
Innovationen im Lärmschutz: Charakterisierung, Bewertung und Umsetzung

Fachveröffentlichung
der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen

Innovationen im Lärmschutz: Charakterisierung, Bewertung und Umsetzung

Ergebnisse und Perspektiven eines
verkehrsträgerübergreifenden Fachdialogs

von

Fabio Strigari, Michael Chudalla

BAST – Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
Bergisch Gladbach

Jenny Böhm

DZSF – Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
beim Eisenbahn-Bundesamt
Dresden

Markus Duschl

BfG - Bundesanstalt für Gewässerkunde
Koblenz

Fachveröffentlichung
der Bundesanstalt
für Straßen- und Verkehrswesen

Impressum

Referat:

V3 - Umweltschutz, Immissionen

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen

Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach

Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Gestaltungskonzept:

MedienMélange:Kommunikation

Bergisch Gladbach, September 2025

DOI: <https://doi.org/10.60850/fv-v7>

Inhalt

1	Einleitung	7
1.1	Lärmschutz im verkehrsträgerübergreifenden Diskurs	7
1.2	Hintergrund und Ziele	7
2	Entwicklung und Umsetzung innovativer Maßnahmen	9
2.1	Akustische Anforderungen	9
2.2	Nicht-akustische Anforderungen	10
2.3	Entwicklungsschritte	10
2.4	Regulatorische und systemische Herausforderungen	11
3	Verkehrsträgerübergreifende Forschungsansätze	13
3.1	Lärmschutzwände	13
3.2	Weitere Themen	14
4	Akustische Charakterisierung und Immissionsberechnung	16
4.1	Mess- und Beurteilungsverfahren	16
4.1.1	Charakterisierung der Eigenschaften von Lärmschutzwänden	16
4.1.2	Akustische Charakterisierung von Aufsätzen	17
4.1.3	Messung der akustischen Wirksamkeit im Feld	17
4.2	Wahrnehmungsbezogene Bewertung	17
4.2.1	Derzeitige Pegelbetrachtung	17
4.2.2	Psychoakustische Bewertung	18
4.2.3	Potenzielle Erweiterung der Bewertungskriterien	18
5	Fazit und Ausblick	20
	Literatur	21

1 Einleitung

1.1 Lärmschutz im verkehrsträgerübergreifenden Diskurs

Im Rahmen des Workshops „Innovationen im Lärmschutz – Charakterisierung, Bewertung und Umsetzung“ wurden aktuelle Entwicklungen und zukünftige Perspektiven im Verkehrslärmschutz diskutiert. Ziel war es, Erkenntnisse aus Forschung und Praxis zusammenzuführen, Erfahrungen auszutauschen und Potenziale innovativer Ansätze auszuloten – insbesondere im Hinblick auf ihre Übertragbarkeit zwischen den Verkehrsträgern Straße, Schiene und Wasserstraße.

Die Diskussionen zeigten, dass sich viele Herausforderungen im Lärmschutz verkehrsträgerübergreifend ähneln, etwa bei der Gestaltung bzw. Entwicklung wirksamerer Lärmschutzwände, der Integration zusätzlicher Funktionen wie Photovoltaik oder bei der Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen. Zugleich wurden Unterschiede in den Rahmenbedingungen deutlich, die eine differenzierte Betrachtung erforderlich machen.

Ein Augenmerk galt auch der Rolle psychoakustischer Ansätze, mit denen die subjektive Lärmwahrnehmung besser erfasst und bei der Planung berücksichtigt werden kann. Darüber hinaus wurden Forschungsbedarfe bei der akustischen Charakterisierung, der methodischen Bewertung sowie der praxisnahen Umsetzung identifiziert. Die Ergebnisse des Workshops liefern wertvolle Impulse für eine zukunftsorientierte, systemisch gedachte Weiterentwicklung des Verkehrslärmschutzes.

1.2 Hintergrund und Ziele

Innovative Lärmschutzmaßnahmen gewinnen zunehmend an Bedeutung, um den steigenden Anforderungen an eine wirksame Minderung von Verkehrslärm gerecht zu werden. Sie bieten die Möglichkeit, über konventionelle Ansätze hinauszugehen und zusätzliche Potenziale durch neue Wirkmechanismen, verbesserte akustische Eigenschaften oder angepasstes Design zu erschließen. Dabei sind nicht nur technische Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit von Lärmschutzmaßnahmen entscheidend, sondern auch Faktoren wie Akzeptanz durch Anwohnende oder ergänzende Funktionen (beispielsweise mit ökologischem Zusatznutzen). Als innovativ werden demnach Maßnahmen erachtet, die entweder eine überdurchschnittliche Minderungswirkung erzielen, neue physikalische Wirkprinzipien nutzen, gestalterische Freiräume erweitern oder durch besondere Eigenschaften – etwa Transparenz, Multifunktionalität oder Ressourcenschonung – einen qualitativen Mehrwert gegenüber bestehenden Lösungen darstellen.

Im Schwerpunktthema *Minderung verkehrsbedingter Geräuschemissionen und Lärmimmissionen* (SPT 205) im Themenfeld 2 des BMV-Forschungsnetzwerks wurde bereits in einem ersten Schritt eine verkehrsträgerübergreifende Recherche zu Innovationen im Bereich des Lärmschutzes angestellt. Ziel war es, die Vielfalt der vorhandenen und sich entwickelnden Innovationen im Lärmschutz zu erfassen, deren Relevanz für die zukünftige Praxis einzuschätzen und besonders vielversprechende Ansätze hervorzuheben, die zu einer Erweiterung des bestehenden Maßnahmenkatalogs beitragen können.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen fand am 27. und 28.11.2024 in Koblenz ein interdisziplinärer Workshop statt, an dem Vertreterinnen und Vertreter der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt), des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsfor- schung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF), der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), der Autobahn GmbH des Bundes und der Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) teilnahmen. Ziel dieses Fachdialogs war es, in mehreren thematischen Blö- cken unterschiedliche Aspekte innovativer Lärmschutzmaßnahmen zu beleuchten, Pra- xiserfahrungen auszutauschen und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen den Verkehrsträgern zu identifizieren. Die Diskussionsergebnisse dieser Veranstaltung bilden die wesentliche Grundlage für die vorliegende Fachinformation.

