrsleistung ein kumulierter Zuwachs von 11,3 % von 2021 bis 2030 unterstellt. Siehe dazu den folgenden Abschnitt.

⁴⁹⁸ Siehe BMDV (2023): „Prognose 2022“, Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021-2022, S. 49.

6.1.3.3 Zusammenfassung Verkehrsprognose SGV

Tabelle 12: Trend- und Verkehrsprognosen für den Schienengüterverkehr

		Trendprognose			Verkehrswendeprognose		
	2021	2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*	2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*
Prognose Verkehrsleistung (in Mio. tkm)							
Untergrenze	130.167**	148.987	14,5 %	1,5 %	195.612	50,3 %	4,6 %
Obergrenze		152.282	17,0 %	1,8 %			
Prognose Betriebsleistung (in Mio. Zug-km)							
Untergrenze	277	317	14,5 %	1,5 %	416	50,3 %	4,6 %
Obergrenze		339	22,3 %	2,3 %			
Verwendete Prognose	277	331	14,5 %	1,5 %	430	55,1 %	5,0 %

Anmerkungen: Wenn anstelle einer Unter- und Obergrenze nur ein einziger Wert verwendet wird, ist dieser zwischen den Zeilen für Unter- und Obergrenze angegeben. Die „verwendete Prognose“ der Betriebsleistung ist diejenige Verkehrsprognose, die der Prognose der Lärmentwicklung zugrunde gelegt wird. * CAGR (Compound Annual Growth Rate) ist die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate im Zeitraum 2021 bis 2030 in Prozent pro Jahr (% p. a.). Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der in Abschnitt 6.1 genannten Datenquellen.

6.1.4 Zusammenfassung Schienenverkehrsprognosen

Tabelle 13 fasst die Prognosen der Verkehrsleistungen der drei Verkehrsmärkte SPFV, SPNV und SGV zusammen, welche in Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12 gelistet wurden. Tabelle 14 fasst entsprechend die Prognosen der Betriebsleistungen zusammen. Es werden jeweils die Ober- und Untergrenzen der Prognosen angegeben und bei den Betriebsleistungen auch die Auswahl eines Wertes zwischen diesen, welche als „verwendete Prognose“ bezeichnet wird, da sie den Lärmprognosen zugrunde gelegt wird. Diese Auswahl wurde in den Abschnitten 6.1.1 bis 6.1.3 jeweils begründet.

Tabelle 14 enthält außerdem eine aufsummierte Betriebsleistung aller drei Verkehrsmärkte („Schienenverkehr insgesamt“) und in Rückrechnung von den Absolutwerten auch die dazugehörigen durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten (CAGR) und den kumulierte Zuwachs gegenüber 2021.

**Tabelle 13: Trend- und Verkehrswendeprognosen für alle Schienenverkehrsarten:
Prognosen der Verkehrsleistungen in Mio. Pkm bzw. tkm**

	2021	Trendprognose			Verkehrswendeprognose		
		2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*	2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*
SPFV							
Untergrenze	45.315**	56.098	23,8 %	2,4 %	89.406	97,3 %	7,8 %
Obergrenze		66.765	47,3 %	4,4 %			
SPNV							
Untergrenze	57.954**	62.687	8,2 %	0,9 %	114.646	97,8 %	7,9 %
Obergrenze		82.585	42,5 %	4,0 %			
SGV							
Untergrenze	130.167	148.987	14,5 %	1,5 %	195.612	50,3 %	4,6 %
Obergrenze		152.282	17,0 %	1,8 %			

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt zusammenfassend die einzelnen Verkehrsleistungsprognosen für SPFV, SPNV und SGV der Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12. Wenn anstelle einer Unter- und Obergrenze nur ein einziger Wert verwendet wird, ist dieser zwischen den Zeilen für Unter- und Obergrenze angegeben. Die „verwendete Prognose“ der Betriebsleistung ist diejenige Verkehrsprognose, die der Prognose der Lärmentwicklung zugrunde gelegt wird. * CAGR (Compound Annual Growth Rate) ist die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate im Zeitraum 2021 bis 2030 in Prozent pro Jahr (% p. a.). ** Für die Verkehrsleistung im Jahr 2021 wird ein hypothetischer Wert auf Basis der tatsächlichen Betriebsleistung des Jahres 2021 und dem Verhältnis von Betriebs- und Verkehrsleistung des Jahres 2019 angesetzt, um den Einfluss der COVID-19-Pandemie herauszurechnen. Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der in Abschnitt 6.1 genannten Datenquellen.

**Tabelle 14: Trend- und Verkehrswendeprognosen für alle Schienenverkehrsarten:
Prognosen der Betriebsleistungen in Mio. Zug-km**

	2021	Trendprognose			Verkehrswendeprognose		
		2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*	2030	Zuwachs 2021 bis 2030	CAGR*
SPFV							
Untergrenze	148	179	21,2 %	2,2 %	286	93,1 %	7,6 %
Obergrenze		227	53,5 %	4,9 %	305	106,1 %	8,4 %
Verwendete Prognose	148	179	21,2 %	2,2 %	296	100 %	8,0 %
SPNV							
Untergrenze	1.010	1.045	3,4 %	0,4 %	1.492	47,7 %	4,4 %
Obergrenze		1.378	36,5 %	3,5 %	1.998	97,8 %	7,9 %
Verwendete Prognose	1.010	1.207	19,5 %	2,0 %	1.706	68,9 %	6,0 %
SGV							
Untergrenze	277	317	14,5 %	1,5 %	416	50,3 %	4,6 %
Obergrenze		339	22,3 %	2,3 %	453	63,7 %	5,6 %
Verwendete Prognose	277	317	14,5 %	1,5 %	430	55,1 %	5,0 %
Schienenverkehr insgesamt							
Verwendete Prognose	1.435	1.703	18,7 %	1,9 %	2.432	69,5 %	6,0 %

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt zusammenfassend die einzelnen Betriebsleistungsprognosen für SPFV, SPNV und SGV der Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12. Wenn anstelle einer Unter- und Obergrenze nur ein einziger Wert verwendet wird, ist dieser zwischen den Zeilen für Unter- und Obergrenze angegeben. Die „verwendete Prognose“ der Betriebsleistung ist diejenige Verkehrsprognose, die der Prognose der Lärmentwicklung zugrunde gelegt wird. * CAGR (Compound Annual Growth Rate) ist die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate im Zeitraum 2021 bis 2030 in Prozent pro Jahr (% p. a.).

** Für die Verkehrsleistung im Jahr 2021 wird ein hypothetischer Wert auf Basis der tatsächlichen Betriebsleistung des Jahres 2021 und dem Verhältnis von Betriebs- und Verkehrsleistung des Jahres 2019 angesetzt, um den Einfluss der COVID-19-Pandemie herauszurechnen. Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der in Abschnitt 6.1 genannten Datenquellen.

6.2 Wirkung der empfohlenen Maßnahmen

In diesem Abschnitt wird vorgestellt, welche Auswirkungen die in diesem Gutachten empfohlenen politisch-rechtlichen Instrumente auf die Lärmemissionen einzelner repräsentativer Züge des SPNV, SPFV und SGV voraussichtlich haben werden. Dabei werden die intendierten Wirkungen dieser Instrumente auf die Umsetzung lärmmindernder technischer Maßnahmen an den Fahrzeugen dieser drei Verkehrsarten sowie auch quellnaher Maßnahmen an der Infrastruktur berücksichtigt.⁴⁹⁹

Im nachfolgenden Abschnitt 6.3 werden dann die in diesem Abschnitt zusammengestellten Auswirkungen auf die Lärmemissionen einzelner Züge mit den Verkehrsprognosen aus Abschnitt 6.1 sowie mit Daten zur Lärmbelastung (aus der aktuellen Lärmkartierung) verknüpft, um Prognosen über die zukünftige Lärmbelastung zu treffen. Diese Lärmimmissionsprognosen gelten somit für den Fall, dass die Empfehlungen dieses Gutachtens umgesetzt werden. Entsprechende Lärmimmissionsprognosen werden außerdem für den Fall vorgenommen, dass die Empfehlungen nicht umgesetzt werden, so dass ein Vergleich dieser beiden Fälle möglich wird.

Für die Lärmimmissionsprognosen im Fall, dass die Empfehlungen umgesetzt werden, sind außerdem Annahmen über den Umsetzungsgrad der mit ihnen verknüpften technischen Maßnahmen im Zeitablauf notwendig. In diesem Gutachten kann jedoch keine modellhafte Abbildung der zeitlichen Entscheidungsprozesse über die politisch-rechtlichen Instrumente, deren Auswirkungen auf die Handlungen der Akteure sowie schließlich die Migrationsprozesse der verschiedenen lärmmindernden Maßnahmen geleistet werden. Das Ziel dieses Kapitels besteht vielmehr darin, das grundsätzliche Lärminderungspotenzial zu verdeutlichen. Dazu wird wie folgt vorgegangen.

In den Lärmimmissionsprognosen werden die erreichbaren Lärminderungen mit den auf das Jahr 2030 bezogenen Verkehrsprognosen verknüpft, obwohl es wahrscheinlich ist, dass bis dahin die entsprechenden Maßnahmen nur zu einem geringen Grad im Feld wirksam werden. Wie jedoch eingangs dieses Kapitels dargestellt wurde, spannen die Verkehrsprognosen mit den beiden Varianten Trendprognosen und Verkehrswendeprognosen einen Raum auf, der die realistische Verkehrsentwicklung im Jahrzehnt nach 2030 beinhaltet. Da die Lärmimmissionsprognosen mit beiden Varianten der Verkehrsprognosen erstellt werden, können sie somit auf einen Umsetzungsgrad der Maßnahmen bezogen werden, der im Jahrzehnt nach 2030 realistisch erscheint, um einen realistischen Eindruck der erwartbaren Lärminderungspotenziale zu vermitteln.

Jedoch wäre es nicht angemessen, in den Lärmimmissionsprognosen von einer vollständigen Umsetzung aller in diesem Gutachten angesprochenen lärmmindernden Maßnahmen auszugehen. Zum Beispiel beziehen sich einige Maßnahmen auf Neufahrzeuge und können sich daher auch im Jahrzehnt nach 2030 nur teilweise im Feld auswirken. Die Gutachter*innen beschreiben daher das Lärminderungspotenzial anhand von drei Umsetzungsstufen:

- Mittlerer Umsetzungsgrad
- Hoher Umsetzungsgrad
- Vollständige Umsetzung

⁴⁹⁹ Hingegen wird der weitere Ausbau von Schallschutzwänden oder -fenstern nicht detailliert berücksichtigt, obwohl er teilweise oder punktuell durch die Empfehlungen dieses Gutachtens ebenfalls gefördert wird. Auch die Lärmwirkungen bei Abstellanlagen werden in diesem Kapitel nicht abgebildet. Die bereits laufende und weiterlaufende Lärmsanierung wird jedoch bei den Endergebnissen in pauschalisierter Form berücksichtigt.

Die unterste Stufe wird „mittlerer Umsetzungsgrad“ genannt, da auch sie schon recht anspruchsvoll ist.⁵⁰⁰ Der „hohe Umsetzungsgrad“ verlangt bereits deutlich höhere Anstrengungen oder Umsetzungszeiten. Die „vollständige Umsetzung“ beschreibt eine Obergrenze des Lärminderungspotenzials; dieser Fall ist, wie beschrieben, in absehbarer Zeit nicht realistisch.

Für die Prognosen der Belastetenzahlen (also der Lärmimmissionen), die auf Basis der aktuellen Lärmkartierung erfolgen, sind starke Vereinfachungen hinsichtlich der Minderungen der Lärmemissionen notwendig. Insbesondere muss für jede Verkehrsart ein einziger Zahlenwert (in Dezibel) für die Emissionsminderung angegeben werden. Es kann also nicht zwischen Lärmemissionen für verschiedene Fahrzeugtypen oder Situationen (z. B. Kurve versus gerade Strecke) unterschieden werden, sondern nur noch nach den drei Verkehrsarten (SPNV, SPFV, SGV) und den drei Umsetzungsgraden (mittel, hoch, vollständig). Für eine der vorgenommenen Rechnungen wird es sogar notwendig sein, auch die drei Verkehrsarten zu homogenisieren und nur noch nach den drei Umsetzungsgraden zu unterscheiden. Dies wird in Abschnitt 6.3.3 dargestellt.

In diesem Abschnitt werden zunächst Einzelwerte der Minderung (in Dezibel) je Verkehrsart und Umsetzungsgrad bestimmt, indem für die verschiedenen Minderungsmöglichkeiten die individuellen Dezibel-Minderungen und die angenommene anteilige Umsetzung zu einem effektiven Einzelwert zusammengerechnet werden. Die Berechnung erfolgt dabei logarithmisch. Darüber hinaus werden auch Maßnahmen an der Infrastruktur anteilig berücksichtigt. Dies umfasst vordergründig die Empfehlungen des Gutachtens, bei der anschließenden Immissionsprognose wird auch die Lärmsanierung bei der Anzahl der Belasteten berücksichtigt. Bei den anzunehmenden Minderungswerten wird bereits die später genutzte Modellierung nach CNOSSOS beachtet, um entsprechende Minderungen mit der Darstellung entsprechender Fahrzeuge und Infrastrukturen mit der Lärmkartierung zu harmonisieren. Die fahrzeug- und streckenseitigen Maßnahmen werden im Bereich der Immissionsprognosen bei Bedarf zusammengeführt.

6.2.1 Infrastruktur

Die Gutachter*innen empfehlen die Einführung einer „glatten Schiene“, sowie die Einführung einer Anforderung an die Gleisabklingrate. Beide Maßnahmen werden zeitlich verteilt eingeführt, sodass sich unterschiedliche Umsetzungsgrade ergeben.

Glatte Schiene

Die Anforderung an die Schienenrauheit im Bereich besiedelter Gebiete wird zu einer Absenkung der Rauheiten führen. Wie stark sich dieser Effekt auf die Schallabstrahlung bemerkbar macht, hängt vom eingesetzten Rollmaterial und auch der Fahrgeschwindigkeit ab. Darüber hinaus wird sich der Effekt örtlich stark unterscheiden und dort eine deutlich stärkere Minderung erzielen, wo bisher eine relativ hohe Schienenrauheit vorliegt, einen geringen oder keinen Effekt, wo bereits eine niedrige Schienenrauheit vorhanden ist.

Im Rahmen von Immissionsprognosen muss jedoch ein einheitlicher Minderungswert angenommen werden. Dabei wird sich im Weiteren auf die später genutzte Modellierung nach CNOSSOS bezogen. Im Rahmen der Modellierung nach CNOSSOS wird in der Lärmkartierung bereits eine „durchschnittliche Rauheit“ für 2021 angenommen (für Strecken mit „bÜG“ die hinterlegte Schienenrauheit für eben jenes). Um für die spätere Modellierung einen Wert anzunehmen, wurde eine Modellrechnung mit einem repräsentativen Verkehrsmix durchgeführt

⁵⁰⁰ Zusätzlich wird zu Vergleichszwecken auch die Nichtumsetzung der Maßnahmen modelliert.

– dabei wurde der resultierende Schalldruckpegel zwischen „durchschnittlicher Rauheit“ und der neuen „glatten Schiene“ bewertet.⁵⁰¹ Es zeigte sich eine Differenz von knapp 1 dB(A), welche die neuen Anforderungen gegenüber der bisherigen „durchschnittlichen Rauheit“ in CNOSSOS bewirkt. Dabei wurde angenommen, dass es zu keiner Erhöhung der Rauheit in für die Wellenlängen kommt in welchen die „durchschnittliche Rauheit“ nach CNOSSOS bereits unter der Grenzkurve der DIN EN ISO 3095:2014 liegt. Darüber hinaus wird die zukünftige „glatte Schiene“ einen oberen Grenzwert darstellen (und keinen Durchschnitt), sodass die Gutachter*innen zusätzlich 1 dB(A) anrechnen. Insgesamt ergibt sich so eine Minderungswirkung der „glatten Schiene“ von 2 dB(A).⁵⁰² Die „glatte Schiene“ soll in besiedelten Gebieten umgesetzt werden; aufgrund verfügbarer Schleifleistung und des relativ geringen Eingriffs in die Infrastruktur gehen die Gutachter*innen von folgenden Minderungswerten aus:

- ▶ Mittlerer Umsetzungsgrad: 2 dB(A) auf 30 % der Strecken in besiedelten Gebieten.
- ▶ Hoher Umsetzungsgrad: 2 dB(A) auf 60 % der Strecken in besiedelten Gebieten.
- ▶ Vollständiger Umsetzungsgrad: 2 dB(A) auf 100 % der Strecken in besiedelten Gebieten.

Gleisabklingrate

Hinsichtlich der Gleisabklingrate erwarten die Gutachter*innen eine Verbesserung der akustischen Schallabstrahlung um 3 dB(A), wie in Abschnitt 3.2.3 dargestellt wurde. Dieser Effekt tritt jedoch lediglich auf Fahrwegen mit einer Höchstgeschwindigkeit von über 160 km/h auf, da dort die elastischen Zwischenlagen durch die hochdämpfenden Zwischenlagen ersetzt werden sollen. Bei Strecken mit Maximalgeschwindigkeit bis 160 km/h sind aufgrund der dort verbauten harten Zwischenlage keine Änderungen zu erwarten. Die Einführung einer hochdämpfenden Zwischenlage wird sich erst nach erfolgreicher Betriebserprobung realisieren lassen und ein Einbau dürfte mit entsprechenden Streckensanierungen sowie Aus- und Neubau einhergehen. Aus diesem Grund gehen die Gutachter*innen von folgenden Minderungswerten aus:

- ▶ Mittlerer Umsetzungsgrad: 3 dB(A) auf 20 % der Strecken mit Höchstgeschwindigkeit über 160 km/h.
- ▶ Hoher Umsetzungsgrad: 3 dB(A) auf 50 % der Strecken mit Höchstgeschwindigkeit über 160 km/h.
- ▶ Vollständiger Umsetzungsgrad: 3 dB(A) auf 100 % der Strecken mit Höchstgeschwindigkeit über 160 km/h.

6.2.2 Schienenpersonenfernverkehr

Im Schienenpersonenfernverkehr empfehlen die Gutachter*innen eine EU-Initiative der Bundesrepublik Deutschland zur Absenkung der Emissionsgrenzwerte, die sich jedoch erst nach Verankerung in der TSI Noise bei der Fahrzeugneubeschaffung bemerkbar machen wird. Die Minderung betrifft insbesondere die Anfahr- und Rollgeräusche sowie bei sehr hohen Geschwindigkeiten den aerodynamischen Bereich. Aufgrund einer angestrebten Grenzwertabsenkung für Elektrotriebzüge von 5 dB(A) in den Vorbeifahrgeräuschen und einer deutlich höheren Minderung der Anfahrgeräusche kann für diese eine Minderung von 5 dB(A) über den

⁵⁰¹ Das gewählte Szenario (Verkehrsmix und Geschwindigkeiten) basiert dabei auf der Auswahl nach Hanisch, Thomma, Hecht (2022): Analyse-Tool zur Quantifizierung der Schallminderung durch die Anwendung verschiedener Maßnahmen im Schienenverkehr.

⁵⁰² Anzumerken ist, dass diese genau genommen lediglich in Bereich gilt, die bisher nicht als „büg“-Strecken ausgewiesen sind.

gesamten Geschwindigkeitsbereich angenommen werden. Für lokbespannte Reisezüge sind hinsichtlich der Wagen 2 dB(A) zu erwarten, für die Lokomotiven ebenfalls 5 dB(A).

Anzumerken ist, dass nach Absenkung der Grenzwerte von Reisezugwagen höhere Emissionen im Vorbeifahrgeräusch als von Elektrotriebzügen zulässig sind. Bereits heute weisen bei gleicher Geschwindigkeit lokbespannte Reisezüge deutlich höhere Emissionen als Elektrotriebzüge auf. Jedoch erbringen lokbespannte Reisezüge einen deutlich geringeren Teil an der Betriebsleistung des SPFV. Aus diesem Grund setzen die Gutachter*innen 4 dB(A) für die Minderung im SPFV an, die für alle Geschwindigkeiten gültig ist.⁵⁰³

Für die drei Umsetzungsgrade kommen die Gutachter*innen auf folgende Lärminderungen im SPFV:

- ▶ Mittlerer Umsetzungsgrad: Es wird angenommen, dass bei 10 % der Fahrzeuge im SPFV eine Umsetzung neuer Grenzwerte (4 dB(A)) erfolgt. Daraus ergibt sich eine effektive Wirkung⁵⁰⁴ von 0,26 dB(A).
- ▶ Hoher Umsetzungsgrad: Es wird angenommen, dass bei 40 % der Fahrzeuge im SPFV eine Umsetzung neuer Grenzwerte (4 dB(A)) erfolgt. Daraus ergibt sich eine effektive Wirkung von 1,20 dB(A).
- ▶ Vollständiger Umsetzungsgrad: Es wird angenommen, dass bei 100 % der Fahrzeuge im SPFV die neuen Grenzwerte umgesetzt werden. Es ergibt sich eine effektive Wirkung von 4 dB(A).

6.2.3 Schienenpersonennahverkehr

Für den SPNV wird die Umsetzung der Pegelhöchstwerte der 4. Fahrzeugempfehlungen des Bundesverbandes SchienenNahverkehr von den Gutachter*innen empfohlen.⁵⁰⁵ Diese sollen mithilfe einer koordinierten Bund-Länder-Agenda in Fahrzeugausschreibungen durch die Besteller durchgesetzt werden. Der aktuelle Status-Quo im Nahverkehr beruht auf den Grenzwerten der TSI Noise. Gegenüber diesen ergeben sich durch die BSN-Empfehlungen teilweise deutliche Minderungen, wie im Abschnitt 6.2.3 bereits vorgestellt wurde. Dort wurden auch konkrete technische Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele vorgestellt. Im Bereich des SPNV werden Elektrotriebzüge, Dieseltriebzüge sowie lokbespannte Doppelstockwagen (Reisezugwagen) eingesetzt. Zukünftige alternative Antriebsformen werden sich zunächst an den Emissionswerten der Elektrotriebzüge orientieren.

Die Fahrzeugempfehlungen des BSN sehen für neu anzuschaffende Triebzüge eine Minderung der Anfahrgeräusche um 5 bis 9 dB(A) vor; das Vorbeifahrgeräusch bei 80 km/h soll um 3 bis 5 dB(A) gemindert werden. Da der Großteil der Fahrzeuge elektrisch (oder zukünftig mit alternativen Formen) angetrieben wird, orientiert sich die Prognose an den Zahlen für Elektrotriebzüge (9 dB(A) Anfahrgeräusch und 5 dB(A) Vorbeifahrgeräusch). Es erscheint daher durchaus plausibel, im Rahmen der Prognose, bei der ein Einzelwert angenommen werden muss, von einer Minderung von 5 dB(A) auszugehen. Für Gebrauchtfahrzeuge, die in neuen

⁵⁰³ Zusätzlich sind die Elektrotriebzüge des Fernverkehrs in CNOSSOS für das Vorbeifahrgeräusch bereits leicht unterhalb der aktuellen gültigen TSI Noise Werte modelliert (ca. 79 dB(A) anstatt 80 dB(A)), sodass im Rahmen der Modellierung lediglich eine Absenkung um 4 dB(A) gesichert ist.

⁵⁰⁴ Dabei wird ein Referenzwert für ein Fahrzeug von 50 dB gewählt und die Annahme getroffen, dass 10 Fahrzeuge existieren. Die effektive Wirkung ergibt sich aus der Referenz und dem Zustand nach Minderung. Bspw. führen neun Fahrzeuge mit 50 dB und ein Fahrzeug mit 4 dB Minderung auf 46 dB zu dem Effekt von $10 * \log_{10} \left(10 * 10^{\frac{50}{10}} \right) - 10 * \log_{10} \left(9 * 10^{\frac{50}{10}} + 1 * 10^{\frac{46}{10}} \right) = 0,26$, also einer Minderung um 0,26 dB. Der Minderungseffekt ist unabhängig vom gewählten Referenzwert.

⁵⁰⁵ Genau genommen wird von der Empfehlung des Anfahrgeräuschs bei Elektrotriebzügen (Gebrauchtfahrzeuge) leicht abgewichen, sodass dieses Gutachten dort 74 dB(A) vorsieht.

Verkehrsverträgen eingesetzt werden sollen, sehen die Empfehlungen der Gutachter*innen für Elektrotriebzüge Minderungen für das Anfahrgeräusch von 6 dB(A) und für das Vorbeifahrgeräusch von 4 dB(A) vor, die mit Hilfe von Nachrüstungen im Rahmen einer grundlegenden Instandhaltung und Revision umgesetzt werden können. Es wird daher ein Einzelwert von 4 dB(A) angenommen.⁵⁰⁶

Anzumerken ist, dass diese Minderungen erst nach und nach im Feld ankommen werden, vorwiegend bei neuen Verkehrsverträgen, welche Neufahrzeuge oder Gebrauchtfahrzeuge fordern. Auch die aktuell laufenden Ausschreibungen streben noch Vorbeifahrgeräusche im Bereich der TSI Noise an. Neufahrzeuge solcher aktuellen Ausschreibungen werden Ende der 2020er bis Anfang der 2030er Jahre ausgeliefert und sollen 30 Jahre im Einsatz sein. Somit ist bei diesen Fahrzeugen auf längere Zeit von keiner Reduktion der Vorbeifahrgeräusche auszugehen; allenfalls im Rahmen von Neuausschreibungen der Verkehrsverträge kann es zu den Nachrüstungen für Gebrauchtfahrzeuge kommen. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass die genannten Lärminderungen lediglich für einen gewissen Anteil greifen werden.

Für die drei Umsetzungsgrade kommen die Gutachter*innen auf folgende Lärminderungen im SPNV:

- ▶ Mittlerer Umsetzungsgrad: Es wird angenommen, dass bei 20 % der Fahrzeuge im SPNV die Minderung für Neufahrzeuge (5 dB(A)) und bei 20 % der Fahrzeuge die Minderung für Gebrauchtfahrzeuge (4 dB(A)) erfolgt. Dies entspricht einer effektiven Wirkung von 1,29 dB(A).
- ▶ Hoher Umsetzungsgrad: Es wird angenommen, dass bei 30 % der Fahrzeuge im SPNV die Minderung für Neufahrzeuge (5 dB(A)) und bei 30 % der Fahrzeuge die Minderung für Gebrauchtfahrzeuge (4 dB(A)) erfolgt. Dies entspricht einer effektiven Wirkung von 2,12 dB(A).
- ▶ Vollständige Umsetzung: Es wird angenommen, dass bei 100 % aller Fahrzeuge des SPNV die Minderung für Neufahrzeuge (5 dB(A)) umgesetzt ist. Dies entspricht einer effektiven Wirkung von 5 dB(A).