2 Entwicklung und Umsetzung innovativer Maßnahmen

Lärmschutzmaßnahmen müssen weit mehr leisten als lediglich eine bestimmte akustische Wirkung zu erreichen. Der Entwicklung und Umsetzung innovativer Lärmschutzmaßnahmen steht in der Regel ein komplexer Anforderungskatalog voran, der neben der reinen Schallreduktion auch bautechnische, rechtliche und wirtschaftliche Kriterien umfasst. Im Rahmen des Workshops wurden unter anderem die Fragen diskutiert, welche akustischen und nicht-akustischen Aspekte je nach Maßnahmenart und Einsatzgebiet besonders relevant sind, wie sich die Wirksamkeit von Maßnahmen gezielt verbessern lässt und welche Prozesse eine neue Maßnahme durchlaufen muss, um in der Praxis anerkannt und eingesetzt zu werden. Darüber hinaus war von Interesse, wie sich Produktentwicklungen beschleunigen lassen und welche Rahmenbedingungen dafür erforderlich sind.

Im Folgenden sind die gesammelten Grundlageninformationen aus dem Fachdialog zur Entwicklung, Optimierung und Umsetzung innovativer Lärmschutzlösungen zusammengefasst – von technischen Anforderungen über regulatorische Rahmenbedingungen bis hin zu systemischen Herausforderungen und daraus resultierendem Forschungsbedarf.

2.1 Akustische Anforderungen

Die akustische Wirksamkeit stellt das zentrale Kriterium bei der Realisierung von Lärmschutzmaßnahmen dar. Je nach Anwendungsbereich und Umgebungsbedingungen unterscheiden sich die relevanten akustischen Kenngrößen und Anforderungen. In der Diskussion wurde v. a. Bezug auf die Erfahrungen im Umgang mit Lärmschutzwänden genommen, da diese verkehrsträgerübergreifend eingesetzt werden.

Im Schienenverkehr werden Anforderungen an die Luftschalldämmung und Schallabsorption von Lärmschutzwänden frequenzabhängig in Oktavbändern definiert. Stark absorbierende Ausführungen sind in der Regel zwingend erforderlich – Ausnahmen bilden z. B. transparente Einzelelemente. Im Straßenverkehr hingegen wird die Frequenzabhängigkeit nicht explizit berücksichtigt, sondern auf einen Einzahlwert abgestellt, der eine Gewichtung mit dem standardisierten Straßenverkehrslärmspektrum enthält. Aufgrund der größeren Entfernung zwischen Quelle und Wand ist die Schallabsorption zwar weniger relevant als an der Schiene, jedoch wird auch hier zur Vermeidung von Reflexionen auf die gegenüberliegende Seite oft auf absorbierende Varianten zurückgegriffen.

Hinsichtlich innovativer Konzepte sahen die Teilnehmenden insbesondere neue Geometrien und Materialien als vielversprechend an. Auch komplexere Effekte wie Mehrfachbeugung oder Diffraction, wie sie bei Lärmschutzwandaufsätzen bzw. modifizierten Beugungskanten auftreten, gewinnen zunehmend an Bedeutung. In der Praxis tritt hierbei allerdings immer wieder die Problematik auf, dass es je nach Materialkombination oder geometrischer Anordnung an standardisierten Bewertungsverfahren oder geeigneten Kennwerten zur Beschreibung der akustischen Wirksamkeit fehlt, v. a. im Hinblick auf die praktische Umsetzung in einem vereinfachten Berechnungsverfahren.

Aus Sicht der Teilnehmenden sind die wichtigsten aktuellen Entwicklungen in den folgenden Bereichen zu sehen:

- **Nähe zur Quelle:** z. B. gleisnahe Wände bei der Bahn oder zur Straße hin gekrümmte Wandformen;
- **Schallabsorption:** insbesondere das Einbringen von Schallabsorption bei Verwendung von reflektierenden Materialien, z. B. bei transparenten Lärmschutzwänden oder Nutzung von Photovoltaik;
- **Gezielte Schalllenkung:** z. B. nach oben, in weniger schutzbedürftige Bereiche (Straße und Bahn) oder nach unten ins Schotterbett (Bahn);
- **Neue Wirkprinzipien:** z. B. Metamaterialien;
- **Wahrnehmung:** Berücksichtigung einer Veränderung der Frequenzzusammensetzung (Verfärbung des Schallspektrums) als Ergänzung zur Pegelminderung;
- **Integration frequenzabhängiger Anforderungen:** insbesondere bei Lärmschutzwänden an der Straße bislang nicht etabliert.

2.2 Nicht-akustische Anforderungen

Im Workshop wurde deutlich, dass neue Lärmschutzlösungen neben der akustischen Wirksamkeit auch eine Vielzahl nicht-akustischer Anforderungen erfüllen müssen, die je nach Einsatzbereich variieren. Im Bereich der Schiene sind diese Anforderungen weitgehend durch Richtlinien der Deutschen Bahn (DB-RiL) sowie durch den Leitfaden des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) geregelt. Jedoch sind neuartige, innovative Maßnahmen durch diese Regelwerke häufig nicht abgedeckt, so dass es spezieller Untersuchungen und Gutachten bedarf. Im Straßenbereich gelten in Deutschland die Vorgaben der ZTV Lsw 22 (ZTV-ING 8.1), deren Nachweis durch die CE-Kennzeichnung erfolgt. Diese Anforderungen müssen auch innovative Systeme erfüllen.

Wichtige Aspekte sind beispielsweise Brandschutz (z. B. Schutz gegen Böschungsbrände), mechanische Stabilität (z. B. bei Windlast oder Aufprallbelastung), Ermüdungsfestigkeit (insbesondere an der Schiene entstehen sehr hohe dynamische Lasten) und Dauerhaftigkeit, typischerweise 50 Jahre bei der Schiene, an der Straße abhängig von der Maßnahmentypart (z. B. 30 Jahre bei Lärmschutzwänden aus Holz).

Es wurde hervorgehoben, dass diese Kriterien nicht nur technische Herausforderungen darstellen, sondern bereits in der frühen Entwicklungsphase berücksichtigt werden sollten, da sie maßgeblich über die spätere Zulassung und Praxistauglichkeit entscheiden.