6.2.4 Schienengüterverkehr

Im Bereich des Schienengüterverkehrs wird in diesem Gutachten das Lärminderungspotential durch geräuschärmere Bremsaussysteme und Drehgestelle hervorgehoben; siehe dazu Abschnitt 3.6.2. Als „lärmarmer Wagen“ wird ein Wagen bezeichnet, der die drei Komponenten Scheibenbremsen, Räder mit geradem Radsteg und geräuscharmes Drehgestell gleichzeitig aufweist. Als politische Instrumente dienen zum einen eine Förderpolitik in Hinblick auf Wagenneuanschaffungen sowie andererseits ein lärmabhängiges Trassenpreissystem, um den Einsatz solcher modernen Wagen insbesondere an den hochbelasteten Strecken zu induzieren. Die Maßnahmen dürften sich insbesondere im kombinierten Verkehr mit seinen hohen Laufleistungen auswirken, da dort der Einsatz „lärmarmer Wagen“ betriebswirtschaftlich sinnvoll ist.

Bei Lokomotiven sind bei Neuanschaffungen geräuschärmere Konstruktionen möglich, die durch eine graduelle Reduktion der TSI-Grenzwerte im Rahmen einer EU-Initiative induziert werden

⁵⁰⁶ Für lokbespannte Reisezüge, welche im SPNV in der Minderheit auftreten, sind für die Lokomotiven 4 bis 5 dB(A) Minderung vorgesehen, für die Reisezugwagen eine Minderung um 2 dB(A). Da es im SPNV zu deutlich mehr Anfahrsituationen im Vergleich zum SPNV kommt, wird sich an der Minderung für Elektrotriebzüge orientiert.

sollen. Deren Wirkung wird im Rahmen der Lärminderungsprognosen nicht berücksichtigt, da ihr Geräuschanteil am Güterverkehr bei der Lärmkartierung eine vernachlässigbare Rolle spielt.

Für den lärmarmen Wagen, ausgerüstet mit Scheibenbremse mit geradem Radsteg und Gleitschutz, der zusätzlich auch das geräuscharme Drehgestell aufweist, wird eine Minderung von 4 dB(A) angenommen. Beide Maßnahmen werden verstärkt im späteren Zeithorizont auftreten, da bei Scheibenbremsen die aktuelle Ausbröckelungsproblematik gelöst werden muss. Darüber hinaus erwarten die Gutachter*innen durch den Einsatz des Gleitschutzes ein deutlich selteneres Auftreten von Flachstellen. Dies wird pauschal durch die Minderung um 1 dB(A) in den Prognosen berücksichtigt. Somit ergibt sich ein gesamtes Minderungspotential für den lärmarmen Wagen von 5 dB(A).

Für die drei Umsetzungsgrade kommen die Gutachter*innen auf folgende Lärminderungen im SGV:

- ▶ Mittlerer Umsetzungsgrad: Es wird angenommen, dass bei 20 % der Güterwagen des kombinierten Verkehrs eine Minderung um 5 dB(A) erreicht wird. Da der kombinierte Verkehr ungefähr die Hälfte der Laufleistung des SGV erbringt, entspricht dies einer Minderung bei 10 % der Güterwagen. Es ergibt sich eine effektive Wirkung von 0,31 dB(A).
- ▶ Hoher Umsetzungsgrad: Es wird angenommen, dass bei 50 % der Güterwagen des kombinierten Verkehrs eine Minderung um 5 dB(A) erreicht wird. Da der kombinierte Verkehr ungefähr die Hälfte der Laufleistung des SGV erbringt, entspricht dies einer Minderung bei 25 % der Güterwagen. Es ergibt sich eine effektive Wirkung von 0,81 dB(A).
- ▶ Vollständige Umsetzung: Es wird angenommen, dass bei 100 % der Güterwagen des kombinierten Verkehrs eine Minderung um 5 dB(A) erreicht wird. Da der kombinierte Verkehr ungefähr die Hälfte der Laufleistung des SGV erbringt, entspricht dies einer Minderung bei 50 % der Güterwagen. Es ergibt sich eine effektive Wirkung von 1,82 dB(A).

6.3 Prognoserechnungen der Belasteten

6.3.1 Methodische Vorbemerkungen

Für die Prognosen der Lärmbelastung, mit und ohne Verkehrswende sowie mit und ohne Lärminderungsmaßnahmen wird auf die Lärmkartierung zurückgegriffen, da dies die einzige Quelle ist, die einen Rückschluss von Verkehrsmengen und Lärmemissionen auf die Zahl der Belasteten erlaubt. Verwendet werden die Daten der 4. Runde der Lärmkartierung, die auf dem Fahrplan des Jahres 2021 basiert.⁵⁰⁷ Die Kartierung erfolgt nach der Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (BUB)⁵⁰⁸, als nationale Überführung von CNOSSOS-EU⁵⁰⁹. Die durch das EBA durchgeführte Lärmkartierung bestimmt die Lärmemission für alle kartierten Verkehrswege individuell und die Lärmimmission unter Berücksichtigung von Ausbreitungsbedingungen und Verteilung von Anwohnenden. Das EBA stellt das Kartierungsergebnis sowie teilweise die Eingangsparameter zur Verfügung.

⁵⁰⁷ Somit ist die Umrüstung von Grauguss-Bremssohlen auf Verbundstoff-Sohlen bei Güterwagen abgeschlossen.

⁵⁰⁸ Bekanntmachung der Berechnungsverfahren für den Umgebungslärm nach § 5 Absatz 1 der Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV). Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) – BUB. BAnz AT 05.10.2021 B4. Siehe auch: EBA (2023c): Lärmkartierung.

⁵⁰⁹ Europäische Berechnungsmethode für den Umgebungslärm (engl. Common Noise Assessment Methods).

Umfang der Lärmkartierung

Die Kartierung erfolgt gemäß der EU-Umgebungslärmrichtlinie⁵¹⁰ sowie als (freiwillige) erweiterte Kartierung. Im Rahmen der Richtlinie werden alle Haupteisenbahnstrecken (>30.000 Zugfahrten im Jahr) sowie für die 72 Ballungsräume auch Streckenabschnitte mit weniger Zugfahrten kartiert und weitere Lärmquellen berücksichtigt. Bei der erweiterten Kartierung werden Lärmkarten für alle Schienenwege der Eisenbahnen des Bundes berechnet. Da das EBA jedoch nur für Strecken gemäß Umgebungslärmrichtlinie auch die Verkehrsmengen getrennt nach SPNV, SPFV und SGV öffentlich zur Verfügung stellt, werden im Weiteren die Ergebnisse gemäß Umgebungslärmrichtlinie genutzt.

Lärmindizes

Das EBA berechnet im Rahmen der Kartierung zwei Lärmindizes⁵¹¹, den Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{DEN} sowie den Nacht-Lärmindex L_{Night} . Für beide wird die Anzahl der Belasteten in Isophonen-Bändern je kartierter Gemeinde angegeben, zusätzlich zur bundesweiten Summe.⁵¹² Im Weiteren wird die Prognose der Lärmbelastung basierend auf dem Tag-Abend-Nacht-Lärmindex durchgeführt, sie kann auch für den Nacht-Lärmindex analog durchgeführt werden. Der Tag-Abend-Nacht-Lärmindex ergibt sich als Summe der Mittelungspegel der Tagesabschnitte Tag (6 bis 18 Uhr) L_{Day} , Abend (18 bis 22 Uhr) $L_{Evening}$ und Nacht (22 bis 6 Uhr) L_{Night} . Aufgrund der negativeren Wahrnehmung bzw. Störwirkung am Abend und in der Nacht wird der Mittelungspegel für den Abend mit 5 dB(A) und der Mittelungspegel Nacht mit 10 dB(A) Zuschlag berücksichtigt.

Genutzte Datengrundlage

Das EBA veröffentlicht unterschiedliche Daten im Rahmen der Lärmkartierung nach Umgebungslärmrichtlinie.⁵¹³ An dieser Stelle werden die im Rahmen des Berichts genutzten Daten genannt, wobei die Beschreibungen sich auf die verwendeten Informationen beschränken:

- ▶ Lärmstatistik für Haupteisenbahnstrecken⁵¹⁴ mit Angaben zu den Belastetenzahlen, unterteilt nach:
 - Gemeinden (Gemeindenname, Amtlicher Gemeindeschlüssel)
 - Pegelbereich der Isophonen-Bänder
 - Beurteilungszeitraum (Tag-Abend-Nacht, Nacht)
- ▶ Statistik der Gemeinsamen Verkehrswege⁵¹⁵ mit Angaben zu:

⁵¹⁰ Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm: EU-Umgebungslärmrichtlinie, 2002.

⁵¹¹ Bei einem Lärmindex handelt es sich um einen Mittelungspegel über eine definierte Zeit (EBA (2023a): Entwurf, Lärmaktionsplanung des Eisenbahn-Bundesamtes, S 21).

⁵¹² Für den Tag-Abend-Nacht-Lärmindex als Isophonen-Bänder ab 55 dB(A) bis 59 dB(A), ab 60 dB(A) bis 64 dB(A), ab 65 dB(A) bis 69 dB(A), ab 70 dB(A) bis 74 dB(A) sowie ab 75 dB(A) und für den Nacht-Lärmindex als Isophonen-Bänder ab 50 dB(A) bis 54 dB(A), ab 55 dB(A) bis 59 dB(A), ab 60 dB(A) bis 64 dB(A), ab 65 dB(A) bis 69 dB(A) sowie ab 70 dB(A) und optional ab 45 dB(A) bis 49 dB(A).

⁵¹³ EBA (2023c): Lärmkartierung.

⁵¹⁴ EBA (2023d): Lärmstatistik der Bundesländer für die Haupteisenbahnstrecken.

⁵¹⁵ OGC-Dienst des EBA (o. D.c): Verkehrsweg. Eine Eisenbahnstrecke gemäß deutschem Verständnis umfasst eine Verbindung zwischen Anfangs- und Endpunkten mit ein oder zwei Gleisen. Der Begriff Haupteisenbahnstrecke ist hierauf nicht direkt anwendbar, da die Definition der Umgebungslärmrichtlinie sich auf Zugfahrten pro Jahr bezieht. In diesem Kontext werden Abschnitte von Strecken, die räumlich nahe beieinander liegen und als Einheit betrachtet werden, vom EBA als „Gemeinsamer Verkehrsweg“ zusammengefasst. Siehe EBA (2022): Lärm an Schienenwegen.

- 2D-Geometrie der Gemeinsamen Verkehrswege (geographische Koordinaten)
- Zugehörige Streckennummern der Gemeinsamen Verkehrswege
- Streckenabschnittslänge in Meter
- Zugaufkommen pro Jahr, unterschieden nach:
 - Verkehrskategorie (SPNV, SPFV, SGV, sonstiger Verkehr)
 - Beurteilungszeitraum (Tag, Abend, Nacht, Tag-Abend-Nacht)
- Gemeindestatistik⁵¹⁶ zum Bezug der 2D-Geometrie der kommunalen Verwaltungsgrenzen (geographische Koordinaten)

Darüber hinaus wurden aus dem Infrastrukturregister der DB InfraGO⁵¹⁷ Informationen über die Höchstgeschwindigkeiten für verschiedene Streckenabschnitte entnommen. Da die DB InfraGO nur über eine interaktive Karte über ihre Infrastruktur beaufkuntet, erfolgt die Extraktion dieser Daten mittels des Python-Pakets isr-matcher⁵¹⁸, welches eine Schnittstelle für automatisierte Abfragen bietet.

Diese Daten sind ausreichend, um Aussagen über die Anzahl der Belasteten unterschiedlicher Pegelklassen in den einzelnen Gemeinden zu treffen und die Verkehrsmengen in den Gemeinden zu berücksichtigen. Dabei kann auch die Geschwindigkeit auf entsprechenden Streckenabschnitten berücksichtigt werden.

Fokus auf ortsübergreifende lärmindernde Maßnahmen

Die beiden in den folgenden Abschnitten 6.3.3 und 6.3.4 dargestellten Lärmimmissionsprognosen haben gemein, dass sie sich auf fahrzeugseitige Maßnahmen fokussieren. Die Berücksichtigung von streckenseitigen Maßnahmen ist bei der Auswertung der Ergebnisse der Lärmkartierung nicht möglich, da diese nur punktuell (und nicht verteilt an allen Orten) auftreten. Um dies korrekt zu berücksichtigen, müsste die Lärmkartierung in Gänze neu berechnet werden, was im Rahmen des Projektes nicht möglich ist und kein Ziel des Projektes darstellt. Dies betrifft insbesondere den Einsatz von Schallschutzwänden, der mit Abstand meistgenutzten streckenseitigen Lärminderungsmaßnahme. Eine Ausnahme stellt die „glatte Schiene“ dar, welche an allen bewohnten Gebieten der Haupteisenbahnstrecken eingeführt werden soll und somit ihre Wirkung bei nahezu allen Belasteten entfaltet. Für die Anforderungen an die Gleisabklingrate ergibt sich ein Nutzen für Belastete an Strecken mit einer Höchstgeschwindigkeit von über 160 km/h.

Lärmsanierung

Im Rahmen der Lärmsanierung werden jährlich Menschen an den bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes von Lärm entlastet. Dabei werden streckenseitig vor allem Schallschutzwände und darüber hinaus passive Maßnahmen wie Schallschutzfenster eingesetzt. Im Rahmen von DZSF (2022a) wird die bisherige Lärmsanierung evaluiert.⁵¹⁹ Dort wird auch eine Prognose des weiteren Fortschritts der Lärmsanierung gegeben. Dabei wurde der Zeitraum von 2016 bis 2019 als Datengrundlage genutzt. Demnach wurden jährlich 26 Abschnitte der

⁵¹⁶ OGC-Dienst des EBA (o. D.a): Gemeindestatistik.

⁵¹⁷ Das Infrastrukturregister ist ein Auskunftssystem über die Infrastruktur der DB AG. Siehe: DB InfraGO (o. D.b): Infrastrukturregister.

⁵¹⁸ Projekt-Beschreibung des ISR Matcher (2024): Projekt-Beschreibung.

⁵¹⁹ Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes.

Lärmsanierung abgeschlossen, an 80 km Strecken lärmsaniert und rund 24.000 Anwohnende durch aktive, passive oder beide Maßnahmen entlastet. Die Autor*innen der Studie merken an, dass infolge der der Lärmsanierung zugrundeliegenden Prioritätenliste mit zunehmendem Fortschritt weniger Anwohnende jährlich entlastet werden. Konkretere Abschätzungen werden jedoch nicht getätigt.

Als Auslösewerte der Lärmsanierung sind für Wohngebiete tagsüber⁵²⁰ 64 dB(A) und für die Nacht 54 dB(A) festgelegt, für Kern- Dorf und Mischgebiete gelten 66 dB(A) und 56 dB(A). Als Zielpegel gilt der Wert für die Nacht. Diese Werte liegen somit oberhalb der Werte, welche in der Lärmkartierung (L_{DEN} ab 55 dB(A) und L_{Night} ab 50 dB(A)) ausgewiesen sind, wobei sich in der weiteren Prognose auf den L_{DEN} konzentriert wird. Es kann daher nicht sichergestellt werden, dass alle im Rahmen der Lärmsanierung entlasteten Personen unter den Wert eines L_{DEN} von 55 dB(A) fallen, der in der Lärmkartierung als Schwelle für die Beschreibung der Zahl der Belasteten gilt. Zusätzlich liegt der Lärmsanierung mit der Schall 03 eine andere Berechnungsgrundlage als die Lärmkartierung mit CNOSSOS zugrunde. Grundsätzlich zeigt sich jedoch eine relativ gute Übertragbarkeit der Berechnung mit Schall 03 und CNOSSOS, wie in EBA (2021) gezeigt wurde.⁵²¹

Jedoch ist es im Rahmen der Lärmimmissionsprognose nicht möglich, die Maßnahmen der Lärmsanierung (v.a. Schallschutzwände und Schallschutzfenster) und ihre punktuelle Wirkung abzubilden. Das Kernproblem der unterschiedlichen Immissionswerte und des unterschiedlichen Bewertungszeitraums kann aus Sicht der Gutachter*innen lediglich dadurch gelöst werden, dass eine jährliche Anzahl der durch die Lärmsanierung entlasteten Personen festgelegt wird. Diese wird von der Zahl der entlasteten Personen gemäß der berechneten Prognoseergebnissen abgezogen. Dies bietet auch den Vorteil, dass Ergebnisse der Immissionsprognose mit und ohne Berücksichtigung der Lärmsanierung dargestellt werden können.

Hinsichtlich der Umsetzungsgrade der anderen in diesem Gutachten empfohlenen Maßnahmen werden parallel dazu folgende Entlastungen infolge der Lärmsanierung angenommen:

- Mittlerer Umsetzungsgrad: 200.000 durch die Lärmsanierung Entlastete.
- Hoher Umsetzungsgrad: 400.000 durch die Lärmsanierung Entlastete.
- Vollständiger Umsetzungsgrad: 600.000 durch die Lärmsanierung Entlastete.

Dies entspricht einer fortlaufenden Lärmsanierung von 10, 20 bzw. 30 Jahren, wenn man eine Entlastung von 20.000 Menschen jährlich unterstellt. Dies basiert auch auf der Annahme, dass der Großteil der Lärmsanierung an den Haupteisenbahnstrecken des Bundes durchgeführt wird und nur zu einem geringen Anteil an Strecken mit einer Belastung von weniger als 30.000 Zügen pro Jahr.

Aussagekraft der Prognose im Rahmen der Lärmkartierung

Die Prognose soll exemplarisch verdeutlichen, wie stark sich Verkehrszuwächse und mögliche Lärminderungsmaßnahmen auf die Anzahl der Lärmbelasteten aus dem Bahnverkehr auswirken. Bei der Umgebungslärmrichtlinie handelt es sich um eine Modellrechnung, bei der unterschiedliche Fahrzeugtypen nur bedingt berücksichtigt werden. So existiert im Rahmen der Modellierung eine Differenzierung im Nahverkehr in Elektro- und Dieseltriebwagen sowie lokbespannte Reisezugwagen. Lokomotiven werden ebenfalls nach Elektro- und Dieselantrieb

⁵²⁰ Dies entspricht der Uhrzeit von 6 bis 22 Uhr und umfasst somit die Tagesabschnitte „Tag“ und „Abend“ aus der Umgebungslärmrichtlinie.

⁵²¹ Disy Informationssysteme GmbH et al. (2021): Harmonisierung des Lärmsanierungsprogrammes mit der Lärmaktionsplanung.

unterteilt. Eine genauere Ausweisung nach Fahrzeugtyp o. ä. ist nicht vorgesehen. Im Fernverkehr wird zwischen lokbespannten Reisezugwagen und ICE 1, ICE 2, ICE 3 sowie ICE 4 unterschieden. Als fahrzeugseitige Minderungsmaßnahmen sind, aktuell lediglich für Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge Radschallabsorber erfasst.

In der Modellierung wird nach Baureihen nicht differenziert. Auch der aktuelle Zustand der Fahrzeuge (neu oder bereits lange im Betrieb und in einem akustisch ungünstigen Zustand) wird nicht berücksichtigt. Die im Rahmen Gutachten empfohlenen Maßnahmen würden sich in der Lärmkartierung lediglich bemerkbar machen, wenn diese auch in der Modellierung berücksichtigt werden. In der Realität würden sie in jedem Fall eine Entlastung bewirken.

Die Lärmkartierung kann dazu genutzt werden, eine Minderung um bspw. 2 dB(A) auf die Anzahl der Belasteten (nach Lärmkartierung) zu beziehen. Da die Lärmkartierung das Ziel hat, hinreichend genau die Realität abzubilden, kann so eine prozentuale Entlastung der Bevölkerung auch auf die Realität übertragen werden. Zu beachten ist, dass in der Lärmkartierung nach Umgebungslärmrichtlinie nur Strecken mit über 30.000 Zugfahrten pro Jahr sowie die Strecken in Ballungsräumen berücksichtigt werden. Insbesondere im ländlichen Raum, bei dem der Nahverkehr dominiert und weniger Zugfahrten stattfinden, weisen bspw. Lärminderungen im Nahverkehr Effekte auf, die durch die Kartierung nicht adäquat abgebildet werden. Bereits existierende lokale Maßnahmen werden bei der Schätzung berücksichtigt, da sie bereits in die Berechnung der Belastetenzahlen im Rahmen der Lärmkartierung eingeflossen sind. Im Rahmen der Immissionsprognose kann nicht berücksichtigt werden, dass infolge des Zuwachses der Betriebsleistung bei zukünftigen Lärmkartierungen mehr Strecken das Kriterium der 30.000 Zugfahrten pro Jahr erreichen. Infolgedessen ist ein zusätzlicher Anstieg der Belasteten an den Haupteisenbahnstrecken des Bundes erwartbar, wenn weitere Strecken kartiert werden.

6.3.2 Interpolation der Belastetenzahlen und Vorgehensweise zur Lärmimmissionsprognose

Während die Lärmkartierung Belastetenzahlen für Pegelklassen von 5 dB(A) ausgibt, ist für die Zwecke der Lärmimmissionsprognosen eine Interpolation dieser Zahlen auf 1 dB(A) breite Intervalle notwendig. Die Interpolation erfolgt exponentiell und wird auch auf den Bereich 50 bis 54 dB(A) sowie 75 bis 77 dB(A) ausgeweitet.

Die Interpolation basiert auf den individuellen Zahlen der Gemeinden für die vier Pegelklassen von 55 bis 74 dB(A). Anhand der Zahlen der Pegelklassen werden die Faktoren für das exponentielle Interpolieren bestimmt.⁵²² Für Gemeinden unter 15 Belastete in diesen Klassen erfolgt keine exponentielle Interpolation und Belastete werden innerhalb der entsprechenden Pegelklassen gleichverteilt.⁵²³

Da in der späteren Prognose mit ganzzahligen Belasteten gerechnet wird, erfolgt eine Rundung, wodurch kleine, aber unbedeutende Fehler entstehen. Tabelle 15 zeigt die Anzahl der Belasteten je Pegelklasse nach Lärmkartierung und nach 1-dB-Interpolation mit den Rundungsfehlern im Vergleich. Die kursiv dargestellten Zahlen für die Pegelklasse 50 bis 54 dB(A) entstammen nur der Interpolation und sind nicht durch das EBA veröffentlicht worden.

⁵²² Dabei wird anhand der Anzahl der Belasteten der Pegelklassen ein Faktor des exponentiellen Abklingens bestimmt. Dieser Faktor wird im Anschluss auf die einzelnen Pegelklassen, bspw. 55 bis 59 dB(A), angewendet, um die Anzahl der Belasteten dieser Pegelklasse auf 1 dB(A)-Werte (55, 56, 57, 58 und 59 dB(A)) zu interpolieren. Die Anzahl der Belasteten pro dB(A) sind im Regelfall reelle und keine ganzen Zahlen.

⁵²³ Dies bedeutet bei 5 Belasteten in der Pegelklasse 55 bis 59 dB(A), dass einer Person 55 dB(A), einer Person 56 dB(A), einer Person 57 dB(A), einer Person 58 dB(A) und einer Person 59 dB(A) zugewiesen werden.

Tabelle 15: Belastete Personen für den Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{DEN} in 5-dB(A)-Pegelklassen

Pegelklasse in dB(A)	50 – 54	55 – 59	60 – 64	65 – 69	70 – 74	≥75	Summe über 55 dB(A)
Anzahl Belasteter nach Lärmkartierung		1.379.780	680.313	291.917	79.754	22.564	2.454.328
Anzahl Belasteter nach 1-dB-Interpolation	3.142.376	1.379.778	680.300	291.839	79.609	19.621	2.451.147

Es werden die Daten der Lärmkartierung für 2021 gemäß der Umgebungslärmrichtlinie verwendet, welche die Haupt-eisenbahnstrecken mit über 30.000 Zugfahrten pro Jahr sowie alle Ballungsräume umfassen. Die Abweichungen im Bereich ≥ 75 dB(A) sind auf die Art der Interpolation zurückzuführen, im Bezug zur Gesamtzahl der Belasteten jedoch vernachlässigbar. Quelle: EBA (2023c): Lärmkartierung.

In Tabelle 16 folgt die Darstellung verteilt auf 1-dB-Intervalle. Dabei stellt die „akkumulierte Summe“ die Summe aller Belasteten dar, welche diese oder eine höhere Pegelklasse aufweisen. Beispielsweise sind nach der Interpolation etwa 2.451.147 Personen gemäß der Umgebungslärmrichtlinie einem L_{DEN} von 55 dB(A) oder höher ausgesetzt.

Tabelle 16: Belastete Personen für den Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{DEN} in 1-dB(A)-Pegelklassen

Pegelklasse in dB(A)	Betroffene Gesamt	Akkumulierte Summe	Pegelklasse in dB(A)	Betroffene Gesamt	Akkumulierte Summe
50	857.054	5.593.523	64	99.028	490.097
51	722.405	4.736.469	65	75.657	391.069
52	609.952	4.014.064	66	65.692	315.412
53	515.885	3.404.112	67	57.178	249.720
54	437.080	2.888.227	68	49.822	192.542
55	370.930	2.451.147	69	43.490	142.720
56	315.368	2.080.217	70	20.335	99.230
57	268.566	1.764.849	71	17.777	78.895
58	229.121	1.496.283	72	15.629	61.118
59	195.793	1.267.162	73	13.757	45.489
60	179.437	1.071.369	74	12.111	31.732
61	154.293	891.932	75	6.853	19.621
62	132.896	737.639	76	3.879	12.768
63	114.646	604.743	≥ 77	8.889	8.889

Es werden die Daten der Lärmkartierung für 2021 gemäß der Umgebungslärmrichtlinie verwendet, welche die Haupteisenbahnstrecken mit über 30.000 Zugfahrten pro Jahr sowie alle Ballungsräume umfassen. Quelle: EBA (2023c): Lärmkartierung.

Prognose durch Verschieben von Belastetenzahlen

Ziel der Lärmimmissionsprognosen ist es, für die verschiedenen Szenarien die Anzahl der Belasteten ab einem Grenzwert (bspw. 55 dB(A)) zu bestimmen (akkumulierte Summe).⁵²⁴ Eine Erhöhung oder Minderung der Belastung wird durch entsprechendes Verschieben um den dazugehörigen dB-Wert umgesetzt. Wird bspw. eine Minderung von 2 dB(A) angenommen, die für alle Belasteten gilt, so sind Personen, die zuvor einer Belastung von 55 dB(A) ausgesetzt waren, nun mit 53 dB(A) belastet. Personen die mit 60 dB(A) belastet waren, weisen eine Belastung von 58 dB(A) auf. Die Gesamtzahl der Belasteten ab 55 dB(A) nach der Lärmminimierung entspricht also der zuvor mit 57 dB(A) oder mehr Belasteten. Für diese Vorgehensweise werden die relevanten Dezibel-Werte auf ganze Zahlen gerundet. Das Vorgehen beruht auf der Annahme, dass Verkehrswachstum und Lärmminimierung auf allen Strecken der Lärmkartierung in gleicher Weise stattfinden.