2.3 Entwicklungsschritte

Die Teilnehmenden des Workshops diskutierten den Prozess bei der Entwicklung und Umsetzung innovativer Lärmschutzmaßnahmen. Dies ist ein mehrstufiger Prozess, in dem jeder Schritt spezifische technische und normative Anforderungen mit sich bringt. Als wesentliche Schritte wurden identifiziert:

(1) Ideenfindung und Konzeption

Ausgangspunkt ist eine technische oder gestalterische Idee – beispielsweise zur Nutzung neuer Materialien, zur Veränderung der Geometrie bestehender Systeme oder zur Integration zusätzlicher Funktionen. In dieser Phase besteht ein hoher Bedarf an interdisziplinärer Zusammenarbeit unter Berücksichtigung späterer Einsatzbedingungen.

(2) Akustische Auslegung und experimentelle Untersuchung

Der zweite Schritt umfasst die detaillierte akustische Analyse und Optimierung, mit dem Ziel eine möglichst hohe Wirkung bzw. bereits definierte akustische Kennwerte zu erreichen.

(3) Umsetzung in Berechnungsverfahren für die Schallimmission

Ein wesentliches Problem bei der Straße ist die derzeit fehlende Möglichkeit, neuartige akustische Wirkweisen (z. B. gezielte Beugung oder spektrale Anpassung) in Berechnungsvorschriften zu integrieren (siehe auch Abschnitt 2.4). Bei der Schiene besteht die Herausforderung darin, geeignete akustische Kennwerte für die Schall 03 festzulegen. Ohne die Aufnahme in entsprechende Richtlinien – etwa in die Schall 03 oder die RLS-19 – können neue lärmindernde Maßnahmen in der Praxis nur einzelfallbezogen Berücksichtigung finden. Hier besteht dringender Bedarf, geeignete Ansätze zu definieren, die eine objektive Einstufung neuer Lösungen ermöglichen.

(4) Nicht-akustische Auslegung und Sicherheitsnachweise

Parallel zur akustischen Auslegung sind die Maßnahmen auf nicht-akustische Anforderungen hin zu prüfen (siehe 2.2).

(5) Betriebserprobung und Pilotprojekte

Bei der Bahn ist eine Betriebserprobung zwingend erforderlich, bevor neue Maßnahmen flächendeckend eingesetzt werden dürfen. Hierzu zählen beispielsweise Testinstallationen an ausgewählten Streckenabschnitten, an denen die strukturelle Performance unter realen Betriebsbedingungen überprüft wird. Im Straßenbereich fehlt ein vergleichbares definiertes Verfahren. Nichtsdestotrotz werden üblicherweise praktische Erprobungen an Demonstrator- bzw. Pilot-Projekten durchgeführt, um eine Quantifizierung der akustischen Wirksamkeit im Realbetrieb zu erhalten.

Die Teilnehmenden waren sich einig, dass es zentral sei, die Maßnahmen nicht nur akustisch wirksam, sondern zugleich praktisch anwendbar und genehmigungsfähig zu gestalten – Aspekte, die sich über die verschiedenen Verkehrsträger hinweg als gemeinsame Herausforderung zeigen.

2.4 Regulatorische und systemische Herausforderungen

Eine der größten Hürden bei der Umsetzung innovativer Maßnahmen liegt in der Integration in bestehende Regelwerke und Ausschreibungsverfahren: Solange eine Maßnahme nicht in den maßgeblichen Berechnungsvorschriften abgebildet ist, kann sie von Planungsträgern kaum berücksichtigt werden – unabhängig von ihrer tatsächlichen Wirksamkeit.

Dabei ist zwischen regulatorischen und systemischen Hürden zu unterscheiden:

Regulatorische Hürden ergeben sich aus formalen Vorgaben – etwa technischen Richtlinien, Zulassungsverfahren oder Nachweispflichten – und betreffen die Frage, welche Kriterien erfüllt sein müssen, damit eine Maßnahme rechtlich zugelassen und öffentlich finanziert werden kann.

Systemische Hürden hingegen entstehen durch die Art und Weise, wie Innovationsprozesse in der Praxis organisiert sind: durch komplexe Vergabeverfahren, unklare Zuständigkeiten, fehlende Ansprechpartner oder eine Planungskultur, die risikoarme Standardlösungen bevorzugt.

Im Rahmen des Workshops wurden Ansatzpunkte für einen Abbau dieser Hürden bzw. für eine breitere Implementierung von innovativen Lärmschutzmaßnahmen identifiziert:

- **Anpassung und Öffnung bestehender Berechnungsvorschriften**, insbesondere für die Straße, ähnlich der bestehenden Möglichkeit in der Schall 03 zur „Berücksichtigung schalltechnischer Innovationen und abweichender Bahntechnik“;
- **Durchführung von Pilotprojekten** an geeigneten Standorten, etwa an Rastanlagen, wo unter Umständen keine unmittelbare Rechtsverbindlichkeit besteht;
- **Bereitstellung von Förderprogrammen** für die gezielte Entwicklung und Validierung neuer Maßnahmen;
- **Etablierung zentraler Anlaufstellen** für Hersteller und Entwickler zur Beratung und Koordination innovativer Produkte;
- **Anpassung der Ausschreibungsmodalitäten**, etwa durch funktionale Ausschreibungen oder die gezielte Berücksichtigung innovativer Komponenten (schwierig bei vorliegenden Planfeststellungsbeschlüssen).

Ein zentrales Anliegen sollte zudem die Stärkung der Rechtssicherheit sein: Neue Lärmschutzlösungen dürfen nur dann teurer als konventionelle Standardmaßnahmen sein, wenn ein klarer, nachvollziehbarer Zusatznutzen nachgewiesen werden kann. Hinweispa-piere, Handlungsempfehlungen oder Technische Leitfäden können nicht nur eine fundierte Bewertung durch Genehmigungsbehörden und Prüfstellen unterstützen, sondern bieten auch in der Planungsphase eine wertvolle Orientierung bei der Auswahl und Begründung innovativer Maßnahmen.

3 Verkehrsträgerübergreifende Forschungsansätze

Viele Schallschutzmaßnahmen sind verkehrsträgerspezifisch. Dazu zählen Maßnahmen an der Quelle wie offenporiger Asphalt oder Schienenstegdämpfer. Ein weiterer Fokus des Workshops, der im folgenden Abschnitt zusammengefasst wird, lag auf der Identifikation und Diskussion verkehrsträgerübergreifender Schallschutzlösungen. Bei Straße und Schiene trifft das auf Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg zu, z. B. Lärmschutzwände und -wälle sowie Einhausungen.