6.3.3 Gesamtprognosen der Zahl hochbelasteter Personen

Die beschriebene Methode soll im ersten Schritt auf einer hochaggregierten Ebene angewendet werden, um Aussagen über die Menge aller belasteten Personen (genauer: aller durch die Lärmkartierung erfassten Personen) auf Bundesebene zu erhalten. Für diese hochaggregierte Betrachtung ist es notwendig, alle Strukturparameter zu homogenisieren: Es muss ein einziger Wert der Lärmminimierung (in Dezibel) und ein einziger Wert des Verkehrswachstums angenommen werden, und diese beiden Werte werden für alle Verkehrsarten angesetzt. Dieser Wert muss auch bereits die Maßnahmen an der Infrastruktur beinhalten, auch wenn diese nicht überall gleichermaßen wirken. Nur die Prognosen selbst können sich unterscheiden, also nach Umsetzungsgrad der Maßnahmen (mittel, hoch, vollständig sowie gar keine Umsetzung als Vergleichsfall) und nach Art der Verkehrsprognose (Trend- oder Verkehrswendeprognose), so dass mit dieser Vorgehensweise insgesamt acht verschiedene Ergebnisse generiert werden. Für jede Untersuchung mit Lärmminimierung ist zu entscheiden, welcher aggregierte dB-Minderungswert plausibel anzusetzen ist. In Hinblick auf die Verkehrsprognosen werden die in Tabelle 14, letzte Zeile, angegebenen Wachstumsraten für „Schienenverkehr insgesamt“ einheitlich für alle Verkehrsarten angesetzt.

Eine Zunahme des Verkehrs geht linear in die Prognose ein.⁵²⁵ Beispielsweise bewirkt eine Verdoppelung der Betriebsleistung eine Erhöhung der Belastung um 3 dB(A), ein Wachstum der Betriebsleistung von 50 % eine Erhöhung um 1,76 dB(A). Die Minderung in Dezibel für die lärmminimierenden Maßnahmen wurden in Abschnitt 6.2 begründet.

Bestimmung der Einzelwerte der Lärmminimierung

Für die Gesamtprognose muss ein einzelner Minderungswert in Dezibel bestimmt werden, welcher für alle Verkehrsarten gleichermaßen anzusetzen ist und Maßnahmen an der Infrastruktur berücksichtigt. Dabei müssen letztere über alle kartierten Strecken hinweg verteilt werden. Hinsichtlich der „glatten Schiene“, welche an allen besiedelten Strecken eingeführt werden soll, sind 2 dB(A) je nach Umsetzungsgrad bei 30 %, 60 % sowie 100 % der Strecken anzurechnen. Analog den Berechnungen für die Verkehrsarten (siehe Fußnote 504 in Abschnitt

⁵²⁴ Dieser Wert entspricht der Empfehlung der WHO, gemäß der die gewichtete Ganztagsbelastung den Wert von 54 dB(A) nicht überschreiten sollte. UBA (2019): WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die europäische Union.

⁵²⁵ Die Berechnung erfolgt gemäß $10 \cdot \log_{10}(1 + \text{Zuwachs})$, mit $\text{Zuwachs} = \frac{\text{Verkehrswachstum in Prozent}}{100}$.

6.2.2) ergibt sich dabei je nach Umsetzungsgrad eine effektive Minderung in der Fläche von 0,51 dB(A) (mittlerer), 1,08 dB(A) (hoher) sowie 2 dB(A) (vollständiger Umsetzungsgrad).

Für die Anforderung an die Gleisabklingrate, welche bei Strecken mit Höchstgeschwindigkeit über 160 km/h eine akustische Wirkung von 3 dB(A) erzielt, muss der Anteil der Belasteten an diesen Strecken berücksichtigt werden. Eine Analyse der Daten der Lärmkartierung mit den Streckenhöchstgeschwindigkeiten aus dem DB Infrastrukturregister zeigt, dass ungefähr 13 % der nach L_{DEN} mit 55 dB(A) oder höher Belasteten in Gemeinden leben, welche mindestens einen Verkehrsweg mit Streckenhöchstgeschwindigkeit von über 160 km/h aufweisen. Demnach werden für die harmonisierte Gesamtprognose die Umsetzungsgrade von 20 %, 50 % und 100 % mit den 13 % der Belasteten verknüpft, da lediglich hier eine akustische Wirkung erzielt werden kann. Bei der Hochskalierung auf die Gesamtprognose ergeben sich so niedrige Minderungen von 0,06 dB(A), 0,14 dB(A) sowie 0,29 dB(A).

In Tabelle 17 sind die individuellen Minderungen je Verkehrsart für einen mittleren, hohen und vollständigen Umsetzungsgrad dargestellt. Dabei ist den Werten je Verkehrsart bereits der entsprechende Wert für die glatte Schiene und die Gleisabklingrate hinzuaddiert worden.⁵²⁶ Darüber hinaus wird der gewählte Einzahlwert für die Minderung dargestellt, welcher im Folgenden begründet wird. Anzumerken ist, dass für die Minderung zunächst keine ganze Zahl gewählt werden muss, sondern sich Nachkommastellen mit den Effekten der zusätzlichen Lärmbelastung infolge der Verkehrszunahme verrechnen können, sodass erst bei dem Verschieben der Belasteten das Runden auf ganze Zahlen vorgenommen wird.

Tabelle 17: Anzunehmende effektive Minderung nach Umsetzungsgrad und Verkehrsart sowie der Einzelwerte für die Gesamtmissionsprognose

Umsetzungsgrad	SPFV	SPNV	SGV	Einzelwert Minderung
keine	0 dB(A)	0 dB(A)	0 dB(A)	0 dB(A)
mittel	0,77 dB(A)	1,8 dB(A)	0,82 dB(A)	1,0 dB(A)
hoch	2,42 dB(A)	3,34 dB(A)	2,03 dB(A)	2,5 dB(A)
vollständig	6,29 dB(A)	7,29 dB(A)	4,11 dB(A)	5 dB(A)

Quelle: Die entsprechenden Minderungen der einzelnen Verkehrsarten sind Abschnitt 6.2 entnommen.

Werden keine Maßnahmen durchgeführt, so ist auch keine Lärminderung anzunehmen. Bei einem mittleren Umsetzungsgrad ist die geringste effektive Minderung durch den SPFV und den SGV zu erwarten. Aufgrund des hohen Anteils des SGVs an der Lärmbelastung in Deutschland sollte dessen effektive Minderung durch den anzusetzenden Einzelwert nicht deutlich überschätzt werden. Es wird für die Prognose ein Einzelwert von 1,0 dB(A) gewählt, welcher den deutlich stärkeren Minderungen im SPNV Rechnung trägt. Ein analoges Vorgehen wird für den hohen Umsetzungsgrad gewählt, sodass hier eine Minderung von 2,5 dB(A) angesetzt wird. Für eine vollständige Umsetzung werden 5 dB(A) veranschlagt. Damit wird der SGV überschätzt, während insbesondere der SPNV deutlich unterschätzt wird.

⁵²⁶ Eine lineare Addierung ist dabei möglich, da eine Absenkung der Schienenrauheit und eine Erhöhung der Gleisabklingrate direkt einen Effekt auf das Rollgeräusch haben und die in den Abschnitten zu den einzelnen Verkehrsarten aufgezeigten Minderungsmöglichkeiten in ihrer akustischen Wirkung mit Messergebnissen bewertet wurden, welche auf Gleisbedingungen beruhen, die den Anforderungen der glatten Schiene sowie der Gleisabklingrate in weiten Teilen entsprechen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Gesamtmissionsprognose sind in Tabelle 18 und Tabelle 19 zusammengefasst. Darin werden die Betriebsleistungssteigerungen gemäß der Trendprognose und der Verkehrswendeprognose (siehe Tabelle 14) berücksichtigt. Es werden die drei Grade der Umrüstung (mittlerer, hoher und vollständiger) sowie der Fall keinerlei Minderungsmaßnahmen beachtet. Dargestellt werden die aus Betriebsprognose (siehe Abschnitt 6.1) und möglichen Lärminderungsmaßnahmen (siehe Abschnitt 6.2) zusammengefassten Wirkungen in Dezibel, die Anzahl der mit 55 dB(A) oder mehr Belasteten und deren prozentuale Entwicklung gegenüber dem Status Quo, welcher durch die Zahlen der Lärmkartierung 2021 gegeben ist. Es wird jeweils auch die Lärmsanierung berücksichtigt. Dabei wird für den Fall keiner Umsetzung der Empfehlungen des Gutachtens für die Lärmsanierung der mittlere Umsetzungsgrad (200.000 durch die Lärmsanierung Entlastete) angenommen, denn es ist erwartbar, dass die Lärmsanierung fortgeführt wird, auch wenn keine Empfehlungen des Gutachtens umgesetzt werden. Für den hohen und vollständigen Umsetzungsgrad wird die Lärmsanierung mit 400.000 bzw. 600.000 Entlasteten berücksichtigt, da die verschiedenen Umsetzungsgrade auch mit einer zeitlichen Vorstellung verknüpft sind.

Tabelle 18: Ergebnisse der Gesamtmissionsprognose für die Trendprognose der Betriebsleistungen (Zuwachs um 18,7 %) ohne und mit Berücksichtigung der Lärmsanierung

Umsetzungsgrad der Lärminderungsmaßnahmen	Effekt in dB(A)	Anzahl Belastete ≥ 55 dB(A)	Prozentuale Entwicklung gegenüber Status Quo
keine (0 dB(A)) mit Lärmsanierung	1 (0,74)	2.888.227 2.688.227	+ 17,8 % + 8,8 %
mittlerer (1,0 dB(A)) mit Lärmsanierung	0 (- 0,26)	2.451.147 2.251.147	0 % - 8,2 %
hoher (2,5 dB(A)) mit Lärmsanierung	- 2 (- 1,76)	1.764.849 1.364.849	- 28,0 % - 44,3 %
vollständiger (5 dB(A)) mit Lärmsanierung	- 4 (- 4,26)	1.267.162 667.162	- 48,3 % - 72,8 %

Darstellung des Einflusses der homogenisierten Steigerung der Betriebsleistung nach Trendprognose (Tabelle 14, Zeile „Schienenverkehr insgesamt“) und der Umsetzung von Lärminderungsmaßnahmen auf die Anzahl der mit 55 dB(A) oder mehr Belasteten sowie deren prozentuale Änderung gegenüber dem Status Quo (Lärmkartierung für das Jahr 2021, mit 2.451.147 Belasteten). Der Effekt in dB(A) stellt eine Verrechnung von anzunehmender Minderung für den entsprechenden Umsetzungsgrad und dem Effekt der Steigerung der Betriebsleistung dar. In der oberen Zahl je Zeile ist die Lärmsanierung nicht berücksichtigt, in der unteren hingegen schon. Die Lärmsanierung wird entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 6.3.1 berücksichtigt. Im Fall keiner Umsetzung der Lärminderungsmaßnahmen des Gutachtens wird für die Lärmsanierung der mittlere Umsetzungsgrad berücksichtigt, da erwartbar ist, dass die Lärmsanierung weiter erfolgen wird. Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle 19: Ergebnisse der Gesamtimmissionsprognose für die Verkehrswendeprognose der Betriebsleistungen (Zuwachs um 69,5 %) ohne und mit Berücksichtigung der Lärmsanierung

Umsetzungsgrad der Lärminderungsmaßnahmen	Effekt in dB(A)	Anzahl Belastete ≥ 55 dB(A)	Prozentuale Entwicklung gegenüber Status Quo
keine (0 dB(A)) mit Lärmsanierung	2 (2,29)	3.404.112 3.204.112	+ 38,9 % + 30,7 %
mittlerer (1,0 dB(A)) mit Lärmsanierung	1 (1,29)	2.888.227 2.688.227	+17,8 % + 9,7 %
hoher (2,5 dB(A)) mit Lärmsanierung	0 (- 0,21)	2.451.147 2.051.147	0 % - 16,3 %
vollständiger (5 dB(A)) mit Lärmsanierung	- 3 (- 2,71)	1.496.283 896.283	- 39,0 % - 63,4 %

Darstellung des Einflusses der homogenisierten Steigerung der Betriebsleistung nach Verkehrswendeprognose (Tabelle 14, Zeile „Schienenverkehr insgesamt“) und der Umsetzung von Lärminderungsmaßnahmen auf die Anzahl der mit 55 dB(A) oder mehr Belasteten sowie deren prozentuale Änderung gegenüber dem Status Quo (Lärmkartierung für das Jahr 2021, mit 2.451.147 Belasteten). Der Effekt in dB(A) stellt eine Verrechnung von anzunehmender Minderung für den entsprechenden Umsetzungsgrad und dem Effekt der Steigerung der Betriebsleistung dar. In der oberen Zahl je Zeile ist die Lärmsanierung nicht berücksichtigt, in der unteren hingegen schon. Die Lärmsanierung wird entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 6.3.1 berücksichtigt. Im Fall keiner Umsetzung der Lärminderungsmaßnahmen des Gutachtens wird für die Lärmsanierung der mittlere Umsetzungsgrad berücksichtigt, da erwartbar ist, dass die Lärmsanierung weiter erfolgen wird. Quelle: Eigene Berechnungen.

Es zeigt sich, dass infolge der Einführung von Lärminderungsmaßnahmen deutliche Effekte zu erzielen sind. Ohne die Einführung von Lärminderungsmaßnahmen wird es infolge der Zunahme des Eisenbahnverkehrs zu einer deutlichen Erhöhung der Anzahl der Belasteten zwischen 17,8 % und 38,9 % kommen. Bereits bei einem mittleren Umsetzungsgrad kann in der Trendprognose eine Erhöhung der Lärmbelastung vermieden werden, ein Zustand der bei der Verkehrswendeprognose erst mit hohem Umsetzungsgrad erreicht wird. Bei vollständiger Umsetzung ist eine Minderung der nach Lärmkartierung mit 55 dB(A) oder mehr Belasteten von 39,0 % bis 48,3 % möglich. Die Lärmsanierung verstärkt den Effekt der Entlastung (bzw. weniger zusätzlicher Belastung). Es zeigt sich jedoch auch, dass es ohne Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen aus den Empfehlungen sowohl bei Trendprognose als auch Verkehrswendeprognose bei mittlerem Umsetzungsgrad allein der Lärmsanierung zu einer teilweise deutlichen Erhöhung der Belastung kommt.

Es sei erneut darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um grobe Abschätzungen handelt. Viele Aspekte wie z. B. unterschiedliche Betriebsleistungssteigerungen und Lärminderungsmaßnahmen nach Verkehrsarten konnten hierbei nicht beachtet werden. Im Weiteren wird eine detailliertere Methode vorgestellt, die solche Differenzierungen ermöglicht, sich allerdings lediglich auf eine Teilmenge der Belasteten bezieht.

6.3.4 Belastungsprognosen unter Berücksichtigung von Struktureffekten in Teilgebieten

In diesem Abschnitt wird eine Abschätzung der Auswirkungen auf die Anzahl der Belasteten anhand von Gemeinden mit genau einem Schienenverkehrsweg vorgestellt. Dabei können unterschiedliche Verkehrsentwicklung der drei Verkehrsarten und unterschiedliche Werte für die Lärminderungen bei den drei Verkehrsarten berücksichtigt werden. Streckenseitige

Maßnahmen können ebenfalls zielgerichteter berücksichtigt werden. Es können für verschiedene Mengen von Gemeinden unterschiedliche Minderungen angenommen werden, je nachdem, ob dort eine niedrige Schienenrauheit angenommen wird oder Verkehrswege mit Höchstgeschwindigkeit über 160 km/h enthalten sind.

6.3.4.1 Vorgehen und Bestimmung von Ein-Weg-Gemeinden

Gemäß Umgebungslärmrichtlinie werden alle Gemeinden im Umkreis von 2,5 km zu den Haupteisenbahnstrecken des Bundes mit mehr als 30.000 Zugfahrten pro Jahr kartiert. Somit müssen die von der Kartierung umfassten Gemeinden nicht zwangsläufig einen Verkehrswege enthalten.⁵²⁷ Gemeinden, die Verkehrswege enthalten, enthalten entweder einen oder mehrere.

Enthält eine Gemeinde genau einen Verkehrswege, so ist garantiert, dass alle Belasteten dieser Gemeinde ihre Belastung lediglich durch diesen Verkehrswege erfahren.⁵²⁸ Unter Berücksichtigung des Verkehrsmix⁵²⁹ auf diesem Verkehrswege kann in einem ersten Schritt mithilfe des unten vorgestellten CNOSSOS-Tools ein äquivalenter Gesamtpegel für diese Gemeinde berechnet werden. In einem zweiten Schritt können Steigerungen der Betriebsleistungen ebenso wie Lärminderungsmaßnahmen je Verkehrsart individuell in die Berechnung eingepflegt werden. Es ergibt sich daraus ein weiterer Gesamtpegel. Die Differenz beider Gesamtpegel stellt die Verschiebung (in dB(A)) der Belasteten in dieser Gemeinde dar und kann zur Berechnung der Belastetenzahlen verwendet werden, wie in Abschnitt 6.3.2 skizziert.

Bestimmung der Verkehrswege pro Gemeinde

Die Bestimmung der Anzahl der Verkehrswege in einer Gemeinde ist eine anspruchsvolle Aufgabe, da zwei unterschiedliche Datenquellen zu verknüpfen sind. Zum einen Daten über die geographischen Umrandungen der Gemeinde und zum anderen Informationen über die Linienelemente der Gemeinsamen Verkehrswege, mit entsprechender geographischer Verortung und den entsprechenden Zugzahlen. Die Schwierigkeit ist, dass die Linienelemente geometrisch nicht zwangsläufig (exakt) aneinander ansetzen und sich weiterhin die Zugzahlen von angrenzenden Linienelementen unterscheiden können, etwa wenn an einem Bahnhof Verkehrslinien enden oder durch Weichen ein Teil des Verkehrs auf andere Verkehrswege (ggf. auch nicht kartierte) gelenkt wird. Um unterschiedliche Verkehrszuwächse sowie Minderungsmaßnahmen der Verkehrsarten zu berücksichtigen, muss das Verhältnis der Verkehrsarten zueinander bekannt sein. Bleibt dieses auf verschiedenen Gemeinsamen Verkehrswegen einer Gemeinde (ungefähr) gleich, so kann davon ausgegangen werden, dass die Wirkungen von Verkehrsänderung und Lärminderung innerhalb der Gemeinde überall die gleichen sind.⁵³⁰

⁵²⁷ Unter „Verkehrswege“ sind im weiteren Schienenverkehrswege, welche im Rahmen der Lärmkartierung abgebildet werden, zu verstehen. Wird in diesem Kontext von einem Verkehrswege in einer Gemeinde gesprochen, oder auch von einer Ein-Weg-Gemeinde, so ist damit nicht zwangsläufig ein einzelner Gemeinsamer Verkehrswege im Sinne der Lärmkartierung (vgl. Fußnote 515) gemeint, sondern je nach Gemeinde ggf. auch mehrere. Hintergrund ist, dass im Regelfall in einer Gemeinde verschiedene Gemeinsame Verkehrswege liegen, welche aneinander anschließen. Weisen diese eine ähnliche Aufteilung nach Verkehrsarten auf, so wird von einer Ein-Weg-Gemeinde gesprochen und die einzelnen Gemeinsamen Verkehrswege in einer Gemeinde als ein Verkehrswege zusammengefasst (siehe dazu unten).

⁵²⁸ Dabei wird vernachlässigt, dass Belastung auch durch Verkehrswege angrenzender Gemeinden entstehen kann. Dieser Einfluss ist aber vernachlässigbar, wie der geringe Anteil der Null-Weg-Gemeinden an der Gesamtzahl der Belasteten zeigt (siehe dazu unten).

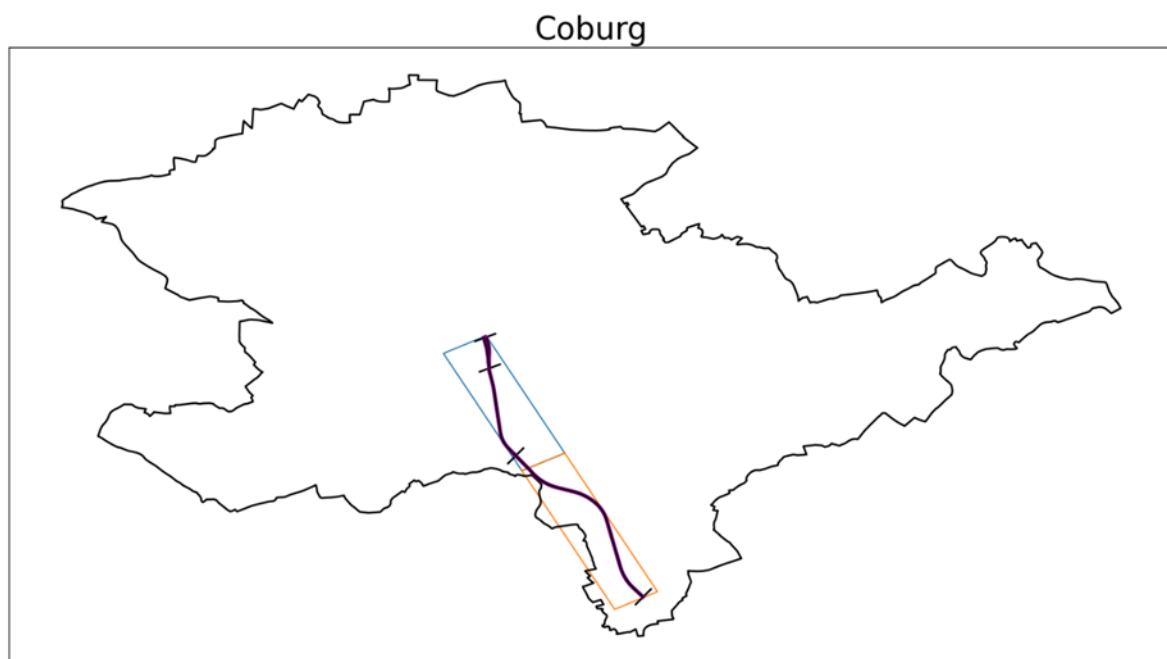
⁵²⁹ Unter dem Verkehrsmix wird der Anteil von Nah-, Fern- und Güterverkehr verstanden. Weiterhin weist die Lärmkartierung einen Anteil von „Sonstigen“ Verkehren aus. Diese werden im Rahmen der Prognose vernachlässigt, da sie unter einem Prozent Verkehrsanteil haben und keine weiteren Informationen darüber zur Verfügung stehen.

⁵³⁰ Dabei wird vernachlässigt, dass sich die Gemeinsamen Verkehrswege auch durch ihre Eigenschaften wie Schienenrauheit (hier ist das „besonders überwachte Gleis“ zu nennen), Oberbaueigenschaften (etwa Feste Fahrbahn oder Schottergleis) oder den Kurvenradius als Trassierungseigenschaft unterscheiden können. Weiterhin werden Weichen und Brücken nicht berücksichtigt. Dies geschieht aufgrund mangelnder Datenlage und des insgesamt zu erwartenden geringen Einflusses auf die Wirkungsverhältnisse der unterschiedlichen Verkehrsarten, welche im Rahmen der Berechnung des Rollgeräuschs entstehen.

Ausgehend von ihrem geometrischen Schwerpunkt werden die Gemeinsamen Verkehrswege, welche in einer Gemeinde liegen (oder diese berühren) auf zwei Segmente aufgeteilt. Aus allen Verkehrsmixen der Gemeinsamen Verkehrswege eines Segments wird ein Verkehrsmix für das Segment berechnet (im aktuellen Stand für den Zeitraum „Tag“). Liegen die Verkehrsmixe der beiden Segmente nahe beieinander, so wird die Gemeinde als Ein-Weg-Gemeinde angenommen. Aufgrund der automatisierten Festlegung der Segmente kann der Fall auftreten, dass Gemeinden mit mehreren Verkehrswegen fälschlicherweise als Gemeinden mit einem Verkehrsweg identifiziert werden. Vor diesem Hintergrund erfolgte zusätzlich eine visuelle Überprüfung der Ein-Weg-Gemeinden

In Abbildung 43 ist die Gemeinde Coburg dargestellt, welche mehrere kartierungspflichtige Gemeinsame Verkehrswege enthält. Die Gemeinsamen Verkehrswege dieser Gemeinde befinden sich auf den fetten zusammenhängenden Linien (schwarz-violett); sie werden durch Querstriche voneinander abgegrenzt. Ausgehend vom geometrischen Schwerpunkt dieser Gemeinsamen Verkehrswege, wurde diese in zwei Segmente unterteilt, welche in der Abbildung mit blauen und orangen Vierecken umrandet wurden. Beide Segmente weisen nahezu gleiche Verkehrsmixe auf, sodass die Gemeinde als Ein-Weg-Gemeinde klassifiziert wurde. Alle Belasteten der Gemeinde werden als von diesem Verkehrsweg Belastete angenommen. Die kartierten Verkehrswege enden inmitten der Gemeinde aufgrund eines Bahnhofs, an dem ein Teil der Züge endet, sodass auf den weiterführenden Verkehrswegen nördlich vom Bahnhof weniger als 30.000 Zugfahrten pro Jahr stattfinden. Eine Kartierung ist dort nicht mehr vorgesehen.

Abbildung 43: Darstellung der Gemeinsamen Verkehrswege in der Gemeinde Coburg

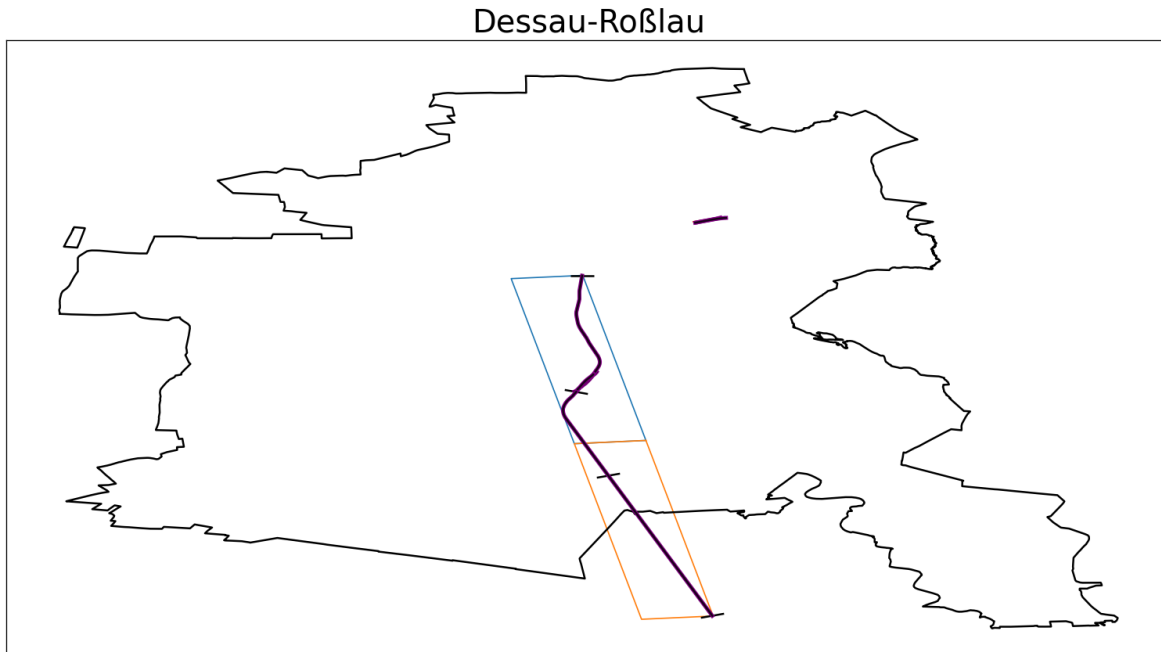


Die Verkehrswege sind als schwarz-violette Linien dargestellt und enden an den schwarzen Querstrichen. Bei den sichtbaren Segmenten, die blau und orange umrandet wurden, handelt es sich um die Segmente, für welche die Verkehrsmixe aus allen darin enthaltenen Gemeinsamen Verkehrswegen bestimmt wurden, um sie auf Ähnlichkeit zu überprüfen. Quelle: Eigene Darstellung basierend auf der in Abschnitt 6.3.1 vorgestellten Datengrundlage.

Hingegen wurden der Gemeinde Dessau-Roßlau, in Abbildung 44 dargestellt, mehr als ein Verkehrsweg zugewiesen. Hintergrund ist, dass u. a. ein Teil des Nahverkehrs, der im Bereich des blauen Segments auftritt, nicht als Verkehr innerhalb des orangen Segments auftritt, sondern in südwestlicher Richtung verkehrt, während der Güterverkehr in beiden Segmenten

nahezu gleich auftritt. Es ergibt sich ein unterschiedlicher Verkehrsmix in beiden Segmenten, wodurch nicht sichergestellt ist, dass alle Belastungen in der Gemeinde auf dieselben Anteile von Nah- und Güterverkehr zurückzuführen sind.

Abbildung 44: Darstellung der Gemeinsamen Verkehrswege in der Gemeinde Dessau-Roßlau



Die Verkehrswege sind als schwarze Linien dargestellt und enden an den schwarzen Querstrichen. Bei den sichtbaren Segmenten, die blau und orange umrandet wurden, handelt es sich um die Segmente, für welche die Verkehrsmixe aus allen darin enthaltenen Gemeinsamen Verkehrswegen bestimmt wurden, um sie auf Ähnlichkeit zu überprüfen.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf der in Abschnitt 6.3.1 vorgestellten Datengrundlage.

Gemeinden aufgeteilt nach Verkehrswegen

Insgesamt wurden im Rahmen der Lärmkartierung 3673 Gemeinden an den Haupteisenbahnstrecken kartiert. Davon enthalten 1665 Gemeinden keinen Verkehrsweg. 1580 Gemeinden wurden als Ein-Weg-Gemeinden bestimmt, während 428 Gemeinden mehr als einen Verkehrsweg aufweisen.

Die Anzahl der Belasteten ab 55 dB(A) teilt sich wie folgt auf diese Kategorien auf: Die Null-Weg-Gemeinden beinhalten 4008 Belastete (<0,2 %), die Ein-Weg-Gemeinden repräsentieren 761.527 Belastete (31,1%), und die restlichen 1.685.111 Belasteten (68,8 %) entfallen auf die Mehr-Weg-Gemeinden.⁵³¹ Diese Zahlen zeigen, dass die Null-Weg-Gemeinden für eine Prognose keinerlei Relevanz haben. Die Ein-Weg-Gemeinden stellen aufgrund eines Anteils von 31 % der Belasteten eine ausreichende Grundgesamtheit dar, um Untersuchungen zu führen und Aussagen zu treffen. Darüber hinaus ist der Anteil der Verkehrsarten auf den Verkehrswegen der Ein-Weg-Gemeinden repräsentativ.⁵³²

⁵³¹ Dabei ist anzumerken, dass die Summe der Belasteten für die Teilimmissionsprognose bei 2.450.646 liegt und leicht von der Anzahl der Gesamtimmissionsprognose von 2.451.147 abweicht. Dies ist in der exponentiellen Interpolation und der Verteilung der Belasteten oberhalb von 77 dB(A) begründet. Aufgrund der kleinen absoluten Anzahl ist diese Tatsache vernachlässigbar.

⁵³² Auf allen Haupteisenbahnstrecken zeigt sich eine Verteilung von SPfV zu SPNV zu SGV von 19,2 % zu 54,1 % zu 26,1 %. Innerhalb der Haupteisenbahnstrecken in den Ein-Weg-Gemeinden liegt die Verteilung bei 18,8 % zu 55,0 % zu 25,7 %.

6.3.4.2 CNOSSOS-Tool zur Bestimmung der Lärmbelastung bei Mischverkehren

Im Rahmen der Prognose wird ein von den Gutachter*innen entwickeltes Tool genutzt.⁵³³ Dieses umfasst die Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen, welche auch in der Lärmkartierung genutzt wird. Es bezieht sich jedoch nur auf einfache Ausbreitungsbedingungen (keine Schallschutzwand oder Häuser). Das Tool erlaubt es, für verschiedene Positionen die Immissionen durch die gewählten Fahrzeugtypen und -geschwindigkeiten zu bestimmen. Als Referenzpunkt für die Prognose wird der Immissionspunkt mit 25m Abstand zur Gleismitte und 3,5m über Schienenoberkante gewählt. Dieser ist auch eine Messposition nach TSI Noise bzw. DIN EN ISO 3095:2014.⁵³⁴ Ein Minderungseffekt an der Quelle wird für alle Ortspunkte in gleicher Wirkung angenommen.

Für den gewählten Ortspunkt wurden im Rahmen der Prognose für verschiedene Fahrzeuge (Lokomotiven, Triebwagen, Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge, Güterwagen) und verschiedene Geschwindigkeiten die modellierten Immissionen bestimmt. Dabei werden eine durchschnittliche Schienenrauheit und Betonschwellen im Schotterbett als Oberbauart angenommen. Weitere Zuschläge infolge von Kurven, Weichen oder Brücken werden nicht berücksichtigt. Die in Abschnitt 6.2 entwickelten Schallminderungswerte für einzelne Verkehrsarten können den Immissionswerten des einzelnen Fahrzeugs am Immissionspunkte zugerechnet werden.

Im Rahmen der Lärmimmissionsprognose wird für jede einzelne Ein-Weg-Gemeinde folgende Berechnung durchgeführt:

- ▶ Zunächst wird ein Referenzpegel am Immissionspunkt anhand des durchschnittlichen Verkehrsmix in der Gemeinde (absolutes Zugaufkommen pro Stunde für SPfV, SPNV und SGV) sowie einer entsprechenden Fahrzeug- und Geschwindigkeitsauswahl berechnet. Dieses Vorgehen erfolgt getrennt für die drei Zeiträume Tag, Abend und Nacht. Anschließend wird der in Abschnitt 6.3.1 vorgestellte gewichtete Lärminde L_{DEN} berechnet.
- ▶ Sodann wird analog ein Prognosepegel berechnet. Dabei werden die absoluten Zugzahlen entsprechend der Betriebsleistungsprognose angepasst und, je nach Umsetzungsgrad, die in Abschnitt 1.2 vorgestellten effektiven Minderungen auf die entsprechenden Verkehrsarten angerechnet. Dieses Vorgehen erfolgt getrennt für die drei Zeiträume Tag, Abend und Nacht. Anschließend wird ebenfalls der gewichtete Lärminde $L_{DEN_Prognose}$ berechnet.
- ▶ Schließlich wird die Differenz aus Lärminde der Referenz und Prognose gebildet ($L_{DEN} - L_{DEN_Prognose}$). Die Differenz wird auf ganzzahlige Dezibel gerundet und die Belastetenzahlen dieser Gemeinde werden entsprechend verschoben.

Im Anschluss kann die kumulierte Summe der Belasteten, die von einem Lärmpegel ab einem gewissen Grenzwert betroffen sind, anhand aller Ein-Weg-Gemeinden für den Referenzfall und für den Prognosefall bestimmt werden. Als Grenzwert dient wieder 55 dB(A). Anhand der so bestimmten Anzahl an Belasteten kann eine prozentuale Entwicklung angegeben werden.

Bei der Berechnung von Referenz- und Prognosepegel werden die Streckeneigenschaften innerhalb einer Gemeinde überall als gleich angenommen, wie bereits in Abschnitt 6.3.4.1 thematisiert wurde. Ein relevanter Einflussfaktor auf die Ergebnisse stellen die gewählten Zugtypen und Geschwindigkeiten dar. Für den SPfV wird der ICE 3-Halbzug als Eingangsgröße genutzt. Mit diesem können Geschwindigkeiten bis 300 km/h abgebildet werden, und die Immissionswerte von ICE 2 und ICE 4 sind sehr ähnlich. Für den SPNV werden

⁵³³ Eine ausführliche Vorstellung erfolgte in Hanisch et al. (2022): Analyse-Tool zur Quantifizierung der Schallminderung durch die Anwendung verschiedener Maßnahmen im Schienenverkehr.

⁵³⁴ DIN EN ISO 3095:2014: Akustik – Bahnanwendungen – Messung der Geräuschemissionen von spurgebundenen Fahrzeugen.

Elektrotriebwagen gewählt, die heute und in Zukunft die Mehrheit der Fahrzeuge im SPNV darstellen. In Anlehnung an die Definition eines Güterzuges in der Schall 03 wurde für den SGV ein Güterzug als Verbund von Elektrolokomotive und 24 Güterwagen definiert.⁵³⁵

Im Rahmen des Ansatzes über die Ein-Weg-Gemeinden ist für die jede Gemeinde eine einheitliche Geschwindigkeit für jede Verkehrsart zu bestimmen. Dafür wurde das Minimum aus Zug- und Streckenhöchstgeschwindigkeit gewählt.⁵³⁶ Für den SPFV gilt als Zughöchstgeschwindigkeit 300 km/h, für den SPNV 140 km/h und für einen Güterzug 100 km/h. Diese Werte folgen den Definitionen der Schall 03. Die Streckenhöchstgeschwindigkeiten wurden mittels des Tools isr-matcher aus den Daten des Infrastrukturregisters der DB bestimmt. Da sich in einer Gemeinde im Regelfall mehrere Strecken und Streckenabschnitte mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten befinden, wird die maximale Höchstgeschwindigkeit aller Streckenabschnitte als Streckenhöchstgeschwindigkeit angenommen.

6.3.4.3 Berücksichtigung der Maßnahmen an der Infrastruktur

Die Teilimmissionsprognose erlaubt eine detaillierte Berücksichtigung der empfohlenen Maßnahmen an der Infrastruktur. Dabei kann die Prognose auf einer Teilmenge der Ein-Weg-Gemeinden mit unterschiedlichen Minderungen berechnet werden. Dies basiert auf der Annahme, dass beide Maßnahmen örtlich konzentriert umgesetzt werden. Es erfolgt demnach kein akustisches Schienenschleifen innerhalb aller Gemeinden auf 30 % der Strecken dieser, sondern in 30 % der Gemeinden wird überall geschliffen und in den 70 % anderen Gemeinden gar nicht. Dies bedingt hinsichtlich der Schienenrauheit und der Gleisabklingrate folgende Vorgehensweisen:

Der Umsetzungsgrad in den Ein-Weg-Gemeinden wird beachtet, indem die jeweilige Wirkung (z. B. durch eine niedrigere Schienenrauheit) lediglich in einem prozentualen Anteil der Gemeinden Berücksichtigung findet. Wird beispielsweise für 30 % der Gemeinden eine Umsetzung der niedrigen Schienenrauheit angenommen, so wird die Teilimmissionsprognose in zwei Teile geteilt: in 70 % der Gemeinden werden lediglich die fahrzeugseitigen Minderungen angenommen, in den verbleibenden 30 % der Gemeinden die Summe des Effektes aus Absenkung der Schienenrauheit (2 dB(A)) und den fahrzeugseitigen Minderungen. Die Auswahl der Gemeinden erfolgt dabei zufällig. Dieser Vorgang wird mehrfach wiederholt und dann ein mittlerer Wert der Stichproben verwendet.

Bei der Gleisabklingrate wird zusätzlich die Streckengeschwindigkeit in den Ein-Weg-Gemeinden berücksichtigt. Die Minderung wird lediglich in den Ein-Weg-Gemeinden angenommen, welche eine Strecke mit Höchstgeschwindigkeit von über 160 km/h enthalten. Dabei wird zusätzlich der entsprechende Umsetzungsgrad berücksichtigt.

6.3.4.4 Ergebnisse

Bei der Immissionsprognose für Teilgebiete können Änderungen der Betriebsleistungen sowie die Lärminderungseffekte für jede Verkehrsart individuell berücksichtigt werden. Die Betriebsleistungssteigerungen folgen den Trend- und den Verkehrswendeprognosen aus Abschnitt 6.1. Für Lärminderungsmaßnahmen werden drei Grade der Umrüstung (mittlerer, hoher und vollständiger) sowie der Fall keinerlei Minderungsmaßnahmen beachtet. Auch hier werden die in Abschnitt 6.2 eingeführten Minderungen für jede Verkehrsart individuell berücksichtigt. Der Zuwachs der Betriebsleistung jeder Verkehrsart für Trend- und

⁵³⁵ Der Einfluss von Elektrolokomotive oder Diesellokomotive, sowie insbesondere ihrer Differenz, auf den Gesamtpegel des Güterzuges ist vernachlässigbar klein.

⁵³⁶ Der Jahresfahrplan 2021 steht für die Prognose aktuell nicht zu Verfügung.

Verkehrswendeprognose ist in Tabelle 20 dargestellt (entsprechend der Tabelle 14 in Abschnitt 6.1.4).

Tabelle 20: Übersicht über den Zuwachs der Betriebsleistung der einzelnen Verkehrsarten für Trend- und Verkehrswendeprognose

	SPFV	SPNV	SGV
Trendprognose	21,2 %	19,5 %	14,5 %
Verkehrswendeprognose	100 %	68,9 %	55,1 %

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 21 zeigt den Effekt der Lärminderungsmaßnahmen für die einzelnen Verkehrsarten in Abhängigkeit vom Umsetzungsgrad (entsprechend der Tabelle 14 in Abschnitt 6.1.4).

Tabelle 21: Übersicht über den Effekt der Lärminderungsmaßnahmen der einzelnen Verkehrsarten in Abhängigkeit vom Umsetzungsgrad

Umsetzungsgrad der Lärminderungsmaßnahmen	SPFV	SPNV	SGV
keine	0 dB(A)	0 dB(A)	0 dB(A)
mittlerer	0,26 dB(A)	1,29 dB(A)	0,31 dB(A)
hoher	1,2 dB(A)	2,12 dB(A)	0,81 dB(A)
vollständiger	4 dB(A)	5 dB(A)	1,82 dB(A)

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 22 ist zusammenfassend dargestellt, in wie viel Prozent der Gemeinden in Abhängigkeit des Umsetzungsgrades die Maßnahmen „glatte Schiene“ sowie Anforderung an die Gleisabklingrate (bei Streckenhöchstgeschwindigkeit über 160 km/h) umgesetzt werden. Die Werte der drei Tabellen bilden Eingangsgrößen für die Immissionsprognosen für Teilgebiete.

Tabelle 22: Übersicht über den prozentualen Anteil der Gemeinden in Abhängigkeit des Umsetzungsgrades der streckenseitigen Maßnahmen

Umsetzungsgrad der Lärminderungsmaßnahmen	Glatte Schiene, Minderung 2 dB(A)	Gleisabklingrate, Minderung 3 dB(A), nur bei über 160 km/h Streckenhöchstgeschwindigkeit
keine	0 %	0 %
mittlerer	30 %	20 %
hoher	60 %	50 %
vollständiger	100 %	100 %

Quelle: Eigene Darstellung.

Gegenüber der Gesamtimmisionsprognose (Abschnitt 6.3.3) hat sich der Status Quo 2021 der Belasteten verändert, da nur noch eine Teilmenge der Gemeinden berücksichtigt wird. Die Anzahl der mit 55 dB(A) oder mehr Belasteten liegt als Summe aller Ein-Weg-Gemeinden bei 761.527. Die Ergebnisse der Teilimmisionsprognosen für einen Zuwachs der Betriebsleistung gemäß Trendprognose sind in Tabelle 23 dargestellt. Für einen Zuwachs der Betriebsleistung gemäß Verkehrswendeprognose sind sie in Tabelle 24 dargestellt. Dabei wird jeweils auch die

Lärmsanierung berücksichtigt. Für den Fall keiner Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen wird der mittlere Umsetzungsgrad der Lärmsanierung unterstellt. Da die Ein-Weg-Gemeinden lediglich 31,1 % der Belasteten umfassen, muss auch die Lärmsanierung anteilig Berücksichtigung finden.⁵³⁷

Tabelle 23: Ergebnisse der Teilimmissionsprognose für die Trendprognose der Betriebsleistungen ohne und mit Berücksichtigung der Lärmsanierung

Umsetzungsgrad der Lärminderungsmaßnahmen	Anzahl Belastete ≥ 55 dB(A)	Prozentuale Entwicklung gegenüber Status Quo
keine	897.891	+ 17,9 %
mit Lärmsanierung	835.691	+ 9,7 %
mittlerer	688.386	- 9,8 %
mit Lärmsanierung	626.186	- 17,8 %
hoher	596.368	- 21,7 %
mit Lärmsanierung	471.968	- 38,0 %
vollständiger	384.353	- 49,5 %
mit Lärmsanierung	197.753	- 74,0 %

Darstellung des Einflusses der homogenisierten Steigerung der Betriebsleistung nach Trendprognose (Tabelle 14) und der Umsetzung von Lärminderungsmaßnahmen auf die Anzahl der mit 55 dB(A) oder mehr Belasteten sowie deren prozentuale Änderung gegenüber dem Status Quo (Lärmkartierung für das Jahr 2021, mit 761.527 Belasteten in den Ein-Weg-Gemeinden). In der oberen Zahl je Zeile ist die Lärmsanierung nicht berücksichtigt, in der unteren hingegen schon. Im Fall keiner Umsetzung der Lärminderungsmaßnahmen des Gutachtens wird für die Lärmsanierung der mittlere Umsetzungsgrad berücksichtigt, da erwartbar ist, dass die Lärmsanierung weiter erfolgen wird. Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 24: Ergebnisse der Teilimmissionsprognose für die Verkehrswendeprognose der Betriebsleistungen ohne und mit Berücksichtigung der Lärmsanierung

Umsetzungsgrad der Lärminderungsmaßnahmen	Anzahl Belastete ≥ 55 dB(A)	Prozentuale Entwicklung gegenüber Status Quo
keine	1.063.822	+ 39,7 %
mit Lärmsanierung	1.001.622	+ 31,5 %
mittlerer	916.427	+ 20,3 %
mit Lärmsanierung	854.227	+ 12,2 %
hoher	717.391	- 5,8 %
mit Lärmsanierung	592.991	- 22,1 %
vollständiger	489.354	- 35,7 %
mit Lärmsanierung	302.754	- 60,2 %

Darstellung des Einflusses der homogenisierten Steigerung der Betriebsleistung nach Verkehrswendeprognose (Tabelle 14) und der Umsetzung von Lärminderungsmaßnahmen auf die Anzahl der mit 55 dB(A) oder mehr Belasteten sowie deren prozentuale Änderung gegenüber dem Status Quo (Lärmkartierung für das Jahr 2021, mit 761.527 Belasteten in den Ein-

⁵³⁷ Dies bedeutet, dass im mittleren Umsetzungsgrad 62.200 (31,1 % von 200.000), im hohen Umsetzungsgrad 124.400 (31,1 % von 400.000) und im vollständigen Umsetzungsgrad 186.600 (31,1 % von 600.000) Menschen durch die Lärmsanierung entlastet werden.

Weg-Gemeinden). In der oberen Zahl je Zeile ist die Lärmsanierung nicht berücksichtigt, in der unteren hingegen schon. Im Fall keiner Umsetzung der Lärminderungsmaßnahmen des Gutachtens wird für die Lärmsanierung der mittlere Umsetzungsgrad berücksichtigt, da erwartbar ist, dass die Lärmsanierung weiter erfolgen wird. Quelle: Eigene Darstellung.

Es zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie für die Gesamtmissionsprognosen (Abschnitt 6.3.3). Ohne Einführung von Lärminderungsmaßnahmen kommt es zu einer deutlichen Erhöhung der Belastetenzahl (um 17,9 % bis 39,7 %). Aus einem mittleren Umsetzungsgrad der empfohlenen Lärminderungsmaßnahmen resultiert für die Trendprognose ein Rückgang der Belasteten (- 9,8 %), während es bei der Verkehrswendeprognose weiterhin zu einem Anstieg kommt (20,3 %). Bei einem hohen Umsetzungsgrad der Maßnahmen kommt es zu einer Senkung der Belastetenzahl – für die Trendprognose (- 21,7 %) stärker als für die Verkehrswendeprognose (- 5,8 %). Auch bei den Ein-Weg-Gemeinden wird bei vollständiger Umsetzung der Maßnahmen die Zahl der laut Lärmkartierung mit 55 dB(A) oder mehr Belasteten deutlich gesenkt, um 35,7 bzw. 49,5 %. Die Lärmsanierung sorgt jeweils für eine zusätzlich Minderung der Belastetenzahlen.

Insgesamt zeigt sich, dass es bei fortschreitender Verkehrsentwicklung zwischen Trend- und Verkehrswendeprognose zu einer deutlichen Zunahme der Lärmbelastung kommt. Diese wird durch die fortschreitende Lärmsanierung abgemildert, jedoch kommt es auch bei einer Fortschreibung der Lärmsanierung für die nächsten 10 Jahre noch zu einer Erhöhung. Für eine Absenkung des Schienenverkehrslärms ist demnach die Umsetzung der Maßnahmen notwendig. Die verschiedenen Umsetzungsgrade und Zeithorizonte zeigen, dass es erst bei einem hohen Maß an Umsetzung zu einer starken Reduktion der Belasteten kommt.

Quellenverzeichnis

Erläuterung: Quellen, die kein definiertes Erscheinungsjahr haben, werden mit „(o. D.)“ ohne Datum gekennzeichnet.

Allgemeine Quellen

Agora Verkehrswende (2017): Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende. Autor*innen: Hochfeld, C.; Jung, A.; Klein-Hitpaß, A.; Maier, U.; Meyer, K.; Vorholz, F. <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/mit-der-verkehrswende-die-mobilitaet-von-morgen-sichern/> (20.11.2024).

Agora Verkehrswende, GIZ (2023): Towards Decarbonising Transport 2023. A Stocktake on Sectoral Ambition in the G20. Autor*innen: Riehle, E.; Le Claire, E.; Rublack, E.; Schmidt, T.; Sinha, S. J.; Teja, J.; Sharma, G. <https://www.agora-verkehrswende.org/publications/towards-decarbonising-transport-2023> (20.11.2024).

Ahac, M. Haladin, I.; Lakusic, S. (2010): Experimental investigation of railway track with under sleeper pad. In: 10. Slovenski Kongres O Cestah in Prometu, Portorož, 20. – 22. oktobra 2010. https://www.researchgate.net/publication/272815724_Experimental_investigation_of_railway_track_with_under_sleeper_pad (20.11.2024).

Andersen, U.; Woyke, W. (2003): Handwörterbuch des politischen Systems der Bundesrepublik Deutschland. Springer Verlag, Heidelberg, Deutschland. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-23666-3>

Appel, M.; Ohms, M.; Saurer, J. (Hrsg.) (2021): BImSchG. Erich Schmidt Verlag. ISBN 978-3-503-14183-8

Armbruster, M. (2020): Offenburger Tunnel kostet 3,8 Milliarden Euro. In: Lahrer Zeitung. <https://www.schwarzwaelder-bote.de/inhalt.offenburg-tunnel-kostet-3-8-milliarden-euro.deb82b18-8be7-43d3-ae2f-735025746541.html> (01.09.2024).

AROS; Die Güterbahnen; Hungrail; SPV; ŽESNAD.CZ; ZNPK; ZVKV (2024): Memorandum der mittel- und osteuropäischen Verbände zum weiteren Fortschritt der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK). Prag. https://die-gueterbahnen.com/assets/files/news/2024/2024_07_03_memorandum_deutsch.pdf (20.11.2024).

Jänsch, E.; Lang, H. P.; Nießen, N. (Hrsg.) (2021): Handbuch. Das System Bahn. 3. Auflage. Hamburg, Deutschland. ISBN 978-3-96245-224-7

Asmussen, B.; Lange, S.; Rothhämel, J. (2017): Die Bedeutung des Schienenzustands für die Entstehung und Prognose von Schienenlärm. In: Lärmbekämpfung 05/2017. S. 158 – 163. <https://trid.trb.org/view/1483121> (20.11.2024).

Assmann, G.; Kipp, T.; Linner, M.; Mikolcic, J. (2017): Intelligent Air Control – Effektive Lärmreduzierung mit variabler Kompressorsteuerung. In: ZEVrail 141(2017), Heft 11/12. <https://www.zevrail.de/artikel/intelligent-air-control-effektive-laermreduzierung-mit-variabler-kompressorsteuerung> (20.11.2024).

Auer, F.; Schilder, R (2009): Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung – Teil 1: Langzeiterfahrungen im Netz der ÖBB. In: ZEVrail 133/2009. Heft 5. <https://www.zevrail.de/artikel/technische-und-wirtschaftliche-aspekte-zum-thema-schwellenbesohlung-teil-1> (20.11.2024).

Auer, F.; Wöhhart, A. (2015): Oszillierendes Schleifverfahren als Teil einer nachhaltigen Instandhaltungsstrategie. In: Eisenbahntechnische Rundschau Austria 09/2015. <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=18183> (20.11.2024).

BAFU (2006): Studie zur Thematik „Lärminderung an Triebfahrzeugen“ – Abschlussbericht. Bericht 2-167. Autor*innen: Raubold, J. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2022/03/2006_Bericht-Laermminderung-an-Triebfahrzeugen_Prose-AG.pdf (20.11.2024).