3.1 Lärmschutzwände

Die klassischen Bauarten von Lärmschutzwänden sind bei Straße und Schiene ähnlich, jedoch sind die auftretenden Wechsellasten an der Schiene höher, weshalb sich die konkrete Bauausführung unterscheidet. Im Workshop wurden verschiedene Ansätze für mögliche gemeinsame Forschung identifiziert.

Gestaltung und Reduzierung der Höhe

Anwohnende an Straße und Schiene beklagen gleichermaßen den Eingriff, den Lärmschutzwände für Stadt- und Landschaftsbild darstellen. Ein Fokus gemeinsamer Forschung kann daher darauf liegen, wie Lärmschutzwände bei gleicher Wirkung weniger hoch gebaut oder ästhetisch ansprechender gestaltet werden können. Dies beinhaltet auch die Bewertung neuer Wirkmechanismen auf ihre technische Umsetzbarkeit und akustische Wirksamkeit hin. Ein vielversprechender Ansatz zur Verringerung der Bauhöhe bei gleicher Wirkung ist die Modifikation der Beugung des Schalls über die Wand, z. B. durch Diffraktor-Aufsätze. Die akustische Wirksamkeit wurde in der Theorie und auch in praktischen Versuchen untersucht, z. B. in (Chudalla et al. 2011, Chudalla 2015, Lindner et al. 2020, Bartolomaeus et al. 2021, Strigari et al. 2022, Bartolomaeus et al. 2022, Lindner et al. 2024). Die Frage, wie gut verschiedene Aufsätze und Modifikationen in der Praxis tatsächlich wirken, ist noch nicht abschließend geklärt.

Zudem wurde die Frage diskutiert, ob momentan eine Überdimensionierung von Lärmschutzwänden bzgl. Luftschalldämmung vorliegt und wie sich eine solche vermeiden ließe. Ein Beispiel wäre die Definition einer höhenabhängigen Luftschalldämmung, so dass höher liegende Elemente mit geringerer Dämmwirkung und damit geringerem Gewicht gebaut werden könnten. Das würde die Bau- und Investitionskosten senken.

Eine ästhetischere Gestaltung von Lärmschutzwänden lässt sich z. B. durch transparente Elemente erreichen. Hier liegt eine Herausforderung in der gleichzeitigen transparenten und hoch absorbierenden Gestaltung. Diese Frage wurde im Projekt „Gutachten zu transparenten Schallschutzwänden mit hoher akustischer Wirksamkeit“ (Hänisch et al. 2022) theoretisch untersucht. Ebenfalls als ästhetischer werden begrünte Lärmschutzwände empfunden. Problematisch ist hier vor allem die aus Sicherheitsgründen in regelmäßigen Intervallen stattfindende Sichtprüfung, für die eine Begrünung entfernt werden muss. Eine Begrünung von Lärmschutzwänden lässt sich an der Straße eher realisieren als an der

Schiene, weil die baulichen Anforderungen geringer und die Intervalle zwischen erforderlichen Inspektionen deutlich länger sind (mehrere Jahre im Vergleich zu mehreren Monaten).

Neue Materialien

Eine Frage, die sich für Straße und Schiene gleichermaßen stellt ist der Einsatz neuer Materialien für Lärmschutzwände, z. B. sogenannter Metamaterialien. Als Metamaterialien werden im Allgemeinen Materialien bezeichnet, die aus zwei oder mehr unterschiedlichen Materialien bestehen und dadurch Eigenschaften besitzen, die in der Natur nicht auftreten. Metamaterialien existieren in verschiedensten physikalischen Bereichen (u. a. in der Optik, im Elektromagnetismus und der Akustik). Im Bereich Verkehrslärm befinden sich die Anwendungen im Entwicklungsstadium und es ist noch offen, ob und wo sich diese Technologien sinnvoll einsetzen lassen.

Nachhaltigkeit und Zusatznutzen

Neben den akustischen und ästhetischen Eigenschaften von Lärmschutzwänden wurden die Themen Nachhaltigkeit und Einbringung von Zusatznutzen diskutiert. Dazu zählen unter anderem die Kosten von Produktion, Einbau und Unterhalt sowie die Lebensdauer und Instandhaltung. Nachhaltiges Bauen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Hier kann Forschung den Einsatz nachhaltigerer Materialien wie Holz oder Lehm unterstützen. Gemeinsame Forschungsfragen können sich auch im Bereich der Entwicklung von Lärmschutzwänden mit einem Zusatznutzen ergeben. Ein Zusatznutzen kann zum Beispiel in der Erhöhung der Biodiversität durch geeignete Materialien bestehen oder in der Nutzung von Lärmschutzwänden zur Energieerzeugung, siehe beispielsweise die Projekte „PVwins - Entwicklung von wandintegrierten PV-Elementen für den Lärmschutz“¹ und "Potenzialstudie Photovoltaik-Anwendungen an der Schieneninfrastruktur" (van der Weem et al. 2024).

Bestandserfassung Lärmschutzbauwerke

Sowohl für Straße als auch für Schiene ist die genaue Lage und Ausführung von Lärmschutzbauwerken von Interesse. Diese Daten werden für die Immissionsberechnung benötigt. Für die Schiene liegen umfangreiche Daten beim Eisenbahn-Bundesamt vor, die über das Geoportal² öffentlich zugänglich sind. Zudem entwickelte das Projekt „Automatisierte digitale Bestandserfassung gleisnaher Infrastruktur aus Befliegungsdaten“ (Loy et al. 2024) eine Methode zur Erfassung von Lage, Geometrie und weiterer Eigenschaften von gleisnahen Objekten wie Lärmschutzwänden aus Fernerkundungen. Im Rahmen des verkehrsträgerübergreifenden Austauschs im BMV-Forschungsnetzwerk werden die Erkenntnisse weitergegeben und ihre Übertragbarkeit auf die Straße diskutiert.

3.2 Weitere Themen

Eine weitere verkehrsträgerübergreifende Fragestellung ist das Thema Gesamtlärm, d. h. die Überlagerung von Schall aus den Quellen verschiedener Verkehrsträger. Dieses Thema

¹ <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pvwins.html> [zuletzt abgerufen am 18.08.2025]

² https://geoportal.de/map.html?map=tk_03-schallschutzwaende-an-eisenbahnstrecken [zuletzt abgerufen am 18.08.2025]

wurde im BMV-Forschungsnetzwerk in den Projekten „Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen“ (Popp et al. 2021) und „Praxisanwendung der Methoden aus ExNet 1.0: Gesamtlärm“ (Veröffentlichung ausstehend) untersucht sowie vom Umweltbundesamt in den Projekten „Modell zur Gesamtlärmbewertung“ (Liepert et al. 2019) und „Gesamtlärmbewertung – Umsetzungskonzept und Planspiel“ (Liepert et al. 2023) betrachtet. Die Ergebnisse der Projekte sind verfügbar, ein Transfer in die tatsächliche Anwendung ist ausstehend.

Es wurden weitere verkehrsträgerübergreifende Themen identifiziert, die im Moment nicht vorrangig behandelt werden, zukünftig aber von Interesse sein können. Dazu zählt die Schallabstrahlung von Brücken, die Berechnung der Wirkung teiloffener Einhausungen, die Minderung der Lärmbelästigung durch das Queren von Schienengleisen durch Straßenfahrzeuge sowie das akustische Minderungspotenzial von Vegetation im Schallausbreitungsweg.

4 Akustische Charakterisierung und Immissionsberechnung

4.1 Mess- und Beurteilungsverfahren

Die grundlegenden Methoden zur Erforschung und Charakterisierung der akustischen Wirkung von Schallschutzmaßnahmen sowie zur Berechnung der Schallimmission sind bei Straße und Schiene dieselben, auch wenn sie sich verkehrsträgerspezifisch unterscheiden. Daher wurde eine gemeinsame Forschung im Bereich akustischer Charakterisierung und Immissionsberechnung als besonders vielversprechend betrachtet, insbesondere für Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg wie z. B. Lärmschutzwände.

4.1.1 Charakterisierung der Eigenschaften von Lärmschutzwänden

Die akustischen Anforderungen an Luftschalldämmung und Schallabsorption unterscheiden sich bei Straße und Schiene (siehe Abschnitt 2.1). Auch die Nachweisverfahren unterscheiden sich. Bei der Schiene erfolgt der Nachweis der Anforderungen im diffusen Schallfeld: für die Schallabsorption mit dem Hallraum-Verfahren nach DIN EN 16272-1 (DIN EN 16272-1 2024) und für die Luftschalldämmung im Fensterprüfstand nach DIN 16272-2 (DIN EN 16272-2 2024). Diese Verfahren werden verwendet, weil zwischen Schienenfahrzeug und Schallschutzwand Mehrfachreflexionen auftreten und sich daher ein eher halliges Schallfeld ausbildet. Bei der Straße kann in der Regel ein direktes Schallfeld angenommen werden, weil die Fahrzeuge vergleichsweise klein und in der Regel weiter von der Lärmschutzwand entfernt sind. In diesem Falle kommen die In-situ-Prüfverfahren nach DIN EN 1793-5 und -6 (DIN EN 1793-5 2018, DIN EN 1793-6 2021) zur Bestimmung der Schallreflexionsminderung bzw. der Luftschalldämmung zum Einsatz.

Soll eine Überprüfung der Luftschalldämmung oder Schallabsorption vor Ort erfolgen, kann auch bei der Schiene das In-situ-Verfahren nach DIN EN 16272-5 und -6 (DIN EN 16272-5 2024, DIN EN 16272-6 2024) eingesetzt werden. Da dieses jedoch ein direktes Schallfeld verwendet, sind die Ergebnisse nicht direkt mit Hallraummessungen vergleichbar. Wie mit den unterschiedlichen Ergebnissen zwischen Hallraum- und In-situ-Messungen umzugehen ist, ist weiterhin Gegenstand aktueller Forschung. Einen praktikablen Ansatz hierzu findet man in (Bartolomaeus 2016).

Für Straße und Schiene besteht zudem Forschungsbedarf bei der Charakterisierung der Absorptionswirkung teilabsorbierender Strukturen, z. B. von mikroperforierten Platten, wie sie für Photovoltaik-Elemente in Lärmschutzwänden verwendet werden könnten oder für Kombinationen aus schallharten und absorbierenden Elementen. Es ist offen, ob eine Messung im Hallraum die Absorptionswirkung dieser Art von Designs korrekt charakterisieren kann. Beim In-situ-Verfahren gibt es offene Fragen bezüglich der Mittelung der Einzelmessungen an teilabsorbierenden Strukturen.

4.1.2 Akustische Charakterisierung von Aufsätzen

Aktuelle Forschungsfragen beinhalten auch die akustische Charakterisierung von Aufsätzen zur Modifizierung des Beugungseffektes und den Transfer von im Nahfeld gemessenen Schallbeugungsindizes in eine Fernfeldprognose. Das Forschungsprojekt „Entwicklung eines Mess- und Beurteilungsverfahrens zur Bewertung der akustischen Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen“ der BASt liefert einen ersten Methodenvorschlag (Schulze et al. 2024, Veröffentlichung des Abschlussberichts ausstehend). In den Niederlanden gibt es bereits eine Berechnungsvorschrift für Diffraktoren (NLMV 2012). Es ist noch offen, wie und ob sich dieses Verfahren für die Immissionsberechnung an Straße und Schiene in Deutschland eignet. Zur Untersuchung von Schallschutztechnologien, die noch nicht in den gesetzlich geregelten Berechnungsvorschriften abgebildet sind, könnte ein gemeinsam entwickeltes Berechnungstool nützlich sein.

4.1.3 Messung der akustischen Wirksamkeit im Feld

Die akustische Charakterisierung neuer Maßnahmen erfolgt in der Regel durch Feldmessungen. Im Feld ist die Messgenauigkeit im Vergleich zu Labormessungen geringer, da die Umgebungsbedingungen weniger gut kontrolliert werden können. Je weiter der Messpunkt von der Schallquelle entfernt ist, desto höher ist die Messunsicherheit (u. a. aufgrund eines geringeren Signal-Rausch-Verhältnisses und stärkerer Einflüsse durch Reflexionen, Beugung und meteorologische Effekte). Außerdem besteht die Messaufgabe häufig darin, relativ kleine Effekte zu messen, die in der Größenordnung der Messungenauigkeit liegen können. Von einem regelmäßigen Austausch zu statistischen Ansätzen und Methoden zur Erhöhung der Messgenauigkeit können beide Verkehrsträger profitieren.