- BAFU (2015): Lärmzunahme bei Schwellenbesohlungen. Bericht 04-03-01033. Autor: Huber, P. https://www.bimuenstertalbahn.de/wp-content/uploads/2014/02/Bericht-Prose-04-03-01033-Rev-1_0-L%c3%a4rmzunahme-bei-Schwellenbesohlung.pdf (20.11.2024).
- BAFU (2021): Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen: Der besonders lärmarme Güterwagen, Pflichtenheft. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/fachinformationen/massnahmen-gegen-laerm/massnahmen-gegen-eisenbahnlaerm/ressortforschung-eisenbahnlaerm.html> (20.11.2024).
- BAFU (2023): Lärmschutzwände. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/fachinformationen/massnahmen-gegen-laerm/laermeschutzwaeende.html> (28.08.2024)
- BAFU; BAV (2020): Forschungsprojekt hochdämpfende Zwischenlage. Schlussbericht. Autor*innen: Werner, S.; Huber, P. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2022/05/2020_Schlussbericht_Hochdaempfende_Zwischenlage_KPZ.pdf (21.11.2024).
- BAFU; BAV (2021): Vergleich Zwischenlagen für Betonschwellen Analysebericht. Autor*innen: Werner, S.; Huber, P. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2022/05/2021_Vergleich_Zwischenlage-fuer-Betonschwellen_KPZ.pdf (20.11.2024).
- BAFU; EMPA (2021): Beurteilung und Begrenzung des Lärms von abgestellten Zügen: Zusammenfassung des Empa-Berichtes und Excel zur Berechnung des Lärms von abgestellten Zügen basierend auf den Untersuchungen der Empa. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/laerm/fachinfo-daten/berechnungstool-agbestellte-zuege.zip.download.zip/ZusammenfassungBericht_und_Berechnungstool.zip (18.04.2023).
- Bamberger, K.; Carolus, T.; Mauch, U.; Knirsch, S. (2013): Aerodynamic and acoustic optimization of axial fans for locomotive cooling systems. In: ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition, 3. – 7. Juni 2013, San Antonio, USA. <https://doi.org/10.1115/GT2013-94157>
- Baschanov, D.; Böttcher, P. (2019): Performance Improvement for Vehicles On Track (PIVOT): D4.3 New Materials, Methods and Manufacturing Processes of Wheel. Bericht PIVOT-WP4.3 -D-SIE-035. <https://cordis.europa.eu/project/id/777629/reporting> (20.11.2024).
- Baumgärtel, Y.; Pálinkó, M. (2018): Dynafreight Deliverable 2.2 – Noise reduction on freight locomotive bogies. TU Berlin. 08/2018. <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=ea989dc6-c9ba-472a-b6e2-0720797274c4> (20.11.2024).
- Bay, K.; Brandstätt, P.; Rambauser, N. (2004): Minderung der Lüftungsgeräusche einer E-Lok BR-182. IBP-Mitteilung 448, Band 31. <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/d9b00bb1-041f-4075-9e8c-77d2ba8ad9ce> (20.11.2024).
- Beck, A.; Kleiner, U. (2014): Elastische Komponenten für den Oberbau 2020. In: EI-Eisenbahningenieur 07/2014. <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?lng=en&show=21849> (20.11.2024).
- Beckenbauer, T.; Attinger, R. (2021): Erfolg und Perspektive der Lärminderung bei Güterzügen in der Schweiz. In: Lutzenberger, S.; Müller, G.; Eichenlaub, C.; Tielkes, T., (Hrsg.): 6. Fachtagung 2021, Bahnakustik – Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb. S. 10 – 20.
- BeckOK (Hrsg.) (2017): Umweltrecht.
- BeckOK (Hrsg.) (2024): Umweltrecht. 71. Ed., 1.7.2024.
- Becker, C.; Forster, M.; Schwarz, F. (2018): Forschungsprojekt „Flachstellenerkennung mit Telematik“. Im Auftrag der Schweizerischen Eidgenossenschaft. <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=46109&Load=true> (20.11.2024).

Berger, P.; Rau, R.; Galander, J.; Loebner, R. (2017): Bremssysteme von Schienenfahrzeugen. In: Breuer, B.; Bill, K. H. (Hrsg.) (2017): Bremsenhandbuch. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Fahrdynamik. 5. Auflage Springer Vieweg, S. 389 – 410. https://doi.org/10.1007/978-3-658-15489-9_16

Bevan, A.; Molyneux-Berry, P.; Eickhoff, B.; Burstow, M. (2013): Development and validation of a wheel wear and rolling contact fatigue damage model. In: Wear 307 (1-2). S. 100 – 111. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.08.004>

BMDV (2015): Erläuterungen zur Anlage 2 der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV). Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03). Teil 1: Erläuterungsbericht. Stand 23. Februar 2015. https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/verkehrslaermschutzvo-schall-03-erlaeterungen.pdf?__blob=publicationFile

BMDV (2020a): Deutschlandtakt: die erste große Etappe bis Mitte der 2020er-Jahre – Potentialkonzept. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/deutschlandtakt-die-etappe-bis-mitte-2020er-jahre.pdf?__blob=publicationFile (20.11.2024).

BMDV (2020b): Ministererklärung - Schienengüterverkehrskorridore: Die Zukunft des Schienengüterverkehrs in Europa. Berlin, Deutschland. https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/eu-ratspraesidentschaft-innovative-schiene-21-09-2020.pdf?__blob=publicationFile (20.11.2024).

BMDV (2022a): Eckpunkte zur Zukunft der DB und der Schiene. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/eckpunkte-der-zukunft-der-schiene.pdf?__blob=publicationFile

BMDV (2022b): Gesamtkonzept der Lärmsanierung 2022. Maßnahmen zur Lärmsanierung als Baustein der Lärminderung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes. https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/gesamtkonzept-der-laermsanierung-erlaeuerungstext.pdf?__blob=publicationFile (20.11.2024).

BMDV (2022c): Lärmschutz im Schienenverkehr. Alles über Schallpegel, innovative Technik und Lärmschutz an der Quelle. <https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/E/laermschutz-im-schienenverkehr-broschuere.html> (20.11.2024).

BMDV (2022d): Verkehr in Zahlen 2022/2023. 51. Jahrgang. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2022-2023-pdf.html> (20.11.2024).

BMDV (2023): „Prognose 2022“. Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021-2022. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile (20.11.2024).

BMDV (2024): mFUND – Unsere Förderung für die Mobilität der Zukunft. <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Ueberblick/ueberblick.html> (30.08.2024).

BMVI (2019): Lärmschutz im Schienenverkehr. Alles über Schallpegel, innovative Technik und Lärmschutz an der Quelle. <https://www.remscheid.de/wirtschaft-stadtentwicklung/mobilitaet-verkehr/download-pool/4.12.5-Laerm-BMVI-Broschuere-laermschutz-im-schienenverkehr.pdf> (20.11.2024).

Hagenlocher, S.; Wittenbrink, P.; Leuchtmann, C.; Galonske, B.; Kehrmann, T.; Hecht, M.; Leiste, M.; Discher, S.; König, R.; Pollehn, T.; Ruf, M.; Witte, S.; Gehrke, S.; Hess, R.; Röckemann, K.; Steinmetz, A. (2020): Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr. Karlsruhe, Deutschland. hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH. Auftraggeber: BMVI (Hrsg.) https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/schlussbericht-dak-studie.pdf?__blob=publicationFile (20.11.2024).

Bongini, E.; Grassie, S. L.; Saxon, M. J. (2012): 'Noise Mapping' of a Railway Network: Validation and Use of a System Based on Measurement of Axlebox Vibration. In: Maeda, T.; Gautier, P.-E.; Hanson, C. E.; Hemsworth, B.; Nelson, J. T.; Schulte-Werning, B. (Hrsg.): Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. Springer (118). S. 505 – 513.
http://dx.doi.org/10.1007/978-4-431-53927-8_60

Brux, G (2011): Bautechnik: Tunnelknall - Entstehung und Gegenmaßnahmen. In: Bautechnik 88 (10), S. 663 – 738. <https://doi.org/10.1002/bate.201101504>

BSN (2023): Fahrzeugempfehlungen des BSN. 4. Ausgabe Januar 2023.
<https://www.schienennahverkehr.de/wp-content/uploads/2023/02/2023-01-31-4.-Ausgabe-BSN-Fahrzeugempfehlungen.pdf> (20.11.2024).

Bundesnetzagentur (2023): Marktuntersuchung Eisenbahnen 2023. 5. Sonderausgabe Marktentwicklungen 2022 unter den Bedingungen der Covid-19-Pandemie.
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Eisenbahn/Unternehmen_Institutionen/Veroeffentlichungen/Marktuntersuchungen/MarktuntersuchungEisenbahnen/MarktuntersuchungEisenbahnen2023Sonderausgabe5.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (20.11.2024).

Bundesregierung (2023): Fragen und Antworten zur Verkehrspolitik: So funktioniert der Schienenverkehr
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/faq-schienenverkehr-2170596> (11.04.2024).

Bundestag (2006): Entwurf eines Gesetzes zur Verbesserung des Schutzes vor Fluglärm in der Umgebung von Flugplätzen. In: Drucksache 16/508. <https://dserver.bundestag.de/btd/16/005/1600508.pdf> (20.11.2024).

Bürgerinitiative im Mittelrheintal gegen Umweltschäden durch die Bahn e.V. (o. D.): Ziele. Der Lärm muss in den nächsten Jahren mindestens halbiert werden! <https://www.bahnlaerm-mittelrhein.de/ziele> (14.08.2024)

BUWAL (2000): Akzeptanz von baulichen Lärmschutzmaßnahmen. Analysen und Empfehlungen für den Bau von Lärmschutzmassnahmen aus Sicht der Anwohner von Strassenverkehrs- und Eisenbahnanlagen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 318 Lärm. Bern, Schweiz.
https://www.laermorama.ch/m7_laermschutz/pdf/Akzeptanz_Laermschutzmassnahmen.pdf (20.11.2024).

BUWAL (2004): Akzeptanz von Lärmschutzmaßnahmen entlang von Eisenbahnlinien. Analysen und Empfehlungen für den Bau von Lärmschutzmassnahmen aus Sicht der Anwohner. Schriftenreihe Umwelt Nr. 371 Lärm. Bern, Schweiz. Autor*innen: Hauenstein, J.; Delb, V.; Natrup, W.; Sütterlin, J.
https://www.cerclebruit.ch/old/cerclebruit/vollzugsordner/1/109BUWAL_AkzeptanzLSMeisenbahn.pdf (20.11.2024).

Carolus, T. (2020): Ventilatoren: Aerodynamischer Entwurf – Konstruktive Lärminderung – Optimierung. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-44923-0>

Carrigan, T. D.; Fidler, P. R. A.; Talbot, J. P.; DeJong, M.; Schooling, J.; Viggiani, G. (2019): On the Derivation of Rail Roughness Spectra from Axle-box Vibration: Development of a New Technique. Cambridge University Engineering Department. Cambridge, Großbritannien. <http://dx.doi.org/10.1680/icsic.64669.549>

Carrigan, T. D.; Talbot, J. P. (2023): A new method to derive rail roughness from axle-box vibration accounting for track stiffness variations and wheel-to-wheel coupling. In: Mechanical Systems and Signal Processing 192. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110232>

CDU; CSU; SPD (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa Eine neue Dynamik für Deutschland Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode.
https://www.csu.de/common/csu/content/csu/hauptnavigation/dokumente/2018/Koalitionsvertrag_2018.pdf (20.11.2024).

Colao, C. (2023): Untersuchungen zu Ausbröckelungen auf der Lauffläche scheibengebremsster Güterwagen. Auswertung Instandhaltungsdaten. Hrsg.: TU Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge. 04/2023. [Unveröffentlicht]

Colao, C. (2024): Maßnahmen zur Verminderung von Flachstellen und Ausbröckelungen (=Rollkontaktermüdung) bei scheibengebremssten Güterwagen. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2024/06/2024_Bericht_scheibengebremssten-Gueterwagen_HUPAC.pdf (20.11.2024).

Conreux, L.; Müller, R.; Schönholzer, U. (2023): Stand der Technik zu Erschütterungen und Körperschall auf dem Schweizer Normalspur-Eisenbahnnetz. Allianz Fahrweg. Bern, Schweiz. <https://allianz-fahrweg.ch/wp-content/uploads/2023/10/9783907456002.pdf> (20.11.2024).

Czolbe, C. (2010): Schallminderungsmaßnahmen an Schienenfahrzeugen: Analyse unterschiedlicher Strategien zur Geräuschminderung an Schienenfahrzeugen im Innenraum und Außenbereich für Neukonstruktion und Modernisierung. Dissertation. Fachgebiet Schienenfahrzeuge. TU Berlin, ISBN 978-3-8322-9044-3. <https://dnb.info/1002145260> (20.11.2024).

Czolbe, C.; Hecht, M. (2008): Noise Reduction Measures at Freight Train locomotives „Blue Tiger“. In: 10th International Workshop on Railway Noise, München, Deutschland. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74893-9_58

DB Ausbau- und Neubaustrecke Karlsruhe-Basel (o. D.): Appenweier-Hohberg Planfeststellungsabschnitt 7.1. Ein Tunnel für Offenburg. <https://www.karlsruhe-basel.de/pfa-7-1-appenweierhohberg.html> (14.08.2024).

DB Cargo AG; VTG AG (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“. Schlussbericht der Arbeitsgemeinschaft. Auftraggeber: BMVI (Hrsg.). Autor*innen: Wille, N.; Giaretta-Padovan, L.; Jäcklin, F.; Leenen, M. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-laerm-umwelt-klimaschutz/forschungsprojekt-innovativer-gueterwagen.html> (20.11.2024).

DB InfraGO (2024): Innovative Bauverfahren für Schlammstellen – Anlage zur Markterkundung. Frankfurt am Main, Deutschland. <https://lieferanten.deutschebahn.com/resource/blob/12864908/d81fa70c6aa89d09691ac6cf220702a0/29-05-2024-Anlage-Markterkundung-Schlammstellenbeseitigung-data.pdf> (20.11.2024).

DB InfraGO (o. D.a): ECTS. Das europaweite standardisierte Zugleit- und Zugsicherungssystem. <https://www.dbinfrago.com/web/schienenennetz/etcs> (01.09.2024)

DB InfraGO (o. D.b): Infrastrukturregister. <https://geovdbn.deutschebahn.com/isr> (02.09.2024)

DB Netz AG (2012): Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg. Schlussbericht. Frankfurt am Main, Deutschland. https://nachhaltigkeit.deutschebahn.com/08_Dokumente/laermenschutz/120615_schlussbericht_innov_laerm_E_NDG.pdf (20.11.2024).

DB Netz AG (2020a): Anwendungsleitfaden zur Gestaltung von Schallschutzanlagen. Autor*innen: Pawlik, A.; Schwarz, H.

DB Netz AG (2020b): Initiative Lärmschutz-Erprobung neu und anwendungsorientiert (I-LENA). Abschlussbericht. Frankfurt am Main, Deutschland. <https://nachhaltigkeit.deutschebahn.com/de/gruene-transformation/laermenschutz/ilena> (20.11.2024).

Deuce, R. (2007): Wheel Tread Damage – An Elementary Guide. Bombardier (Hrsg.)

Deutsche Bahn (2012): Innovationsprojekt „Leiser Zug auf realem Gleis“ (LZarG), Abschlussbericht. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/294413/> (20.11.2024).

Deutsche Bahn (2016): Lärmschutz. Der leisen Bahn gehört die Zukunft.

https://bauprojekte.deutschebahn.com/media/projects/7223/docs/EK_effektkarte_laermschutz_der_leisen_bahn_gehoert_zukunft_201604.pdf (20.11.2024).

Deutsche Bahn (2023a): Daten und Fakten 2022.

https://ir.deutschebahn.com/fileadmin/Deutsch/2023/Berichte/DuFd_2022.pdf (20.11.2024).

Deutsche Bahn (2023b): Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2022. Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung.

https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Finanzierung/IZB/IZB_2023.pdf;jsessionid=26E56B689975494F1AF42F5373DD4843.live11292?blob=publicationFile&v=2 (20.11.2024).

Deutsche Bahn (2023c): Integrierter Konzernbericht 2022. <https://ibir.deutschebahn.com/2022/de/start/> (20.11.2024).

Deutsche Bahn (2024a): Daten und Fakten 2023.

https://ir.deutschebahn.com/fileadmin/Bildmaterial/2024/Daten_und_Fakten_2023_Deutsche_Bahn.pdf (20.11.2024).

Deutsche Bahn (2024b): Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2023. Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung.

https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Finanzierung/IZB/IZB_2023.pdf;jsessionid=26E56B689975494F1AF42F5373DD4843.live11292?blob=publicationFile&v=2 (20.11.2024).

Deutsche Bahn (2024c): Mehr Durchblick, weniger Lärm: DB entwickelt innovative transparente Schallschutzwände. https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Mehr-Durchblick-weniger-Laerm-DB-entwickelt-innovative-transparente-Schallschutzwaeende-12861336? (28.08.2024)

Deutsche Bahn (o. D.): Lärmschutzbericht 2020 - Den Lärm weiter mindern.

<https://nachhaltigkeit.deutschebahn.com/de/dialog/veroeffentlichungen/laermschutzbericht2020/laermschutz-vor-ort> (13.05.2024).

Deutschlandtakt (o. D.): Fakten. <https://www.deutschlandtakt.de/fakten/> (11.04.2024).

DHV BV; TU Berlin; IGES; Universität Würzburg (2007): Der Weg zum leiseren Schienengüterverkehr. Anreize für die Umrüstung von Güterwagen auf Flüstersohlen. Berlin. Im Auftrag vom BMVBS und BMWi. Autor*innen: De Vos, P.; Mitusch, K.; Peter, B.; Czerny, A.; Brenck, A.; Pache, E.; Rösch, F.

Digitalen Schiene (o. D.): Die Zukunft der Eisenbahn. <https://digitale-schiene-deutschland.de/de> (19.08.2024).

Disy Informationssysteme GmbH; Lärmkontor GmbH; Soundplan GmbH; Eisenbahn-Bundesamt (2021): Harmonisierung des Lärmsanierungsprogrammes mit der Lärmaktionsplanung. Eisenbahn-Bundesamt Referat 53.

<https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Laerm/Harmonisierung/Bericht.pdf?blob=publicationFile&v=3> (20.11.2024).

Dreier, H. (Hrsg.) (2018): GG-Kommentar, 3. Aufl. Mohr Siebeck.

Dürig, G.; Herzog, R.; Scholz, R. (Hrsg.) (2020): GG, 93. EL Oktober 2020. C.H.Beck.

DZSF (2023): Eisenbahnakustik am Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung – Ein Ausblick. In: Müller-BBM Bahnakustik – Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb, 7. Fachtagung 2023, S. 44. Autor*innen: Brick, H.; Böhm, J.; Roll, E.

https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Fachveroeffentlichungen/2023/2023-11_Tagungsband_Bahnakustik.pdf?blob=publicationFile&v=3 (20.11.2024).

DZSF (o. D.): Das Offene Digitale Testfeld des DZSF (im Aufbau).

https://www.dzsf.bund.de/DZSF/DE/DasDZSF/Forschungsinfrastruktur/ODT/odt_node.html (07.08.2024)

EBA (2022): Lärm an Schienenwegen. Lärmkartierung. Thema Lärmschutz.

https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Laerm_an_Schienenwegen/Laermkartierung/Grundlagen/grundlagen_inhalt.html (15.05.2024).

EBA (2023a): Entwurf, Lärmaktionsplanung des Eisenbahn-Bundesamtes Runde 4.

<https://www.laermaktionsplanung-schiene.de/> (21.11.2024).

EBA (2023b): Jahresbericht 2022 – Lärm-Monitoring, Schallmessung im Schienenverkehr 2023 für 2022. Bonn, Deutschland. <https://www.laerm-monitoring.de/pdf/L%C3%A4rm-Monitoring%20Jahresbericht%202022.pdf> (20.11.2024).

EBA (2023c): Lärmkartierung.

https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Laerm_an_Schienenwegen/Laermkartierung/laermkartierung_node.html (13.05.2024).

EBA (2023d): Lärmstatistik der Bundesländer für die Haupteisenbahnstrecken. Publikation vom: 20.11.2023.

https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Laerm/Laermstatistik_BL_Hauptstrecken.html (14.05.2024).

EBA (2024): Lärmaktionsplan. An Schienenwegen des Bundes Runde 4 (veröffentlicht 2024).

https://www.eba.bund.de/download/Laermaktionsplan_R4.pdf (20.11.2024).

EBA (o. D.a): Gemeindestatistik. OGC-Dienst des Eisenbahnbundesamts. <https://geoinformation.eisenbahnbundesamt.de/wfs/eba/services/wfs?service=WFS&version=2.0.0&request=GetFeature&typeName=app:Gemeindestatistik&outputFormat=text/csv> (15.05.2024).

EBA (o. D.b): Verkehrsweg. OGC-Dienst des Eisenbahnbundesamts. <https://geoinformation.eisenbahnbundesamt.de/wfs/eba/services/wfs?service=WFS&version=2.0.0&request=GetFeature&typeName=app:Verkehrsweg&outputFormat=text/csv> (15.05.2024).

EBA (o.D.c): Zugvorbeifahrten Telgte - Lärm-Monitoring des Eisenbahn-Bundesamtes. <https://www.laerm-monitoring.de/zug?mp=19.%20%E2%80%93%20Aktualisierungsdatum:%202022-07-31%20%E2%80%93%20%C3%9Cberpr%C3%BCfungsdatum%202022-07-31> (27.10.2022)

E.CA Economics; Lear; UEA; Sheppard Mullin (2023): Impact assessment support study for the review of the Community guidelines on State aid for railway undertakings. EU DG Comp. Brüssel, Belgien.

https://competition-policy.ec.europa.eu/system/files/2023-03/KD0423349enn_railway_guidelines_final_report.pdf (20.11.2024).

Edel, K.-O.; Budnitzki, G.; Schnitzer, T. (2021): Schienenfehler 1. Beanspruchung und Schädigung von Eisenbahnschienen. Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58660-0>

EMPA, Technische Universität Berlin (2023): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von

Güterzuglokomotiven. Autor*innen: Hecht, M.; Wunderli, J.-M.; Jäggi, J.; Hanisch, S. F., Ullrich, A.

https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2023/04/2023_Bericht_Literaturstudie-und-Datenanalyse-zum-Laerm-von-Gueterzuglokomotiven_EMPA.pdf (20.11.2024).

Epping, V.; Hillgruber, C. (Hrsg.) (2024): BeckOK Grundgesetz. 57. Edition C.H.Beck.

Europäische Kommission (2011): Bericht der Kommission an das europäische Parlament und den Rat über die Durchführung der Richtlinie über Umgebungslärm gemäß Artikel 11 der Richtlinie 2002/49/EG. KOM(2011) 321 endgültig. Brüssel, Belgien. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0321> (20.11.2024).

Europäisches Parlament (2023): „Rail Transport“. Fact Sheets on the European Union. Straßburg, Frankreich. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/130/rail-transport> (20.11.2024).

Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten (2016): Intelligente Technik für mehr Energieeffizienz. <https://houseofswitzerland.org/de/swissstories/umwelt/intelligente-technik-fuer-mehr-energieeffizienz> (24.07.2024).

European Rail Research Institute; ERRI; SBB; SNCF; AEAT BV; DAAG; PsiA; TNO; Poli; ETHZ; ULB; ISVR (2003): Strategies and Tools to Assess and Implement Noise Reducing Measures for Railway Systems (STAIRRS). Ein Projekt der Europäischen Gemeinschaft, finanziert durch das “Competitive and Sustainable Growth Programme (1998-2002)”. Projektnummer: B99/99/S12.107978-B66131122. <https://trimis.ec.europa.eu/project/strategies-and-tools-assess-and-implement-noise-reducing-measures-railway-systems> (20.11.2024).

Europe’s Rail (o. D.): Open European DAC Delivery Programme enabled by Europe’s Rail. <https://rail-research.europa.eu/european-dac-delivery-programme/> (26.07.2024).

ERA (2018): Full Impact Assessment. Revision of the Noise TSI: Application of NOI TSI requirements to existing freight wagons. Autor*innen: Eksler, V.; Schroeder, M. https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/Recommendation%20on%20the%20amendment%20of%20TSI%20NOISE%20-%20Full%20impact%20assessment_0.pdf?t=1729792142 (20.11.2024).

Feldmann, J. (2009): Schallpegelmessstechnik und ihre Anwendung. In: Möser, M. (Hrsg.): Messtechnik der Akustik. Springer, Berlin, Heidelberg. S. 55 – 113. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68087-1_2

Frank, C.; Asmussen, B.; Probst, J.; Garburg, R.; Stiebel, D.; Tauscher, K. (2023): Einfluss akustisch optimierter Zwischenlagen auf das Rollgeräusch von Zügen – Ergebnisse aus den UIC Projekt LOWNOISEPAD. In: Lutzenberger, S.; Müller, G.; Stegemann, B.; Rothhämel, J. (Hrsg.): Bahnakustik. Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb. 7. Fachtagung 2023. Müller-BBM Rail Technologies GmbH.

Führ, M. (Hrsg.) (2024): GK-BImSchG, 3. Aufl. Carl Heymanns Verlag. ISBN 978-3-452-30157-4

GCU Bureau (2021): Allgemeiner Vertrag für die Verwendung von Güterwagen. https://gcubureau.org/wp-content/uploads/Contract/2021/20210101_GCU_DE_full_version.pdf (20.11.2024).

Geis, A. (2003): Umstritten, aber wirkungsvoll: Die Frankfurter Flughafen-Mediation. Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung. Frankfurt, Deutschland. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssor-285168> (20.11.2024).

Gerber, U. (2019): Auslegung des Eisenbahnoberbaus. In: Fendrich, Lothar; Fengler, Wolfgang (Hrsg.): Handbuch Eisenbahninfrastruktur, 3. Auflage. Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56062-4_2

GHH-BONATRANS (o. D.): Schallabsorber – Für Leise Züge. <https://www.ghh-bonatrans.com/de/produkte-und-dienstleistungen/schallabsorber/> (23.07.2024).

Girod, L. (2023): Analyse der Schallemissionen des Schienenverkehrs in Hinblick auf die Störwirkung in den Nachtstunden auf Basis der Daten der Lärm-Monitoring-Stationen des Eisenbahn-Bundesamt. Bachelorarbeit, TU Berlin. [Unveröffentlicht]

Gramowski, C. (2016): BAFU-Bahnlärmforschung 2016: Radschallabsorption und Entkoppelung von Wagenaufbauten, Dokument Nr. 940004099, Im Auftrag der Schweizerischen Eidgenossenschaft. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2022/03/2017_Bericht-Schallabsorption_Schrey-Veit.pdf (20.11.2024).

Gross F. H. M. (2022): Bürger* Buch. Bahnlärm. Das Ende der Lügen. Hrsg.: Pro Rheintal e.V. https://pro-rheintal.de/aktuelles_kompodium.html (20.11.2024).

Gülker, M.; Hecht, M.; Jobsfinke, D. (2019): Güterzüge mit ep-Bremse und ETCS: Höhere Geschwindigkeiten, weniger Verschleiß. In: ZEV-Zeitschrift für Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik - Journal for Railway and

Transport 143 (4) <https://www.zevrail.de/artikel/gueterzuege-mit-ep-bremse-und-etcs-hoehere-geschwindigkeiten-weniger-verschleiss> (20.11.2024).

Hahnstein, R. (2023): Lärmschutzwände: Wo bleibt die Abwägung? In: Eisenbahn-Revue International, 8-9.