4.2 Wahrnehmungsbezogene Bewertung

Die derzeitige Praxis zur Bewertung von Lärmschutzmaßnahmen konzentriert sich auf die Reduktion von Schallpegeln in Dezibel (dB), also eine rein physikalisch messbare Größe. Eine psychoakustische Betrachtung könnte zusätzliche Vorteile bieten, indem sie die individuelle Belästigung und Wahrnehmung von Lärm differenzierter erfasst, da sie über die reine Pegelminderung hinausgeht und Faktoren wie die Frequenzzusammensetzung, die zeitliche Struktur und die Klangfarbe des Geräusches mit einbezieht - wobei mit Klangfarbe die charakteristische akustische Signatur eines Geräusches gemeint ist, also etwa, ob es rau, schrill, dumpf oder weich klingt. Ein Vorteil der psychoakustischen Betrachtung ist die Möglichkeit, die tatsächliche Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen auf die Bevölkerung besser einschätzen zu können. Dies kann zu einer effizienteren und zielgerichteteren Planung und Umsetzung von Maßnahmen führen und bei der Kommunikation mit Anwohnenden helfen. In diesem Zusammenhang wurden im Workshop mögliche Einsatzbereiche der Psychoakustik zur Ergänzung der konventionellen Bewertungsmethoden diskutiert.

4.2.1 Derzeitige Pegelbetrachtung

Im Zentrum der gegenwärtigen Praxis zur Bewertung von Lärmschutzmaßnahmen steht die Erfassung und Bewertung der Pegelminderung in dB, die durch eine bestimmte Maßnahme erzielt werden kann. Dies geschieht durch die direkte Messung des Schalldruckpegels, die Berechnung der durchgeführten oder geplanten Pegelminderung sowie den Abgleich der Ergebnisse mit geltenden gesetzlichen Grenzwerten. Diese Methodik bietet den Vorteil, dass sie klar messbar, standardisiert und vergleichbar ist. Sie lässt sich verhältnismäßig einfach anwenden und erlaubt eine objektive Bewertung auf Basis physikalischer

Parameter. Allerdings wird dabei vernachlässigt, dass die menschliche Wahrnehmung von Lärm nicht allein durch den gemessenen Schalldruck bestimmt wird. Subjektive Eindrücke wie Tonalität (also besonders auffällige einzelne Töne, wie ein Pfeifen oder Brummen), Impulshaltigkeit oder Frequenzzusammensetzung eines Geräusches spielen ebenfalls eine Rolle, werden in der herkömmlichen Pegelbetrachtung jedoch weitgehend ausgeklammert. Dadurch entsteht eine Lücke zwischen der technisch-messbaren Belastung und der tatsächlich empfundenen Lärmbelästigung.

4.2.2 Psychoakustische Bewertung

Die psychoakustische Bewertung versucht, diese Lücke zu schließen, indem sie zusätzlich zur reinen Pegelmessung Parameter berücksichtigt, die die subjektive Wahrnehmung von Geräuschen beeinflussen. Dazu zählen unter anderem die empfundene Lautheit, also wie laut Geräusche tatsächlich wahrgenommen werden, sowie die sogenannte Schärfe, welche sich auf den Anteil hochfrequenter Komponenten bezieht und oft als unangenehm empfunden wird. Ebenso wichtig ist die Rauigkeit eines Geräusches, die sich durch schnelle Amplitudenmodulationen auszeichnet und ein Gefühl von Nervosität oder Unruhe hervorrufen kann. Darüber hinaus wird auch die Tonhaltigkeit eines Geräusches, also das Hervortreten einzelner dominanter Frequenzen, sowie dessen zeitliche Struktur, etwa in Form von Impulshaftigkeit oder rhythmischer Wiederholung, in die Bewertung mit einbezogen.

Durch die Integration dieser psychoakustischen Parameter kann die subjektive Lärmwahrnehmung differenzierter erfasst und eine realitätsnähere Einschätzung der Belästigungswirkung vorgenommen werden. Dies ist besonders in Fällen von Bedeutung, in denen eine Maßnahme zwar keine signifikante Pegelminderung bewirkt, aber dennoch die wahrgenommene Belästigung deutlich verringern kann. Perspektivisch könnten auch weitere Einflüsse wie der Kontext des Geräusches – zum Beispiel Tageszeit, Umgebung oder individuelle Empfindlichkeit – in die Bewertung einfließen. Eine solche erweiterte Herangehensweise würde es ermöglichen, auch nicht-akustische Einflussgrößen zu berücksichtigen, etwa ob ein Geräusch tagsüber im städtischen Umfeld oder nachts in einem ruhigen Wohngebiet auftritt. Allerdings ist zu beachten, dass die Erhebung, Verarbeitung und Auswertung derartiger Datenmethoden erheblich aufwendiger ist als bei konventionellen Verfahren. Sie erfordert eine umfangreiche Datengrundlage, geeignete psychoakustische Messinstrumente sowie qualifiziertes Personal, das diese Methoden korrekt anwenden und interpretieren kann.

4.2.3 Potenzielle Erweiterung der Bewertungskriterien

Auf Grundlage der Diskussionen und Erkenntnisse aus dem Workshop wurde deutlich, dass es eine Vielzahl potenzieller Erweiterungen der bestehenden Bewertungskriterien gibt, die zu einer realistischeren Erfassung der Lärmbelästigung beitragen können. So wäre es beispielsweise sinnvoll, neue Maßnahmen nicht nur nach ihrer physikalischen Pegelreduktion zu bewerten, sondern auch ihren zusätzlichen Nutzen im Sinne einer verbesserten Lärmwahrnehmung in Form von Pegeläquivalenten zu erfassen. Eine solche "Einpreisung" des Zusatznutzens könnte sowohl in die Kosten-Nutzen-Abwägung einfließen als auch eine differenziertere Bewertung ermöglichen.