Hammer, W.; Thoma, C. (2011): Vectron – Die neue Lokomotivengeneration für den europäischen Schienenverkehr, 40. Tagung "Moderne Schienenfahrzeuge", Graz, Österreich. <https://schienenfahrzeugtagung.at/download/PDF2011/4-Thoma.pdf> (20.11.2024).

Hänisch, F.; Eggers, S.; Dietze, S.; Zaleski, O.; Gillner, C.; Lohmann, H.; Falk, V. C.; Kohlhauer, R.; Bäuerle, L.; (2022): Gutachten zu transparenten Schallschutzwänden mit hoher akustischer Wirksamkeit. Bericht 25/2022 des DZSF. https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2022/ForBe_25_2022_SchallSchutz.pdf;jsessionid=85DAED9D02DACB351B5ACDC75021B265.live11311?blob=publicationFile&v=6 (20.11.2024).

Hanisch, T.; Thomma, L.; Hecht, M. (2022): Analyse-Tool zur Quantifizierung der Schallminderung durch die Anwendung verschiedener Maßnahmen im Schienenverkehr. In: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA) (Hrsg.): Fortschritte der Akustik - DAGA. 48. Deutsche Jahrestagung für Akustik. Stuttgart. 21.-24. März 2022. <https://www.tu.berlin/schienenfzgf/forschung/forschungsprojekte/leiser-schienenverkehr> (20.11.2024).

Hartleben, D. (2010): Präventives Schienenschleifen – Mittel zur Lärmreduzierung. In: EI-Eisenbahningenieur 61/2010. S. 18 – 24. <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=21269> (20.11.2024).

Hartleben, D. (2013): Schienenwege – Oszillierendes Schienenschleifen als Maßnahme zur Lärmreduzierung an der Quelle. In: Internationales „Silent Europe Rail“ Symposium, 21. November 2013. <https://pro-rheintal.de/bilder/schweerbau.pdf> (20.11.2024).

Hecht, M. (2021): Schienenfahrzeuge: Kennzeichen moderner Schienenfahrzeuge und Komponenten. In: Jänsch, E.; Lang, H. P.; Nießen, N. (Hrsg.): Das System Bahn: Handbuch. 3 Aufl. Leverkusen. Deutschland: PMC Media House GmbH, S. 528 – 564. ISBN-13: 978-3962452247

Hecht, M.; Czolbe, C. (2008): Lärminderungsmaßnahmen an drei Großdieselloks vom Typ BlueTiger. https://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/2019-09/ab_bmu_havellandische_eisenbahn.pdf (20.11.2024).

Hecht, M.; Götz, G.; Baumgärtel, Y. (2016): Studie zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schienenbearbeitung und Lärmemissionen. https://www.rvso.de/de/verband/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen/2017/201701_Schienenlaerm_Reduktion_an_der_Quelle.php (20.11.2024).

Hecht, M.; Wiemers, M. (2002): Low Noise Train (LNT) Präsentation Wien 06.11.2002. Report Nr. 27/02. Wien, Österreich. [Unveröffentlicht]

Hecht, M.; Wunderli, J. M.; Jäggi, J.; Hanisch, T.; Ullrich, A. (2022): Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven. TU Berlin. 19/2022. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2023/04/2023_Bericht_Literaturstudie-und-Datenanalyse-zum-Laerm-von-Gueterzuglokomotiven_EMPA.pdf (20.11.2024).

Heckl, M.; Müller, A. (1995): Taschenbuch der technischen Akustik. 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York. ISBN: 978-3-642-97357-4

Hegemann, J.-E. (2024): Probleme über Probleme bei Zugbrand. Feuerwehrmagazin. <https://www.feuerwehrmagazin.de/nachrichten/news/probleme-ueber-probleme-bei-zugbrand-126935> (28.08.2024).

Höjer, M.; Almgren, M. (2015): Monitoring system for track roughness. In: EuroNoise 2015. 31.05.2015 – 03.06.2015, Maastricht, Niederlande. <https://www.semanticscholar.org/paper/Monitoring-system-for-track-roughness-H%C3%B6jer-Almgren/40bec5fdcd1cb5095ea0dded76cdccbb7f40204c> (20.11.2024).

Hugo, K.; Saabel, I. (1998): Implementation of the Noise Abatement Program of the DB AG. In: 2nd International Workshop – Abatement of Railway Noise Emissions – Freight Transport.

IHK München und Oberbayern; VDV Bayern; Die Güterbahnen (2024): Wirtschaft braucht mehr Gleise für Schienengüterverkehr. Informationen für Presse, Funk und Fernsehen. Pressemitteilung vom 12.04.2024. <https://die-gueterbahnen.com/news/wirtschaft-braucht-mehr-gleise-fuer-schienengueterverkehr.html> (20.11.2024).

Intraplan; BVU (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/verkehrsverflechtungsprognose-2030-schlussbericht-los-6.pdf?__blob=publicationFile (20.11.2024).

Intraplan (2020): Validierung einer Verdopplung der Fahrgastzahlen im Deutschlandtakt. https://assets.ctfassets.net/scbs508bajse/6nSeSiD5udWlqbBnaFZCte/46e3beea7f7bbd32fd1f9f4fb40f7df9/Deutschlandtakt_Gutachterbericht_zur_Verdoppelung_der_Nachfrage_im_SPV.PDF (20.11.2024).

Intraplan (2023): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr. Mittelfristprognose Winter 2022/23. https://www.balm.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Verkehrsprognose/Gleitende_Mittelfristprognose_Winter_2022-23.pdf;jsessionid=19FD94C2E1550C2C6F6CD48EA24B0E44.live11291?__blob=publicationFile&v=3 (20.11.2024).

Intraplan (2024): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr. Mittelfristprognose Winter 2023/24. https://www.balm.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Verkehrsprognose/Mittelfristprognose_Winter_2023_2024.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (20.11.2024).

Isert, N.; Lutzenberger, S.; Craven, N.; Hübner, P.; Oertli, J. (2016): Lärmmanagement abgestellter Züge. In: Lärmbekämpfung. 11/2016, Nr. 1. https://www.muellerbbm.de/fileadmin/user_upload/gmbh/Downloads/Laermbeakaempfung_01_2016_Mueller-BBM_Laermmanagement_abgestellter_Zuege.pdf (20.11.2024).

ISR Matcher (2024): Projekt-Beschreibung. ISR-Matcher. <https://pypi.org/project/isr-matcher/> (15.05.2024).

Institut Retzl (2003): Forschungsprojekt zur Evaluierung der Akzeptanz von Lärmschutzmaßnahmen an Eisenbahnbestandsstrecken. <https://www.bmk.gv.at/themen/verkehr/eisenbahn/publikationen/laermenschutzmassnahmen-evaluierung.html> (20.11.2024).

Janicki, J.; Reinhard, H. (2008): Schienenfahrzeugtechnik. DB AG (Hrsg.), 2. Auflage, Bahn Fachverlag GmbH, Mainz, Deutschland. ISBN 3980800253

Jänischen, D. (2020): Auf der Suche nach einem stabilen Kraftschluss Rad/Schiene beim Bremsen der Züge. In Ingenieurspiegel 02/2020. https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ibb/sft/ressourcen/dateien/forschung/Volltexte_Forschung/Ingenieurspiegel_Jaenichen1.pdf?lang=de (20.11.2024).

Janssens, M. H. A.; Dittrich, M. G.; De Beer, F. G.; Jones, C. J. C. (2006): Railway noise measurement method for pass-by noise, total effective roughness, transfer functions and track spatial decay. In: Journal of Sound and Vibration. 293 (3-5). S. 1007 – 1028. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.08.070>

Jarass, H.-D. (2022): BImSchG. 14. Aufl. C.H.Beck. ISBN 9783406795589

- Jergéus, J.; Odenmarck, C.; Lundén, R.; Sotkovszki, P.; Karlsson, B.; Gullers, P. (1999): Full-scale railway wheel flat experiments. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 213 (1). S. 1 – 13. <https://doi.org/10.1243/0954409991530985>
- Johannsen, K. (2005): Der Einfluss der Oberflächenimpedanz auf das Abstrahlverhalten eines Schürze-Niedrigstschallschirm-Systems. Dissertation. TU Berlin. <https://api-depositonce.tu-berlin.de/server/api/core/bitstreams/2d98ee24-87ec-43b5-af6f-2b33e6aa64ec/content> (20.11.2024).
- Jones, R. (1994): Bogie shrouds and low barriers could significantly reduce wheel/rail noise. In: Railway Gazette International, S. 459 – 462. <https://www.semanticscholar.org/paper/BOGIE-SHROUDS-AND-LOW-BARRIERS-COULD-SIGNIFICANTLY-Jones/8b5f051032a61b61ccec8911869a5230ef5e5d16> (20.11.2024).
- Jones, R.; Beier, M.; Diehl, R.; Jones, C.; Maderboeck, M.; Middleton, C.; Verheij, J. W. (2000): Vehicle-mounted shields and low trackside barriers for railway noise control in a European context. Proceedings InterNoise. Nice. Frankreich. ISBN: 2-9515619-1-1
- Kämpfer, B.; Six, K.; Semrad, F.; Friedl, N. (2008): Verschleiß- und Schädigungserscheinungen an Schienenfahrzeugen, In: ZEVrail. Ausgabe 3. S. 78 – 101. <https://www.zevrail.de/artikel/verschleiss-und-schaedigungserscheinungen-schienenfahrzeugraedern> (20.11.2024).
- Kephalopoulos, S.; Paviotti, M.; Anfosso-Lédée, F. (2012): Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://www.researchgate.net/publication/280894153_Common_noise_assessment_methods_in_Europe_CN_OSSOS-EU (20.11.2024).
- Kiepe Electric (o. D.): Regionaltriebwagenzug Protos, Elektrische Ausrüstung. Prospekt.
- Kloepfer, M. (2016): Umweltrecht. 4. Aufl. C.H.Beck. ISBN 978-3-406-68847-8
- Knorr Bremse (o. D.): Regionaltriebwagenzug Protos. https://kiepe.knorr-bremse.com/media/prospekte_schienenfahrzeuge/671_03_protos_de_korr_v1.pdf (28.11.2018).
- Koch, H.-J.; Hofmann, E.; Reese, M. (Hrsg.) (2024): Handbuch Umweltrecht. C.H.Beck. ISBN 978-3-406-78886-4
- KPZ Fahrbahn (2020): Forschungsprojekt hochdämpfende Zwischenlage. Schlussbericht. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2022/05/2020_Schlussbericht_Hochdaempfende_Zwischenlage_KPZ.pdf (20.11.2024).
- Krüger, F.; Hecht, M.; Hölzl, G.; Jäcker, M.; Jaquet, T.; Repczuk, A. (2001): Schall- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr. Grundlagen der Schall- und Schwingungstechnik – Praxisorientierte Anwendung von Schall- und Erschütterungsmaßnahmen. Bartz, W. J. (Hrsg.) Expert Verlag. ISBN-13: 9783816917960
- Kuijpers, A. H. W. M.; Schwanen, W.; Bongini, E. (2012): Indirect rail roughness measurement: the ARROW system within the LECaV project. Maeda, T., et al. Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, vol 118. S. 563 – 570. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-53927-8_67
- Kurita, T.; Wakabayashi, Y.; Yamada, H.; Horiuchi, M. (2011): Reduction of wayside noise from Shinkansen high-speed trains. In: Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics 4 (1). S. 1 – 12. <https://doi.org/10.1299/jmtl.4.1>
- LAI (2022): Eckpunkte zur Verbesserung des Verkehrslärmschutzes 2022. LAI: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz. UMK-Beschluss Top 12 der 98. UMK. https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lai-eckpunkte-verkehrslaermenschutz-2022_2_1657808488.pdf (20.11.2024).
- Landmann, R.; Rohmer, G. (Hrsg.) (2024): Umweltrecht, 102. EL September 2023. C.H.Beck. ISBN 978-3-406-34327-8

Lärmforschung Eisenbahn (o. D.): Freie Strecke. Schiene. <https://laermforschung-eisenbahn.ch/forschungsergebnisse/freie-strecke/> (27.08.2024)

Lichtberger, B. (2010): Handbuch Gleis. Unterbau – Oberbau – Instandhaltung – Wirtschaftlichkeit. ISBN-13: 978-3777104003

Liebing, S. (2018): Quantifizierung des Umrüstungsbedarfs der Güterwagenflotten in Deutschland und den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union für verschiedene rechtliche Szenarien. EBA Forschungsbericht 2018-12. https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2018/EBA-Forschungsbericht_2018-12.pdf?sessionid=EA7163B79EC798B79BBB395CF2F949F9.live11311?__blob=publicationFile&v=9 (20.11.2024).

Lichtberger, B. (2022): Das Große Handbuch der Gleisinstandhaltung. ISBN-13: 978-3347693111

Liepert, M.; Beronius, A.; Huth, C.; Guggemos, M.; Schreckenbach, D.; Benz, S. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes. Bericht 24/2022 des DZSF. https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2022/ForB_e_24_2022_LaermEval.pdf?sessionid=749C0BA4D9377FD79646D85B6D54721D.live21303?__blob=publicationFile&v=7 (20.11.2024).

Loy, H.; Augustin, A. (2015): Schwellenbesohlungen zur Schwingungsreduktion Wirkungsweise und Erfahrungen, in ZEVrail Ausgabe Sonderheft 139/2015. https://www.uibk.ac.at/media/filer_public/71/1f/711fac36-cbb1-46f6-aab2-4710a9df6b06/dr_harald_loy_-_getzner_werkstoffe-1.pdf (20.11.2024).

Lutzenberger, S.; Stiebel, D.; Gerbig, C.; Wettschurek, R. G. (2017): Luftschall aus dem Schienenverkehr. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. Müller, G.; Möser, M. (Hrsg.) <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55463-0>

Maglio, M.; Vernersson, T.; Nielsen, J. C. O.; Ekberg, A.; Kabo, E. (2023): Influence of railway wheel tread damage on wheel–rail impact loads and the durability of wheelsets. In: Railway Engineering Science 32 (1), S. 20 – 35. <https://doi.org/10.1007/s40534-023-00316-2>

Maly, T.; Dinthob, G.; Jaksch, M. (2016): Schallemissionen von Laufflächendefekten. In: Eisenbahntechnische Rundschau (12). <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=22972> (20.11.2024).

Marazzi, I.; Ronchi, A.; Brescianini, P.; Schneider, J. (2019): Lucchini RS solutions for quieter freight cars wheels. In: IRSA 2019. Tagungsband. Proceedings of the 2nd International Railway Symposium Aachen 2019. Aachen, Deutschland. <https://publications.rwth-aachen.de/record/775854/files/775854.pdf> (20.11.2024).

Marschnig, S., Berghold, A. (2011): Besohlte Schwellen im netzweiten Einsatz. In: Eisenbahntechnische Rundschau 05/2011. https://www.plassertheurer.com/fileadmin/user_upload/Mediathek/Publikationen/etr_1105.pdf (20.11.2024).

Martens, A.; Wedemann, J.; Meunier, N.; Leclerc, A. (2002): High speed train noise – sound source localization at fast passing trains. Forum Acusticum, Sevilla, Spanien. <https://www.semanticscholar.org/paper/HIGH-SPEED-TRAIN-NOISE-SOUND-SOURCE-LOCALIZATION-AT-Lj-Martens/f1ac9c62f1df5d9dab56a92b9fde039b52a6160d> (20.11.2024).

Maute, D. (2006): Technische Akustik und Lärmschutz. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. ISBN-10: 3-446-40222-5

Mauz, F. (2024): Die direkte fahrzeugseitige Messung der akustischen Schienenrauheit. Dissertation. ETH Zürich. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000673412>

- Mauz, F.; Wigger, R.; Griesbaum, L.; Wahl, T.; Kuffa, M.; Wegener, K. (2023): Acoustic Roughness Measurement of Railway Tracks: Running Surface Detection and Compensation of Lateral Movements for Optical Measurements on a Train. In: Sensors 23 (12). <https://doi.org/10.3390/s23125764>
- Mauz, F.; Wigger, R.; Wahl, T.; Kuffa, M.; Wegener, K. (2022): Acoustic Roughness Measurement of Railway Tracks: Implementation of a Chord-Based Optical Measurement System on a Train. In: Applied Sciences 12 (23). <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000583087>
- Mitusch, K.; Szimba, E.; Knoch, E.-M.; Knebel, R.; Berthold, K.; Fesser, J.; Canales, C.; Frindik, R. (2023): Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnfahrzeugen: Bewertung der Potenziale von Technologien zum vernetzten Fahren. Bericht 38/2023 des DZSF. <http://dx.doi.org/10.48755/DZSF.230006.01>
- Mofair; NEE; VPI (2017): Wettbewerber-Report Eisenbahn 2017/18. Zugkraft für den Verkehrssektor. Autor*innen: Stoffregen, M.; Westenberger, P.; Tuscher, J. https://mofair.de/wp-content/uploads/2017/10/Wettbewerber-Report_Eisenbahn_2017_18_Langfassung.pdf (20.11.2024).
- Moro, E. (2020): Pos. 01 – Analyse der Betriebsergebnisse der T3000eD / T3000eD + Wagen und Spezifikation der Bremsstreckenversuche, Bern. Im Auftrag der Schweizerischen Eidgenossenschaft. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2022/03/2020_Bericht_Phase-1_Ferriere-Cattaneo.pdf (20.11.2024).
- Möser, M. (2015): Technische Akustik. 10. Auflage. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-47704-5>
- M+P (2018): ARRoW Acoustic Track Monitoring System. <https://mp.nl/sites/default/files/2021-06/ARRoW%20brochure%202018.pdf> (20.11.2024).
- Netzwerk europäischer Eisenbahnen e.V. (2019): Studie 35 – Güterverkehrsverlagerung aus Betreibersicht. https://die-gueterbahnen.com/assets/files/news/2019/2019_05_22_nee_35_studie.pdf (20.11.2024).
- Noack, S.; Beitel Schmidt, M. (2022): Calculation of drive-related structure-borne sound in electric driven trains using elastic multi-body simulation. In: Internoise 2022. https://www.researchgate.net/publication/362235420_Calculation_of_drive-related_structure-borne_sound_in_electric_driven_trains_using_elastic_multi-body_simulation (20.11.2024).
- Oliva, C. (1998): Belastung der Bevölkerung durch Flug- und Straßenlärm: Eine Lärmstudie am Beispiel der Flughäfen Genf und Zürich. Duncker & Humblot. Berlin, Deutschland. ISBN 3-428-08563-9
- Petschnig, G.; Lorenzutti, C. (2023): Automation und digitale Zustandsüberwachung im Güterverkehr. In: Ausgabe Sonderheft Graz 2023, ZEVrail (147). <https://www.zevrail.de/artikel/automation-und-digitale-zustandsueberwachung-im-gueterverkehr> (20.11.2024).
- Phamová, L.; Bauer, P.; Malinský, J.; Richter, M. (2015): Indirect Method of Rail Roughness Measurement – VUKV Implementation and Initial Results. In: Nielsen, J. C. O.; Anderson, D.; Gautier, P.-E.; Iida, M.; Nelson, J. T.; Thompson, D.; Tielkes, T.; Towers, D. A.; de Vos, P. (Hrsg.): Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems, S. 189 – 196. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44832-8_25
- Plummer, C. J. G.; Miessbacher, H.; Demongeot, A.; Demongeot, M.; Morin, B.; Broggi, C.; Nardin, R.; Crausaz, V.; Kalyanasundaram, B.; Michaud, V.; Cugnoni, J.; van Damme, B.; Oertli, J.; Frauenrath, H. (2022): New Rail Pads for Simultaneous Noise Reduction and Improved Track Superstructure Protection. Lärmforschung Eisenbahn Exchange of Experts 2022. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2022/09/01_BAFU_Expert2022_Plummer-Miessbacher.pdf (20.11.2024).
- Polach, O. (2017): Kontakt Rad-Schiene II: Kraftschlusskräfte. Skript. TU Berlin. [Unveröffentlicht]
- Polach, O. (2024a): Skript zur Vorlesung Dynamik von Schienenfahrzeugen – Bogenfahrt. TU Berlin. [Unveröffentlicht]

Polach, O. (2024b): Skript zur Vorlesung Dynamik von Schienenfahrzeugen – Kontakt Rad-Schiene II: Kraftschlusskräfte. TU Berlin. [Unveröffentlicht]

Popov, V. L. (2015): Kontaktmechanik und Reibung. Von der Nanotribologie bis zur Erdbebendynamik. 3. Auflage. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45975-1>

Pospischil, F. (2017): Längsverschweißtes Gleis im engen Bogen – Eine Betrachtung der Gleislagestabilität. Dissertation. Leopold-Franzens-Universität Innsbruck. ISBN-13: 978-3903030206

Pro Rheintal e.V. (o. D.): Sofortmaßnahmen um Bahnlärm zu reduzieren. https://pro-rheintal.de/bahnlarm_technik_massnahmen.html (14.08.2024).

Pro Rheintal e.V. (2016): Mutmacher und Glücksbringer – der Tunnel für Oberwesel. Pro Rheintal begrüßt das Projekt als wichtigen Schritt zur Lösung der Lärmproblematik im Rheintal. Pressemitteilung vom 27.04.2024. https://pro-rheintal.de/bilder/prt_presse_2016-04-27_b.pdf (20.11.2024).

PROSE AG (2012): Ferriere Cattaneo – T3000, Vorbeifahrgeräuschmessung nach TSI CR Noise. Autor: Steiner, A. [Unveröffentlicht]

PROSE AG (2015): T3000eD, TSI CR Noise Vorbeifahrtmessung. Autor: Schmid, T. [Unveröffentlicht]

PROSE AG (2016): T3000D+, TSI Noise Vorbeifahrtmessungen. Autor: Oravec, M. [Unveröffentlicht]

PROSE AG (2020): Akustisch optimierte Zwischenlage. Schlussbericht 17.111.00 – BAFU Entwicklung Zwischenlage. Autor: Czolbe, C. https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2022/02/2020_Bericht-Entwicklung-Zwischenlage_Prose-AG.pdf (20.11.2024).

QTMS Tyrens (o. D.): QTMS Quiet Track Monitoring System. <https://www.qtms.tyrens.com/en/about-qtms/> (20.11.2023).

Railbusiness (2011): Lärmsanierung der Güterwagen beendet. In: Railbusiness Ausgabe 05/2011. <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=89546> (20.11.2024).

Reichmann, M.; Wancura, H. (2023): Auswirkungen der DAK auf die Produktivität der Transportketten. In: Ausgabe Sonderheft Graz 2023, ZEVrail 147. <https://www.zevrail.de/artikel/auswirkungen-der-dak-auf-die-produktivitaet-der-transportketten> (20.11.2024).

Rothhämel, J.; Kendel, F.; Lütke, B.; Lange, S.; Kempinger, T.; Asmussen, B. (2021): Tonal Noises and High-Frequency Oscillations of Rails Caused by Grinding Procedures. In: Degrande, G.; Lombaert, G.; Anderson, D.; de Vos, P.; Gautier, P.-E.; Iida, M.; Nelson, J. T.; Nielsen, J. C. O.; Thompson, D. J.; Tielkes, T.; Towers, D. A. (Hrsg.): Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. Proceedings of the 13th International Workshop on Railway Noise, 16-20 September 2019, Ghent, Belgium. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70289-2_28

Schindler, C. (Hrsg.) (2014): Handbuch Schienenfahrzeuge. Autor*innen: Brandhorst, M.; Bellmann, T.; Haigermoser, A.; Hecht, M.; Karch, S.; Löffler, G.; Rösch, W. DVV Media Group GmbH, Eurailpress. Hamburg, Deutschland. ISBN 978-3-96245-052-6

Schöch, W. (2008): Schienenpflege – Entwicklung, Beispiele, strategische Ausrichtung. In: EI-Eisenbahningenieur 06/2008. <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=19976> (20.11.2024).

Schnecker, P.; DB Netz AG (2022): Instandhaltung von Schienen durch Schienenbearbeitung. Vortrag im Rahmen des Eisenbahnwesen-Seminars an der TU Berlin am 05.12.2022. https://www.static.tu.berlin/fileadmin/www/10002264/ews/2022-wise/2022-12-05_EWS_Folien_Schnecker_DB_Instandhaltung_von_Schienen_durch_Schienenbearbeitung.pdf (20.11.2024).

Scholdan, D.; Spieler, D. (2016): Das neue Güterwagendrehgestell RC25NT – Betriebliche Bewährung und weitere Entwicklungen. In: ZEVrail, Ausgabe Sonderheft Graz. <https://www.zevrail.de/artikel/das-neue-gueterwagendrehgestell-rc25nt-betriebliche-bewaehrung-und-weitere-entwicklungen> (20.11.2024).

Schrey & Veith GmbH (2023): RADABSORBER - Innovative Lärminderung an Eisenbahnradern. Broschüre. Spremlingen. https://sundv.de/wp-content/uploads/2023/05/SV_Radabsorber_de.pdf (20.11.2024).

Schrey & Veith (o. D.): Wheel dampers - Each damper exactly matches the wheel. <https://sundv.de/en/products/wheel-dampers/> (01.07.2024)

Schuemer, R.; Schreckenber, D.; Felscher-Suhr, U. (Hrsg.) (2003): Wirkung von Schienen- und Straßenverkehrslärm. Autor*innen: Felscher-Suhr, U.; Griefhn, B.; Guski, R.; Möhler, U.; Schreckenber, D.; Scheumer, R. Zeus GmbH. Bochum, Deutschland. https://www.researchgate.net/publication/228609373_Wirkungen_von_Schienen-und_Strassenverkehrslarm (20.11.2024).

Schulz, J. (1998): Akustische Verbesserung von Niedrigschallschirmen zum Einsatz im Gütertransport der Bahn. Diplomarbeit. TU Berlin. Institut für Technische Akustik. [Unveröffentlicht]

SCI Verkehr (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“. Abschlussbericht der Wirtschaftlichkeitsprüfung. Im Auftrag des BMVI. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-laerm-umwelt-klimaschutz/forschungsprojekt-innovativer-gueterwagen.html> (20.11.2024).

Scossa-Romano, E.; Oertli, J. (2012): Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers. Schweizerische Bundesbahn (SSB) (Hrsg.). Bern, Schweiz. https://uic.org/IMG/pdf/2012_dampers_grinding_lowbarriers.pdf (20.11.2024).

Sehu, D.; Wunderli, J. M.; Heutschi, K.; Thron, T.; Hecht, M.; Rohrbeck, A.; Ledermann, T. (2010): sonRAIL – Projektdokumentation. Empa; TU Berlin; PROSE AG; Schweizerisches Institut für Systems Engineering; SULZER; LCC; ifv Bahntechnik. <https://www.empa.ch/documents/56129/160826/sonRail-projektdokumentation.pdf/f036553f-80c8-4b87-bc74-ead535ea29ab> (20.11.2024).

SMA; Intraplan; VIA Consulting (2021): Abschlussbericht zum Zielfahrplan Deutschlandtakt Grundlagen, Konzeptionierung und wirtschaftliche Bewertung. Entwurf vom 31.08.2021. https://pro-ausbau.de/wp-content/uploads/2021/09/2021-08-31_Abschlussbericht_Deutschlandtakt_1-00_gesamt.pdf (20.11.2024).

SNCF-Mobilites; Rail Delivery Group; Deutsche Bahn; Nederlandse Spoorwegen; Österreichische Bundesbahnen; Schweizerische Bundesbahnen (Hrsg.) (2019): EuroSpec. Specification Parking Noise. 1. Auflage. Paris, London, Munich, Utrecht, Vienna, Bern. <https://eurospec.eu/wp-content/uploads/2019/06/EuroSpec-Parking-Noise-v1.0.pdf> (20.11.2024).

SRU (2020): Für eine aktive und umweltfreundliche Stadtmobilität: Wandel ermöglichen. In: Umweltgutachten 2020. Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Autor*innen: Hornberg, C.; Niekisch, M.; Calliess, C.; Kemfert, C.; Lucht, W.; Messari-Becker, L.; Rotter, W. S. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Kap_06_Stadtmobilitaet.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (20.11.2024).

Stadt Wien (o. D.): Maßnahmen zum Schallschutz bei Straßenbahn und U-Bahn <https://www.wien.gv.at/umwelt/laerm/wissen/arten/verkehr/schiene/schallschutz.html> (17.06.2024).

Statistisches Bundesamt (2023): Verkehr, Eisenbahnschienenverkehr, Betriebsdaten des Schienenverkehrs. Fachserie 8 Reihe 2.1. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Unternehmen-Infrastruktur-Fahrzeugbestand/Publikationen/Downloads-Betriebsdaten-Schienenverkehr/betriebsdaten-schienenverkehr-2080210217004.pdf?__blob=publicationFile (20.11.2024).

Steiner, T. (2015): High Speed Bogie DRRS 25LD for Rail Freight Wagons (TSI). In: Eisenbahntechnische Rundschau. Heft 12, S. 64-66. <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=22152&lng=en> (20.11.2024).

Streblow, H. (2015): Möglichkeiten und Grenzen in der präventiven Schienenbearbeitung. Vortrag während Punktforum Schienenschleifen im Rahmen der BahnWege-Seminare 2015, 24.-25.11.2015. Düsseldorf. [Unveröffentlicht]

SWD (2015) 300: Commission Staff Working Document. Rail freight noise reduction final vom 22.12.2015. https://transport.ec.europa.eu/document/download/fa7a239a-3410-47a1-8e16-3c55fd14c7eb_de (20.11.2024).

SPD; Bündnis 90 / Die Grünen; FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90 / Die Grünen und FDP: 20. Legislaturperiode. https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf (20.11.2024).

Spiess, P.; Büche, B. (2016): Gleitschutzsysteme – Wirkung, Optimierung und Prüfung. In: ZEVrail Tagungsband SFT Granz 2016. <https://www.zevrail.de/artikel/gleitschutzsysteme-wirkung-optimierung-und-pruefung> (20.11.2024).

Thompson, D. (2009): Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control. Jordan Hill: Elsevier Science & Technology. ISBN 9780080914435.

Trelleborg (o. D.): The Hydraulic axle guide bearing brochure, https://www.trelleborg.com/anti-vibration-solutions/-/media/anti-vibration-systems_tis/pdfs/brochures-and-catalogues/trelleborg_avs_rail_hydraulic-axle-guide-bearing_brochure_-eng.pdf?rev=88934d70b5b44f308306c8e6a8b34b76 (28.11.2023).

TU Berlin (2018): Minderung der Rollkontaktermüdung BoxXpress – Empfehlung für scheibengebremsen CTW, Projektbericht TU Berlin, 10/2018. [Unveröffentlicht]

Tufano, A.; Chiello, O.; Faure, B.; Chaufour, C. (2019): On-board indirect measurements of the acoustic quality of railway track: state-of-the art and simulations. <https://www.semanticscholar.org/paper/On-board-indirect-measurements-of-the-acoustic-of-Tufano-Chiello/9059fdaee6a858f685b476cee702a0a8a40d16c1#cited-papers> (20.11.2024).

UBA (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, Müller-BBM GmbH, Autor*innen: Lutzenberger, S.; Gutmann, C. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4441.pdf> (20.11.2024).

UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms. Autor*innen: Mitusch, K.; Gipp, C.; Brenck, A.; Hecht, M.; Götz, G.; Liebing, S.; Siefer, T.; Jakob, C.; Jelinski, M.; Pache, E.; Richert, M. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/strategien-zur-effektiven-minderung-des> (20.11.2024).

UBA (2019): WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region. Lärmfachliche Bewertung der neuen Leitlinien der Weltgesundheitsorganisation für Umgebungslärm für die Europäische Region. Positionspapier des Umweltbundesamts. Autor: Wothge, J. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/who-leitlinien-fuer-umgebungs-laerm-fuer-die> (20.11.2024).

UBA (2020): Umweltbewusstsein in Deutschland 2020. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Hrsg.: BMUV. Autor*innen: Belz, J.; Follmer, R.; Hölscher, J.; Stieß, I.; Sunderer, G.; Birzle-Harder, B. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbewusstsein-in-deutschland-2020> (20.11.2024).

UBA (2021): Minderung des Lärms von Straßenbahnen im urbanen Raum, Abschlussbericht. Autor*innen: Hamöller, G.; Jäcker-Cüppers, M.; Kuppe, A.-K.; Louistisserand, C.; Melchoir, Y.; Petersen, T.; Plogstert, S. Wacker, H.; Boenke, D.; Krüger, F.; Nass, J. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/minderung-des-laerms-von-strassenbahnen-im-urbanen> (20.11.2024).

UBA (2022): Messung von Flachstellen und Ermittlung eines akustischen Instandhaltungskriteriums. Dessau. Autor*innen: Huth, C.; Forstreuter, M.; Liepert, M.; Arlt, R.

<https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/messung-von-flachstellen-ermittlung-eines> (20.11.2024).

UBA (2023): Schienenverkehrslärm.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/laerm/verkehrslaerm/schienenverkehrslaerm#was-ist-schienenverkehrslarm> (13.08.2024)

UIC (2014): Managing Noise from parked Trains: UIC Research Project. Bericht M111955/04. Autor*innen: Isert, N.; Lutzenberger, S. https://uic.org/IMG/pdf/m111955_04_ber_3e_couv.pdf (20.11.2024).

UIC Sustainability (2023): Noise from parked and stationary trains: An analysis of operational and technical solutions: Noise and Vibration Technical Advice (NOVITÀ) Project. UIC Sustainability, Paris, Februar 2023.

Autor*innen: Rissmann, M.; Tufano, A.-R.; Chillet, A.; Bouvet, P.

https://img5.uic.org/IMG/pdf/noise_from_parked_and_stationary_trains.pdf (20.11.2024).

UIC (o. D.): Lownoise pad. Low cost noise control by optimised rail pad. Autor*innen: Anderton, L.; Yilmazer, P. <https://uic.org/projects/article/lownoise pad> (27.08.2024).

Ule, C.-H.; Laubinger, H.-W.; Repkewitz, U. (Hrsg.) (2024): BImSchG Band 5. Carl Heymanns Verlag. ISBN 978-3-452-27741-1

VDV (2011): Geräusche von Schienenfahrzeugen des Öffentlichen Personen-Nahverkehr (ÖPNV). VDV Schriften 154. <https://www.beka-verlag.info/VDV-Schriften/Fahrzeuge/Schienenfahrzeuge-OePNV/VDV-Schrift-154-Geraeusche-von-Schienenfahrzeugen-des-Oeffentlichen-Personennahverkehrs-OePNV-nach-BOStrab-Print::1283.html> (20.11.2024).

VDV (2017): Geräusche von Eisenbahnfahrzeugen in der Fahrzeugabstellung einschl. Vorbereitungs- und Abschlussdienst. VDV-Mitteilung 1541. 11/2017. <https://www.vdv.de/schriften---mitteilungen.aspx?id=88236573-a9e5-4149-8e40-0d018556c8ec&mode=detail> (20.11.2024).

Waldhoff, C. (2013): Maßstäbe zur Verteilung der Regionalisierungsmittel für den ÖPNV nach Art. 106a GG. DVBI Verlag.

Weik, N.; Ehrenfried, K. (2022): Gekoppelte aerodynamische und fahrdynamische Simulation zur Optimierung von Tunnelfahrten.

https://elib.dlr.de/188764/1/Weik_Ehrenfried_FullPaper_Gekoppelte_aerodynamische_und_fahrdynamische_Simulation_von_Tunnelfahrten_camera-ready.pdf (20.11.2024).

Wendland, D. (2022) Akzeptanzsteigerung von Schallminderungsmaßnahmen im Schienenverkehr, Bachelorarbeit TU Berlin.

Wenner, M.; Lippert, P.; Plica, S.; Marx, S. (2016): Längskraftabtragung auf Eisenbahnbrücken. Hannover/München. <https://doi.org/10.1002/bate.201600034>

Woller, J. (2020): Durchgängiger Berechnungsansatz für die Körperschallprognose des Antriebsstrangs eines Triebfahrzeugs. Dissertation. Dresden, Deutschland: Technische Universität Dresden. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-738040> (20.11.2024).

Wunderli, J. M. (2008): Quellenseparation bei fahrenden Zügen mit Hilfe von Schalldruck und Schallschnellmessungen. Dissertation. Shaker Verlag, Aachen, Deutschland. ISBN 978-3-8322-7009-4.

Zeller, P.; Andreas, E.; Fastl, H.; Kerber, S.; Hobelsberger, J.; Jebensinski, R.; de Klerk, D.; Mppssmayr, T.; Seamann, E. (2018): Handbuch Fahrzeugakustik: Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch. 3. Auflage. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-18520-6>

Ziekow, J. (2024): Handbuch des Fachplanungsrechts. 3. Aufl. C.H. Beck Baurecht. ISBN 978-3-406-78540-5.

Zimmermann, I. (2022): Analyse der Schallemissionen des Schienenpersonenverkehrs auf Basis der Daten der Lärm-Monitoring-Stationen des Eisenbahn-Bundesamts. Bachelorarbeit. TU Berlin. [Unveröffentlicht]

Gesetze und Rechtsvorschriften

16. BImSchV: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung). In: BGBl. I 1990, S. 1036. Zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014. In: BGBl. I 2014, S. 2269.

24. BImSchV: Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung). In: BGBl. I S. 172, 1253. Zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 23. September 1997. In: BGBl. I S. 2329.

34. BImSchV: Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung). In: BGBl. I S. 516. Zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. Mai 2021. In: BGBl. I S. 1251.

AEUV: Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union. In: ABl. 2012, C 326/47.

Beschluss der Kommission 2011/229/EU: Beschluss über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem „Fahrzeuge — Lärm“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems. In: ABl. 2015 L 99/2011.

BFStrMG: Gesetz über die Erhebung von streckenbezogenen Gebühren für die Benutzung von Bundesautobahnen und Bundesstraßen (Bundesfernstraßenmautgesetz). In: BGBl. I S. 1378. Zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 21. November 2023. In: BGBl. 2023 I Nr. 315.

Bundesschienenwegeausbaugesetz: Gesetz über den Ausbau der Schienenwege des Bundes. In: BGBl. I S. 1874. Zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 3. Juli 2024. In: BGBl. 2024 I Nr. 224.

Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 der Kommission: Durchführungsverordnung zur Festlegung der Modalitäten für die Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen. In: ABL 2015 L 70/36.

Durchführungsverordnung (EU) 2018/545 der Kommission: Durchführungsverordnung über die praktischen Modalitäten für die Genehmigung für das Inverkehrbringen von Schienenfahrzeugen und die Genehmigung von Schienenfahrzeugtypen gemäß der Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates. In: ABL 2018 L 90/66.

Durchführungsverordnung (EU) 2019/774 der Kommission: Durchführungsverordnung zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 in Bezug auf die Anwendung der technischen Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Lärm“ auf Bestandsgüterwagen. In: ABL 2019 L 139 I/89.

Durchführungsverordnung (EU) 2023/1694 der Kommission: Durchführungsverordnung zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 321/2013, (EU) Nr. 1299/2014, (EU) Nr. 1300/2014, (EU) Nr. 1301/2014, (EU) Nr. 1302/2014, (EU) Nr. 1304/2014 und der Durchführungsverordnung (EU) 2019/777. In: ABL 2023 L 222/88.

Durchführungsverordnung (EU) 2024/327 der Kommission: Durchführungsverordnung zur Aufhebung der Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 der Kommission zur Festlegung der Modalitäten für die Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen. In: ABL 2024 L.

EBO: Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung. In: BGBl. 1967 II S. 1563. Zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 5. April 2019. In: BGBl. I S. 479.

ERegG: Eisenbahnregulierungsgesetz. In: BGBl. I S. 2082. Zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 9. Juni 2021. In: BGBl. I S. 1737.

Förderrichtlinie „TSI Lärm+“: Förderrichtlinie des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur zur Förderung der Beschaffung neuer Güterwagen oder des Umbaus von Bestandsgüterwagen, die den Grenzwert für das Vorbeifahrgeräusch der TSI Fahrzeuge - Lärm unterschreiten. Vom 6. Juli 2017.

GG: Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland. In: Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung. Zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Dezember 2022. In: BGBl. I S. 2478.

OJ L202400327: Durchführungsverordnung (EU) 2024/327 der Kommission vom 19. Januar 2024 zur Aufhebung der Durchführungsverordnung (EU) 2015/429 der Kommission zur Festlegung der Modalitäten für die Anlastung der Kosten von Lärmauswirkungen.

RegG: Gesetz zur Regionalisierung des öffentlichen Personennahverkehrs (Regionalisierungsgesetz). In: BGBl. I S. 2378, 2395. Zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. April 2023. In: BGBl. 2023 I Nr. 107.

Richtlinie 804.5501: Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke): Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken. Vom 1. November 2007.

Richtlinie (EU) 2002/49/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates: Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. In: ABl. 2002 L 189/12.

Richtlinie (EU) 2012/34/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates: Richtlinie zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Eisenbahnraums (Neufassung). In: ABl. 2012 L 343/32.

Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlamentes und des Rates: Richtlinie über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union (Neufassung). In: ABl. 2016 L 138/44.

Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes – überarbeitete Fassung 2022 –. In: VkBl. Amtlicher Teil 12/2022 S. 402.

SchlärmschG: Gesetz zum Verbot des Betriebs lauter Güterwagen (Schienenlärmschutzgesetz). In: BGBl. I S. 2804. Zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Juni 2021. In: BGBl. I S. 1730.

Verordnung (EU) Nr. 321/2013 der Kommission: Verordnung über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Güterwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union und zur Aufhebung der Entscheidung 2006/861/EG der Kommission. In: ABl. 2013 L 104/1.

Verordnung (EU) Nr. 651/2014 der Kommission: Verordnung zur Feststellung der Vereinbarkeit bestimmter Gruppen von Beihilfen mit dem Binnenmarkt in Anwendung der Artikel 107 und 108 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union. In: ABl. 2014 L 187/1.

Verordnung (EU) Nr. 1300/2014 der Kommission: Verordnung über die technischen Spezifikationen für die Interoperabilität bezüglich der Zugänglichkeit des Eisenbahnsystems der Union für Menschen mit Behinderungen und Menschen mit eingeschränkter Mobilität. In: ABl. 2014 L 356/110.

Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 der Kommission: Verordnung über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Lärm“ sowie zur Änderung der Entscheidung 2008/232/EG und Aufhebung des Beschlusses 2011/229/EU. In: ABl. 2014 L 356/421.

Verordnung (EU) 2021/1153 des Europäischen Parlamentes und des Rates: Verordnung zur Schaffung der Fazilität „Connecting Europe“ und zur Aufhebung der Verordnungen (EU) Nr. 1316/2013 und (EU) Nr. 283/2014. Verordnung (EU) 2021/1153 des Europäischen Parlamentes und des Rates. In: ABl. 2021 L 249/38.

Gerichtsurteile

BVerwG, Urt. v. 07.03.2007 – Az. 9 C 2.06.

BVerwG, Urt. v. 28.04.2016 – Az. 4 A 2/15.

BVerwG, Urt. v. 22.11.2018 – 7 C 7.17.

VG Stuttgart, Beschluss v. 18.10.23 – 6 K 5390/23.

Hessischer VGH, Beschluss v. 30.08.2021 – 9 A 1635/18.Z.

Normen und Regelwerke

DIN EN ISO 3095:2014-07: Akustik – Bahnanwendungen – Messung der Geräuschemissionen von spurgebunden Fahrzeugen (ISO 3095:2013); Deutsche Fassung EN ISO 3095:2013.

DIN EN 15610:2009: Bahnanwendungen - Geräuschemission - Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch; Deutsche Fassung EN 15610:2009.

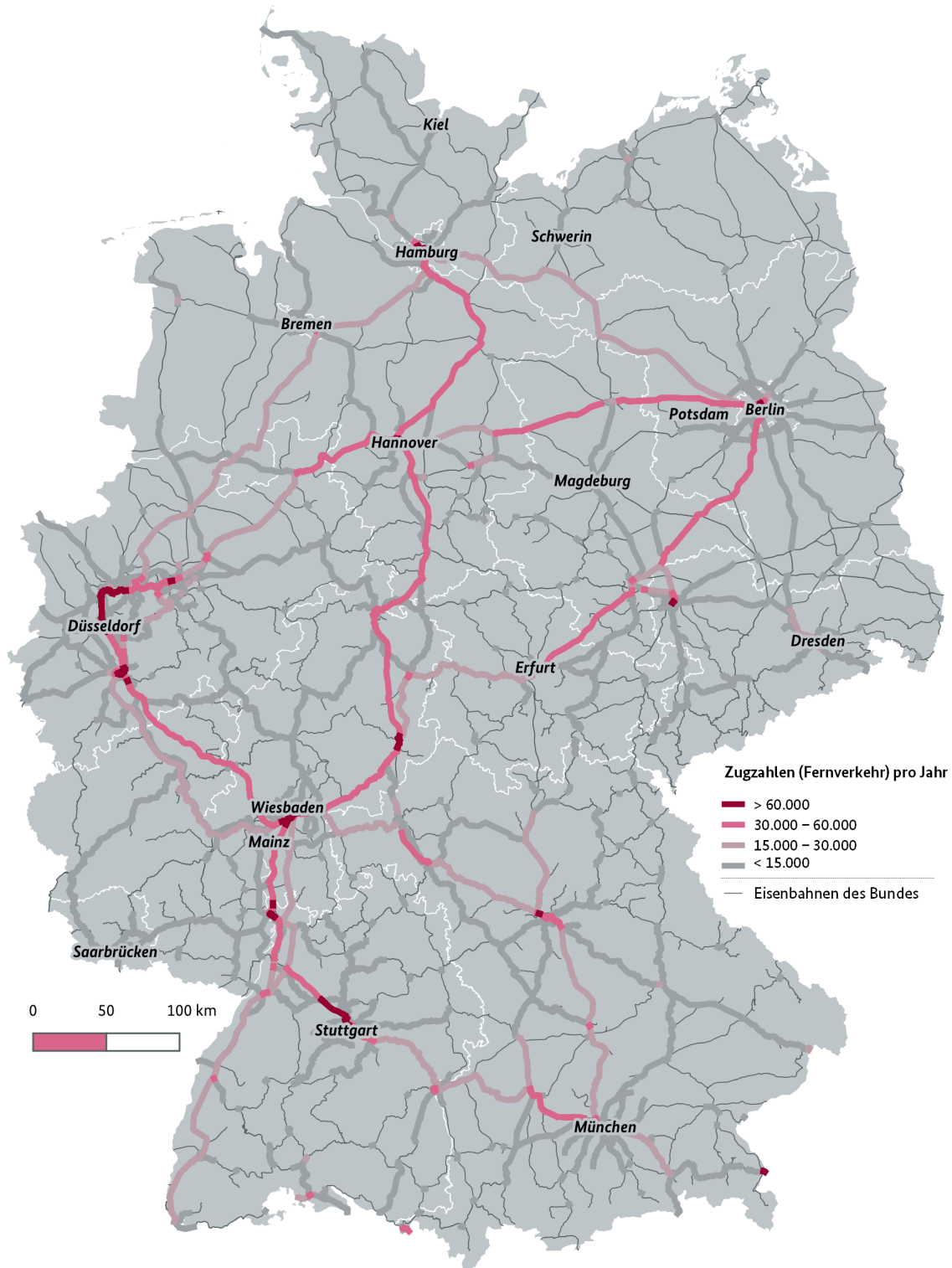
DIN EN 15461:2011: Bahnanwendungen - Schallemission - Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtgeräuschmessungen; Deutsche Fassung EN 15461:2008+A1:2010 (Foreign Standard).

ISO 1996-1:2003-08: Akustik - Beschreibung, Messung und Beurteilung von Umgebungslärm - Teil 1: Grundlegende Größen und Beurteilungsverfahren

A Anhang

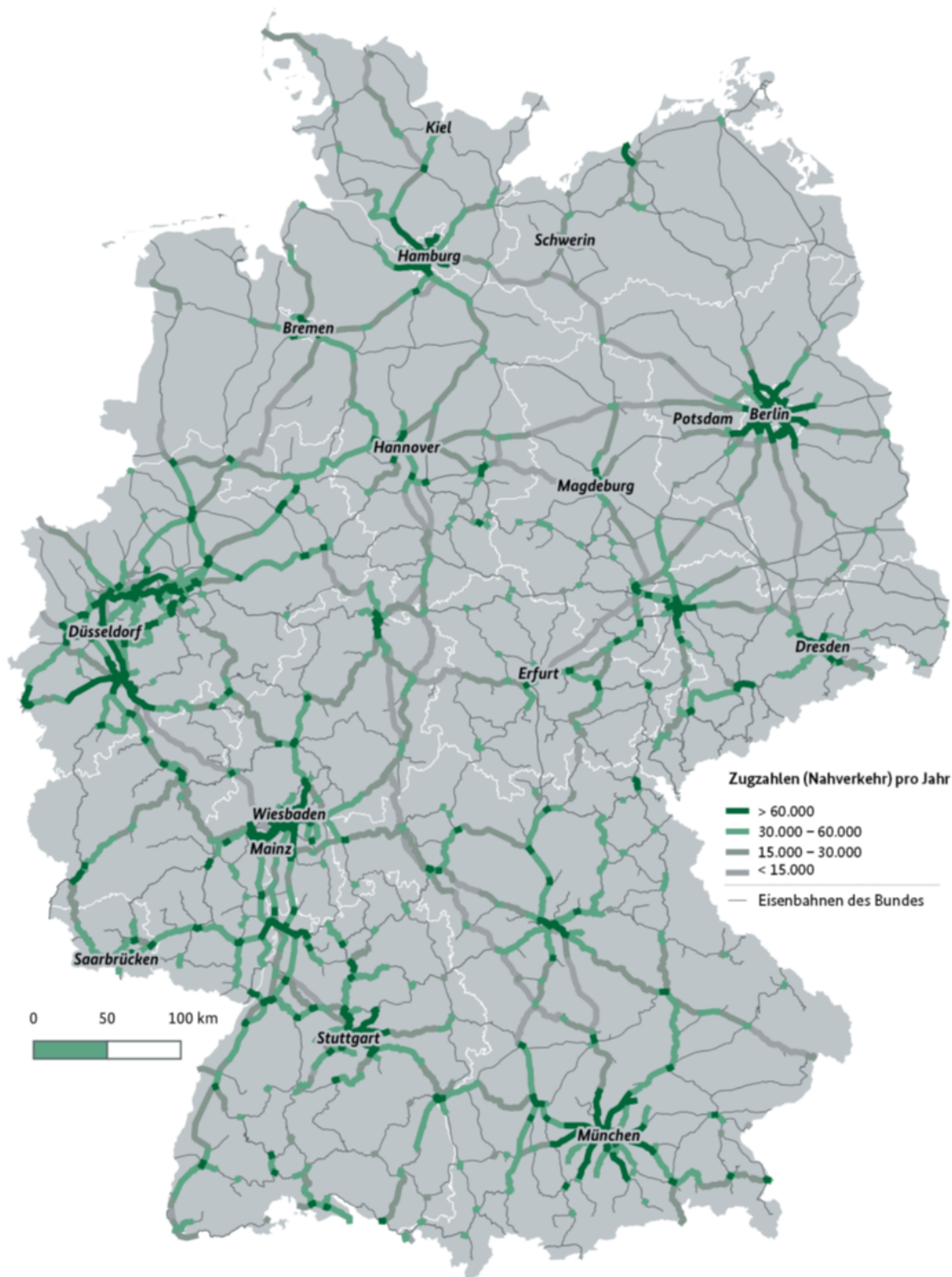
A.1 Verkehrsaufkommen auf den Haupteisenbahnstrecken von SPFV, SPNV und SGV

Abbildung 45: Verkehrsaufkommen des SPFV auf den Haupteisenbahnstrecken



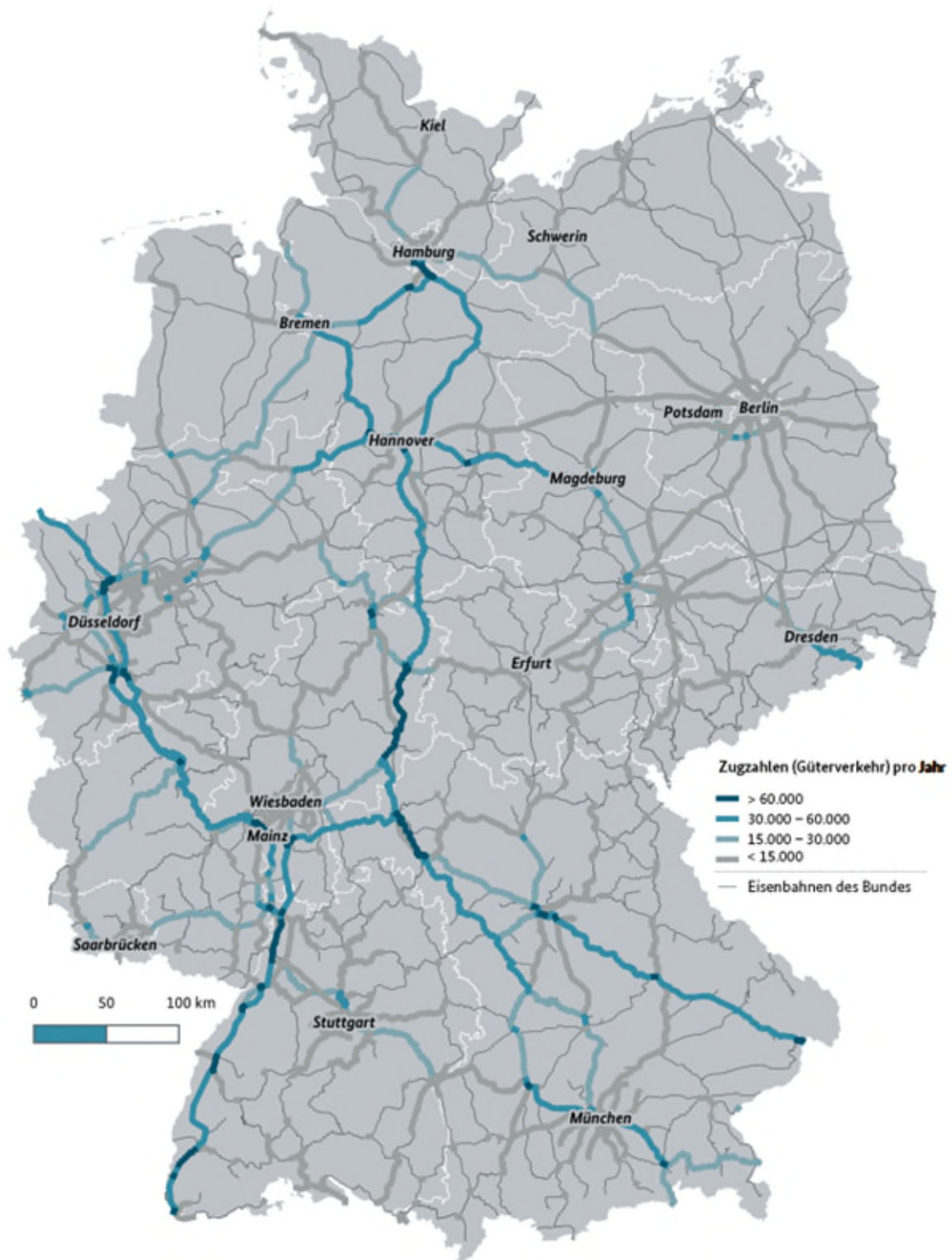
Quelle: EBA (2024): Lärmaktionsplan an Schienenwegen des Bundes Runde 4 (veröffentlicht 2024), S. 35.