Ein weiterer Aspekt ist die Analyse von Beschwerdelagen, bei der es darum geht, zu verstehen, warum Menschen unterschiedlich stark auf gleich hohe Pegel reagieren. Dies könnte Aufschluss über bestimmte Auslöser oder Verstärker von Lärmbelästigung geben. Auch der Umgang mit sogenannten Restbetroffenheiten – also Fällen, in denen weitere

Pegelminderungen technisch oder wirtschaftlich nicht möglich sind – könnte durch eine gezielte psychoakustische Optimierung verbessert werden, beispielsweise durch Veränderung der Geräuschcharakteristik.

Ein zusätzlicher relevanter Anwendungsbereich ist die Gestaltung von Innenstädten und öffentlichen Räumen. Hier könnte neben der bloßen Lautstärkereduktion verstärkt die Qualität des Klangbildes in die Bewertung einbezogen werden, etwa durch gezielte akustische Gestaltung oder die Nutzung angenehmer Hintergrundgeräusche. Ebenso kann eine verbesserte Kommunikation über die Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen durch anschaulichere Darstellungen und die Nutzung psychoakustischer Kennwerte helfen, das Verständnis und die Akzeptanz in der Bevölkerung zu fördern. Insgesamt ließe sich der Zusatznutzen psychoakustischer Optimierungen so nicht nur effektiver vermitteln, sondern auch gezielter in die Planung integrieren.

Für die praktische Umsetzung solcher erweiterten Bewertungsansätze ist es allerdings notwendig, bestimmte Rahmenbedingungen zu schaffen. Dazu gehört zunächst die Standardisierung der verwendeten Mess- und Bewertungsverfahren. Es müssten einheitliche Messprotokolle entwickelt, geeignete Referenzwerte und Kalibrierungsmethoden festgelegt sowie Richtlinien für die Interpretation psychoakustischer Kennwerte definiert werden. Auch die Harmonisierung der verschiedenen Verfahren wäre ein wesentlicher Schritt zur Vergleichbarkeit. Darüber hinaus ist die Schulung von Fachpersonal in psychoakustischen Methoden notwendig, um eine sachgerechte Anwendung sicherzustellen. Parallel dazu müsste geprüft werden, ob und wie bestehende rechtliche Rahmenbedingungen angepasst werden können, um psychoakustische Aspekte formell in die Bewertung integrieren zu können. Nicht zuletzt wäre die Entwicklung geeigneter Softwaretools hilfreich, um eine integrierte Bewertung in der Planungs- und Bewertungssoftware zu ermöglichen.

Insgesamt zeigt sich, dass die rein pegelbasierte Bewertung zwar ein praktikables und objektives Verfahren darstellt, aber in ihrer Aussagekraft hinsichtlich der tatsächlichen Lärmwahrnehmung begrenzt ist. Die Ergänzung durch psychoakustische Methoden bietet grundsätzlich Potenzial, Lärmschutzmaßnahmen effektiver, zielgerichteter und verständlicher zu gestalten – allerdings zum Preis höherer methodischer Komplexität.

5 Fazit und Ausblick

Die im Workshop diskutierten Beiträge zeigen: Lärmschutz steht heute an einem Punkt, an dem technische Innovationen, gestalterische Anforderungen, gesellschaftliche Erwartungen und wissenschaftliche Bewertungsansätze enger zusammengedacht werden müssen. Während klassische Maßnahmen auf die Reduktion physikalisch messbarer Pegelgrößen zielen, gewinnen neue Bewertungsansätze an Aufmerksamkeit – etwa hinsichtlich subjektiver Wahrnehmung oder ökologischer Zusatzfunktionen.

Gleichzeitig bleibt unbestritten: Die physikalische Pegelminderung wird auch künftig das maßgebliche Kriterium zur Beurteilung der Lärmbelastung darstellen. Der Immissionspegel ist und bleibt das zentral reproduzierbare Maß im Hinblick auf gesetzliche Anforderungen. Insofern sind psychoakustische und wahrnehmungsbezogene Ansätze nicht als Ersatz, sondern als mögliche Ergänzung zu verstehen – insbesondere dort, wo die klassische Pegelminderung an ihre Grenzen stößt oder zusätzliche Wirkungen erzielt werden sollen, etwa in stark belasteten oder sensiblen Bereichen.

Ein zentrales Ergebnis des Workshops ist die Beobachtung, dass sich viele Herausforderungen im Lärmschutz verkehrsträgerübergreifend ähneln. Das betrifft etwa Fragen der Materialwahl, der gestalterischen Integration von Maßnahmen oder der systematischen Erfassung von Zusatznutzen. Dadurch ergeben sich Chancen für gemeinsame Forschungsansätze, die insbesondere Synergien zwischen Straße und Schiene erschließen – unter Berücksichtigung jeweils spezifischer Rahmenbedingungen.

Auch Themen wie Nachhaltigkeit und Multifunktionalität wurden deutlich adressiert. Lärmschutzwände könnten künftig nicht nur Schall mindern, sondern gleichzeitig Energie erzeugen, Biodiversität fördern oder zur städtebaulichen Qualität beitragen. Diese Erweiterung des Nutzens verlangt jedoch neue Bewertungsmaßstäbe und eine stärkere Einbindung interdisziplinärer Expertise.

Aus diesen Erkenntnissen des Fachdialogs lassen sich für die Weiterentwicklung des Lärmschutzes vier zentrale Handlungsfelder ableiten:

- **Entwicklung und Erprobung** neuartiger Lärmschutzmaßnahmen
- **Mess- und Beurteilungsverfahren**, zur Charakterisierung der akustischen Wirkung von Schallschutzmaßnahmen;
- **Methodenentwicklung für die Berücksichtigung in Berechnungsverfahren für die Schallimmission**, insbesondere bei neuartigen Maßnahmen;
- **Praxisnahe Umsetzung**, etwa durch Pilotprojekte, die technologische, gestalterische und gesellschaftliche Aspekte integrieren.

Innovationen im Lärmschutz entstehen nicht durch Technik allein – sondern durch ein systemisches Verständnis, das klassische Wirksamkeit, gesellschaftliche Akzeptanz und nachhaltige Entwicklung gleichermaßen berücksichtigt. Physikalische Pegel bleiben dabei der unverzichtbare Maßstab – doch intelligente Ergänzungen können helfen, dort weiterzukommen, wo bisheriger Lärmschutz an seine Grenzen stößt.