Abbildung 46: Verkehrsaufkommen des SPNV auf den Haupteisenbahnstrecken



Quelle: EBA (2024): Lärmaktionsplan an Schienenwegen des Bundes Runde 4 (veröffentlicht 2024), S. 36.

Abbildung 47: Verkehrsaufkommen des SGV auf den Haupteisenbahnstrecken



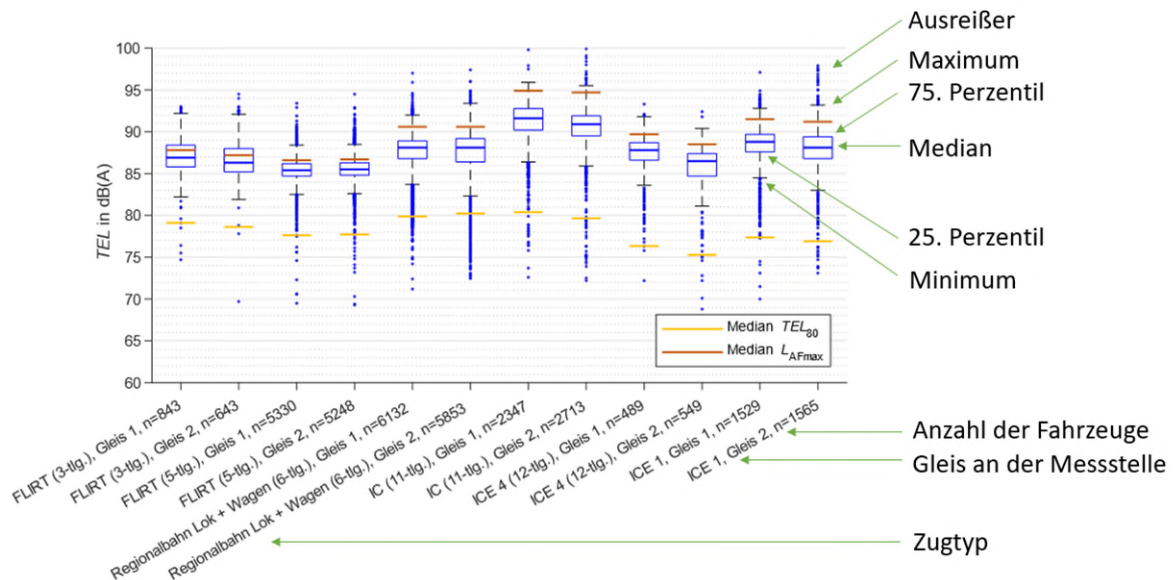
Quelle: EBA (2024): Lärmaktionsplan an Schienenwegen des Bundes Runde 4 (veröffentlicht 2024), S. 37.

A.2 Erläuterung zu Boxplots

Für die Datenvisualisierung wurden Boxplots, auch Kastengrafiken genannt, erstellt. In Abbildung 48 ist beispielhaft ein Boxplot visualisiert. Der Boxplot setzt sich zusammen aus einem Kasten mit zwei Antennen, auch als Whiskers bezeichnet. Die untere Grenze des Kastens stellt das 25. Perzentil und die obere Grenze das 75. Perzentil des Datensatzes dar. Der Median ist gekennzeichnet durch einen horizontalen Strich innerhalb des Kastens. Die Antennen repräsentieren das Minimum bzw. Maximum des Datensatzes ohne Ausreißer. Diese Ausreißer sind Datenpunkte, die in einem größeren Abstand als dem 1,5-fachen Interquartilsabstand IQR zu den Kanten des Kastens (dem 75. bzw. 25. Perzentil) liegen. Der Interquartilsabstand IQR ist die Differenz aus diesen beiden Perzentilen. Die Ausreißer werden als Punkte unter, bzw. über, den Antennen dargestellt. Der horizontale orange Strich zeigt den Median für L_{AFmax} und der horizontale gelbe Strich den Median für TEL_{80} .

Die Achsenbeschriftung gibt den Zugtypen, das Gleis der Messstelle sowie die Anzahl der Fahrzeuge in einem Datensatz mit dem Parameter n an.

Abbildung 48: Beispielhafte Darstellung eines Boxplots mit Beschriftung der Merkmale.



Quelle: Eigene Berechnungen mit Daten des Eisenbahn-Bundesamtes.

A.3 Kosten und Nutzen der Maßnahmen

Die in diesem Gutachten angegebenen Kostensätze geben die Einschätzungen der Gutachter*innen wieder. Diese beruhen auf Informationen von Marktteilnehmern und Expert*innen, die teils im langjährigen Austausch gewachsen sind und teils in bilateralen, auch vertraulichen Gesprächen im Rahmen der Erstellung dieses Gutachtens eingeholt wurden. Für die Maßnahmen zur Lärminderung existieren in der Regel keine öffentlich zugänglichen Preislisten, da sie zwischen den beteiligten Unternehmen bilateral ausgehandelt werden. Zudem beziehen sich die Empfehlungen der Gutachter*innen in vielen Fällen auf Produkte, die sich entweder noch in der Entwicklung befinden oder derzeit nur in sehr geringen Stückzahlen von einzelnen Anbietern hergestellt werden. In diesen Fällen oblag es den Gutachter*innen, die zukünftigen Preise dieser Produkte abzuschätzen, wenn sie fertig entwickelt und in großen Stückzahlen von verschiedenen Herstellern im Wettbewerb angeboten werden.

A.3.1 Kosten des akustisch ordnungsgemäßen Zustandes der Eisenbahninfrastruktur

Kosten der „glatten Schiene“

Die „glatte Schiene“ soll an allen bewohnten Gebieten umgesetzt werden. Der Umfang dieser Strecken wird auf 10.000 Streckenkilometer geschätzt. Basis hierfür ist der Umfang der Strecken, die die Auslösewerte der Lärmsanierung erfüllen (8.500 km)⁵³⁸, ergänzt um einen Aufschlag für diejenigen Strecken, die nicht der Lärmsanierung unterliegen, sondern z. B. der Lärmvorsorge. Unter der Annahme, dass die durchschnittliche Strecke zweigleisig ist, wird eine Gesamtlänge von 20.000 Gleiskilometern veranschlagt.

Die Kosten für das Messen der Schienenrauheit sind gegenüber denen für das Schleifen vernachlässigbar. Für das akustische Schleifen werden Kosten in Höhe von 10 Euro pro Meter Gleis angesetzt; dies deckt auch die Kapitalkosten der eingesetzten Schleifwagen, so dass kein zusätzlicher Investitionsbedarf für diese zu berücksichtigen ist. Unter der Annahme, dass das akustische Schleifen alle fünf Jahre vorgenommen wird, fallen für das akustische Schleifen der 20.000 Gleiskilometer **jährliche Kosten in Höhe von 40 Mio. Euro** an.

Zum Vergleich: Eine Nutzenbewertung dieser Einzelmaßnahme wurde nicht vorgenommen, für das Gesamtpaket aller Maßnahmen wird jedoch bereits für den Fall der mittleren Umsetzung ein volkswirtschaftlicher Nutzen von 243 Mio. Euro aufgrund der Lärminderung ermittelt (siehe Teil A.3.3 dieses Anhangs). Die jährlichen Kosten in Höhe von 40 Mio. Euro entsprechen weniger als 2 % der gesamten Instandhaltungskosten der DB InfraGO, Geschäftsbereich Fahrweg, der letzten Jahre.⁵³⁹ Mit jährlich 40 Mio. Euro können die jährlichen Kosten von 333 km Schallschutzwänden üblicher Bauart gedeckt werden.⁵⁴⁰

Bedarf Schleifmaschinen und Streckensperrungen: Es ist anzunehmen, dass eine Schleifmaschine zur Schienenbearbeitung mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 km/h in Betrieb ist und damit pro Jahr 20.000 Stunden Bearbeitungsaufwand für das Gleis- bzw. Streckennetz der „glatten Schiene“ benötigt werden. Mit einer angesetzten Schichtdauer von fünf Stunden ergeben sich daraus insgesamt 4.000 Arbeitseinsätze. Unter Berücksichtigung von technischen Ausfällen,

⁵³⁸ BMDV (2022b): Gesamtkonzept der Lärmsanierung 2022, S. 7.

⁵³⁹ Die Instandhaltungskosten für den Fahrweg liegen über 2,5 Mrd. Euro pro Jahr. Siehe Deutsche Bahn (2023b): Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2022, S. 31, und Deutsche Bahn (2024b): Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2023, S. 29.

⁵⁴⁰ Für eine typische Schallschutzwand mit 3 m Höhe können Baukosten in Höhe von 2.760 Euro pro Meter und jährliche Instandhaltungs- und Wartungskosten in Höhe von 10.000 Euro pro km angesetzt werden (Liepert et al. (2022): Evaluierung der Umsetzung des Lärmsanierungsprogramms an Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes, S. 39). Bei einer erwarteten Lebensdauer von 25 Jahren liegen die Lebenszykluskosten somit bei 120.000 Euro pro km.

Reparatur- und Wartungsarbeiten an der Schleifmaschine und des gelegentlichen Eintretens von für das Schleifen ungünstigen Witterungsbedingungen stehen jährlich etwa 200 Arbeitstage zur Verfügung. Somit ergibt sich eine Bearbeitungsdauer von 20 Jahren für das akustische Schleifen der relevanten Netzlänge. Durch diese Arbeiten werden daher auf dem deutschen Netz im Mittel **vier Schleifwagen** kontinuierlich ausgelastet, um die gesamte Netzlänge von 20.000 km innerhalb von fünf Jahren genau einmal zu bearbeiten. Außerdem folgt daraus, dass **jeder Gleisabschnitt der „glatten Schiene“ einmal pro Jahr gesperrt werden muss (eingleisige Streckensperrungen)**, um das akustische Schleifen durchzuführen.

Kosten für innovative, hochdämpfende Zwischenlagen

Zur Einhaltung des Standards für die Gleisabklingrate (orientiert an der DIN EN ISO 3095:2014) wird an Strecken mit Höchstgeschwindigkeiten über 160 km/h die Verwendung von innovativen, hochdämpfenden Zwischenlagen empfohlen, die bereits entwickelt wurden oder sich in Entwicklung befinden. Die Gutachter*innen gehen davon aus, dass die teilweise in der Betriebserprobung befindlichen innovativen, hochdämpfenden Zwischenlagen keine oder nur unwesentliche Zusatzkosten in Form eines erhöhten Oberbauverschleißes generieren oder dass solche hochdämpfenden Zwischenlagen zeitnah entwickelt werden können.

Nach Beck, Kleinert (2014) gibt es etwa 15.000 Gleis-km mit Höchstgeschwindigkeiten über 160 km/h.⁵⁴¹ Nimmt man analog zur Betrachtung des akustischen Schleifens an, dass ein Drittel dieser Strecken bzw. Gleise an bewohnten Gebieten liegt, ergibt sich eine Gleislänge von 5.000 km mit Höchstgeschwindigkeiten über 160 km/h, die durch bewohntes Gebiet führen und mit den innovativen, hochdämpfenden Zwischenlagen auszustatten sind. Da pro Strecken-km 3.333 Zwischenlagen verbaut werden, werden also 16,7 Mio. dieser Zwischenlagen benötigt. Die Mehrkosten für die innovativen Zwischenlagen, welche im Rahmen der regulären Instandhaltungsmaßnahmen sukzessive die konventionellen Zwischenlagen ersetzen sollen, liegen nach Einschätzung der Gutachter*innen bei 0,5 Euro pro Stück. Damit ergeben sich Gesamtmehrkosten von 8,4 Mio. Euro für die einmalige Ausstattung der relevanten Gleislänge. Durch den sukzessiven Austausch verteilen sich diese auf viele Jahre. Die Zwischenlagen werden bei allfälligen Gleiserneuerungen durch neue ersetzt. Setzt man die Standzeit einer Zwischenlage mit nur 10 Jahren an, so kommt man bereits auf jährliche Kosten von 840.000 Euro für diese lärmindernde Maßnahme.

Bei den Zwischenlagen wird daher ein signifikantes Kostenthema nur dann auftreten, wenn sich herausstellen sollte, dass sie doch zu einem erhöhten Oberbauverschleiß führen. In dem Fall müsste eine separate Nutzen-Kosten-Analyse unter Berücksichtigung der Lärmwirkung angestellt werden.

A.3.2 Ausstattung und Einsatzlenkung von lärmarmen Güterwagen

Kosten, Profitabilität und Direktförderung

Die folgenden Berechnungen beziehen sich auf vierachsige Güterwagen, da diese in Deutschland rund 80 % der Güterwagenflotte ausmachen.⁵⁴²

In UBA (2017) wurden die Anschaffungskosten für die Ausrüstung eines neuen Güterwagens mit Scheibenbremsen und Rädern mit geradem Steg mit 50.000 Euro pro Wagen angegeben,

⁵⁴¹ Beck, Kleinert (2014): Elastische Komponenten für den Oberbau 2020, Abbildung 2.

⁵⁴² Liebing (2018): Quantifizierung des Umrüstungsbedarfs der Güterwagenflotten in Deutschland und den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union für verschiedene rechtliche Szenarien, S. 34.

diejenigen für Klotzbremsen mit K-Sohlen und herkömmlichen Rädern mit 27.000 Euro.⁵⁴³ Die Gutachter*innen empfehlen zur Lösung des in Abschnitt 3.6.2.1 beschriebenen Ausbröcklungsproblems bei scheibengebremsen Güterwagen zusätzlich die Installation eines Gleitschutzes. Ein Gleitschutz wird derzeit nur bei Personenwagen eingesetzt. Zu den voraussichtlichen Kosten des Gleitschutzes für einen Güterwagen erhielten die Gutachter*innen verschiedene, teils divergierende Informationen, welche teils deutlich unter 10.000 Euro pro Wagen liegen (mit Preisstand 2021), doch soll aus Vorsichtsgründen dennoch dieser Kostensatz verwendet werden. Aus einer allgemeineren Perspektive soll damit ein Kostensatz zur Vermeidung des Ausbröcklungsproblems bei Scheibenbremsen angegeben werden, auch für den Fall, dass zu diesem Zweck eine andere Lösung als die Ausstattung mit Gleitschutz gewählt wird.

Um der Preisentwicklung seit Mitte 2021 Rechnung zu tragen, werden im Folgenden die Kostenangaben von UBA (2017) sowie für den Gleitschutz um den Faktor 1,2 erhöht. Aus diesem Grund werden die gegenwärtigen Anschaffungskosten für Scheibenbremse, Räder mit geradem Radsteg und Gleitschutz auf 72.000 Euro und diejenigen für Klotzbremse mit K-Sohlen auf 32.400 Euro geschätzt. Dies ergibt eine Differenz der Anschaffungskosten von knapp 40.000 Euro pro Wagen.

Unter der Annahme, dass damit das Ausbröcklungsproblem bei Scheibenbremsen nicht mehr auftritt, weisen scheibengebremsen Wagen geringere Betriebskosten (Radverschleiß) auf als mit K-Sohlen gebremste Wagen. Analog zu entsprechenden Berechnungen in UBA (2017), die in diesem Gutachten in Abbildung 32 wiedergegeben wurden, ergibt sich mit den aktuellen Zahlenwerten, dass bei Neuwagen die Nutzung von Scheibenbremsen ab einer jährlichen Laufleistung von etwa 69.000 km kostengünstiger als die Nutzung von Klotzbremsen mit K-Sohlen ist.⁵⁴⁴ Wagen des kombinierten Verkehrs weisen oft eine jährliche Laufleistung von weit über 150.000 km auf. Bei einer jährlichen Laufleistung von 150.000 km ergibt sich bereits ein Kostenvorteil von 46.700 Euro über die erwartete Lebensdauer von 35 Jahren bzw. 1.300 Euro pro Jahr für den scheibengebremsen Wagen.

In dieser Kostenermittlung sind Einführungs- und Systemkosten, die aufgrund der derzeit noch geringen Marktdurchdringung von Scheibenbremsen entstehen, nicht enthalten. Im Hinblick auf diese Einführungs- und Systemkosten empfehlen die Gutachter*innen eine staatliche Förderung in Höhe von 40 % der Differenz der Anschaffungskosten (somit $0,4 \cdot 40.000 = 16.000$ Euro) für die ersten 3.500 Wagen des kombinierten Verkehrs. Die Anzahl der geförderten Wagen wurde so gewählt, dass unter der Annahme, dass nur Ersatzinvestitionen getätigt werden, nach Beendigung der Förderung 10 % der in Deutschland existierenden Wagen des kombinierten Verkehrs mit Scheibenbremsen ausgestattet sind. Mit diesem Grad der Marktdurchdringung ist eine signifikante Senkung der Systemkosten zu erwarten, wodurch die Attraktivität von Scheibenbremsen auch nach dem Auslaufen der Förderung erhalten bleibt. Die budgetären Kosten für den Staatshaushalt belaufen sich dabei auf insgesamt 56 Mio. Euro.

Während die Fördersumme das staatliche Budget belastet, ist sie aus volkswirtschaftlicher Sicht eine reine Umverteilung, also irrelevant für die volkswirtschaftlichen Kosten. Setzt man allerdings die Einführungs- und Systemkosten mit der gleichen Summe von 56 Mio. Euro an, so handelt es sich um volkswirtschaftliche Kosten. Dem stehen die betrieblichen Kostensenkungen der Unternehmen aus dem Einsatz der Scheibenbremsen gegenüber, welche direkt auch die volkswirtschaftlichen Kosten mindern. Wenn bei den ersten 3.500 neuen Güterwagen der oben

⁵⁴³ UBA (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, S. 93.

⁵⁴⁴ Wie in UBA (2017) werden hier die Lebenszykluskosten ohne Berücksichtigung einer Verzinsung verglichen. Während dort die Laufzeit eines Bremssystems mit 25 Jahren angenommen wurde, wird sie hier mit 35 Jahren angenommen. Daher ergibt sich trotz des höheren Kostendifferenzials in Relation zu den Anschaffungskosten eines Klotzbremssystems ungefähr die gleiche kritische Laufleistung, bei der die Kosten übereinstimmen.

genannte Zusatzgewinn von 46.700 Euro über die Lebensdauer realisiert wird, dann beläuft sich dies auf 163 Mio. Euro. Im Vergleich dieser Zahlen ergibt sich also ein **volkswirtschaftlicher Gewinn** (in der Form von Kostenvermeidung) in Höhe von $163 - 56 = 107$ Mio. Euro durch die Umsetzung dieses Maßnahmenpakets allein bei den ersten 3.500 Güterwagen und noch vor Berücksichtigung des volkswirtschaftlichen Nutzens der Lärminderung.⁵⁴⁵

Lärmabhängiges Trassenpreissystem

Neben der staatlichen Förderung für die Anschaffung scheibengebremsster Neuwagen im kombinierten Verkehr empfehlen die Gutachter*innen die Einführung eines lärmabhängigen Trassenpreissystems. Dieses soll zeitlich unbefristet auf besonders lärmbelasteten Strecken einen monetären Anreiz bieten, ausschließlich lärmarme Güterwagen zu lärmarmen Zügen zusammenzustellen und auf diesen Strecken verkehren zu lassen. Die Gutachter*innen schlagen für lärmarme Güterzüge eine Reduktion der Trassenpreise um 10 % vor. So würde ein lärmarmen Güterzug auf diesen speziellen Strecken heute nur 2,89 Euro anstatt 3,21 Euro pro Trassenkilometer zahlen. Die Kosten für das Poolen von lärmarmen Güterwagen zu einem lärmarmen Zug werden in einer Studie für das EBA auf rund 40 Euro pro Wagen beziffert.⁵⁴⁶ In Hinblick auf die Trassenpreisförderung ist folglich das Zusammenstellen einer Garnitur von leisen Güterwagen für einen Betreiber lohnend, wenn diese lärmarme Garnitur insgesamt mehr als 3.500 Kilometer auf Strecken unterwegs ist, auf denen das lärmabhängige Trassenpreissystem Anwendung findet. Wenn das Trassenpreisdifferential zum Beispiel auf dem deutschen Abschnitt des Rhein-Alpin-Korridors gewährt wird, wird die kritische Distanz von 3.500 Kilometer von einem lärmarmen Güterzug des kombinierten Verkehrs, der in stabiler Garnitur dort überwiegend eingesetzt wird, rasch erreicht.

Zudem gibt das Trassenpreisdifferential den Anreiz, lärmarme Güterzüge rein zu halten: Wenn ein EVU auf einem bestimmten Weg, auf dem das lärmabhängige Trassenpreissystem Anwendung findet, einen lärmarmen Güterzug einsetzt und außerdem in einer bestimmten Situation einen einzelnen nicht lärmarmen Güterwagen hat, der gerade denselben Weg zurücklegen soll, so hat das EVU ab einer Weglänge von 125 km den Anreiz, den nicht lärmarmen Wagen stattdessen einem anderen Güterzug anzuhängen, der ohnehin aus nicht lärmarmen Wagen besteht. Denn ab 125 km übersteigt das Trassenpreisdifferential von 0,31 Cent die Allokationskosten von 40 Euro, so dass der Anreiz besteht, lärmarme Güterzüge rein zu halten. Für die Anwohnenden ist dies wichtig.

Davon abgesehen stellt der Trassenpreisvorteil auch einen zusätzlichen Anreiz für die Ausstattung neuer Güterwagen mit Scheibenbremsen dar.

A.3.3 Volkswirtschaftlicher Nutzen der Maßnahmen

Für die Berechnung des volkswirtschaftlichen Nutzens von Lärminderungen ist nicht allein die Anzahl der hochbelasteten Personen relevant, sondern die dB(A)-Minderung multipliziert mit der Anzahl dieser Personen, doch werden dabei nur die hochbelasteten Personen berücksichtigt, also diejenigen, die einer Belastung von mehr als 55 dB(A) ausgesetzt sind. Entsprechend der

⁵⁴⁵ Auch die Nutzung der innovativen, lärmarmen Drehgestelle führt bei hohen Laufleistungen zu einem moderaten betriebswirtschaftlichen Gewinn (ohne Berücksichtigung der Einführungs- und Systemkosten). Dies wird hier nicht erneut abgeschätzt, da es im Rahmen des Projekts „Innovativer Güterwagen“ auf Basis vertraulicher Informationen von Marktteilnehmern bereits gezeigt wurde. Siehe SCI Verkehr (2019): Leise, energieeffizient, wirtschaftlich. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“. Abschlussbericht der Wirtschaftlichkeitsprüfung, S. 45f.

⁵⁴⁶ Liebing (2018): Quantifizierung des Umrüstungsbedarfs der Güterwagenflotten in Deutschland und den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union für verschiedene rechtliche Szenarien, S. 22. Im Fall des kombinierten Verkehrs fallen diese Kosten jedoch nicht bei jedem Wageneinsatz, sondern nur gelegentlich an, da diese Wagen in relativ stabilen Garnituren eingesetzt werden.

Förderrichtlinie Lärmsanierung wird bei diesen für eine Minderung der Belastung um 1 dB(A) der Geldwert von 77 Euro pro Person und Jahr angesetzt.⁵⁴⁷

Hinsichtlich der Verkehrsentwicklung wird ein mittlerer Fall zugrunde gelegt, der zwischen der Trendprognose und der Verkehrswendprognose liegt. Für die Belastetenzahlen wird die vereinfachte Gesamtprognose der Lärmimmissionen zugrunde gelegt, die in Abschnitt 6.3.3 dargestellt wird. Die detailliertere Prognose unter Berücksichtigung von Struktureffekten in Teilgebieten (Abschnitt 6.3.4) führt auf strukturell ähnlich Ergebnisse, jedoch auf Basis einer kleineren Grundgesamtheit.

Im Status quo (keine empfohlene Maßnahme, keine Fortführung der Lärmsanierung) steigt die Zahl der Belasteten aufgrund der Verkehrsentwicklung auf 3,15 Mio. Menschen; dies ist der Mittelwert der entsprechenden Einträge in Tabelle 18 sowie Tabelle 19. Beim mittleren bzw. hohen Umsetzungsgrad der empfohlenen Maßnahmen werden diese Menschen um 1 bzw. 2,5 dB(A) entlastet, bei vollständiger Umsetzung sind es 5 dB(A); siehe Tabelle 17.

Es ergibt sich bei mittlerer Umsetzung ein jährlicher volkswirtschaftlicher Nutzen in Höhe von $3,15 \text{ Mio. Personen} \cdot 1 \text{ dB(A)} \cdot 77 \text{ Euro pro dB(A) und Person} = 243 \text{ Mio. Euro}$. Bei hoher Umsetzung ergeben sich entsprechend 606 Mio. Euro pro Jahr, bei vollständiger Umsetzung 1,212 Mrd. Euro pro Jahr.

Da dieser Nutzenstrom zeitlich unbegrenzt anfällt, ergibt sich unter der Annahme einer volkswirtschaftlichen Diskontrate von 5 % ein Gegenwartswert der hier empfohlenen Maßnahmen in Höhe von knapp 4,9 Mrd. Euro bei mittlerer Umsetzung und 12 Mrd. Euro bei hoher Umsetzung. Bei vollständiger Umsetzung beträgt der Gegenwartswert 24 Mrd. Euro.

⁵⁴⁷ Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes – überarbeitete Fassung 2022, Anhang 1.