Literatur

- Bartolomaeus, W., 2016. Reflexionsverlust vs. Absorptionsgrad bei Lärmschutzwänden. Fortschritte der Akustik – DAGA 2016, Aachen. https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2016/data/articles/000186.pdf [zuletzt abgerufen am 09.09.2025]
- Bartolomaeus, W., Strigari, F. & Sammet, J., 2021. Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen. Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Reihe V: Verkehrstechnik (Heft V 350). Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Bergisch Gladbach. ISBN 978-3-95606-621-4
- Bartolomaeus W., Becker, R. & Strigari, F., 2022. Simulation des Schallfeldes hinter Diffraktoren. Fortschritte der Akustik – DAGA 2022, Stuttgart. https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2022/data/articles/000072.pdf [zuletzt abgerufen am 18.08.2025]
- Chudalla, M., Bartolomaeus, W. & Mehra, S.-R., 2011. Anwendung des Interferenzschalldämpfer-Prinzips auf eine Lärmschutzwand. Fortschritte der Akustik – DAGA 2011, Düsseldorf. https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2011/data/articles/000086.pdf [zuletzt abgerufen am 18.08.2025]
- Chudalla, M., 2015. Streukörper auf Lärmschutzwand. Fortschritte der Akustik – DAGA 2015, Nürnberg. https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2015/data/articles/000287.pdf [zuletzt abgerufen am 18.08.2025]
- DIN EN 16272-1:2024-02. Bahnanwendungen - Oberbau - Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 1: Produktspezifische Merkmale - Schallabsorption (Labormethode) bei diffusen Schallfeldern; Deutsche Fassung EN 16272-1:2023
- DIN EN 16272-2:2024-02. Bahnanwendungen - Oberbau - Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 2: Produktspezifische Merkmale - Luftschalldämmung unter den Bedingungen eines diffusen Schallfeldes; Deutsche Fassung EN 16272-2:2023
- DIN EN 16272-5:2024-02. Bahnanwendungen - Oberbau - Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 5: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte zur Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern; Deutsche Fassung EN 16272-5:2023
- DIN EN 16272-6:2024-02. Bahnanwendungen - Oberbau - Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 6: Produktspezifische Merkmale - Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern; Deutsche Fassung EN 16272-6:2023
- DIN EN 1793-5:2018-12. Lärmschutzvorrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 5: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte der Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern; Deutsche Fassung EN 1793-5:2016+AC:2018
- DIN EN 1793-6:2021-05. Lärmschutzvorrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 6: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte der Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern; Deutsche Fassung EN 1793-6:2018+A1:2021
- 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. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Bericht 25, Projektnummer 2019-U-1-1202. Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF), Dresden. <https://doi.org/10.48755/dzsf.220007.01.2>
- Liepert, M., Lang, J., Möhler, U., Schreckenber, D., Benz, S., Gillé, M., Kurz, C., Seidler, A., Hegewald, J., Schröder, M. & Stapelfeldt, H., 2019. Modell zur Gesamtlärmbewertung, Texte 60/2019, Forschungskennzahl 3715 55 1030. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. ISSN 1862-4804

- Liepert, M., Forstreuter, M., Schreckenberger, D., Benz, S., Kupfer, D., Hild, S., Ewen, C. & Schreiber, B., 2023. Gesamtlärmbewertung Umsetzungskonzept und Planspiel, Texte 28/2023, Forschungskennzahl 3719 54 101 0. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. ISSN 1862-4804
- Lindner, P., Kluth, S., Ruhnau, M. & Schulze, C., 2020. Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen. Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Reihe V: Verkehrstechnik (Heft V 334). Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Bergisch Gladbach. ISBN 978-3-95606-525-5
- Lindner, P., Ruhnau, M. & Schulze, C., 2024. Akustische Wirksamkeit abknickender und gekrümmter Lärmschirme. Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Reihe V: Verkehrstechnik (Heft V 381). Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Bergisch Gladbach. <https://doi.org/10.60850/bericht-v381>
- Loy, A., Behnke, H., Hahn, J., Garafolj, M., Feike, P. & Sheebaelhamd, Z., 2024. Automatisierte digitale Bestandserfassung gleisnaher Infrastruktur aus Befliegungsdaten. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Bericht 61, Projektnummer 2021-35-U-1202. Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF), Dresden. <https://doi.org/10.48755/dzsf.240014.01>
- NLMV, 2012. Niederländische Lärmberechnungs- und Messverordnung 2012, Anhang III, Zugehörigkeit zu Kapitel 3 (Regelungen für Straßen im Rahmen des Lärmschutzgesetzes). <https://wetten.overheid.nl/BWBR0031722/2021-04-01#BijlageIII> [zuletzt abgerufen am 18.08.2025]
- Popp, C., Eggers, S., Heidebrunn, F. & Cortes, N., 2021. Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen. Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Reihe V: Verkehrstechnik (Heft V 344). Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Bergisch Gladbach. ISBN 978-3-95606-579-8
- Schulze, C., Ruhnau, M., Hübelt, J., Bartolomaeus, W. & Strigari, F., 2024. Messverfahren zur Bewertung der akustischen Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen. Fortschritte der Akustik – DAGA 2024, Hannover. https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2024/files/upload/paper/95.pdf [zuletzt abgerufen am 18.08.2025]
- Strigari, F., Becker, R. & Bartolomaeus, W., 2022. Messung der akustischen Wirksamkeit von Diffraktoren. Fortschritte der Akustik – DAGA 2022, Stuttgart. https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2022/data/articles/000068.pdf [zuletzt abgerufen am 18.08.2025]
- Van der Weem, J., Schönauer, B., Ulrich, S., Sepanski, A., Herz, M. & Hupach, U., 2024. Potenzialstudie Photovoltaik-Anwendungen an der Schieneninfrastruktur. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Bericht 57, Projektnummer 2020-06-U-1202. Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF), Dresden. <https://doi.org/10.48755/dzsf.240010.01>
- ZTV-ING 8.1, 2025. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING - Teil 8: Weitere Bauwerke, Abschnitt 1: Lärmschutzwände, Stand: Februar 2025. Ersetzt ZTV-Lsw 22, Ausgabe 2022.

